

HOUTEN DAMWANDEN



ONTWERPASPECTEN, KWALITEITSEISEN EN STERKTEBEREKENINGEN

Damwanden van hout worden al honderden jaren gebruikt om ons land te beschermen tegen het water. Door zijn specifieke eigenschappen is hout een zeer geschikt materiaal voor damwanden. Hout is licht, sterk, goed beschikbaar en heeft een lage milieubelasting. Het is een bio-based grondstof die CO₂ opslaat, hernieuwbaar en recyclebaar is en uitstekend past binnen de circulaire economie. Er zijn tal van houtsoorten, afkomstig uit duurzaam beheerde bossen, geschikt als damwand. Voor een lange levensduur is het niet alleen van belang aandacht te besteden aan ontwerp, detaillering en onderhoud, maar zeker ook aan de constructieve eigenschappen. In deze brochure gaan we daarom verder in op: houtsoorten, eigenschappen en kwaliteitseisen en wordt uitgebreid stilgestaan bij het berekenen en de dimensionering van houten damwanden.

Inhoud

Introductie	3
Houtsoorten	4
Duurzaamheid en levensduur	4
Azobé	5
Okan	5
Angelim vermelho	5
Duurzaam bosbeheer	6
Kwaliteitseisen	6
Vorm en afmeting van planken en gordingen	8
Messing en groei	8
Zoeker	9
Spieplanken	10
Lassen in gordingen	10
Dimensionering en tabellen	10
Gevolgklasse	11
Geotechnische belastingen	11
Geotechnische materiaalfactoren en materiaaleigenschappen	11
Houttechnische materiaalfactoren en materiaaleigenschappen	12
Berekeningsmethoden	13
Tabellen met inheidiepten en damwanddiktes.	14
Duurzaam ontwerp damwand constructie	22
Opslag van de damwand	22
Uitvoering	22
Milieuaspecten	23
CO ₂ footprint hout	25
Literatuur en normen	26

Introductie

Grote delen van Nederland liggen beneden de zeespiegel. Van oudsher wordt de grond gekeerd met damwanden van hout. Voor dat doel worden ook beton, staal en composiet producten gebruikt, soms in combinatie met hout. Door zijn specifieke eigenschappen is hout een zeer geschikt materiaal voor damwanden:

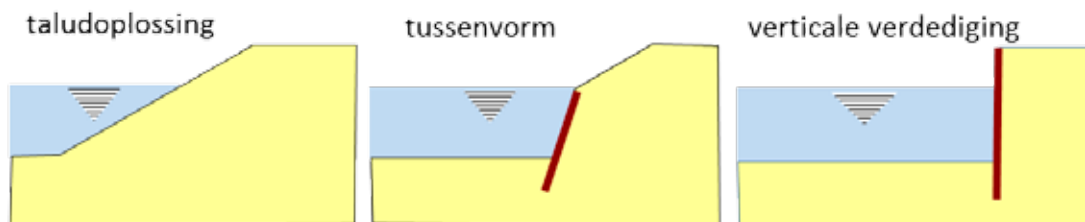
- Het is licht, sterk en duurzaam. Als hout beschadigt, laat het zich gemakkelijk repareren of vervangen.
- Hout heeft ook zijn beperkingen: voor damwanden zijn geen grotere lengten dan 10 m verkrijgbaar.

Deze brochure is beperkt tot die houtsoorten die voornamelijk in damwanden worden toegepast, zijnde duurzaam geproduceerde tropische loofhoutsoorten.

Ontwerpaspecten en begrippen

Voor 'oeververdedigingen' bestaan geen vaste richtlijnen. Er is een grote verscheidenheid van typen verdedigingsconstructies; daarin wordt onderscheid gemaakt in drie hoofdvormen (figuur 1):

- het talud, niet grondkerend en eventueel met bermen
- de tussenvorm, deels talud en deels verticale wand
- de verticale oeververdediging, die grondkerend is.



Figuur 1. Typen verdedigingsconstructies

Algemene factoren:

- een verticale verdediging neemt minder ruimte in dan een talud
- taluds dempen golven beter dan beschoeiingen.

Factoren met betrekking tot de uitvoering:

- uitvoering "in den droge" of "in den natte"
- de toegankelijkheid van de bouwplaats
- vervaardiging ter plaatse of prefab
- beschikbaarheid van materiaal
- bekwaamheid en ervaring.

Wanneer er aan ruimte geen gebrek is, worden taluds verkozen om hun lange levensduur, het eenvoudige onderhoud en de golfdempende werking. De verticale oeververdediging verdient de voorkeur als er weinig ruimte is (bij voorbeeld in woongebieden), of bij een slechte bodemgesteldheid (veengrond) of als het dient als aanlegplaats.

De tussenvorm van 'talud met beschoeiing' wordt toegepast waar weinig ruimte is voor een compleet talud, of op slappe grond, wanneer men niet zeker is van de stabiliteit. Door ruimtegebrek en mogelijk om traditionele redenen werd en wordt in Nederland meestal voor de verticale oeververdediging gekozen. Uitsluitend langs grote vaarwegen vindt men taluds.

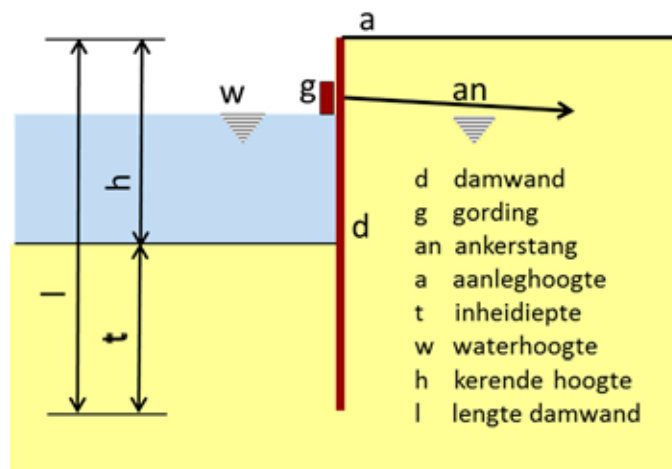
Het Amsterdam-Rijnkanaal vormt hierop een uitzondering. Vanwege de slappe grond werd hier een verticale oeververdediging gebouwd.

In de praktijk blijkt dat bij het ontwerpen van damwanden nogal eens fouten kunnen worden gemaakt met

- de aanleghoogte en de inheidiepte
- de dimensionering van de gordingen
- de afmetingen van ankerstangen en ankerschotten
- de schatting van de erosie van de grondslag voor de damwand onder water.

Omdat met bestaande constructies al zeer veel ervaring is opgedaan, is het zinvol om deze kennis bij het ontwerpen van oeververdedigingen te benutten.

In figuur 2 is schematisch een verticale oeververdediging weergegeven met de bijbehorende vaktermen.



Figuur 2. Verticale oeververdediging met vaktermen

Houtsoorten

Door de decennia lange ervaring en doordat de technische kennis van de verschillende tropische houtsoorten de afgelopen jaren sterk is toegenomen, is het mogelijk om de houtsoorten efficiënter (doelgericht) te kunnen gebruiken. Hiertoe heeft het uitgebreide onderzoek in Nederland naar sterkte-eigenschappen van bekende en minder bekende tropische houtsoorten mede bijgedragen.

Veel houtsoorten zijn geschikt voor damwanden, maar op grond van technische eigenschappen, prijs, verkrijgbaarheid, verwerkbaarheid en gangbare praktijk ligt de focus op een select aantal houtsoorten, met name azobé, okan en angelim vermelho.

In tabel 1 staan ook andere houtsoorten vermeld die voor damwanden in aanmerking komen.

Om een damwandconstructie te kunnen ontwerpen, moet aan een houtsoort een sterkteklasse volgens NEN-EN 338 zijn toegewezen. In NEN-EN 1912 staat vermeld welke sterkteklassen aan een aantal houtsoorten, komende uit een bepaald groeigebied, kunnen worden toegekend.

Duurzaamheid en levensduur

De houtsoorten die voor damwanden in aanmerking komen, zijn zeer bestand tegen schimmelaantasting en behoren daardoor tot de hoogste duurzaamheidsklassen DC1 en DC2 volgens de classificatie van NEN-EN 350¹⁾ van 2016 (DC1 = zeer duurzaam, DC5 = niet duurzaam). De duurzaamheidsklassen gelden alleen voor kernhout. Spinthout wordt altijd als 'niet duurzaam' beschouwd. De duurzaamheid van het hout heeft uiteraard invloed op de levensduur van de damwand. In NEN 5461:1999 wordt aangegeven dat hout met de duurzaamheidsklasse 1 (DC1) een minimale levensduur van 25 jaar in zoetwater en grondcontact heeft.

¹⁾ **Opmerking:** In de ingetrokken versie van de NEN-EN 350-1&2 van 1994 werden de duurzaamheidsklassen met 1, 2, 3, ... aangegeven, in de herziene versie van 2016 met DC1, DC2, DC3,....).

Azobé

Botanische naam: *Lophira alata* Banks ex Gaertn.f.

Herkomst: tropisch West-Afrika.

Het hout heeft een volumieke massa tussen 940 kg/m³ en 1100 kg/m³ bij 12% vochtgehalte (vers gezaagd: ca. 1000 kg/m³ tot 1300 kg/m³).



Ondanks dat azobé kruisdradig en zeer hard is, laat het hout zich goed bewerken met de geschikte gereedschappen. Bij spijkeren en schroeven moet het hout voorgeboord worden.

Het kernhout is roodbruin. Het grijsachtige spinthout is enige centimeters breed en scherp afgetekend van het kernhout en het intermediaire hout. Tussen kernhout en spinthout komt een laag "overgangshout" (intermediaire zone) voor, even sterk als het kernhout, het is iets lichter van kleur dan het kernhout.

Aan azobé is de sterkteklasse D70 (sterkteklassenprofiel NEN-EN 338) toegekend.

Azobé kernhout is zeer duurzaam tegen schimmels in grondcontact en zoetwater.

Azobé heeft een redelijk tot goede weerstand tegen marine-boorders als paalworm en gribbel (NEN-EN 350).

Okan

Botanische naam: *Cylicodiscus gabunensis* Harms.

Herkomst: tropisch West-Afrika.

Het hout heeft een volumieke massa tussen 850 kg/m³ en 960 kg/m³ bij 12% vochtgehalte (vers gezaagd: ca. 1000 kg/m³ tot 1200 kg/m³).



Ondanks het wisselende draadverloop (kruisdraad) is okan met het juiste gereedschap goed te bewerken. De gereedschappen hebben een kortere levensduur vanwege de hardheid en de inhoudsstoffen van het hout. Bij spijkeren en schroeven moet het hout voorgeboord worden.

Aan okan is de sterkteklasse D40 toegekend.

Okan kernhout is zeer duurzaam tegen schimmels in grondcontact en zoetwater.

Okan heeft een zeer goede weerstand tegen marine-boorders als paalworm en gribbel (NEN-EN 350).

Angelim vermelho

Botanische naam: *Dinizia excelsa* Ducke.

Herkomst: Brazilië, Amazonegebied, Guyana.

Het hout heeft een volumieke massa tussen 950 kg/m³ en 1050 kg/m³ bij 12% vochtgehalte (vers gezaagd: ca. 1450 kg/m³).



Het hout heeft een sterke kruisdraad. Ondanks de hardheid van het hout is het machinaal goed te bewerken. Bij spijkeren en schroeven moet het hout voorgeboord worden. Op grond van het hoge tanningehalte in het hout kan bij gebruik van stalen bevestigingsmiddelen in nat hout grijsblauwe verkleuringen ontstaan.

Vers gezaagd kernhout is geelbruin gekleurd, gewoonlijk met strepen en vaak met een oranjeachtige tint. Het spint is rozeachtig en niet altijd scherp afgetekend van het kernhout. Vers en droog heeft angelim vermelho een opvallende ranzige (boterzuur)geur die pas na lange tijd verdwijnt.

Aan angelim vermelho is de sterkteklasse D50 (sterkteklassenprofiel NEN-EN 338) toegekend.

Angelim vermelho kernhout is zeer duurzaam tegen schimmels in grondcontact en zoetwater. Angelim vermelho heeft een redelijk tot goede weerstand tegen marine-boorders als paalworm en gribbel (NEN-EN 350).

Tabel 1. Enkele commercieel relevante houtsoorten voor damwanden volgens de NEN 5493:2011 met bijbehorende sterkteklasse en herkomstgebieden volgens de NEN-EN 1912:2012.

Handelsnaam	Botanische naam volgens NEN-EN 1912:2012	Sterkteklasse volgens NEN-EN 1912:2012 en herkomstgebied	Duurzaamheidsklasse volgens NEN-EN 350:2016 in zoet water	Volumieke-massa ¹⁾ (12% houtvochtgehalte) [kg/m ³]
Azobé	Lophira alata	D70 (NEN 5493) West Afrika	overwegend DC1	ca.1050
Angelim vermelho	Dinizia excelsa Ducke	D50 (NEN 5493) Brazilië	DC1	ca.1000
Okan	Cylicodiscus gabunensis Harms	D40 (NEN 5493) Congo Brazzaville en Kameroen	DC1	ca.950
Tali	Erythrophleum ivorense	D40 (NEN 5493) Kameroen	DC1	ca.900

¹⁾KLAASSEN, R.K.W.M (2017)

Andere houtsoorten die voor damwanden in aanmerking komen, staan in de NEN 5493 vermeld.

Duurzaam bosbeheer

Om nu, en in de toekomst te waarborgen dat de houtexploitatie in de tropen niet tot ontbossen leidt, zijn verschillende certificaten ontwikkeld die een duurzaam bosbeheer waarborgen. Te noemen zijn het FSC (Forest Stewardship Council) en het PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) certificaat. Duurzaam bosbeheer houdt rekening met zowel ecologische (biodiversiteit), economische en sociale (lokale bevolking) aspecten. Sinds 2010 hanteert de overheid voor haar inkopen een duurzaam inkoopbeleid: 100% aantoonbaar duurzaam geproduceerd hout, volgens de eisen van het zogenaamde TPAS (Timber Procurement Assessment System). De overheid controleert of een bepaald keurmerk al dan niet voldoet aan TPAS.

In de Europese Unie is vanaf 3 maart 2013 de Europese Houtverordening (EU Timber Regulation, EUTR) van kracht. De EUTR maakt deel uit van het actieplan van de Europese Unie over wetshandhaving, goed bestuur en handel in de bosbouw (Forest Law Enforcement, Governance and Trade, FLEGT). FLEGT is in het leven geroepen om de illegale houtkap en handel in illegaal hout tegen te gaan.

Kwaliteitseisen

De kwaliteitseisen die voor het hout van damwanden gelden, staan in de NEN 5493:2011 vermeld. Voor de visuele sterktesortering van het hout worden de kenmerken volgens de 'Toepassingscategorie 3 Constructiehout' aangehouden. De sterkteclassificering wordt met 'C3 STH' aangeduid. De specifieke

Tabel 2. Beoordelingscriteria groeikenmerken voor visuele sterktesortering (NEN 5493)

Kenmerken ^{a)}	Criteria tropisch loofhout
Boordergangen	
<i>Geen kans op uitbreiding</i>	Zeer klein toelaatbaar
<i>Kans op uitbreiding</i>	Niet toelaatbaar
Draadverloop max.	1:10
Drukbreuk	Niet toelaatbaar
Opeenhopingen (l is de lengte en b is de breedte van de insluiting)	
<i>Hars</i>	Toelaatbaar
<i>Kalk</i>	$l \leq 100 \text{ mm}; b \leq 15 \text{ mm}$
<i>Gom</i>	Beperkt toelaatbaar ^{c)} ;
Hart	Niet toelaatbaar
Ingegroeide schors en/of bast	Niet toelaatbaar
Kwasten	
<i>Hard en vastzittend</i>	Toelaatbaar
<i>Hard en loszittend</i>	Niet toelaatbaar
<i>Zacht</i>	Niet toelaatbaar
<i>Kwastratio max.</i>	0,2
Mechanische beschadigingen	Toelaatbaar in de vorm van losgeraakte of gebroken vezels, mits niet dieper in het hout dan $0,1 \times$ houtdikte Ingesnoerde gedeelten door staalbanden zijn toelaatbaar indien de vezels ongeschonden zijn
Scheuren	
<i>Haarscheuren</i>	Toelaatbaar
<i>Langsscheuren</i>	Middelmatig toelaatbaar
<i>Hartscheuren</i>	Niet toelaatbaar
<i>Splijtscheuren</i>	Zeer klein toelaatbaar
<i>Eindscheuren</i>	Klein toelaatbaar
<i>Ringscheuren</i>	Niet toelaatbaar
Schimmelaantasting	
<i>Blauw tot grijs</i>	Toelaatbaar
<i>Bruin tot rood</i>	Niet toelaatbaar
<i>Wit tot geel</i>	Niet toelaatbaar
Spint	Toelaatbaar aan de onderzijde van de plank over max. 1/3 van de lengte
Wan	Toelaatbaar over een lengte van max. 250 mm vanaf de onderzijde, mits een goede passing van messing en groef gehandhaafd blijft
Vervorming gemeten over de gehele lengte l	
<i>Gebogen hout</i> ^{b)}	Max. $l/2000 \times 6 \text{ mm}$
<i>Krom hout</i>	Max. $1/3 \times$ de messinglengte
<i>Scheluw hout</i> ^{a)}	Max. $l/2000 \times 2 \text{ mm}$
<i>Hol hout (per 100 mm houtbreedte)</i>	Max. 2 mm
Overgroeiingen van tijdens de groei opgetreden beschadigingen	Beperkt toelaatbaar ^{c)}

a) De kenmerken en criteria zijn in de NEN 5493:2011 nader toegelicht, gekwantificeerd en geïllustreerd

b) De eis geldt voor de hele lengte van de plank. Voorbeeld: bij een planklengte van 5 m is de toegelaten buiging 15 mm en de toegelaten scheluwte 5 mm

c) Beperkt toelaatbaar: hieronder wordt verstaan dat de toepassing en/of verwerking niet negatief wordt beïnvloed

kenmerken voor het hout voor damwanden en beschoeiingen zijn in 'Toepassingscategorie 4' van deze norm vermeld. In tabel 2 zijn de sorteerkennmerken samengevat. Nadere toelichting van de kenmerken en de classificering staan in de bijlage van de NEN 5493:2011.

Voor een aantal houtsoorten die aan de visuele sortering, volgens de NEN 5493:2011 voldoen, is via proeven de hieraan gelinkte sterkteklassen bepaald. Deze zijn in de NEN-EN 1912:2012 opgenomen. Debijbehorende sterkteklassenprofielen bijvoorbeeld voor D70, D50 en D40 staan in de NEN-EN 338:2016. Door de letter 'D' wordt aangeduid dat het loofhout is en de '70' is de karakteristieke buigsterkte in N/mm² van deze sterkteklasse D70.

Hout dat aan de criteria voldoet die in tabel 2 zijn vermeld, voldoen ook aan de sterkteklasse criteria van NEN 5493:2011, Toepassingscategorie 3 (constructiehout).

Vorm en afmeting van planken en gordingen

De werkende breedte van damwandplanken ligt tussen ca. 150 mm en 300 mm. Damwandplanken worden geleverd in 'vallende breedten', wat wil zeggen dat de planken géén vaste breedte hebben. De gangbare maten zijn in tabel 3 te vinden. In overleg met de leverancier kunnen afwijkende maten worden geleverd.

Tabel 3. Gangbare lengten en dikten van damwandplanken

Lengte [mm]	Dikte van de damwand planken [mm]					
	30	40	50	60	80	100
1000	x	x	x	x		
1250	x	x	x	x		
2000	x	x	x	x		
2500	x	x	x	x	x	
3000	x	x	x	x	x	
3500		x	x	x	x	
4000		x	x	x	x	
4500			x	x	x	x
5000			x	x	x	x
6000				x	x	x

De afwijkingen van de nominale maten mogen niet groter zijn dan die in tabel 4. De kopse kanten van een damplank moeten nagenoeg haaks afgekort zijn.

Tabel 4. Maximaal toelaatbare maatafwijking

Nominale maat	Damwandplanken
Dikte gezaagd	+ en - 2 mm
Lengte	+ en - 3 %

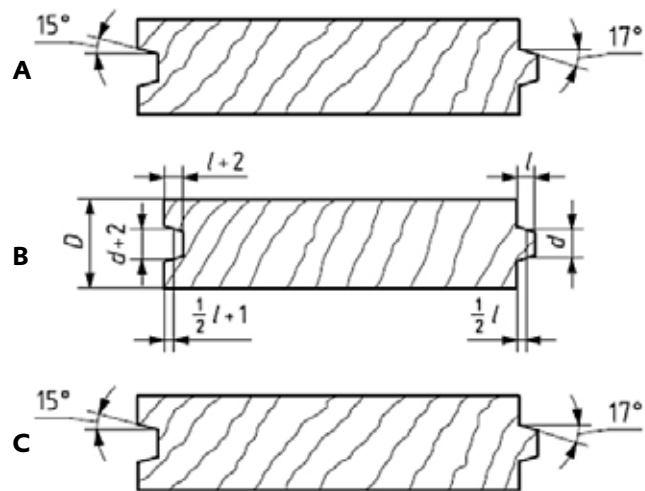
Messing en groef

Messing en groef hebben meestal een trapeziumvormige doorsnede, maar een rechthoekige doorsnede is ook mogelijk (figuur. 3). Dit hangt af van de beschikbare gereedschappen. Een trapeziumvormige doorsnede heeft voordelen bij de montage van de planken tot een damwand.

De groef wordt altijd 2 mm wijder en dieper dan de messing gemaakt. De lengte l en dikte d van de messing is afhankelijk van de plankdikte D (tabel 5). De maten gelden voor rechthoekige en trapeziumvormige profielen. Bij de trapeziumvorm wordt de messingdikte op de helft van de messinglengte gemeten. De schuine zijde van de groef maakt een hoek van 15°, bij de messing is deze hoek 17°.

Tabel 5. Afmetingen van messingen in damwandplanken

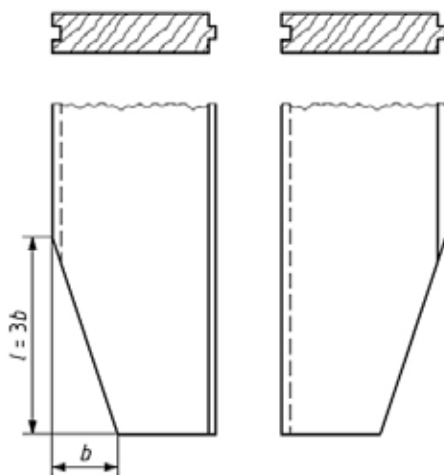
Houtdikte D [mm]	Messingdikte d [mm]	Messinglengte l [mm]
30	10	11
40	13	13
50	16	17
60	19	18
70	23	22
80	26	24
90	29	24
100	33	24



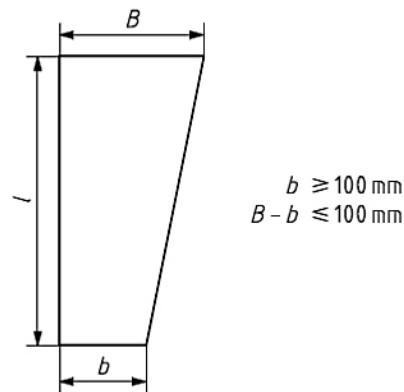
Figuur 3. Vorm en maatverhoudingen van messing en groef: A. rechthoekig (minder gangbaar), B. trapeziumvormig, C. hellingshoek.

Zoeker

In veel gevallen wordt aan de onderzijde van de planken een "zoeker" aangebracht, veelal aan de groefzijde (figuur 4). Deze schuine kant zorgt ervoor dat de plank tijdens het heien goed tegen zijn voorganger wordt aangedrukt.



Figuur 4. Zoeker.



Figuur 5. Spieplank.

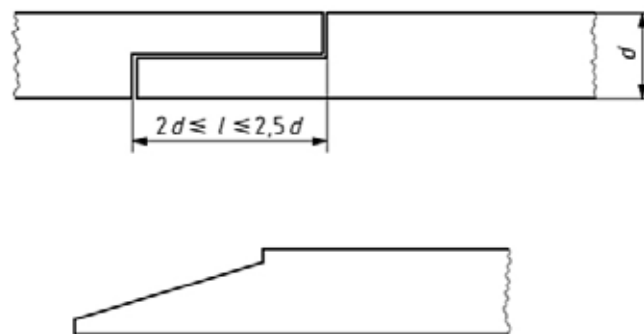
Spieplanken

Om het verloop van schuin geheide damwandplanken te compenseren, kunnen spieplanken of pasplanken worden geslagen, met een maximale tapsheid van 100 mm over de lengte van de plank (figuur 5). De resterende plankbreedte onderaan of bovenaan, moet minimaal 100 mm bedragen.

Lassen in gordingen

Er zijn geen voorschriften voor lengtelassen in gordingen. In figuur 6 zijn twee gangbare, goed functionerende vormen van liplassen in gordingen weergegeven.

De lengte l van de las is bij gangbare gordingafmetingen 2 tot 2,5 maal de dikte d van de gording.



Figuur 6. Liplassen in gordingen

Dimensionering en tabellen

De afmetingen van damwanden dienen te worden vastgesteld op basis van berekeningen volgens de Eurocodes. Voor de 3 meest voorkomende situaties zijn deze voor de brochure volgens de Eurocodes uiterekend en in tabellen 7 t/m 13 zijn de uitkomsten vastgelegd.

De drie situaties die zijn beoordeeld zijn:

- Een onverankerde damwand met variërende bovenbelasting
- Een verankerde damwand met variërende bovenbelasting
- Een verankerde damwand met het maaveld een halve meter boven het waterniveau met variërende bovenbelasting.

Voor de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De materiaaleigenschappen voor de grondtypen zijn bepaald conform NEN-EN-1997-1 en de bijbehorende Nationale Bijlage

- De materiaaleigenschappen van het hout zijn bepaald door toepassing van de sterkteklassen volgens EN 338. In tabel 1 staat vermeld welke sterkteklassen aan een aantal loofhoutsoorten kunnen worden toegekend.
 - De toetsing van het hout is uitgevoerd conform EN 1995-1-1. De systeemfactor k_{sys} die mag worden toegepast volgens EN 1995-1-1 is bepaald op basis van onderzoek verricht aan de TU Delft en TNO (TNO, 1998).
 - De belastingfactoren zijn bepaald conform EN 1990 en de bijbehorende Nationale bijlage
- Voor de berekeningsmethoden voor de inheidiepte en de bepaling van het maximale optredende moment zijn de methode Blum-Jenne voor niet verankerde damwanden en methode Blum voor verankerde damwanden volgens CUR 166 toegepast.

Toelichting op de uitgangspunten voor de berekening:

Gevolgklasse

Volgens de nationale bijlage bij EN 1990 geldt voor bouwwerken in gevolgklasse CC1 dat er geringe gevolgen zijn ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving. In de aanvulling/errata bij CUR 166 Damwandconstructies, is hieraan toegevoegd als voorbeeld: een ondiepe bouwput (een-laags kelder) en een kademuur met een beperkte kerende hoogte (max 5 m). In een toelichting wordt gesteld dat veel damwandconstructies voor ondiepe bouwputten, grondkeringen en waterkeringen (exclusief primaire waterkeringen) behoren tot gevolgklasse CC1. De berekende damwanden in deze brochure hebben een kerende hoogte lager dan 5 meter en worden daarom ingedeeld in CC1.

Geotechnische belastingen

Volgens NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 moet de uiterste grenstoestand GEO worden beoordeeld, gedefinieerd als bezwijken of buitensporige vervorming van de grond waarbij de sterktes van grond of rots bepalend zijn voor de te leveren weerstand.

Volgens NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011 geldt dat de uiterste grenstoestand (STR/GEO) (groep C) gebruikt moet worden voor damwandberekeningen. Voor de rekenwaarden van de belastingen voor grenstoestanden de belastingfactoren $Y_G = 1$ voor blijvende belastingen, zowel als deze ongunstig als gunstig werken. Voor de overheersende veranderlijke belasting geldt volgens tabel A.3 van NEN-EN-1997+C1+A1:2016 NB dat $Y_Q = 1.0$ voor gevolgklasse CC1.

Geotechnische materiaalfactoren en materiaaleigenschappen

De Materiaaleigenschappen voor de 3 grondsoorten die worden beschouwd volgens NEN-EN-1997+C1+A1:2016 NB zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6. Grondeigenschappen volgens NEN-EN-1997+C1+A1:2016 NB

	Volumieke massa doorg	Volumieke massa nat	Hoek van inwendige wrijving	wandwrijvingshoek
Grondsoort	γ (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	φ_k' (graden)	δ_a (graden)
Veen	12	12	15	5
Klei	20	20	25	16,7
Zand	17	19	30	20

De cohesie, die alleen van invloed is voor klei, is in de berekeningen niet meegenomen.

Er is in de berekeningen uitgegaan van rechte glijvlakken. De hoek van de wandwrijving is afhankelijk van de ruwheid van het wandoppervlak voor een bepaalde houtsoort. Houten damwanden kunnen als

ruw beschouwd worden voor zand en klei en als half ruw voor veen. De wandwrijvingshoek voor zand en klei wordt dan $2/3 \varphi_k'$ en voor veen $1/3 \varphi_k'$.

Volgens NEN-EN-1997+C1+A1:2016 NB geldt dat voor de partiele factoren voor de grondparameters voor een damwand in gevolgklasse CC1:

- Voor de tangens van de hoek van inwendige wrijving: $\gamma_\varphi' = 1.15$
- Voor het volumieke gewicht: $\gamma = 1.0$

De factoren voor de actieve en passieve gronddrukken zijn berekend volgens NEN-EN 1997-1+C1+A1/NB.

Houttechnische materiaalfactoren en materiaaleigenschappen

De rekenwaarde voor de buigsterkte van hout volgens EN 1995-1-1 is als volgt gedefinieerd:

$$f_{m,o,d} = f_{m,o,k} * k_{mod} * k_h * k_{sys} / YM$$

Waarin:

$f_{m,o,k}$ de karakteristieke buigsterkte van het hout. Deze wordt gegeven door de sterkteklasse waarin het hout is ingedeeld. In tabel 1 is een lijst met houtsoorten en bijbehorende sterkteklasse gegeven. Voor tropisch loofhout worden de sterkteklassen aangeduid met de letter "D" en daarachter een getal. Dit getal is de karakteristieke buigsterkte voor het hout.

De modificatiefactor k_{mod} is afhankelijk van de belastingduur en de klimaatklasse. Voor blijvende belasting en klimaatklasse 3 is de modificatiefactor $k_{mod} = 0.50$. Klimaatklasse 3 betekent dat het hout een vochtgehalte heeft hoger dan 20%, wat het geval is voor een damwand onder de waterlijn.

De hoogtefactor k_h brengt in rekening dat bij een dikte kleiner dan 150 mm een verhoging van de sterkte mag worden toegepast tot maximaal een factor 1.3 bij een dikte van 50 mm. Dit mag alleen voor hout met een karakteristieke volumieke massa minder dan 700 kg/m³, wat het geval is voor sterkteklassen van D55 en lager.

De materiaalfactor $YM = 1.3$ voor gezaagd hout.

De factor k_{sys} brengt de samenwerking van constructie-onderdelen in rekening. Op basis van onderzoek uitgevoerd door TNO en TU Delft uitgevoerd op azobé planken en damwanden (figuur 7) is vastgesteld dat een waarde $k_{sys} = 1.15$ kan worden aangehouden. Deze waarde kan ook voor andere tropische loofhoutsoorten worden toegepast.



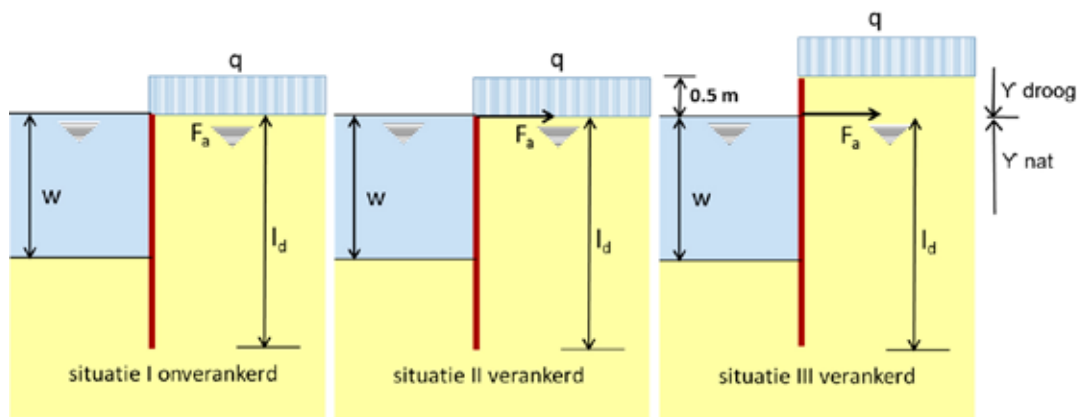
Figuur 7. Proefopstelling om de samenwerkingsfactor van azobé damwandplanken vast te stellen.

Voor D70 wordt de rekenwaarde van de buigsterkte dan: $f_{m,o,d} = 70 * 0,5 * 1 * 1,15 / 1,3 = 31,0 \text{ N/mm}^2$.

Berekeningsmethoden

In figuur 8 zijn de beschouwde situaties weergegeven:

- Situatie I: Een onverankerde damwand met variërende bovenbelasting
- Situatie II: Een verankerde damwand met variërende bovenbelasting
- Situatie III: Een verankerde damwand met het maaiveld een halve meter boven het waterniveau met variërende bovenbelasting



Figuur 8. De 3 beschouwde situaties

In de 3 verschillende situaties zijn de grondwaterstanden aan beide zijden van de damwand hetzelfde. Voor situatie I en II is de grondwaterstand gelijk aan de bovenkant van de damwand, voor situatie III is de bovenkant van de damwand een halve meter boven de grondwaterstand.

De berekeningsmethoden voor de bepaling van de inheidiepte en het maximale optredende moment zijn:

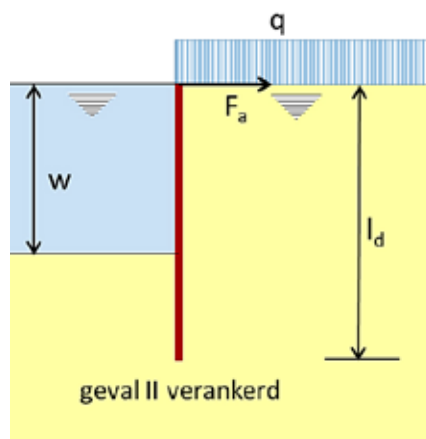
- Situatie I: De methode Blum-Jenne voor niet-verankerde damwanden. De gronddrukken aan beide zijden van de damwand nemen lineair met de diepte toe volgens de Coulombse gronddruktheorie. In eerste instantie wordt het inheiniveau bepaald doordat de som van de momenten om dit punt gelijk aan nul is. Deze afstand ten opzichte van dit in eerste instantie bepaalde inheiniveau met het punt waar de gronddrukken aan weerszijde van de damwand gelijk zijn, wordt dan met 1,2 vermenigvuldigd om de uiteindelijke inheidiepte te bepalen. Wanneer de lengte van de damwand bekend is kan het maximale moment worden bepaald.
- Situatie II: De methode Blum voor verankerde damwanden. De gronddrukken aan beide zijden van de damwand nemen lineair met de diepte toe volgens de Coulombse gronddruktheorie. Er wordt van uitgegaan dat de verplaatsing ter plaatse van de verankering nul is. Op basis hiervan kan door middel van verplaatsingsvergelijkingen in eerste instantie het inheiniveau, en de benodigde ankerkracht worden bepaald. Nu wordt ook het punt waar de gronddrukken aan weerszijde van de damwand gelijk zijn bepaald en de afstand van dit punt ten opzichte van de in eerste instantie bepaalde inheidiepte wordt dan met 1,2 vermenigvuldigd. Dit is de uiteindelijke inheidiepte. Wanneer deze bekend is wordt de ankerkracht herberekend voor deze inheidiepte en kunnen het maximale inklemmingsmoment en maximale veldmoment worden bepaald.
- Situatie III: Deze situatie wordt op dezelfde wijze berekend als geval II methode Blum voor verankerde damwanden. Het verschil is dat het maaiveld aan de rechterzijde (actieve zijde) van de damwand nu een halve meter hoger is dan de grondwaterstand, hetgeen verwerkt wordt in de gronddrukken.

Op basis van de gevonden maximale momenten wordt voor alle gevallen de dikte van een houten damwand van loofhout voor de sterkteklassen D40, D50 en D70 bepaald. Voor alle gevallen zijn de inheidiptes en damwanddiktes bepaald voor verschillende waarden voor een veranderlijke bovenbelasting q . Er is vanuit gegaan dat deze bovenbelasting over een oneindige lengte naast de damwand aanwezig is. De bovenbelasting levert een extra horizontale actieve gronddruk die in de berekening is meegenomen.

Tabellen met inheidiptes en damwanddiktes

De uitkomsten van de berekeningen zijn weergegeven in tabellen 7-13. De tabellen geven de benodigde damwandlengtes, de damwanddiktes voor sterkteklassen D40, D50 en D70 en ankerkrachten voor verschillende waterdieptes en bovenbelasting. De tabellen geven de resultaten van berekeningen op basis van een gelijke grondwaterstand aan beide zijden van de damwand. Voor variërende grondwaterstanden en gemengde grondopbouw kunnen computerprogramma's zoals D-Sheet Piling gebruikt worden.

In de linker kolom is de grondsoort aangegeven. Er wordt vanuit gegaan dat de damwanden in 1 homogene grondsoort zijn geplaatst. In de kolommen daarnaast is per situatie de bijbehorende benodigde lengte van de damwand aangegeven en de benodigde dikte als hout uit sterkteklasse D40, D50 of D70 wordt toegepast. De lengtes en diktes kunnen dan worden afgerond naar de beschikbare handelsmaten. Voor de tabellen is een maximale lengte van 10 meter aangehouden en een maximale dikte van 100 mm. Voor specifieke toepassingen zijn andere afmetingen mogelijk. Als minimale praktisch dikte is 30 mm aangehouden. Waar uit de berekening een lagere dikte volgde is 30 mm in de tabel opgenomen en is deze cursief aangegeven. Voor de situaties II en III is de rekenwaarde gegeven voor de benodigde ankerkracht voor de desbetreffende inheidipte en bovenbelasting. Voor situatie I zijn 2 diktes opgegeven voor elke sterkteklasse. De eerste waarde wanneer alleen het sterktecriterium is beoordeeld. De tweede waarde wanneer ook het vervormingscriterium wordt beoordeeld. Hierbij is dan als vervormingscriterium aangehouden dat de verplaatsing van de bovenkant van de damwand niet meer mag zijn dan de kerende hoogte gedeeld door 100. Voor situatie II en III is de vervormingseis niet relevant.



Figuur 9. Notaties voor het voorbeeld

Uitgewerkt voorbeeld:

Bepaling van de afmetingen van de damwand, de benodigde ankerkracht en de afmetingen van de gording voor de volgende situatie (figuur 9):

- Waterdiepte $w = 2,5$ m
- Verankerde damwand als in situatie II
- De grondsoort is klei met $\varphi = 25^\circ$
- Een veranderlijke bovenbelasting van $q = 4$ kN/m²

Dan kan uit tabel 11 worden afgelezen:

- Lengte van de damwand $l_d = 4,63$ m
- Rekenwaarde van de ankerkracht: $F_{a_d} = 5,08$ kN/m
- De dikte van de damwand wordt 51 mm voor sterkteklasse D50 en 48 mm voor sterkteklasse D70

Damwanddiktes worden normaal gesproken met 10 mm dikteverschil geleverd, voor D70 zou dat in dit geval 50 mm worden. De capaciteit van het anker hangt af van de uitvoering van het ankerschot. Als voorbeeld wordt voor de berekening van de gording uitgegaan van een hart-op-hart afstand van de ankerstangen van 3,0 m. Wanneer wordt uitgegaan van de gording als een ligger op 4 steunpunten is de rekenwaarde van het moment voor de gording:

$M_d = 0,1 * 5,08 * 3^2 = 4,6$ kNm. Het benodigde weerstandmoment wordt dan $W_{benodigd} = 4600000 / 31,0 = 148387$ mm³. Een gording met breedte van 75 mm en een hoogte van 160 mm voldoet hieraan:

$W_{gording} = 1/6 * 160 * 75^2 = 150000$ mm³.

Tabel 7. Waterdiepte voor de damwand w= 0,5 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld(m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	
15 Veen	0	2,10	30	30	30	30	30	1,55	0,11	30	30	30	4,73	2,99	30	30	30	30	
	2	3,81	30	78	30	76	30	2,49	0,62	30	30	30	5,57	4,59	30	30	30	30	
	4	5,34	38		34		33	3,37	1,35	30	30	30	6,42	6,41	30	30	30	30	
	6	6,81	57		50		47	4,23	2,31	30	30	30	7,27	8,43	33	30	30	30	
	8	8,26	79		70		64	5,09	3,48	30	30	30	8,13	10,66	39	35	35	34	
	10	9,70			91		81	5,94	4,87	30	30	30	8,98	13,11	54	48	48	45	
25 Klei	0	1,08	30	30	30	30	30	0,90	0,15	30	30	30	1,64	1,75	30	30	30	30	
	4	1,32	30	30	30	30	30	1,02	0,44	30	30	30	1,70	2,80	30	30	30	30	
	8	1,52	30	39	30	38	30	1,13	0,76	30	30	30	1,77	3,86	30	30	30	30	
	12	1,69	30	48	30	47	30	1,23	1,12	30	30	30	1,83	4,93	30	30	30	30	
	16	1,86	30	57	30	55	30	1,32	1,51	30	30	30	1,90	6,01	30	30	30	30	
	20	2,02	30	66	30	64	30	1,40	1,93	30	30	30	1,98	7,11	30	30	30	30	
30 Zand	0	0,92	30	30	30	30	30	0,80	0,09	30	30	30	1,45	1,15	30	30	30	30	
	4	1,11	30	30	30	30	30	0,89	0,30	30	30	30	1,48	1,99	30	30	30	30	
	8	1,26	30	30	30	30	30	0,97	0,53	30	30	30	1,51	2,84	30	30	30	30	
	12	1,39	30	36	30	35	30	1,04	0,78	30	30	30	1,55	3,69	30	30	30	30	
	16	1,51	30	42	30	41	30	1,11	1,05	30	30	30	1,59	4,55	30	30	30	30	
	20	1,62	30	48	30	46	30	1,17	1,34	30	30	30	1,64	5,40	30	30	30	30	

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte /100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 7.
Waterdiepte voor de
damwand w= 0,5 m

Tabel 8. Waterdiepte voor de damwand w = 1,0 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld(m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	
15 Veen	0	4,20	30	68	30	66	30	59	3,11	0,43	30	30	30	6,38	4,51	30	30	30	
	2	6,00	42		37		36		4,08	1,33	30	30	30	7,24	6,52	32	30	30	
	4	7,62	65		57		53		4,98	2,46	30	30	30	8,10	8,74	39	35	33	
	6	9,17	90		80		72		5,87	3,83	30	30	30	8,96	11,18	54	48	45	
	8								6,74	5,41	37	33	32	9,81	13,83	63	56	52	
	10								7,60	7,21	45	40	39						
25 Klei	0	2,15	30	46	30	45	30	40	1,80	0,59	30	30	30	2,59	2,80	30	30	30	
	4	2,42	30	61	30	60	30	53	1,93	1,15	30	30	30	2,69	4,05	30	30	30	
	8	2,64	36	75	32	73	31	65	2,05	1,75	30	30	30	2,78	5,33	30	30	30	
	12	2,85	42	87	38	85	36	75	2,16	2,39	30	30	30	2,87	6,63	30	30	30	
	16	3,04	49	99	43	96	41	85	2,26	3,06	30	30	30	2,96	7,96	30	30	30	
	20	3,22	56		49		47	95	2,36	3,76	30	30	30	3,04	9,31	30	30	30	
30 Zand	0	1,85	30	35	30	34	30	30	1,59	0,36	30	30	30	2,29	1,77	30	30	30	
	4	2,05	30	47	30	46	30	41	1,70	0,76	30	30	30	2,36	2,73	30	30	30	
	8	2,23	30	57	30	56	30	49	1,79	1,19	30	30	30	2,43	3,71	30	30	30	
	12	2,38	33	66	30	64	30	57	1,87	1,64	30	30	30	2,49	4,70	30	30	30	
	16	2,52	38	74	34	73	32	64	1,95	2,11	30	30	30	2,55	5,71	30	30	30	
	20	2,66	42	83	38	80	36	71	2,02	2,60	30	30	30	2,61	6,72	30	30	30	

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte /100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 8.
Waterdiepte voor de
damwand w = 1,0 m

Tabel 9. Waterdiepte voor de damwand w = 1,5 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld (m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	
15 Veen	0	6,29	40		36		34		4,66	0,98	30	30	30	7,99	6,23	36	33	32	
	2	8,15	67		60		55		5,65	2,26	30	30	30	8,87	8,64	44	39	38	
	4	9,83	96		85		76		6,57	3,79	35	31	30	9,74	11,27	52	46	44	
	6								7,48	5,55	43	38	37						
	8								8,36	7,53	52	46	44						
	10								9,24	9,74	62	55	51						
25 Klei	0	3,23	39	80	35	78	34	69	2,70	1,34	24	22	21	3,51	4,19	32	30	30	
	4	3,50	49	97	43	95	42	84	2,83	2,16	28	25	24	3,62	5,69	35	31	30	
	8	3,74	59		52		49	98	2,96	3,03	31	30	30	3,72	7,21	37	33	32	
	12	3,96	68		60		56		3,07	3,94	34	30	30	3,82	8,77	40	36	34	
	16	4,17	78		69		63		3,18	4,88	37	33	32	3,92	10,36	42	38	37	
	20	4,37	87		77		69		3,29	5,86	39	35	34	4,01	11,97	45	40	39	
30 Zand	0	2,77	30	60	30	59	30	52	2,39	0,81	30	30	30	3,10	2,61	30	30	30	
	4	2,99	37	74	33	73	32	64	2,50	1,40	30	30	30	3,18	3,74	30	30	30	
	8	3,17	45	87	40	85	38	75	2,59	2,02	30	30	30	3,26	4,89	30	30	30	
	12	3,34	52	98	46	95	44	85	2,68	2,67	30	30	30	3,34	6,05	32	30	30	
	16	3,50	59		52		49	94	2,77	3,34	30	30	30	3,41	7,24	34	31	30	
	20	3,65	66		58		54		2,85	4,04	33	30	30	3,48	8,44	36	32	31	

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte / 100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een kleinere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 9.
Waterdiepte voor de
damwand w = 1,5 m

Tabel 10. Waterdiepte voor de damwand w= 2,0 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld(m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	
15 Veen	0	8,39	64		56		53		6,21	1,74	30	30	30	9,59	8,17	59	52	49	
	2							7,21	3,40	39	35	33							
	4							8,15	5,32	48	43	41							
	6							9,07	7,47	59	52	49							
	8							9,97	9,86	69	61	57							
25 Klei	0	4,31	62		55		52		3,60	2,38	37	33	32	4,42	5,90	47	42	40	
	4	4,58	75		66		61		3,73	3,47	41	37	35	4,53	7,64	51	45	43	
	8	4,83	87		77		70		3,86	4,61	45	40	39	4,64	9,43	54	48	46	
	12	5,06	99		87		78		3,98	5,79	49	44	42	4,75	11,25	58	51	48	
	16	5,28			97		86		4,10	7,00	53	47	45	4,85	13,10	62	54	51	
30 Zand	0	3,69	46	89	41	86	39	77	3,19	1,43	30	30	30	3,91	3,64	37	33	32	
	4	3,91	56		50		47	90	3,30	2,22	34	30	30	3,99	4,95	40	36	35	
	8	4,11	66		58		54		3,40	3,04	37	33	32	4,08	6,28	43	38	37	
	12	4,29	75		66		61		3,49	3,88	40	36	35	4,16	7,63	46	41	39	
	16	4,46	84		74		67		3,58	4,75	43	38	37	4,24	9,00	49	43	41	
20	4,61	92		82		73		3,66	5,64	46	41	39	4,31	10,39	52	46	43		

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte /100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 10.
Waterdiepte voor de
damwand w = 2,0 m

Tabel 11. Waterdiepte voor de damwand w= 2,5 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld(m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld(m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	
15 Veen	0							7,77	2,71	42	37	36							
	2							8,77	4,77	53	47	44							
	4							9,72	7,07	64	57	53							
	6																		
	8																		
	10																		
25 Klei	0	5,38	90		80		72	4,50	3,72	53	47	45	5,33	7,90	65	58	54		
	4	5,66			93		82	4,63	5,08	58	51	48	5,44	9,91	70	62	57		
	8	5,92					92	4,76	6,48	63	56	52	5,56	11,95	74	66	60		
	12							4,89	7,93	68	60	56	5,67	14,04	78	69	63		
	16							5,01	9,41	72	64	59	5,78	16,15	83	73	66		
	20							5,12	10,94	77	68	62	5,88	18,30	87	77	69		
30 Zand	0	4,62	66		59		55	3,99	2,24	42	38	36	4,71	4,85	51	45	43		
	4	4,84	78		69		63	4,09	3,22	47	41	40	4,80	6,34	55	49	46		
	8	5,04	90		79		71	4,20	4,23	51	45	43	4,89	7,86	59	52	49		
	12	5,23	100		89		79	4,29	5,27	55	48	46	4,97	9,40	62	55	52		
	16	5,40			98		87	4,38	6,33	59	52	49	5,06	10,96	66	58	54		
	20	5,57					94	4,47	7,42	62	55	52	5,14	12,54	69	61	57		

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte / 100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 11.
Waterdiepte voor de
damwand w = 2,5 m

Tabel 12. Waterdiepte voor de damwand w= 3,0 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3					
		ld(m)	D40 ¹⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)			
15 Veen	0						9,32	3,91	56	50	47								
	2																		
	4																		
	6																		
	8																		
	10																		
25 Klei	0	6,46			94		5,40	5,35	72	63	58	6,23	10,21	86	58	54			
	4						5,53	6,98	77	68	63	6,35	12,48	91	62	57			
	8						5,66	8,65	83	73	67	6,47	14,78	96	66	60			
	12						5,79	10,37	88	78	71	6,58	17,13		69	63			
	16						5,91	12,12	94	83	74	6,69	19,51		73	66			
	20						6,03	13,92	99	87	78	6,80	21,93		77	69			
30 Zand	0	5,54	90	79	72		4,78	3,23	57	50	48	5,51	6,25	67	45	43			
	4	5,77		91	81		4,89	4,40	62	55	51	5,60	7,93	72	49	46			
	8	5,97			90		5,00	5,60	67	59	55	5,70	9,63	76	52	49			
	12	6,16			99		5,09	6,84	71	63	58	5,78	11,36	80	55	52			
	16						5,19	8,09	76	67	61	5,87	13,11	84	58	54			
	20						5,28	9,38	80	71	65	5,95	14,89	88	61	57			

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte /100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 12.
Waterdiepte voor de
damwand w = 3,0 m

Tabel 13. Waterdiepte voor de damwand w= 3,5 m

φ	q (kN/m ²)	situatie 1						situatie 2						situatie 3						
		ld (m)	D40 ¹⁾ (mm)	D40 ²⁾ (mm)	D50 ¹⁾ (mm)	D50 ²⁾ (mm)	D70 ¹⁾ (mm)	D70 ²⁾ (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)	ld (m)	Fa (kN/m)	D40 (mm)	D50 (mm)	D70 (mm)		
15 Veen	0																			
	2																			
	4																			
	6																			
	8																			
	10																			
25 Klei	0	6,30							7,28	92	82	73	7,13	12,81		96			85	
	4	6,43							9,18	99	87	78	7,26	15,34					89	
	8	6,57							11,12		93	82	7,38	17,92					93	
	12	6,69							13,10		98	87	7,49	20,53					97	
	16	6,82							15,13			91								
	20	6,94							17,19			95								
30 Zand	0	6,46				90			4,39	73	65	60	6,31	7,82		75			68	
	4								5,76	79	70	64	6,41	9,69		80			72	
	8								7,16	84	75	68	6,50	11,59		84			75	
	12								8,58	90	79	71	6,59	13,51		88			79	
	16								10,03	95	84	75	6,68	15,45		92			82	
	20								11,51	99	88	78	6,77	17,42		96			85	

¹⁾Dikte wanneer alleen sterktecriterium wordt beoordeeld (alleen relevant voor geval 1)

²⁾Dikte wanneer vervormingscriterium (kerende hoogte / 100) wordt beoordeeld. (alleen relevant voor geval 1)

Minimum praktische dikte is 30 mm. Wanneer uit de berekeningen een smallere dikte volgde, is de waarde van 30 mm cursief weergegeven.

Tabel 13.
Waterdiepte voor de
damwand w= 3,5 m

Duurzaam ontwerp damwand constructie

Naast detaillering en houtsoortkeuze is het ontwerp en onderhoud van een damwand sterk van invloed op de totale levensduur van een damwand. Het overwoekeren van de damwand door planten kan de levensduur negatief beïnvloeden. Pas daarom deksloven toe en/of stem het preventief bermonderhoud hier op af.

De meeste grondsoorten zijn een gunstige voedingsbodem voor micro-organismen. Door het contact tussen hout en bodem zoveel mogelijk te beperken kan de levensduur van de damwandconstructie worden verlengd. Dit kan door het aanbrengen van bijvoorbeeld schoon zand (verdicht) achter de damwand, of andere technische oplossingen.

Het deel van de damwandplank dat in het water en in de grond staat, blijft voortdurend nat. Dat deel dat boven water uitsteekt, kan drogen waardoor het krimpt en scheuren kunnen ontstaan met vochtophoping door inwatering en degradatie als gevolg. Omdat te kunnen voorkomen, zou een houten lat kunnen worden aangebracht die de kopse kant van het hout afdekt.



Figuur 10. Damwandconstructie met deksloof.

Opslag van de damwand

Damwandplanken worden meestal in pakketten geleverd. Deze moeten vlak liggend en goed ondersteund buiten worden opgeslagen. De houten planken worden 'koud' op elkaar gestapeld, waardoor vochtverlies, kromtrekken en scheuren wordt beperkt.

Tijdens de opslag is het het beste de pakketten tegen zoninstraling te beschermen om het drogen of vervorming te voorkomen. Dat kan bijvoorbeeld door het hout met een zeil af te dekken of onder dak te zetten.

Uitvoering

Het eindresultaat is afhankelijk van de nauwkeurigheid en vakkundigheid waarmee de damwand wordt geplaatst.

Meestal wordt er met een lichte heistelling geheid, vanaf de oever of vanaf het water. Op de oever wordt vaak gebruik gemaakt van een mobiele kraan, die zich verplaatst over draglineschotten. Vanaf het water wordt met een speciale drijvende heistelling of met een hydraulische kraan op een dekschuit geheid.

Er kan met een valblok, dieselblok of een trilblok worden geheid, als het gewicht daarvan aan de lengte, breedte en dikte van de damplanken en aan de grandslag waarin geheid wordt, aangepast wordt. Bij het valblok moet erop gelet worden dat de valhoogte de 2 m a 2.5 m niet overschrijdt.

Om de juiste richting te houden, wordt meestal tussen twee heigordingen geheid. Hierop worden tevens de leiders van de heistelling geplaatst. Deze worden bijvoorbeeld met klemmen aan de al staande damwand bevestigd. Voor deze heigordingen wordt naaldhout gekozen omdat dat het licht is en blijft drijven, waardoor zij gemakkelijk vooruit geschoven kan worden. Met behulp van een laser kunnen damwanden ook zonder heigordingen in de juiste richting worden geheid.

Om het heien te vergemakkelijken worden, vooral in zandachtige grond, de damplanken vaak gespoten. Met een hogedrukspuitlans wordt de grond losgewoeld. Daarbij moet worden opgelet dat de reeds geheide planken niet van hun plaats worden gedrukt. Daarom dient de laatste 0,5 m altijd geheid te worden zonder spuiten.

Damplanken worden naar keuze met de groef of de messing vooruit geheid. In het eerste geval wijkt de grond makkelijker uiteen als wanneer de groef voor zou staan. De planken worden met de groef vooruit geheid als zij ingespoten worden. De groef fungeert dan als geleiding voor de spuitlans.

Zoals hiervoor beschreven, worden de damplanken standaard altijd met een "zoeker" aan de groefzijde voorzien. Deze zit aan de vrije kant van de plank. Met moderne trilblokken kunnen er een paar planken tegelijk worden geheid. De zoeker hoeft dan alleen aan de voorste plank te worden aangebracht.

Tijdens het heien worden de planken aan de bovenzijde stijf tegen de al geheide planken door een kort stuk damplank aangedrukt.

Als de planken na het heien niet helemaal verticaal staan, kan dit met een spieplank of pasplank worden gecorrigeerd. In elk geval moet de damwand te lood staan op de plaats waar een hoek gemaakt moet worden.

Om een damwand van richting te laten veranderen worden op de hoeken dampalen of damposten geheid. Dampalen voor haakse hoeken hebben een vierkante doorsnede. Omdat er twee groeven in gemaakt worden, moeten zij groter zijn dan de wand dik is: tenminste tweemaal zo dik. Voor flauwe hoeken worden de dampalen zo gemaakt dat de zijkanten die een groef hebben, loodrecht op de richting van de aangrenzende damwand staan. Om weer met de messingkant in de heirichting te komen, moet de eerste damplank die na een dampaal wordt geheid, aan weerszijden een messing hebben.

Aan de bovenkant wordt een damwand voorzien van een of twee gordingen en bij voorkeur afgedekt met een deksloof. Deze worden bevestigd met goed tegen corrosie beschermde bouten. De gordingen worden in de lengterichting meestal door liplassen verbonden. Deze liplassen bepalen in het algemeen de plaats van de ankers, te weten een net naast de las en een midden tussen de lussen.

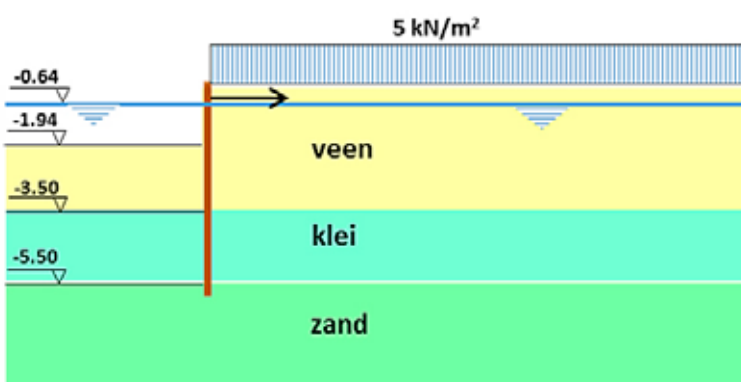
Milieuaspecten

In 2016 is een studie over de milieubelasting van zes typen damwand onderling vergeleken. Hierbij werden de meest gebruikte houtsoorten die voor damwanden worden gebruikt: azobé, okan (Afrika) en angelim vermelho (Zuid-Amerika) onderzocht. Daarna werden de uitkomsten vergeleken met damwanden van kunststof (gerecycled en virgin) en staal. De damwanden werden ontworpen voor dezelfde

toepassings situatie (figuur 11). Op basis van een geotechnisch analyse door Geobest (2015) zijn de gekozen profielen allemaal technisch vergelijkbaar.

De aangehouden levensduur van damwanden is, zoals door veel gemeenten geëist, 30 jaar voor hout en kunststof, en 100 jaar voor de stalen damwand. Als functionele eenheid is gekozen voor 1 m² damwand.

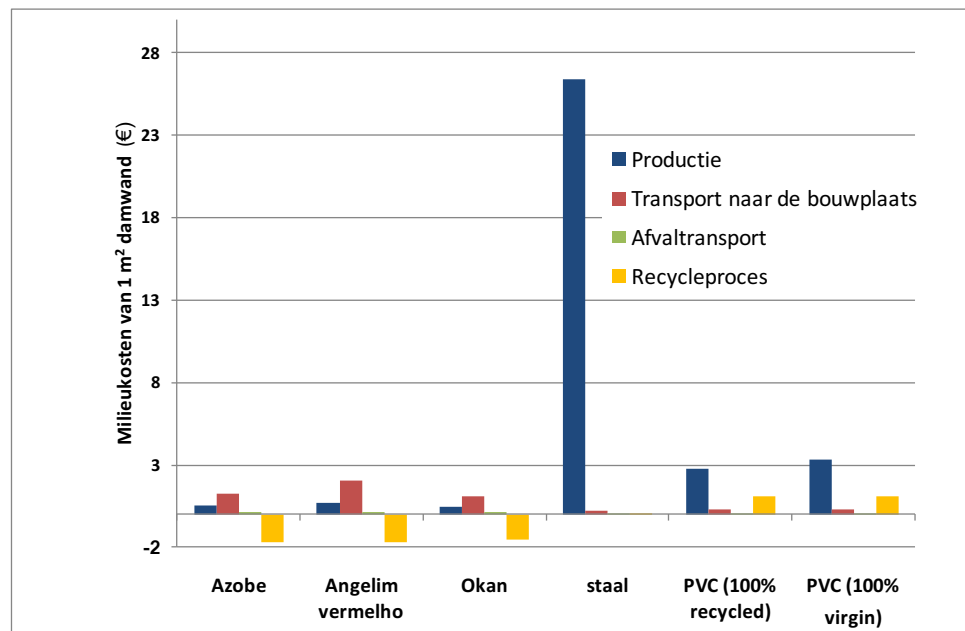
De bepaling van de milieu-impact van damwanden in staal en kunststof zijn op identieke wijze geanalyseerd als de houten damwand en overeenkomstig de SBK-eisen. Er is gebruik gemaakt van publiek beschikbare data.



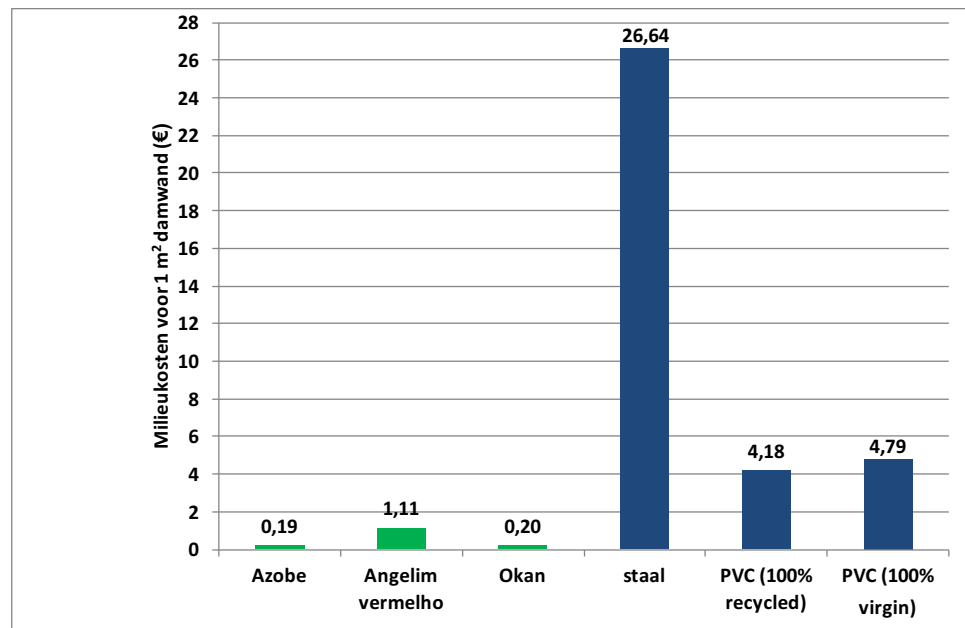
Figuur 11. Toepassingssituatie van de damwand.

Uit deze verkennende studie blijkt dat duurzaam geproduceerd loofhout beter scoort dan kunststof of staal. Ook blijkt dat het verschil tussen gerecycled kunststof nauwelijks beter te zijn dan 'virgin' kunststof. Dat komt omdat voor het maken van gerecycled kunststof producten veel energie nodig is. Staal scoort ongunstig door het hoge gewicht en de hoeveelheid energie die nodig is voor de productie en recycling.

De milieukosten zijn uitgedrukt in Euro's (Milieu Kosten Indicator, MKI). Over de gehele levensduur van de houten damwand zijn de milieukosten met 0.19 EUR per m² veruit het laagst (figuur 12 en 13).



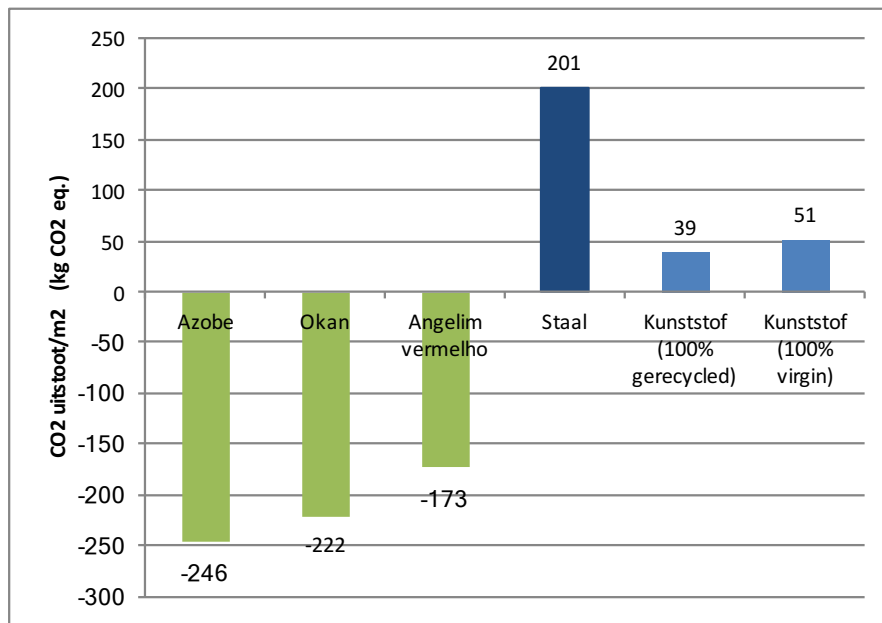
Figuur 12. Verdeling van verschillende kostencategorieën binnen de Milieukosten van de damwand.



Figuur 13. Totale milieukosten van 1 m² damwand.

CO₂ footprint hout

Hout kan bijdragen aan het behalen van CO₂-reductiedoelstellingen. Dit kan door a) hout te gebruiken als CO₂ opslag, of b) door hout te gebruiken als vervanging van materialen met een hoge(re) CO₂ uitstoot. Bomen leggen CO₂ vast in de vorm van hout. Dat is gemiddeld 900 kg CO₂ vast per m³. Deze hoeveelheid CO₂ wordt over de levensduur vast gelegd en draagt dan niet bij aan het broeikas effect. Doordat bij verbranding of vertering een zelfde hoeveelheid vrijkomt als eerst door bomen in het hout werd vast gelegd is het gebruik van hout CO₂-neutraal. (Hoeveel CO₂ hout vastgelegd kan berekend worden met: www.opslagCO2inhout.nl).



Figuur 14. CO₂ uitstoot kg CO₂ eq. per m² damwand voor hout, staal en kunststof.

Verder hebben houtproducten een lage of zelfs negatieve CO₂-uitstoot wanneer de hele levenscyclus, van winning tot afvalfase, wordt bekeken. Negatief wil zeggen dat er aan het einde van de levensduur meer energie wordt opgewekt dan er is verbruikt; deze energie spaart daarmee tevens fossiele brandstoffen; dit in tegenstelling tot alternatieve materialen (zie figuur 14). Bij vervanging van andere materialen wordt niet alleen hun CO₂ uitstoot voorkomen, maar ook extra CO₂ vastgelegd.

Literatuur en normen

Literatuur

- Centrum Hout, Probos (2013a). Europese Houtverordening (EUTR) om illegaal gekapt hout van de EU-markt te weren. Houtdatabase.nl, Infoblad uitgave 12/2013. Almere, Nederland, www.houtinfo.nl/bos-milieu/eutr-en-flegt, 2016.
- Centrum Hout, Houtinfoblad: Houten damwand heeft laagste milieubelasting - Uitkomsten LCA-onderzoek naar de milieubelasting van damwanden in kunststof, staal en hout, in samenwerking met FSC Nederland en EUSTTC/IDH, E&Y, april 2016.
- Centrum Hout, Probos (2013b). Forest Law Enforcement, Governance and Trade. Houtdatabase.nl, Infoblad uitgave 12/2013. Almere, Nederland, www.houtinfo.nl/bos-milieu/eutr-en-flegt, 2016.
- CUR 166: Damwandconstructies, 6e druk 2012 + errata 4 augustus 2012.
- BS 5756:2007. Visual grading of hardwood – Specification. British Standard, London, UK.
- FAO (2010). Global Forest Resources Assessment 2010 - Main report. FAO Forestry Paper 163, Rome, Italy.
- FAO (2009). Vital Forest Graphics. FAO, UNEF, UNEP/GRID-Arendal, Arendal, Norway.
- NF B 52-001-1:2011. Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus. Association Française de Normalisation (AFNOR), La Plaine Saint-Denis, France.
- Geobest (2015). Vervanging damwand-Vergelijking staal en kunststof tegenover hout. Rapport 27625-R001-RBR-Rev2. VVNH, Almere, Nederland.
- Klaassen, R.K.W.M. (2017). Houtvademecum, 11e druk Uitgeverij Lakerveld, Rijswijk, Nederland
- Rijksdienst voor Ondernemers, RvO (2013), Vergelijkende LCA studie bruggen - Vaststellen van duurzaamheidscore van bruggen uitgevoerd in staal, beton, composiet en hout.
- TNO (1998). Het toetsen van naaldhouten en azobé damwandplanken. TNO-rapport 98-CON-R1262/1. Delft, Nederland.

Normen

- NEN 5461:1999 Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) - Gezaagd hout en rondhout - Algemeen gedeelte. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 338:2016. Hout voor constructieve toepassingen. Sterkteklassen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 350:2016. Duurzaamheid van hout en houtachtige producten - Beproeving en classificatie van de weerstand tegen biologische agentia, de doorlaatbaarheid van water en de prestaties van hout en houtachtige materialen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 1912:2012. Hout voor constructieve toepassingen. Sterkteklassen- Toewijzing van visuele sorteringsklassen en houtsoorten. NEN-EN 338:2016. Hout voor constructieve toepassingen. Sterkteklassen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011. Eurocode. Grondslagen van het constructief ontwerp. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011. Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN-1997+C1+A1:2016. Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN-1997+C1+A1:2016 NB. Nationale bijlage bij NEN-EN-1997+C1+A1:2016. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 14081-1:2016. Houtconstructies. Op sterkte gesorteerd hout met rechthoekige doorsnede- Deel 1: Algemene eisen.
- NEN 5493:2011. Kwaliteitseisen voor loofhout in grond-, weg- en waterbouwkundige werken en andere constructieve toepassingen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, Nederland.



COLOFON

Deze brochure is een uitgave van Centrum Hout en Koninklijke Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen (VVNH), beide te Almere. De inhoud is tot stand gekomen met medewerking van Delft University of Technology, Timber Structures and Wood Technology en leveranciers van duurzaam geproduceerd hout voor damwanden.

Centrum Hout
Westeinde 8
1334 BK Almere
Tel. 036- 5329821
Internet: www.centrum-hout.nl
E-mail: info@centrum-hout.nl



Meer informatie

Heeft u vragen over hout, houtproducten, houttoepassingen of milieuaspecten van hout in de gww, neem dan contact op met de helpdesk van Centrum Hout. Dit kan via de Houtinformatielijn, 0900-5329946 (15 cpm) of per e-mail: helpdesk@centrum-hout.nl. Voor meer informatie over hout en houttoepassingen in de gww kunt u ook terecht op www.houtindegww.nl.

Voor het berekenen van de CO₂-opslag in hout: www.opslagCO2inhout.nl.

Informatie over duurzaam geproduceerde houtsoorten, eigenschappen, voorbeeldprojecten en leveranciersinformatie vindt u op: www.houtdatabase.nl.

Foto's

Foto cover/figuur 3 en achterzijde: Wijma Kampen
Figuur 7: Delft University of Technology

Disclaimer

Centrum Hout en de boven genoemde partijen hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het opstellen van de opgenomen gegevens, maar zijn niet verantwoordelijk voor eventuele onjuiste informatie. De gebruiker aanvaardt daarvoor het risico.

Deze brochure wordt u aangeboden door: