

Houtinnovatie door levensduuronderzoek

- Levensduurbepaling van houten damwanden
en de kansen voor Nederlands hout door innovatie -



Centrum Hout
28 april 2020



Dit onderzoek is uitgevoerd door Centrum Hout/VVNH in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Klimaatenvolpe Klimaatslim Bos, Natuur en Hout.

Dit rapport is gemaakt door:

CENTRUM HOUT

Westeinde 6

1334 BK Almere

Tel. 036-5329821

E: info@centrumhout.nl

E: houtinformatie@centrumhout.nl

www.centrumhout.nl

Foto's cover:

links: tijdelijke damwanden van onbehandeld naaldhout langs de N348 Raalte-Ommen. Bron: Regge Hout B.V.

midden: natuurlijke oever van naaldhout; bron: GWW Houtimport B.V.

rechts: houtinnovatie - combidamwand van gerecycled Azobé en naaldhout, bron: W.A. Benecke/Van Swaay

INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	6
1.1 Pilot Meer met hout in de grond-, weg- en waterbouw	6
1.2 Doelstelling Onderzoek levensduurbepaling en innovatie	6
2. Grond-, weg- en waterbouw	7
2.1 Algemeen.....	7
2.2 Hout in de gww-markt.....	7
3. Beschikbaarheid inlands hout	9
3.1 Houtsoorten en volumes.....	9
3.2 Houtsoorten en toepassingen	10
4. Levensduur en innovatie	11
4.1 Theorie en praktijk	11
4.2 Soorten 'levensduur'	11
4.2.1 Technische of ontwerplevensduur	11
4.2.2 Theoretische levensduur	11
4.2.3 Geschatte levensduur.....	12
4.2.4 Duurzaamheid of levensduur	12
4.2.5 Restlevensduur.....	12
4.2.6 Gebruiksduur.....	12
5. Plan van aanpak en fasering onderzoek.....	14
5.1 Fasering	14
5.2. Afwegingen.....	15
6. Keuze van type kunstwerk voor project levensduuronderzoek.....	16
6.1 Potentie toepassing (inlands) hout op basis van marktaandeel	16
6.2 Keuze voor damwanden.....	17
7. Kwaliteitseisen damwanden	18
8. Levensduuronderzoek damwanden	19
8.1 Selectie en gebruik bronnen	19
8.2 Selectie partners.....	19
8.3 Opzet, fasering en afbakening levensduuronderzoek.....	19
8.4 Resultaten levensduur damwanden en invloedsfactoren.....	20
8.4.1 Levensduur	20
8.4.2 Invloedsfactoren.....	21
9. Houtinnovatie voor de gww	22
9.1 Combinatie houtsoorten	22
9.2 Natte vingerlas	22

9.3	Houtmodificatie.....	22
9.3.1	Thermische modificatie	22
9.3.2	Chemische modificatie	23
9.3.2.1	Acetyleren	23
9.3.2.2	Furfuryleren.....	24
9.3.2.3	Overige modificatiemethoden	24
9.3.2.4	Technische eigenschappen versus kosten	24
9.4	Omhullingen, materiaalcombinaties en coatings.....	24
9.4.1	Omhullingen	24
9.4.2	Overige materiaalcombinaties	24
9.4.3	Coatings	25
9.5	Natuurlijke oevers	25
10.	Conclusies levensduur en aanbevelingen	26
10.1	Conclusie levensduur damwanden	26
10.2	Conclusies houtinnovatie	26
10.3	Aanbevelingen levensduur damwanden.....	26
10.4	Aanbevelingen houtinnovatie	27
	LITERATUUR.....	28
	Tabel A. Houtsoorten en mogelijke geschiktheid voor toepassingen in de gww en infra ¹⁾	29

BIJLAGEN

BIJLAGE I: Rapport Westenberg duurzaamheidsonderzoek damwanden

BIJLAGE II: Selectie 150 constructies voor duurzaamheidsonderzoek

BIJLAGE III: Selectie 50 constructies voor duurzaamheidsonderzoek

BIJLAGE IV: Tabel A Houtsoorten en mogelijke geschiktheid voor toepassingen in de gww en infra (in dit document opgenomen (pg. 29)

SAMENVATTING

Bosbeheer is een vorm van landgebruik die veel maatschappelijke doelen dient. Recreatie, biodiversiteit en productie (o.a. hout en biomassa) zijn daarvan de belangrijkste. Doelgericht bosbeheer ten behoeve van houtproductie biedt klimaatperspectief: direct door vastlegging van koolstof in hout en in de bodem én indirect door aanzienlijke substitutievoordelen, wanneer hout bouwmaterialen, zoals beton en staal en in de gww kunststof, vervangt. Bij de toepassing van hout in de bouw en gww, wordt de koolstof daarnaast langdurig opgeslagen en kan er door recycling (via meerdere cascades) uitermate efficiënt grondstofgebruik plaatsvinden. Hoe langer de levensduur van hout dat hoogwaardig wordt toegepast des te langer de atmosferische CO₂ blijft vastgelegd. Dit rapport geeft de uitkomsten van een onderzoek naar de levensduur van damwanden dat onderdeel uitmaakt van de pilot 'Meer met hout in de bouw en gww (2019)'. Hierbij heeft Centrum Hout zich toegelegd op duurzame toepassing van inlands hout in de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW).

Het doen van onderzoek naar de levensduur van houttoepassingen in de gww dient verschillende doelen: ten eerste kan op basis van de praktijklevensduur en bijbehorende invloedsfactoren worden gekeken naar verbeteringen van de houttoepassing, de kwaliteitseisen, het ontwerp en detaillering. Hiermee kan houtinnovatie worden bevorderd. Daarnaast draagt het vaststellen van de levensduur op basis van statistische gegevens in sterke mate bij aan het vertrouwen van houttoepassingen van opdrachtgevers in de gww. Opdrachtgevers hebben vaak onvoldoende kennis van en vertrouwen in houtproducten en kiezen op basis hiervan steeds vaker voor alternatieve, minder milieuvriendelijke alternatieven. Als aangetoond kan worden dat deze voldoet aan de ontwerplevensduur die men eist, dan zal er meer hout worden voorgeschreven. De termen 'levensduur' en 'duurzaamheid' verdienen echter aandacht, omdat deze veelal door elkaar worden gebruikt.

Voor het levensduuronderzoek is gekozen voor de houttoepassing damwanden, omdat dit het grootste volume waterbouwkundige constructies betreft (hoofdstuk 2) en er op basis van de beschikbaarheid (hoofdstuk 3) de grootste potentie is voor inlands hout.

Uit dit onderzoek is vast komen te staan dat damwanden met een duurzaamheid klasse 1 (natuurlijk of vergelijkbaar) in Nederland gemiddeld 36,6 jaar bedraagt (hoofdstuk 9). Dit is ruim boven de ontwerplevensduur.

Verder is er gekeken naar de invloedsfactoren op de levensduur (hoofdstuk 9) van houten damwanden. Geografische ligging en bodem- en waterkwaliteit hebben waarschijnlijk geen significante invloed op de levensduur. Het onderhoud is van belang, maar de invloed kon op basis van de beschikbare data niet worden vastgesteld. Dat is wel het geval voor de toepassing van deksloven; deze hebben een positieve invloed op de levensduur.

Op basis van de informatie over levensduur, beschikbaarheid, houtsoorten is in dit onderzoek ook kort gekeken naar de mogelijkheden tot houtinnovatie. Hiertoe zijn verschillende houtinnovaties in kaart gebracht. Er moet specifiek onderzoek plaatsvinden voor toepassing van inlands hout als damwand, want er lijken zijn zeker kansen.

1. INLEIDING

1.1 Pilot Meer met hout in de grond-, weg- en waterbouw

Bosbeheer is een vorm van landgebruik die veel maatschappelijke doelen dient. Recreatie, biodiversiteit en productie (o.a. hout en biomassa) zijn daarvan de belangrijkste. Doelgericht bosbeheer ten behoeve van houtproductie biedt klimaatperspectief: direct door vastlegging van koolstof in hout en in de bodem én indirect door aanzienlijke substitutievoordelen, wanneer hout bouwmaterialen, zoals beton en staal en in de gww kunststof, vervangt. Bij de toepassing van hout in de bouw en gww wordt de koolstof daarnaast langdurig opgeslagen en kan er door recycling (via meerdere cascades) uitermate efficiënt grondstofgebruik plaatsvinden.

De pilot ‘Meer met hout 2019’, bestaande uit drie deelprojecten (6.1, 6.2 en 6.3), bouwt enerzijds voort op de resultaten van het project ‘Bosbeheer wil bouwen aan beter klimaat’ (Klimaatenvlop 2018) en anderzijds op de (voorbereidende) projectinitiatieven van VVNH/NBvT/Centrum Hout op het vlak van duurzame toepassing van hout in de bouw door middel van hout(skelet)bouw (HSB) en in de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW). De combinatie van de drie deelprojecten geeft meerwaarde; niet alleen wordt er doelgericht getimmerd aan meer duurzaam houtgebruik in de B&U en gww, maar tevens worden toepassingen van Nederlands hout door promotie en innovatie gestimuleerd. Het marktaandeel van Nederlands hout is in deze marktsegmenten tot op heden nog zeer gering (minder dan 2%). Het beoogde klimaatvoordeel zal dus blijvend door import gedragen moeten worden. Het Nederlandse hout heeft de ‘mainstream’ houtmarkt nadrukkelijk nodig om de eigen potentie optimaal te kunnen ontwikkelen; het krijgt daar de beste kansen om volume te maken. Meer samenwerking en kennisoverdracht tussen de (deel)ketens is dus een voorwaarde om tot een maximale bijdrage aan het Klimaatakkoord te kunnen komen. Deze pilot legt daarvoor de basis en richt zich op kennisontwikkeling en inzet op innovatie om zo hout in de gww beter de positioneren. Hierbij speelt levensduur van houttoepassingen in de praktijk een cruciale rol.

1.2 Doelstelling Onderzoek levensduurbepaling en innovatie

Doel van dit onderzoek is het onderzoeken van toepassings- en innovatiemogelijkheden voor (inlands) hout door middel van het statistisch vaststellen van de gemiddelde levensduur en bijbehorende toepassingsomstandigheden (inclusief houtkwaliteit).

Dit onderzoek draagt enerzijds sterk bij aan het vergroten van het vertrouwen in de toepassing van hout als materiaal voor de gww bij opdrachtgevers, adviseurs en de uitvoerende aannemerij. Een belangrijke eis die opdrachtgevers stellen bij het gunnen van opdrachten voor aanleg of vervangingen van kunstwerken (toepassingen als bruggen, damwanden, sluisen etc.) is de ontwerplevensduur. Opdrachtgevers en adviseurs hebben vaak een negatieve levensduurperceptie en kiezen op basis van verwachte of geschatte levensduurverwachtingen van producenten van concurrerende materialen vaak niet voor hout. Met harde cijfers kan deze trend worden doorbroken en omgebogen naar een positieve houding en de keuze voor hout.

Door anderzijds de factoren van degradatie in kaart te brengen die de levensduur beïnvloeden kan ingezet worden op houtinnovatie en daarmee het vergroten van kansen voor toepassing van Nederlands hout in de grond-, weg- en waterbouw.

2. Grond-, weg- en waterbouw

2.1 Algemeen

Met grond-, weg- en waterbouw wordt over algemeen bedoeld het werkveld dat zich bezighoudt met het ontwerpen, realiseren en onderhouden van objecten die vastzitten in de grond of betrekking hebben op rivieren, kanalen en waterlopen. Dit is het werkveld van de civiele techniek. Men spreekt ook wel over 'natte waterbouw', als het gaat om de aanleg van kunstwerken als bruggen, damwanden, beschoeiingen etc.. Bij de aanleg van wegen, het aanbrengen van geluidschermen, wegportalen, geleiderails en fiets- en voetgangersbruggen spreekt men vaak over infrastructuur. In de praktijk lopen deze termen nog al eens door elkaar. In dit onderzoek richten wij ons in eerste instantie op de 'natte waterbouw' en in mindere mate op toepassingen voor de infra.

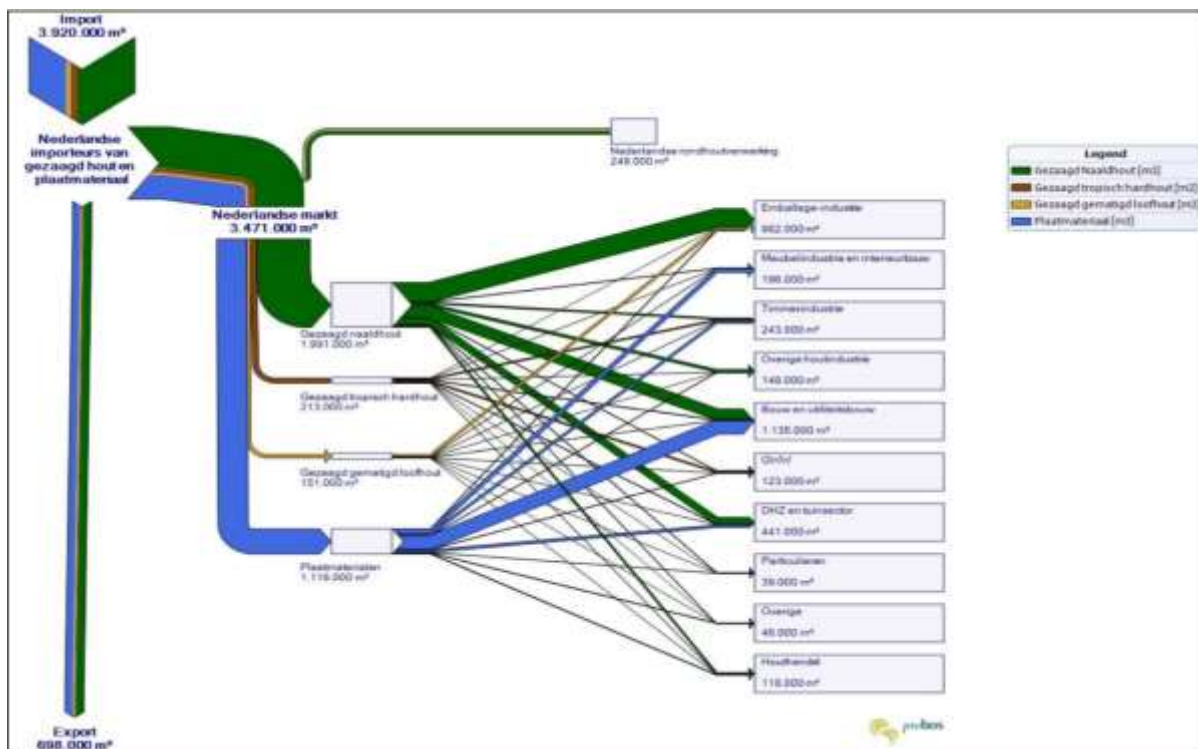
2.2 Hout in de gww-markt

Hout vervult al honderden jaren een belangrijke rol op de scheiding van land en water. De oudste nu bekende houttoepassingen in de gww dateren van voor onze jaartelling. Enkele jaren geleden zijn bij Katwijk resten opgegraven van een houten beschoeiing uit het 'kanaal van Corbulo' gedateerd op het jaar 55 na Chr. De Romeinen, die destijds meesters waren in het aanleggen van infrastructuur, gebruikten naast hout voor damwandenconstructies ook hout voor waterovergangen, aanlegsteigers en als wegverharding. Dit hout werd uit de directe omgeving betrokken of per schip aangevoerd uit het achterland (bron). Naast de wagen-, scheeps- en molenbouw werd hout door de eeuwen heen ook gebruikt voor het maken van sluizen, bruggen, meerpalen en steigers. Hiervoor werd veelal eiken gebruikt. Daarnaast werd voor oeverbeschoeiing ook gebruik gemaakt van naaldhout; gezaagd, maar vaak ook als rondhout toegepast. In de jaren 60 van de vorige eeuw werden deze toepassingen geleidelijk vervangen door tropisch loofhout en verduurzaamd naaldhout. Vanaf begin 19^e eeuw werden ook andere materialen geïntroduceerd in de waterbouw, zoals beton en staalconstructies. Eind 20^e eeuw deed ook kunststof zijn intrede, met name als damwand en wegmarkeringen, maar ook door de groeiende aandacht en beschikbaarheid van gerecycled kunststof in het wegmeubilair. Na de tweede wereldoorlog is het aandeel houten kunstwerken geleidijk aan het teruglopen. Dit is enerzijds toe te schrijven aan een toename van de belasting op kunstwerken door het gebruik van steeds grotere en zwaardere vervoersmiddelen, maar daarnaast ook steeds langere ontwerplevensduren die worden geëist uit hoofde van het beperken van onderhoudskosten. Dit werkt in het voordeel van abiotische materialen.

Het totale aandeel van houttoepassingen in de (natte) gww wordt geschat op 14% (Westenberg, 2017). In 2013 is op verzoek van onder andere het ministerie van I&M gekeken naar de afzetmarkt voor de verschillende (tropische) houtproducten voor de gww op de Nederlandse markt (Probos, 2015). De gww was één van de sectoren waarvan bedrijven konden aangeven welk volumedeel van hun afzonderlijke productgroepen hier werd afgezet. Op basis hiervan is ingeschat dat 123.000 m³ werd toegepast in de gww. In 2015 werd dit cijfer naar boven bijgesteld naar 195.000 m³ product per jaar met het oog op het naderende einde van de economische crisis (tabel 1). Als gevolg van het Stikstof-dilemma, maar met name de Pfas-crisis zijn heel veel projecten stilgelegd of opgeschort, waardoor het volume eind 2019 en 2020 weer gedaald zal zijn naar het niveau van 2013, zo is de verwachting van de houthandel. Hiervan vindt naar schatting een kleine 30% zijn weg als damwand (ca. 35.000 m³) (Centrum Hout, 2018, Probos, 2000). In figuur 1 zijn de houtstromen weergegeven naar de verschillende sectoren (Probos, 2017).

Geschatte volumes gezaagd hout en plaatmateriaal toegepast in de GWW		
Productgroep	Volume gezaagd hout en plaatmateriaal 2013 (m ³)	Volume gezaagd hout en plaatmateriaal 2015 (m ³)
Gezaagd naaldhout	21.901	28.000
Gezaagd tropisch loofhout	73.911	128.000
Gezaagd gematigd loofhout	6.795	7.000
Plaatmaterialen	20.088	30.000
Totaal	123.000	193.000

Tabel 1. Geschatte volumes gezaagd hout en plaatmateriaal toegepast in de GWW (Bron: Probos, 2000)



Figuur 1. Houtstroomschema van het op de Nederlandse markt gebrachte volume gezaagd hout en plaatmateriaal in 2013 (Probos, 2015)

3. Beschikbaarheid inlands hout

3.1 Houtsoorten en volumes

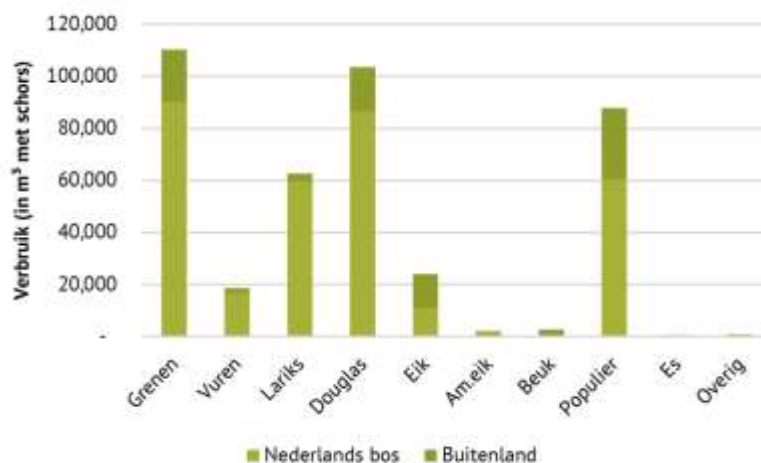
Van de jaarlijkse houtoogst in Nederland is circa 900.000 m³ (rhe met schors) industrieel rondhout (Probos, 2019), waarvan 346.000 m³ zaaghout (Probos, 2018). Het betreft hier met name de houtsoorten populier, grenen, douglas, lariks en vuren.

Oogst industrieel rondhout naar soort (x 1000 m ³) met schors (excl. brandhout) (2018)			
Naaldhout	Oogst m ³	Loofhout	Oogst m ³
grenen	311	populier	177
douglas	99	inlandse eik	42
lariks	67	Amerikaanse eik	21
vuren	58	beuk	10
overig	23	overig	98
Totaal	558		348

Tabel 2. Oogst Naaldhout en Loofhout 2018 (Bron: bosenhoutcijfers.nl (Probos,2019))

Het zaagrendement per houtsoort verschilt echter sterk tussen de houtsoorten en is mede afhankelijk van de toepassing van het eindproduct. Voor houtconstructies in het algemeen en gevelbekledingen, bruggen, geluidschermen, lichtmasten etc. in het bijzonder is de aanwezigheid van spinhout niet toelaatbaar. Houtsoorten met een hoog aandeel spinhout zullen daardoor een lager zaagrendement hebben dan houtsoorten met meer kernhout. Lariks heeft hierdoor een hoger zaagrendement dan douglas. In de praktijk is het rendement dat nu gehaald wordt bij het verzagen van lariks rondhout naar gezaagd hout voor constructieve toepassing circa 25% (SBB, 2020).

Voor de toepassing als damwand of voor houtmodificatie (innovatieve houtverduurzamingsmethoden) is spint wel toegestaan, waardoor een groter rendement gehaald kan worden. In grafiek 1 treft u een beeld van de hoeveelheden zaaghout verwerkt in Nederlandse zagerijen in 2015. Door de sluiting van rondhoutzagerij Willemsen in mei 2017 is de capaciteit echter sterk afgenomen.



Grafiek 1. Herkomst van in Nederland verzaagd rondhout per houtsoort in 2015; bron: De Nederlandse rondhoutzagerijsector (Probos, februari 2017)

Aan de hand van grafiek 1 kan opgemaakt worden dat er in Nederland gemiddeld per jaar het volgende volume zaaghout beschikbaar komt: grenen (90.000m³), douglas (82.000m³), lariks (60.000m³), populier (60.000m³), vuren (18.000m³), eiken (9.000m³) en overig (rest) (Probos, 2017).

Dit gezaagde hout zal verder gesorteerd moeten worden om de juiste kwaliteit te selecteren voor betreffende toepassing (zie verder hoofdstuk 7).

Het al of niet grootschaliger toepassen van inlands hout in de gww en in damwanden in het bijzonder is direct gelinkt aan beschikbaarheid. Dat betekent dat er voldoende volume van de benodigde kwaliteit binnen de gewenste tijd geleverd kan worden. Het strekt dan ook tot aanbeveling te investeren in en verbeteren van de logistiek binnen de Nederlandse bosbouw, rondhouthandel en zagerijen, als ook het voorraadmanagement. Er zal gekeken moeten worden naar de beschikbare zagerijcapaciteit en ook kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het op voorraad leggen van gezaagd, (lucht)gedroogd en gesorteerd hout. Door hier voldoende aandacht aan te besteden, kan ook kostentechnisch efficiënter ge- en bewerkt worden en ook beter op prijs geconcurrereerd worden met hout uit het buitenland (dat over het algemeen wordt geproduceerd door grotere zagerijen).

3.2 Houtsoorten en toepassingen

Mogelijke toepassingen van inlands hout verschillen per soort, afhankelijk van beschikbare technische kwaliteit, natuurlijke duurzaamheid, sterkte en soms ook esthetische kwaliteiten. In Tabel A in de bijlage (pg. 29) treft u een tabel met de mogelijke geschiktheid per hout per toepassing in de gww of infra. In deze tabel is al rekening gehouden met de risicoklassen 'buiten' en 'beschut buiten'; zo wordt er bij brugliggers van uitgegaan dat deze beschut buiten worden toegepast en bij wegportalen het hout in risicoklasse buiten valt.

Als algemeen uitgangspunt geldt dat naaldhout een natuurlijke duurzaamheidsklasse 3, 4 of 5 heeft en matig tot slecht bestand is tegen hout-aantastende schimmels die in vochtige Nederlandse omstandigheden voorkomen. Omdat bij naaldhout spinthout (klasse 5) vaak moeilijk met het oog van kernhout is te onderscheiden, wordt geadviseerd om hout dat in buitentoepassingen wordt gebruikt te verduurzamen, af te werken of gemodificeerd hout te gebruiken om langdurig toegepast te kunnen worden. Deze aanbeveling gelden overigens ook voor de Nederlandse loofhoutsoorten. Toepassing van houtsoorten die tegen regen en wind beschermd worden (beschut buiten) kunnen wel onbehandeld worden toegepast. Ook onder water, waar geen zuurstoftoetreding plaatsvindt kan hout zonder behandeling worden toegepast. Op de waterlijn dient het hout (voor ontwerplevensduur 30 jaar) wel te zijn gemodificeerd.

Let op:

Grenen is ook onder water gevoelig voor aantasting, dus onbehandeld ongeschikt voor toepassing als damwand of beschoeiingsplank. Dit komt omdat bacteriën zich ook onder water in grenen kunnen handhaven. Dit is een conclusie die is getrokken uit onderzoek naar aantasting van heipalen (Klaassen, 2018).

4. Levensduur en innovatie

4.1 Theorie en praktijk

'Levensduur' is een belangrijk selectiecriteria voor opdrachtgevers en adviseurs bij investerings- onderhouds- en total cost of ownership (TCO)-beslissingen. Doordat de definitie van levensduur niet eenduidig is en er verschillende vormen van levensduur zijn, ontstaat hierover vaak spraakverwarring en doen onjuistheden, met name over de prestaties van hout, de ronde.

De levensduur van een goed ontworpen houttoepassing wordt in sterke mate bepaald door de weerstand die het gekozen kunstwerk biedt tegen de invloeden die heersen op de plek van toepassing. Van invloed zijn onder meer de gekozen materialen, vochthuishouding, temperatuur, inwerking van uv-straling, aanwezigheid van chemicaliën, aanwezigheid van aantastende organismen, mechanische belasting of aanwezig zijn van mechanismebeschadigingen. Voor alle kunstwerken geldt dat een juist onderhoudspakket essentieel is voor het al of niet halen van de levensduur.

Wanneer men de invloeden kent die van invloed zijn op de 'levensduur' van een kunstwerk, dan kan men proberen de eigenschappen of variabelen positief te beïnvloeden, of wel te innoveren. Innoveren kan in verschillende richtingen plaatsvinden. Dit kan bijvoorbeeld door het aanpassen van de materiaalkeuze, het wijzigen van de materiaaleigenschappen, het aanpassen van het ontwerp en/of het aanpassen van de detaillering. Omdat de innovatiemogelijkheden sterk samenhangen met de betreffende toepassing en bijbehorende levensduurvariabelen, is eerst een keuze gemaakt voor een toepassing (zie hoofdstuk 6). Op basis hiervan richten wij ons, met het oog op het vergroten van de toepassingsmogelijkheden van inlands hout met name op het marktaandeel, de omstandigheden bij toepassing en de relatie met ontwerp, detaillering, gevolgd door houtsoortkeuze en houteigenschappen (zie hoofdstuk 7).

4.2 Soorten 'levensduur'

Als in de gww gesproken wordt over 'de levensduur', dan heeft men het vaak over de ontwerp- of technische levensduur. Dit is de termijn waarin de eigenschappen en functies van het materiaal of kunstwerk waarvoor het ontworpen is gegarandeerd moeten zijn. Deze 'garantie' wordt meestal bij aanbestedingen of contracten geëist van de leverancier die het product levert of de aannemer die het kunstwerk maakt. In de praktijk is echter niet altijd duidelijk wat men precies bedoeld met 'levensduur'; er is een verschil tussen technische of ontwerp-, theoretische, geschatte en aantoonbare levensduur maar ook de duurzaamheid:

4.2.1 Technische of ontwerp levensduur

Dit is de periode waarin een product moet voldoen aan de gestelde eisen en wordt beschreven in bestekken en onderhoudsplannen. Voor houten en kunststof damwanden bijvoorbeeld is de voorgeschreven ontwerp levensduur meestal 30 jaar, maar voor staal gaat men uit van een ontwerp levensduur van 100 jaar. Voor fiets- en voetgangersbruggen houdt men 50 jaar aan, voor verkeersbruggen 100 jaar. De ontwerp levensduur van kunstwerken is vaak vastgelegd in een Handboek voor (inrichting en onderhoud) Openbare Ruimte (HOR) van gemeenten, in de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) voor projecten in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) of in specifieke contracten van aannemers met toeleveranciers vastgelegd.

4.2.2 Theoretische levensduur

Dit is de levensduur die door middel van onderzoek is vastgesteld. Voor houttoepassingen is deze per houtsoort en risicogebied/-klasse verschillend. Hiervoor is er een uniforme bepalingssystematiek die is vastgelegd in de Europese norm EN 350. Binnen deze norm zijn verschillende manieren vastgesteld om de levensduur van hout vast te stellen. Dat kan door veld- en/of laboratoriumonderzoek.

Bepalend is of een houtsoort wordt toegepast in contact met grond en water, zoals bij een damwand of meerpaal, of dat de toepassing juist in een binnenklimaat wordt toegepast.

Voor hout in grond- en watercontact is de theoretische levensduur zoals genoemd in standaardwerken als het Houtvademecum vastgesteld volgens NEN-EN 335 (zie tabel 3). Op basis van de gebruikte 'stakentest' worden houtsoorten ingedeeld in duurzaamheidsklassen (1 t/m 5) met bijbehorende levensduur. De test stopt na een periode van 25 jaar. Alle houtsoorten die dan nog steeds niet zijn aangetast vallen in klasse 1. Theoretisch kunnen deze dus ook veel langer meegaan dan 25 jaar. In Nederland is er tot nu toe echter geen onderzoek gedaan om de aantoonbare levensduur van houten damwanden aan te tonen.

4.2.3 Geschatte levensduur

Relatief nieuwe materialen als (gerecycled) kunststof zijn te kort op de markt om een technische levensduur langer dan 30 jaar aan te kunnen tonen. Toch wordt door leveranciers van kunststof producten vaak gesproken over een (gegarandeerde) levensduur van 50 jaar of meer. Deze uitspraak wordt echter gedaan op basis van verwachting of schatting. In plaats van over 'de levensduur' zou men dus moeten spreken over de 'verwachte of geschatte levensduur'. Rapporten met wetenschappelijke onderbouwing van deze schattingen zijn bij deze producenten helaas niet (vrij) beschikbaar. Ook ontbreken tot op heden geharmoniseerde normen of beoordelingsrichtlijnen met uniforme prestatie-eisen voor (gerecycled) kunststof damwanden, waardoor het vaststellen van een maatlat voor het bepalen van een ontwerplevensduur niet goed mogelijk is.

Tenslotte een tweetal punten die in de praktijk worden tegengekomen die een belangrijke relatie hebben met levensduur:

4.2.4 Duurzaamheid of levensduur

Dit is een veel gebruikte term in het kader van levensduur. De term duurzaamheid wordt echter te pas en te onpas gebruikt in combinatie van de lengte van de gebruiksduur (levensduur) en de milieubelasting over deze gebruiksduur. Kunststof producenten prijzen hun producten aan als 'duurzaam'. In de beleving van de bos- en houtsector hebben 'duurzame' materialen, zoals hout, over het algemeen een lange levensduur met een gemiddeld (veel) lagere milieubelasting dan traditionele bouwmaterialen. De duurzaamheid van een damwand dient dus niet verward te worden met de (geschatte) levensduur. Houten damwanden hebben bewezen te voldoen aan de gestelde eisen voor levensduur én met een zeer lage milieubelasting.

4.2.5 Restlevensduur

Dit is de levensduur op enig moment die een product of toepassing nog rest tot het moment dat het zijn functie naar verwachting niet meer zal kunnen vervullen. Voor het bepalen van de restlevensduur wordt naast visuele beoordeling soms ook de resistograaf ingezet.

4.2.6 Gebruiksduur

Met de discussie over de verschillende levensduren en hoe deze te bepalen zijn, verliezen we vaak een belangrijk aspect uit het oog, namelijk de gebruiksduur. Vaak is de tijd dat het kunstwerk daadwerkelijk zijn functie vervult (de gebruiksduur) korter dan de gevraagde (ontwerp)levensduur. Zo wordt in de praktijk van brugontwerpen een levensduur gevraagd van 50 jaar (fiets- en voetgangersbruggen) of 100 jaar (verkeersbruggen). De realiteit is echter dat vaak al binnen 50 jaar de infrastructuur dusdanig wordt aangepast, bijvoorbeeld door herverkaveling of wegverbreding, dat de brug al ruim binnen de ontwerplevensduur wordt gesloopt.

Duurzaamheidsklassen en levensduur voor drie verschillende omstandigheden (risicoklassen)				
	Risicoklasse			
	(A)	(B)	(C)	
Klasse Duurzaamheid (NEN-EN 335)	Hout in vochtige omgeving (Risicoklasse 4)	Hout blootgesteld aan weer en wind zonder grondcontact (Risicoklasse 3)	Hout overdekt buiten Verduurzaamd, of geveerd hout (Risicoklasse 2)	Gewichtsverlies door schimmelaantasting (in situatie (A)) (laboratorium-onderzoek)
	Levensduur (jaar)	Levensduur (jaar)	Levensduur (jaar)	(%)
1	meer dan 25	50	onbeperkt	0-1%
2	15-25	40-50	onbeperkt	1-5 %
3	10-15	25-40	onbeperkt	5-10 %
4	5-10	12-25	20 -30 jaar	10-30 %
5	minder dan 5	6-12	13 -20 jaar	30 % en hoger

Tabel 3. Duurzaamheidsklassen en levensduur voor drie verschillende omstandigheden (risicoklassen) (Centrum Hout, 2017)

Hierbij is de houtsoortkeuze van belang. Degradatie wordt over het algemeen veroorzaakt door aantasting door schimmels die in grond- en watercontact voorkomen. In zout en brak water kan hier de gribbel, een nathoutboorder, aan worden toegevoegd. Aantasting vindt meestal plaats op de waterlijn. Onder water wordt hout over het algemeen niet aangetast. Naast de houtsoortkeuze zijn grondsoort, ontwerp van de beschoeiing en het onderhoud van invloed op de levensduur. Men spreekt van einde levensduur als het hout (en/of anker) dusdanig is aangetast en de damwand zoveel sterkte heeft verloren dat het zijn 'kerende' functie niet meer kan vervullen.



Foto 1. Azobé damwand met gording te Breukelen (Bron: WABenecke.nl)



Foto 2. Tijdelijke damwanden van onbehandeld naaldhout langs de N348 Raalte-Ommen (Bron: Regge Hout BV)

5. Plan van aanpak en fasering onderzoek

5.1 Fasering

Dit onderzoek is als volgt gefaseerd:

Fase 1. Analyse van houten kunstwerken in de gww

Op basis van de 0-meting (Ingenieursbureau Westenberg, 2017) is een analyse gedaan van de verspreiding en hoeveelheid van de verschillende typen kunstwerken.

Fase 2. Keuze type kunstwerk voor onderzoek

Op basis van bovenstaande analyse wordt een selectie gemaakt voor één objecttype voor verder onderzoek. Dit onderzoek is gedaan op basis van een deskstudie door Centrum Hout.

Fase 3. Stappenplan

Op basis van de keuze voor het type kunstwerk is een analyse gedaan van de factoren die de levensduur van damwanden kunnen beïnvloeden, welke informatie beschikbaar is en welk onderzoeksinstituut deze informatie heeft en kan verwerken tot een statistische analyse van de levensduur. Daarnaast moet dit onderzoeksinstituut een analyse maken van de invloedsfactoren die de levensduur van het gekozen kunstwerk bepalen.

Fase 4. Uitzetten onderzoek en vaststellen onderzoeksplan

Vervolgens is door Centrum Hout een inventarisatie gedaan naar beschikbare informatie en is een offerte aangevraagd. Het bureau dat het levensduuronderzoek moest uitvoeren is geselecteerd op basis van bovengenoemde criteria.

Samen met het bureau (Westenberg) is een onderzoeksplan opgesteld met een selectie van representatieve regio's (geografische ligging), steekproefgrootte, datakwaliteit, plaatsbepalingen etc. Ook is de noodzaak aan veldwerk geanalyseerd.

Fase 5. Onderzoek en rapportage levensduur kunstwerk en invloedsfactoren

De levensduur is bepaald op basis van een deskstudie door het geselecteerde bureau, de gezamenlijk opgestelde onderzoeksplan, data uit het iAssetmanagementsysteem en bijbehorende onderzoeksrapporten. De bureaustudie is verdiept met interviews en veldwerk, waarna het eindrapport 'Duurzaamheidsonderzoek damwanden en beschoeiingen' opgesteld. Zie bijlagen bij dit rapport.

Fase 6. Onderzoek en rapportage houtinnovatie

Parallel aan het levensduuronderzoek is door Centrum Hout een deskstudie uitgevoerd op basis van een literatuurstudie, aangevuld met interviews met kennisinstellingen en bedrijven o.a. SHR, TU Delft, Accoya, Plato en Staatsbosbeheer. In dit deel van het onderzoek is gekeken naar de verschillende soorten houtinnovatie en wat de potentie hiervan is voor toepassing op inlands hout. De conclusies en aanbevelingen zijn te vinden in hoofdstuk 7.

Opmerking: Ondanks het feit dat het geen onderdeel is van deze pilot, is er een aanzet gegeven voor mogelijke innovatie door middel van circulaire businessmodellen voor (her)gebruik van hout in de gww. Centrum Hout heeft samen met Rijkswaterstaat een onderzoek uitgezet om te kijken naar nieuwe businessmodellen rond een retoursysteem. Dit onderzoek wordt momenteel uitgevoerd door ingenieursbureau Tauw en is in de afrondende fase.

Fase 7. Kennisdeling

Op basis van het onderzoek is een persbericht geschreven, dat gedeeld is met social media en vakpers, zie bijlage. Ook is de kennis gedeeld via de kennisversneller (Klimaat Enveloppe pilot 6.3.2) en ketenbedrijven in de gww.

5.2. Afwegingen

Om een afgewogen keuze te maken voor het type kunstwerk waarvoor het levensduuronderzoek zal worden uitgevoerd, is voor een reeks houttoepassingen in de gww een inschatting gemaakt op basis van de volgende vragen:

- Wat is de potentie van het type kunstwerk voor het toepassen van veel meer inlands hout als het gaat om volume?
- Wordt of werd er al inlands hout toegepast in dit type kunstwerk?
- Wat is de beschikbaarheid van inlandse houtsoorten die (mogelijk) geschikt zijn voor deze toepassing, met of zonder innovatie?
- Is er potentie om deze houtsoorten na het inzetten van innovatieve technieken grootschalig in te zetten in deze toepassing?
- Zijn er voor deze toepassing norm-technische belemmeringen om geen inlands hout toe te kunnen passen?
- Wat is de meerwaarde van het levensduuronderzoek voor de positie van houttoepassingen in de gww voor dit type kunstwerk in het algemeen en ten opzichte van concurrerende materialen in het bijzonder?

6. Keuze van type kunstwerk voor project levensduuronderzoek

6.1 Potentie toepassing (inlands) hout op basis van marktaandeel

Om inlands hout grootschalig toe te kunnen passen, is het marktaandeel c.q. het toegepaste volume van het type kunstwerk van belang. Als het marktaandeel van de toepassing al groot is, dan is het eenvoudig(er) om een deel daarvan uit te voeren in inlands hout door het in de reguliere handel mee te laten lopen, dan wanneer het een zeer kleine of nieuwe toepassing betreft. In 2017 heeft Centrum Hout opdracht gegeven aan civieltechnisch ingenieursbureau Westenberg een meting te doen van het marktaandeel van houttoepassingen in de gww per type kunstwerk. Westenberg is een van de drie ingenieursbureaus die een digitaal assetmanagementsysteem hebben, waarin alle technische ontwerp- en onderhoudsdata van opdrachtgevers worden ondergebracht om regulier onderhoud te kunnen plannen en schattingen te maken voor toekomstige vervangingen en kostprijberekeningen. Het assetmanagementsysteem van Westenberg is heeft het meest uitgebreide systeem met een dekking van circa 2/3 van het areaal van Nederland.

In tabel 4 treft u een overzicht van de belangrijkste kunstwerken in de natte gww en het aandeel daarvan voor wat betreft het aanwezige houtvolume anno 2019 (Westenberg, 2017).

Object Type	Eenheden*	Geschat marktaandeel (%) o.b.v. m ³
Damwand, hout (verankerd en onverankerd)	837	32,6%
Damwand, naaldhout	605	21,9%
Beschoeiing, hout (opgeklampte schotten incl. combi-schotten)	1.173	21,8%
Beschoeiing, naaldhout	4	0%
Perkoenpaaltjes / teenschot	118	2,6%
Brug, hout	2.986	19,3%
Houten brug, stalen liggers	46	0,4%
Brug beweegbaar, hout	35	0,4%
Vlonderbrug, hout	19	0%
Remmingswerk, hout	62	0,1%
Steiger, hout	110	0,4%
Geluidscherm, hout	20	0,2%
Meerstoel, hout	2	0%
Meerpaal, houten	4	0%
Stuw, hout	94	0,3%
Hekwerk, hout	2	0%
Oversteekplank, hout	4	0%
Sluizen	onbekend**	
Totaal aantal objecten hout in iAsset	6.121	100%
Na extrapolatie*** (factor 4,9) voor heel Nederland	30.370	
* Eenheid: 1 brug, 1 damwand (dit kan betekenen 1m zijn maar ook 3.400m), 1 vlonder etc.; Lengtes en breedtes bij Centrum Hout bekend. ** Sluisdeuren zijn niet opgenomen in database waaruit deze data afkomstig zijn *** Extrapolatie op basis van inwoneraantal per opdrachtgeversgroep		

Tabel 4. Extrapolatie aantal en volume aan houten kunstwerken in beheer bij waterschappen, provincies, gemeenten en recreatieschappen op basis van de iAsset database

6.2 Keuze voor damwanden

De marktanalyse (§ 6.2) en beschikbaarheid (§ 3.1) geven aan dat damwand de belangrijkste houttoepassing is voor hout in de natte gww in het algemeen en naaldhout in het bijzonder, gevolgd door beschoeiingen en vervolgens bruggen. Op basis hiervan is besloten het levensduuronderzoek uit te voeren voor het kunstwerk 'damwanden'.

Van oudsher wordt inlands hout toegepast voor scheidingsconstructies in de gww. De houtsoort eiken werd veel toegepast, alsook naaldhout. Het naaldhout werd tot 1 oktober 1999 vaak gecreosoteerd en tussen 1960 en 1986 verduurzaamd op basis van vacuüm-drukmethod. Na laatstgenoemde datum is er een verbod gekomen op toepassing vanwege de angst voor uitloging van zware metalen in het oppervlaktewater. Sindsdien is in de bodemwet opgenomen dat het verboden is om 'gewolmaniseerd' hout toe te passen in de gww. Dit gewolmaniseerde of gecreosoteerde hout had, indien juist toegepast, een zeer lange levensduur. Zo staan in Monnikendam nog schoeiingen van naaldhout van bijna 100 jaar oud. Ook in de Waterwet (voorheen Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren) zijn bepalingen opgenomen ten aanzien van de verduurzaming, waarmee gecreosoteerd of met zware metalen verduurzaamd (naald)hout niet meer is toegestaan. Ook onbehandeld Nederlands naaldhout wordt op de Nederlandse markt aangeboden en kan KOMO-gecertificeerd worden geleverd.

Vanaf de jaren '60 van de vorige eeuw deed tropisch loofhout, vanwege haar gunstige eigenschappen, zijn intrede en werd eiken van lieverlee verdrongen. De meest bekende waterbouwhoutsoort voor constructieve toepassing is op dit moment het Afrikaanse Azobé (*Lophira alata*), gevolgd door Angelim vermelho (*Dinizia excelsa*) uit Zuid-Amerika en in mindere mate Okan en Tali, beide uit Afrika.

Loofhoutsoorten voor damwanden en beschoeiingen (NEN-5493)	
Duurzaamheidsklasse	
I	Aldina, Acapu/bruinhart, Angelim vermelho, Azobé (zoetwater), Cumaru Courbaril/Jatoba, Demerara groenhart, Ipé, Jarrah, Okan, Tali
I - II	Azobé (intermediair hout), Massaranduba,
II	Angelim pedra/sapupira), Bangkirai, Basralocus (2 variabel), Curupay, Europees eiken, Gonçalo alves, Itauba, Karri, Uchi torrado
II - III	Purperhart
III	Andira/Sucupira vermelho, Aracanga, Piquia

Tabel 5. Overzicht van de (inlandse) loofhoutsoorten die geschikt worden geacht voor toepassing in damwand- of scheidende constructies in de gww voor toepassing op de waterlijn

Houtsoorten voor damwanden en beschoeiingen onder de waterlijn	
Duurzaamheidsklasse	Houtsoort
I	Robinia
III	Europees eiken
III - IV	Europees eiken, Lariks, Douglas
IV	Vuren, Grenen,
V	-

Tabel 6. Overzicht van de (inlandse) houtsoorten die geschikt worden geacht voor toepassing in damwand- of scheidende constructies in de gww voor toepassing onder de waterlijn

7. Kwaliteitseisen damwanden

De kwaliteitseisen voor damwanden worden evenals bij andere toepassingen bepaald door het al dan niet mogen voorkomen en de mate van voorkomen van bepaalde groei-eigenschappen in het hout. De sterkte-eigenschappen van het hout zijn bepalend voor damwanden. Deze worden voor een belangrijk deel bepaald door de groei-eigenschappen: kwastvorming (los/vast, grootte en aandeel) scheuren en aantastingen. De kwaliteitseisen voor loofhout en naaldhout verschillen. Er is geen overkoepelende norm voor damwanden. De normen voor loofhout staan in NEN 5493. Naaldhout dient gesorteerd te worden op basis van de NEN-EN 14801-1 en/of NEN 5499 aangevuld met een visuele sortering op basis van tabel 1 van de beoordelingsrichtlijn BRL 2905. In BRL 2905 (Tabel 7) zijn de kwaliteitseisen voor gezaagd Europees naaldhout voor waterbouwkundige toepassingen opgenomen. Deze beoordelingsrichtlijn is geldig voor de houtsoorten vuren, grenen, lariks en douglas. Het hout dient dan ten hoogste een houtvochtgehalte te hebben van 25%.

Voor de berekening van de sterkte van damwandconstructies is ook de sterkteklasse van het naaldhout noodzakelijk. Deze beoordeling gebeurt in Nederland visueel aan de hand van de NEN 5499. Dit betekent dat ook Nederlandse zagerijen en/of houthandel gecertificeerde naaldhoutsorteerders in dienst moet hebben. In dat geval kan Nederlands naaldhout ook eenvoudiger ingezet worden in houttoepassingen met een langjarige gebruik (hoogwaardige toepassing), zoals damwanden.

Eisen		
Kwasten	Zachte kwasten	Niet toegelaten
	Losse kwasten	Niet toegelaten
Scheuren	Splijtscheuren	Toegelaten met een breedte tot 2 mm en tot 100 mm lang
	Eindscheuren	Toegelaten met een breedte tot 2 mm en tot 100 mm lang
	Ringscheuren	Niet toegelaten
Drukbreuk		Niet toegelaten
Wan		Vanaf de onderzijde over een lengte van max. 250 mm kleine wan toelaatbaar mits goede passing van messing en groef gehandhaafd blijft.
Vervormingen (Gemeten over de gehele lengte l)	Gebogen ^a	Ten hoogste $(l/2000) \times 6$ mm
	Krom	Ten hoogste $1/3 \times$ de messinglengte ^b
	Scheluw ^a	Ten hoogste $(l/2000) \times 2$ mm
	Hol	Ten hoogste 2 mm per 100 mm houtbreedte
		^a De eis geldt gemeten over de gehele lengte (l) van de plank. Voorbeeld: bij een planklengte van 5 m is de toelaatbare vervorming voor gebogen 15 mm en de toegelaten scheluwte 5 mm. ^b De messinglengte is aangegeven als "m" in figuur 1 en tabel 4.
Verkleuringen en schimmel- aantasting	Blauwverkleuring	Toegelaten
	Bruinverkleuring	Niet toegelaten
	Lichte aantasting (roodstreperigheid)	Niet toegelaten
	Rot	Niet toegelaten
	Vergrijzing	Toegelaten
Insectenschade		Niet toegelaten
Mechanische beschadigingen		Toelaatbaar in de vorm van losgeraakte of gebroken vezels, mits niet dieper in het hout dan 0,1 x houtdikte Ingesnoerde gedeelten door staalbanden zijn toelaatbaar indien de vezels ongeschonden zijn

Tabel 7. Aanvullende eisen naaldhout voor damwandplanken volgens BRL 2905 (SKH,2017)

8. Levensduuronderzoek damwanden

8.1 Selectie en gebruik bronnen

Voor het statistisch bepalen van de levensduur van een toepassing (kunstwerk, object) is een grote hoeveelheid data nodig van kunstwerken in de gww. Data die benodigd zijn voor het bepalen van de levensduur zijn onder andere:

- Type kunstwerk
- Plaats
- Locatie
- Omvang (m¹/m²/stuks)
- Materiaalkarakteristieken (hout, naaldhout, loofhout etc.)
- Jaar van aanbrengen
- Bodemtype
- Waterkwaliteit
- Ligging (expositie)
- (en zo mogelijk ook) Inschatting verwachte restlevensduur etc.

Het zelf verzamelen van data door het bezoeken van projecten was geen optie. Daarom is gebruik gemaakt van reeds bestaande databases.

8.2 Selectie partners

In Nederland zijn zo ver bekend drie ingenieursbureaus, werkzaam in de gww, die beschikken over een assetmanagementsysteem ten behoeve van advies en beheer van kunstwerken voor opdrachtgevers als gemeenten, provincies, water- en recreatieschappen. Er is gekozen voor ingenieursbureau Westenberg te Harderwijk, omdat zij de meest uitgebreide data hebben en deskundigheid op het gebied van hout en houtconstructies. De data zijn verkregen op basis van het iAssetmanagementsysteem, aangevuld met informatie uit de dossiers van geselecteerde projecten. Het bleek in de praktijk niet mogelijk om studenten van een Hogeschool of Universiteit in te schakelen voor aanvullend veldwerk, doordat gaandeweg het project bleek dat daarvoor onvoldoende kennis beschikbaar is bij studenten en dat de dossiers voldoende houvast bieden om een inschatting te kunnen geven van de levensduur.

Ten aanzien van houtkwaliteit en verduurzamingsmethoden is contact onderhouden met Stichting Houtresearch te Wageningen en is gesproken over toepassingen van inlands hout met Staatsbosbeheer.

8.3 Opzet, fasering en afbakening levensduuronderzoek

Er is voor het onderzoek, bestaande uit een bureaustudie aangevuld met veldbezoek en interviews met beheerders, de volgende fasering aangehouden:

- 1) Selectie type kunstwerk
- 2) Dataverzameling via assetmanagementsysteem
- 3) Selectie van alle damwanden (hout, naaldhout, verankerd- en niet-verankerd (2700 in 11 provincies met een totale lengte van 445 kilometer)
- 4) Selectie van alle damwanden waarvan het jaar van aanbrengen bekend is (2390 houtconstructies)
- 5) Selectie van damwanden waarvan de eindlevensduur is geschat tussen 2018 en 2025, omdat hier de datanauwkeurigheid het hoogst is (1007 houtconstructies)
- 6) Om te kunnen inschatten welke omstandigheden bepalend zijn voor de levensduur (houtkwaliteit, bodemtype, waterkwaliteit, watertemperatuur e.a.) zijn de damwanden geselecteerd die het meest afwijken van de ontwerplevensduur van 25 jaar (150 houtconstructies in 7 provincies, in 23 plaatsen).

- 7) De informatie uit de bureaustudie en aanvullend veldwerk/interview met beheerder zijn analyses gemaakt om verbanden te leggen tussen de levensduur van de constructies en een aantal invloedsfactoren. Deze selectie bestaat uit 50 damwandconstructies die specifiek zijn geanalyseerd op: plaats, expositie, bodemtype, waterkwaliteit (pH-waarde), ontwerp en detaillering (wel of geen gording en/of deksloof) en onderhoudssituatie.

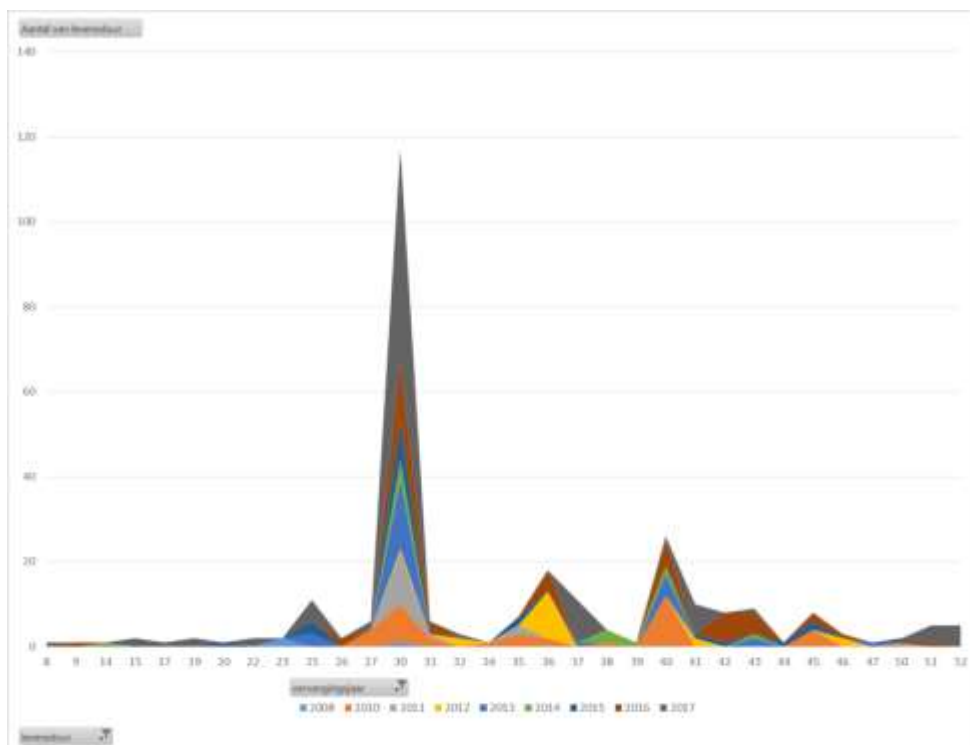
8.4 Resultaten levensduur damwanden en invloedsfactoren

8.4.1 Levensduur

In eerste instantie is door Westenberg gekeken naar de levensduur (het vervangingsjaar minus het bouwjaar) van alle ruim 2700 constructies in de database. Dit varieert van 8 jaar tot 120 jaar, met een gemiddelde van 31,5 jaar. Deze variatie komt deels doordat constructies niet recent of slechts eenmalig zijn geïnspecteerd, waar het bouwjaar niet altijd bekend is of het vervangingsjaar zelfs in het verre verleden staat.

Daarna is gekeken naar constructies die reeds vervangen zijn en waarvan de data betrouwbaar zijn. Daarvoor is de periode 2008-2017 van vervanging aangehouden. Het aantal constructies dat uiteindelijk is gebruikt voor deze analyse betreft 278 stuks met een gemiddelde levensduur van 33,5 jaar. Ook hier is de spreiding ruim; van 8 tot 52 jaar. Zie grafiek 2.

Opmerking: De houtsoort en of het verduurzaamd is, was visueel niet te bepalen en is in overleg met Westenberg buiten de scope gehouden.



Grafiek 2. Bereikte levensduur van constructies die in de periode 2008-2017 zijn vervangen

Vervolgens zijn 50 geselecteerde constructies bekeken. Deze constructies zijn opgenomen in bijlage I-2. Hier geldt dat de 'slechtste' damwand een levensduur heeft van 16 jaar, terwijl de 'beste' damwand 60 jaar mee gaat. De gemiddelde levensduur is 36,6 jaar. Deze constructies zijn allen recent geïnspecteerd, dat wil zeggen in de periode 2015-2019.

Geconcludeerd kan dus worden dat er een grote spreiding is van de levensduur van de houten constructies, maar dat de gemiddelde levensduur de ontwerplevensduur ruimschoots haalt en ergens ligt tussen de 30 en 40 jaar.

8.4.2 Invloedsfactoren

De levensduur van hout is afhankelijk van een aantal zaken. Het houttype, houtverduurzaming, diverse omgevingsfactoren, detaillering en reinigen en ander onderhoud. Voor dit onderzoek zijn 50 geselecteerde constructies verder onderzocht op invloedsfactoren.

Grondsoort

Er is onderzocht wat de invloed is van verschillende grondsoorten op de levensduur van de houtconstructie: uit de analyse blijkt, tegen de verwachting in, dat de grondsoort weinig tot geen invloed heeft op de levensduur. De levensduur van constructies in veengronden hebben een spreiding van 16 tot 60 jaar, in zeekeigronden is die spreiding 20 tot 60 jaar en van enkele overige grondtypes zijn er maar 1 of 2 constructies in die grondsoort. Zie tabel 1 in bijlage I-1.

Expositie

Ook is er nog gekeken of er grote verschillen zijn in de levensduur per provincie, dit met het oog op temperatuurverschillen door het jaar heen die mogelijk de snelheid van aantasten zou kunnen beïnvloeden. Dit verschil lijkt minimaal. Opgemerkt zij hierbij dat het aantal damwandconstructies per provincie in de database zeer sterk verschilt, van 4 in Zeeland tot 1062 in Noord-Holland, en hier is hier geen statistisch relevante conclusie aan te verbinden.

Begroeiing en beplanting

Vervolgens is gekeken naar de begroeiing. Aangezien dit een momentopname is en er een grote spreiding is, zowel bij geen of wel begroeiing, is het lastig hier harde conclusies uit te trekken. Maar het is een feit dat begroeiing een negatieve invloed heeft op de levensduur.

Ontwerp en detaillering

Van essentieel belang is ook de detaillering. Hoe zijn de constructies aangebracht? Het contact tussen hout en de grond moet zo mogelijk beperkt worden. Net als hout-op-houtcontact wat zo veel mogelijk vermeden moet worden. Over het algemeen blijkt dat er nauwelijks/niet gelet wordt op deze detailleringen. We hebben hier wel een onderscheid gemaakt in toepassing gordingen, maar hier vallen nauwelijks conclusies uit te trekken. Gordingen worden daarvoor te weinig toegepast; slechts in 5 van de 50 constructies, met een gemiddelde levensduur van 30,4 jaar. De toepassing van kopplanken is 12 keer toegepast en veroorzaakt een gemiddelde levensduur van 43 jaar. Overige detailleringverbeteringen zijn nergens zichtbaar toegepast.

Slechte detaillering, in combinatie met weinig reinigen/toelaten begroeiing kan de levensduur van hout minimaal doen halveren. Dit is sterk afhankelijk van een combinatie van eerder genoemde factoren. De selectie van 50 constructies is te weinig en bepaalde factoren kwamen te weinig voor om een goed beeld te vormen. Geadviseerd wordt om in een mogelijk vervolgonderzoek meer onderzoek te doen naar type hout, detaillering, reinigen en onderhoud.

9. Houtinnovatie voor de gww

De laatste twintig jaar worden er ook damwanden aangeboden met combinaties van houtsoorten. Dit kan door een combinatie van twee of meer houtsoorten in één damwandplank of door combinatie van loofhout en naaldhout in een beschoeiingsconstructie.

9.1 Combinatie houtsoorten

Een andere manier van innoveren is het samenbrengen van producten of houtsoorten tot een product met gelijke prestaties, maar op basis van 'het juiste hout op de juiste plaats'. Deze benadering is gehanteerd bij de combinatie van houtsoorten in een combischot. Dit is een ander type, ook wel 'opgeklampte schotten' genoemd. Deze bestaan, in tegenstelling tot verticaal geplaatste damwanddelen, uit een horizontale stapeling van planken die door verticaal geplaatste palen worden gekoppeld. Deze kunnen geheel uit loofhout bestaan, maar worden in toenemende mate uitgevoerd in een combinatie van loofhout (waterlijn) en naaldhout onder de waterlijn (zie figuur 2). Beschoeiingen worden vanwege de wat beperkte sterkte meestal toegepast bij minder diepe waterwegen.

9.2 Natte vingerlas

Door de ontwikkeling van de natte vingerlas konden damwanden worden samengesteld uit loofhout en naaldhout. Door deze gepatenteerde verlijmingsmethode werd het mogelijk om hardhout en naaldhout te verlijmen; tropisch loofhout, met een hoge natuurlijke duurzaamheid voor op de waterlijn, en naaldhout voor het deel dat geheel onder water verblijft (zie figuur 2).



Figuur 2. Combidamwand van naaldhout met gerecycled Azobé op de waterlijn. Bron: W.A.Benecke/VanSwaay

Inlands grenen, lariks en douglas hebben over het algemeen een iets hoger aandeel harsen dan herkomsten uit Noord-Europa. Testen van inlandse soorten in combinatie met natte vingerlassen zijn niet bekend. Het verdient aanbeveling een aantal nat verlijmtesten uit te laten uitvoeren met inlandse grenen, lariks en douglas. Het patent op deze combi-damwanden loopt binnenkort af en zal het aantal producten laten toenemen. Dit zal de vraag naar naaldhout voor damwanden laten toenemen, en daarmee meer mogelijkheden voor op kwaliteit en op sterkte gesorteerd Nederlands naaldhout.

9.3 Houtmodificatie

Daarnaast zijn er allerlei alternatieve verduurzamingsmethoden ontwikkeld die toepassing van houtsoorten met een lagere duurzaamheidsklasse op de waterlijn mogelijk hebben gemaakt. Het gaat hier om thermische en chemische modificatie.

9.3.1 Thermische modificatie

Deze methode is gebaseerd op de traditionele methode van het 'branden' van hout. Door hout te verhitten in houtsoort afgestemde trajecten (200°C - 260°C) in combinatie met stoombehandeling en conditionering kunnen de eigenschappen van de houtsoort worden beïnvloed. Thermisch gemodificeerd hout kenmerkt zich door een bruine kleur en een licht rokerige geur. Naast een gunstige invloed op de dimensiestabiliteit neemt in de meeste gevallen de weerstand tegen houtrot

(*Coriolus versicolor* (witrot) en *Gloeophyllum trabeum* en *Coniophora puteana* (bruinrot)) toe door het ontstaan en verdwijnen van verbindingen die ongunstig zijn voor de ontwikkeling van bodemschimmels op en in hout.

Vanaf de jaren '40 van de vorige eeuw is er geëxperimenteerd met warmte en stoomtrajecten die eigenschappen van hout dusdanig veranderen dat de enzymen van schimmels het hout niet meer als dusdanig herkennen. In Nederland ontstond er aandacht vanaf de jaren '70 en was het Plato-project (Providing Lasting Timber Options) het eerste dat hierin slaagde. Op dit moment verhandelt PlatoWood dit product nog steeds. Plato heeft ook proeven gedaan met plathout als damwanden. Het proces bleek een gunstig effect te hebben op de levensduur van naaldhout.

Thermisch gemodificeerd hout is echter brosser dan onbehandeld naaldhout, waarmee rekening gehouden moet worden bij sterkte berekeningen. Ook is het een relatief dure verduurzamingsmethode. Naaldhout (vuren) is het meest voor de hand liggende basismateriaal, doordat het gewichtsverlies relatief weinig wordt beïnvloed door thermische behandeling (Chandelier, 2017), maar er zijn ook andere houtsoorten die succesvol kunnen worden gemodificeerd, zoals populieren. SHR te Wageningen heeft in vooronderzoek ook aangetoond dat de weerstand tegen wit en bruinrotschimmels van grenen, dennen en douglas toeneemt door thermische behandeling. Kamdem et al (2002) concludeerde in zijn onderzoek echter dat de weerstand tegen schimmels van gemodificeerd grenen in specifiek grond-watercontact met slechts weinig toenam tegen schimmels (*Poria placenta* en *Leptomitium lacteus*). De invloed van modificatie verschilt dus per houtsoort, toepassing daarbij voorkomende type schimmels.

Thermische behandeling heeft ook invloed op de sterkte. Het hout wordt brosser en daarmee gevoeliger voor breuk. De sterkte neemt gemiddeld met 10% af. Ook deze invloeden zijn van invloed op de bruikbaarheid in gww-toepassingen, die verder onderzocht kunnen worden. Onderzoek naar de verlijmbaarheid geeft aan dat er geen grote verschillen zouden zijn in de verlijmbaarheid van thermisch gemodificeerd hout ten opzicht van onbehandeld hout. De hogere pH zou een kleine invloed kunnen hebben (Esteves, 2009).

Plathout voor de gww wordt al geleverd in palen, zowel vierkant als cilindrisch gefreesd, dekdelen of geschaafde of geschaafde delen voor beschoeiingen of geluidschermen.

9.3.2 Chemische modificatie

Een andere modificatie die de afgelopen dertig jaar is uitontwikkeld is gebaseerd op chemische modificatie. Dit betekent dat er chemische verbindingen in het hout worden gebracht of tot stand worden gebracht door het inbrengen van chemische middelen. Dit zijn meestal bioharsen op basis van furfuryl alcohol, epoxy, azijnzuuranhydride en alkoxy-silanen.

9.3.2.1 Acetyleren

De meest bekende methode is de acetylatiemethode. Bij deze methode wordt azijnzuuranhydride, een afvalproduct van de azijnproductie en van nature voorkomend in de celwanden van biomassa, in grote hoeveelheden in het hout geperst. Dit bindt zich aan de celwand. Hierdoor is het hout minder gevoelig voor vocht en schimmelaantasting. De overgebleven azijnzuuranhydride wordt afgevoerd en opnieuw gebruikt.

Accoya (merknaam van Accsys Technologies) heeft een lichtzure geur en is zwaarder dan het basismateriaal. Snelgroeiend naaldhout met een open structuur is het meest geschikte basismateriaal voor deze verduurzamingsmethode, al worden er ook proeven gedaan met loofhoutsoorten als beuken, essen etc. Beuken is al met succes behandeld en toegepast als gevelbekleding en aftimmerhout, maar vooral nog grootschalig vermarkt.

De testen die gedaan zijn met Accoya-damwanden zijn positief verlopen. Chemisch gemodificeerd hout wordt verder toegepast als vlonders, dekdelen en geluidschermen etc.

Er zijn ook initiatieven om Accoya te natvingerlassen met onbehandeld naaldhout.

9.3.2.2 Furfuryleren

Furfuryleren van hout gebeurt door het inbrengen van furfuryl alcohol (of een derivaat hiervan). (Kebony ASA produceert dit onder productnaam Kebony, het Nederlandse Foreco onder de productnaam Nobelwood). Een ander biohars is DMDHEU (BASF produceert dit als Belmadur).

9.3.2.3 Overige modificatiemethoden

Verder wordt er gemodificeerd door gemodificeerde plantaardige oliën (lijnolie) in het hout te brengen en onder invloed van temperatuur en/of zuurstof deze te laten polymeriseren (uitharden). Het is niet bekend of deze laatste methode inmiddels dusdanig is doorontwikkeld en succesvol getest voor toepassing in grond- en watercontact.

Ook zijn er methoden op basis van silicaten, bijvoorbeeld in de vorm van waterglas. Deze methode vergt echter grote precisie en het gebruik van zuren waarvan het eindresultaat vochtwerend en waterafstotend is.

9.3.2.4 Technische eigenschappen versus kosten

Welke inlandse houtsoorten na modificatie effectief ingezet kunnen worden in de gww is niet alleen afhankelijk van de technische mogelijkheden, maar ook door kostentechnische aspecten. Gemodificeerde houtsoorten hebben een marktprijs die vergelijkbaar is met tropisch loofhout. Wellicht kan gekeken worden of de rentabiliteit toeneemt, indien deze methode gecombineerd wordt met bijvoorbeeld combiwanden, voor het hout op de waterlijn of wellicht andere slimme oplossingen te bedenken zijn.

9.4 Omhullingen, materiaalcombinaties en coatings

We zien ook een andere markt voor damwanden ontstaan. Dit komt met name door een toenemend aantal producenten van gerecycled kunststof producten, in combinatie met technische eigenschappen van kunststoffen en de gunstige milieuprofielen van hout.

9.4.1 Omhullingen

Er zijn producenten van (gerecycled) kunststof die rondhoutpalen (dunningshout of rond gefreesd) voorzien van een kunststof huls. Het kunststof zou houtrot op de waterlijn voorkomen, daar waar onbehandeld deze eigenschap niet heeft, terwijl het hout onder water zijn sterkte behoudt. Door zwelling van het naaldhout zet het zich vast in de kunststof omhulling. Eventuele aantasting van de koppen door ingesloten (hout)vocht zou geen probleem opleveren, omdat dit een beperkte aantasting zou veroorzaken.

9.4.2 Overige materiaalcombinaties

Naast het vingerlassen van hout op hout wordt sinds enkele jaren ook de combinatie hout met (gerecycled) kunststof gemaakt. Hierbij wordt glasvezelversterkte polyesterkunststof damwand met damwand-look, verlijmd op gezaagd naaldhout (vuren) damwand. Er is nog geen ervaring met de werkelijke levensduur.

9.4.3 Coatings

Er komen steeds meer producten op de markt op basis van bioharsen en biobased coatings. Producenten geven aan dat deze ook geschikt zouden zijn voor natte omstandigheden, omdat ze de oppervlakken langdurig afsluiten en milieuvriendelijk zijn. De proeven die voorgaande jaren zijn gedaan met nanotechnologie hebben niet gebracht wat werd beloofd.

Het dient aanbeveling om proeven te doen naar de werking van de recent ontwikkelde producten voor (naald)hout voor waterbouwkundige toepassingen. Bij bewezen werkzaamheid wordt een veel langere levensduur gehaald, doordat de aantastingen op de koppen en waterlijn sterk wordt beïnvloed. Indien daarna een industriële behandeling kan worden gerealiseerd, biedt dit goede mogelijkheden voor uitbreiding van het gebruik van Nederlands naaldhout in de gww.

9.5 Natuurlijke oevers

Uit onderzoek door Hogeschool Larenstein uitgevoerd in het kader van een ander project rond 'Meer hout in de gww' kwam naar voren dat veel opdrachtgevers in de gww beleid voeren naar meer natuurlijke oevers. Dit betekent dat in geval van einde levensduur damwanden, men deze niet meer vervangt door damwanden, maar het talud verandert van een scherpe overgang tussen oever en water naar een geleidelijke met een afkadering van een palenrij onder water, eventueel doorvlochten met bijvoorbeeld wilgententen of dunne houten delen. Hierdoor zal de toepassing van rondhout paaltjes (rondhout of rond gefreesd).

10. Conclusies levensduur en aanbevelingen

10.1 Conclusie levensduur damwanden

Van alle houtconstructies in de gww komen damwanden het meest voor. Voor het levensduuronderzoek is onderzocht wat de gemiddelde levensduur is van damwanden gemaakt van houtsoorten of houtproducten die vallen in de duurzaamheidsklasse 1 met een theoretische levensduur van meer dan 25 jaar. In aanbestedingen wordt voor houten damwanden vaak een ontwerplevensduur geëist van 30 jaar of meer. Opdrachtgevers en adviseurs gaan vaak uit van een levensduur van 25 jaar, terwijl leveranciers van concurrerende materialen claimen dat houten damwanden maar 10 tot 15 jaar meegaan en van bijvoorbeeld kunststof (ook bij ontwerplevensduur 30 jaar) wel 50 of 60 jaar.

Uit dit onderzoek blijkt dat wanneer recente en betrouwbare data worden gebruikt, de levensduur ligt tussen de 30 en 40 jaar, met een gemiddelde van 36,6 jaar. Er is wel sprake van een grote spreiding (16 tot 60 jaar) met het zwaartepunt boven de 27 jaar. Dat is ruim boven de geëiste ontwerplevensduur van damwanden. Indien een grotere, maar onbetrouwbare steekproef wordt aangehouden, dan is de spreiding groot, uiteenlopend van 8 tot 120 jaar (!) met een gemiddelde levensduur van 31,5 jaar gevonden; ook nog boven de ontwerplevensduur.

Op basis van de gebruikte informatie hebben de invloedsfactoren bodemtype en plaats in Nederland (expositie) weinig of geen invloed op de levensduur. Er was te weinig data beschikbaar om een uitspraak te doen over de invloed van begroeiing en onderhoud, maar die kan aanzienlijk zijn. Duidelijk is wel dat het gebruik van deksloven (afdekplanken) de levensduur aanzienlijk (ca 6 - 10 jaar) kan verlengen. Het op onjuiste wijze detailleren (bijvoorbeeld gordingen) kan leiden tot een kortere levensduur (ca 6 jaar).

10.2 Conclusies houtinnovatie

- Er zijn goede kansen voor het toepassen van inlands naaldhout voor toepassing in de gww, in de vorm van onbehandeld hout, maar mogelijk ook middels modificatie. Deze zijn er zeker voor damwanden, beschoeiingen en hout voor toepassing in natuurlijk oevers.
- Belangrijk is het ook dat er onderzoek komt naar en meer aandacht is voor kwaliteitszorg, sterktesortering en ontwerp en detaillering van de kunstwerken.

10.3 Aanbevelingen levensduur damwanden

- Onderzoek of de resultaten gemiddelde levensduur gebruikt kunnen worden door de houthandel en toelevering voor het opzetten van het garantiesysteem, als tegenwicht tegen die van producenten van concurrerende materialen.
- Maak nieuwe of aangepaste referentiedetails voor damwanden en andere houttoepassingen in de gww om de levensduur te verlengen (bijvoorbeeld herzien SBRCUR Publicatie 213 Hout in de gww).
- Onderzoek of ontwerpaspecten op meer dwingende wijze opgenomen kunnen worden in de ontwerpfase en (RAW-)bestek: luchtig ontwerpen van gording, gebruik dekplanken, indien mogelijk schoon zand tussen wal en damwand en periodiek (jaarlijks) onderhoud.
- Geadviseerd wordt om in een vervolgtraject meer onderzoek te doen naar detaillering, reiniging en onderhoud om innovatie en levensduur en het maken van betrouwbare kostenberekeningen (LCC) te kunnen bevorderen.

10.4 Aanbevelingen houtinnovatie

- Het strekt tot aanbeveling om praktijkonderzoek te doen met inlandse houtsoorten als lariks, douglas, essen, esdoorn en andere beschikbare houtsoorten die uit klimaat-adaptief bosbeheer zullen worden ingezet met verschillende modificatiemethoden zoals beschreven in paragraaf 9.3.
- Het is sterk aan te bevelen bij zagerijen en/of houthandel gespecialiseerd in de verkoop van inlands hout erkende naaldhoutsorteerders op te leiden. Deze kunnen door hun kennis van houtkwaliteiten partijen sorteren voor langdurige toepassing in de gww (en/of B&U).
- Om inlands hout hoogwaardiger in te kunnen zetten en beschikbaar te maken voor meerdere specifieke toepassingen en vormen van innovatie, is een beter inzicht nodig in de beschikbare kwaliteit van inlands zaaghout. Het is dan ook aan te bevelen onderzoek te doen naar de rendementen per houtsoort op basis van verschillende normen, per toepassing en op basis van sterkte.
- Het opleiden van erkende naaldhoutsorteerders zorgt er ook voor dat op sterkte gesorteerd hout geleverd kan worden ten behoeve van damwanden, maar ook andere kunstwerken. In geval van brugconstructies kan het hout dan ook worden voorzien van een CE-markering, die volgens de CPR vereist is in het geval van hout voor constructieve toepassing in bouwwerken zijnde gebouwen (of bruggen).
- Het al dan niet grootschaliger toepassen van inlands hout in de gww en in damwanden in het bijzonder is direct gelinkt aan beschikbaarheid. Dat betekent dat er voldoende volume van de benodigde kwaliteit binnen de gewenste tijd geleverd kan worden. Het strekt dan ook tot aanbeveling te investeren in het verbeteren van de logistiek binnen de Nederlandse bosbouw, rondhouthandel en zagerijen, als ook het voorraadmanagement. Door hier voldoende aandacht aan te besteden, kan ook kostentechnisch efficiënter ge- en bewerkt worden en ook beter op prijs geconcurrereerd worden tegen hout uit het buitenland (dat over het algemeen wordt geproduceerd door grotere zagerijen).
- Laat proeven uitvoeren waarin het nat-verlijmen van inlands grenen, douglas en lariks wordt getest. Dit opent de weg naar een toename van inlands naaldhout in damwanden, aangezien de markt zal openen door het verlopen van een patent op combi-damwanden.

LITERATUUR

- Bogaardt, V.C.A.: *'Hout op de grens van land en water'*, Probos Berichten, nr. 9. 2000, Wageningen
- Bouwdienst Rijkswaterstaat: *'Referentiedocument houtconstructies'*, Hoofdafdeling PD, Utrecht, september 2004
- BRL 2905 *"Gezaagd naaldhout voor waterbouwkundige toepassingen"*, SKH, Wageningen, 2017
- Esteves, B. and Pereira, H.; *'Wood modification by heat treatment: a review'*. In: Bioresources, no.4, pg 370 – 404., 2009
- Centrum Hout; *'Houtinformatieblad Levensduur houten damwanden'*, Almere, 2017
- Centrum Hout; *'Houtwijzer: Houten Damwanden'*, Almere, 2017
- Heerde, van. H, Provincie Flevoland: *'Eindrapport Vervangingsinvesteringen Infrastructuur Flevoland'*, Lelystad, April 2013
- Kamdem, D. et al.: *'Durability of Heat-treated wood'*, Holz Werkstoffe. No 60., pg 1 – 6, 2002
- Kévin Candelier et al *'Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review'*, Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences, 2016, 73 (3), pp.571-583
- Klaassen, dr. R.K.W.M., en Tjeerdsma, ir. B.F; *Conserveren van houten paalfunderingen tegen aantasting onder water*, KCAF, SHR, Wageningen, 2017
- NEN-EN 350:2016: *'Duurzaamheid van hout en op hout gebaseerde producten - Natuurlijke duurzaamheid van massief hout – Deel 2: Richtlijn voor de natuurlijke duurzaamheid en behandelbaarheid van geselecteerde, voor Europa belangrijke houtsoorten'*, NEN, Delft, 2016
- NEN 5461:1999: *'Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) – Gezaagd hout en rondhout – Algemeen gedeelte'*, NEN, Delft, maart 1999
- NEN 5493:2010: *'Kwaliteitseisen voor loofhout in grond-, weg- en waterbouwkundige werken en andere constructieve toepassingen'*, NEN, Delft, 2010
- NEN 5499: A1 2011 *"Kwaliteitseisen voor visueel gesorteerd naaldhout voor constructieve toepassingen"*, NEN, Delft, 2011
- NEN 14081-1:2005 + A1: 2011, *'Houtconstructies - Op sterkte gesorteerd hout met rechthoekige doorsnede'* - Deel 1: Algemene eisen, NEN, Delft
- Oldenburger, J. en De Groot, C.: *'Afzetmarkten van gezaagd hout en plaatmateriaal op de Nederlandse markt*, Probos, Wageningen, februari 2015
- Probos, www.bosenhoutcijfers.nl; bezocht op 23april2020
- RAAP nieuws oeverbeschoeiingshout uit 55 na Chr.: https://www.raap.nl/pages/RAAPnieuws_houtdatering_kanaal_Corbulo.html; bezocht op 10 januari 2020
- Voncken, F. en Oldenburger, J.: *'De Nederlandse rondhoutzagerijsector - Een analyse met het oog op de toekomstige rondhoutverwerkingscapaciteit'*, rapport, Wageningen, februari 2017
- Wiselius, S.I., *"Houtvademeccum"*, Centrum Hout, Almere, 2010

Tabel A. Houtsoorten en mogelijke geschiktheid voor toepassingen in de gww en infra¹⁾

Toepassing	Houtsoort								
	Grenen	Vuren	Lariks	Douglas	Inl eiken	Am eiken	Populier	Essen	Esdoorn
Constructiehout massief	v	v	v	v	v	x		x	x
Gelamineerd hout	v	v	v	v	v	x	m/x	x	x
Brugliggers	v	m	m	m	v	x	m/x	x	x
Dekdelen	m	v	m	m	v	x	m	m/x	m/x
Brugleuningen	m	v	m	m	v	x	m	m	m
Damwanden	x	v/m	v/m	v/m	v	m	x	m/x	m/x
Beschoeiing/opgeklampte schotten	x	v/m	v/m	v/m	v	m	m		m/x
Geluidschermen	v	m	v/m	v/m	x	m	m	m	m
Geleiderails	v	m	v/m	v/m	x	x	x	x	x
Hectometerpaaltjes	m	m	v/m	v/m	m	m	m	m	m
Verkeersborden	m	m	v/m	v/m	x	x	m	m	m

¹⁾ Inschatting toepassingen kernhout in risicoklassen beschut buiten, mits anders vermeld met juiste detaillering.

v= reeds toegepast

x= niet mogelijk/voor de hand liggend

m= (wellicht) mogelijk na (verduurzaming/afwerking/)modificatie

LET OP!!!:

Naaldhout heeft een natuurlijke duurzaamheidsklasse 3, 4 of 5 en zijn matig tot slecht bestand tegen houtaantastende schimmels die in vochtige Nederlandse omstandigheden voorkomen. Omdat bij naaldhout spinthout (klasse 5) vaak moeilijk met het oog van kernhout is te onderscheiden wordt geadviseerd om hout dat in buitentoepassingen wordt gebruikt te verduurzamen, af te werken of gemodificeerd hout te gebruiken om langdurig toegepast te kunnen worden. Deze aanbeveling geldt overigens ook voor de Nederlandse loofhoutsoorten. Toepassing van houtsoorten die tegen regen en wind beschermd worden (beschut buiten) kunnen wel onbehandeld worden toegepast. Ook onder water, waar geen zuurstoftoetreding plaatsvindt kan hout zonder behandeling worden toegepast. Op de waterlijn dient het hout (voor ontwerplevensduur 30 jaar) wel te zijn gemodificeerd.