



Ongetoetst LCA-rapport beschoeiingselement hout en gerecycled kunststof

In opdracht van Unie van Waterschappen



Committed to the Environment

Ongetoetst LCA-rapport beschoeiingselement hout en gerecycled kunststof

In opdracht van Unie van Waterschappen

De analyse is opgesteld en rapport geschreven door: Maarten Bruinsma

Interne review door: Marijn Bijleveld

Delft, CE Delft, april 2021

Publicatienummer: 20.190163.095c

Levenscyclusanalyse / Waterschappen / Bouwelementen / Nationale Milieudatabase / Dubocalc / Categorie 3

Opdrachtgever: Unie van Waterschappen

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Ingrid Odegard (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Colofon LCA-rapport

Onderzoeksgegevens

Naam onderzoek	(Ongetoetst) LCA-rapport voor Unie van Waterschappen
Versie	1.1
Project	DuboCalc bij Waterschappen
Projectnummer	190163
SimaPro-versie	9.0.0.49
NMD-versie	3.1
Ecoinvent-versie	3.5
Impactanalyse methode	MKI-SBK single-score-set (SBK-Bepalingsmethode, december 2019 (na NMD 3.1) v3.04)
Looptijd project	April 2019 - juli 2020

Opdrachtgever

Organisatie	Unie van Waterschappen
Contactpersoon	Meinke Schouten
Adres	Koningskade 40 2596 AA Den Haag
Telefoonnummer	070-3519 751
E-mail	info@uvw.nl

Uitvoerende organisatie

Organisatie	CE Delft
Contactpersoon	Ingrid Odegard
Adres	Oude Delft 180, 2611 HH Delft
Telefoonnummer	015-2150 150
E-mail	ce@ce.nl



Inhoud

	Colofon LCA-rapport	3
1	Inleiding	5
	1.1 Project	5
	1.2 Korte productomschrijving	5
	1.3 Methodologie en materialen	5
	1.4 Doel en reikwijdte	7
2	Inventarisatie en modellering	10
	2.1 Productomschrijving	10
	2.2 Inventarisatie productgegevens	11
	2.3 Datakwaliteit en representativiteit	24
3	LCA-resultaten	25
	3.1 MKI-scores (gewogen milieuprofiel)	25
	Bronvermelding	27



1 Inleiding

1.1 Project

In het kader van het project ‘Dubocalc bij waterschappen - Duurzame stappen met MVI’ (projectnummer 190163) voert CE Delft een aantal levenscyclusanalyses (LCA) uit voor de Unie van Waterschappen. Het doel is om waterschap-specifieke items die niet – of incompleet – aanwezig zijn in Dubocalc¹ toe te voegen aan de database.

Het gaat hier om Categorie 3 (cat.3)-LCA's. Een cat.3-LCA wordt opgesteld op basis van generieke milieukundige (achtergrond)informatie en op basis van representatieve samenstelling van het product, zoals in gebruik door Waterschappen. Deze zijn niet getoetst volgens het SBK-toetsingsprotocol en daarom is bij de toepassing van deze data een ophoging van 30% van toepassing op de milieueffectresultaten, die door SBK in de rekenregels wordt doorgevoerd (SBK, 2019).

1.2 Korte productomschrijving

Het beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof heeft als hoofdfunctie grondkering en oeverbescherming. Het bestaat uit gerecycled kunststof panelen van 0,55 meter hoog (type ‘Delfland’), met daaronder vurenhouten schotten van 0,45 meter hoog. De schotten in de grond worden verankerd met vurenhouten palen van 4 meter lang met daar bovenop een gerecycled kunststoffen paalhuls van 0,60 meter lang. De zachthouten palen en kunststoffen paalhuls zijn als apart product gemodelleerd in Dubocalc. De hart op hart afstand van de zachthouten palen is 0,7 m.

De RAW-code van dit product is 522103.

De zachthouten palen en kunststoffen paalhuls zijn als één product gemodelleerd in GWW hoofdstuk 47.

1.3 Methodologie en materialen

Methodologie

Deze cat.3-LCA is opgesteld volgens de regels van de ‘Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken’ (SBK, 2019). Deze methode is gebaseerd om de norm NEN-EN 15804 (NEN 2013), welke op haar beurt weer gebaseerd is op NEN-EN-ISO 14044:2006 (NEN 2006), NEN-EN-ISO 14025:2010 (NEN 2010) en NEN-EN 15978:2011 (NEN 2011).

¹ <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/duurzaamheid-bij-contracten-en-aanbestedingen/dubocalc/index.aspx>

Software, databases en milieueffectbepaling

De gebruikte software voor het LCA-model is SimaPro 9.0.0.49. De gebruikte achtergrond-databases zijn de Nationale Milieudatabase (NMD) 3.1² en Ecoinvent 3.5³. Voor de milieueffectbepaling is de selectie van milieueffectcategorieën en karakterisatiefactoren gemaakt op basis van de 'SBK-Bepalingsmethode, december 2019 (na NMD 3.1) v3.04', geïntegreerd in SimaPro. Deze methode is gebaseerd op de CML-IA-database⁴. Weging vindt plaats op basis van de 'MKI-SBK single-score'-set, ook geïntegreerd in SimaPro. Deze weging is gebaseerd op een rapportage over de schaduwprijsmethode (van Harmelen et al., 2004).

Lasten en baten van hergebruik, recycling en verbranding in AVI

De lasten en baten van hergebruik, recycling en energierterugwinning (thermisch en elektrisch) na verbranding in een afvalenergiecentrale (AVI) zijn gemodelleerd volgens de methodologie beschreven in de SBK-Bepalingsmethode (Paragraaf 2.6.4.3. voor hergebruik en recycling en Paragraaf 2.6.3.6. voor verbranding). De verwerkingsrichtingen worden per materiaal bepaald op basis van forfaitaire waarden (Bijlage V van de bepalingmethode).

De productie van secundair materiaal levert milieubaten of lasten op die verrekend worden in de eindresultaten. De baten komen voort uit de vermeden (primaire) productie van datzelfde materiaal. Lasten komen voort uit het verlies van secundair materiaal dat in Module A gebruikt is, maar in Module C niet gerecycled of hergebruikt wordt. In het geval van recycling schrijft SBK voor dat deze baten gecorrigeerd worden voor het aandeel secundair materiaal dat al in het product aanwezig was. In het geval van hergebruik mag worden aangenomen dat het secundaire materiaal of product de (primaire) productie van dat materiaal of product voor 100% uitspaart.

Verbranding in een AVI levert zowel milieubaten als -lasten op. De lasten (emissies van verbranding) vallen onder Fase C3, de baten (vermeden productie van elektriciteit en warmte) vallen onder Fase D.

MKI-scores (gewogen milieuprofiel)

Om alle milieueffecten bij elkaar op te kunnen tellen is het nodig deze te vertalen naar een waarde met één enkele eenheid, in dit geval de Milieu Kosten Indicator (MKI)-score met eenheid Euro (€). In deze vertaalslag wordt een economische waarde toegekend aan een fysiek milieueffect. Daarmee worden de effecten onderling impliciet gewogen, omdat het ene milieueffect economisch schadelijker wordt geacht dan het andere. Om deze reden spreken we bij MKI-scores van een gewogen milieuprofiel.

Gekarakteriseerde waarden (ongewogen milieuprofiel)

Gekarakteriseerde waarden zijn de resultaten van de milieueffectcategorieën in de oorspronkelijke eenheid, op emissieniveau en zonder weging door middel van MKI-waarden. Voor de milieueffectcategorie klimaatverandering is deze eenheid bijvoorbeeld kilogram CO₂-equivalenten (waarin alle broeikasgassen vertaald zijn naar hun relatieve sterkte ten opzichte van CO₂). Aangezien de verschillende milieueffecten op deze manier niet met

² <https://milieudatabase.nl/>

³ <https://www.ecoinvent.org/>

⁴ <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>



elkaar vergeleken kunnen worden (en ook niet opgeteld kunnen worden), spreken we van een ongewogen milieuprofiel.

1.4 Doel en reikwijdte

Doel en doelgroep

Het doel van deze studie is om een LCA op te stellen die voldoet aan de eisen voor cat.3-data zoals die gesteld zijn in de SBK-Bepalingsmethode, teneinde de MKI-scores en gekarakteriseerde waarden van een beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof toe te kunnen voegen aan de Nationale Milieudatabase (en uiteindelijk in DuboCalc kunnen worden gebruikt).

De doelgroepen voor deze LCA zijn SBK, de beheerders van DuboCalc, medewerkers van de Waterschappen die met DuboCalc werken, aannemers en producenten.

Functionele eenheid

De functionele eenheid is één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (branche-gemiddeld), met een levensduur van 50 jaar. De functionele eenheid van de hardhouten palen is één set van 1,43 palen van drie meter lang, met een levensduur van 50 jaar. Dit is de hoeveelheid palen die benodigd is per strekkende meter beschoeiingselement (ongeacht de hoogte van de schotten). De beschoeiing van één vierkante meter is standaard 1 strekkende meter lang. Als de gebruiker in Dubocalc de hoogte van het beschoeiingspaneel aanpast, zijn er niet meer palen benodigd. Schaling van de schotten heeft dus geen invloed op de benodigde hoeveelheid palen.

De beschoeiing van hout en kunststof betreft betreffen een verzameling van technische productonderdelen. Volgens de CUAS-systematiek (Constructie, Uitwerking, Afwerking, Schilderwerk) omvat de functionele eenheid de elementen zoals beschreven in Tabel 1 en Tabel 2.

Tabel 1 - Productonderdelen van één vierkante meter beschoeiing volgens de CUAS-systematiek

CUAS-categorie	Element	Eenheid
C (constructie)	Paneel	m
C (constructie)	Schot	m

Tabel 2 - Productonderdelen van één set palen (2 palen) volgens de CUAS-systematiek

CUAS-categorie	Element	Eenheid
C (constructie)	Palen	Set (2 stuks)
C (constructie)	Paalhuls	Set (2 stuks)

Productstelsysteem

Alle levenscyclusfasen uit de SBK-Bepalingsmethode zijn van toepassing op deze LCA. Figuur 1 toont de fasen en belangrijkste processtappen van de levenscyclus van het beschoeiingselement van vurenhout en gerecycled kunststof. De in- en outputs van deze processtappen zijn in detail beschreven bij de inventarisatie productgegevens (Paragraaf 2.2).

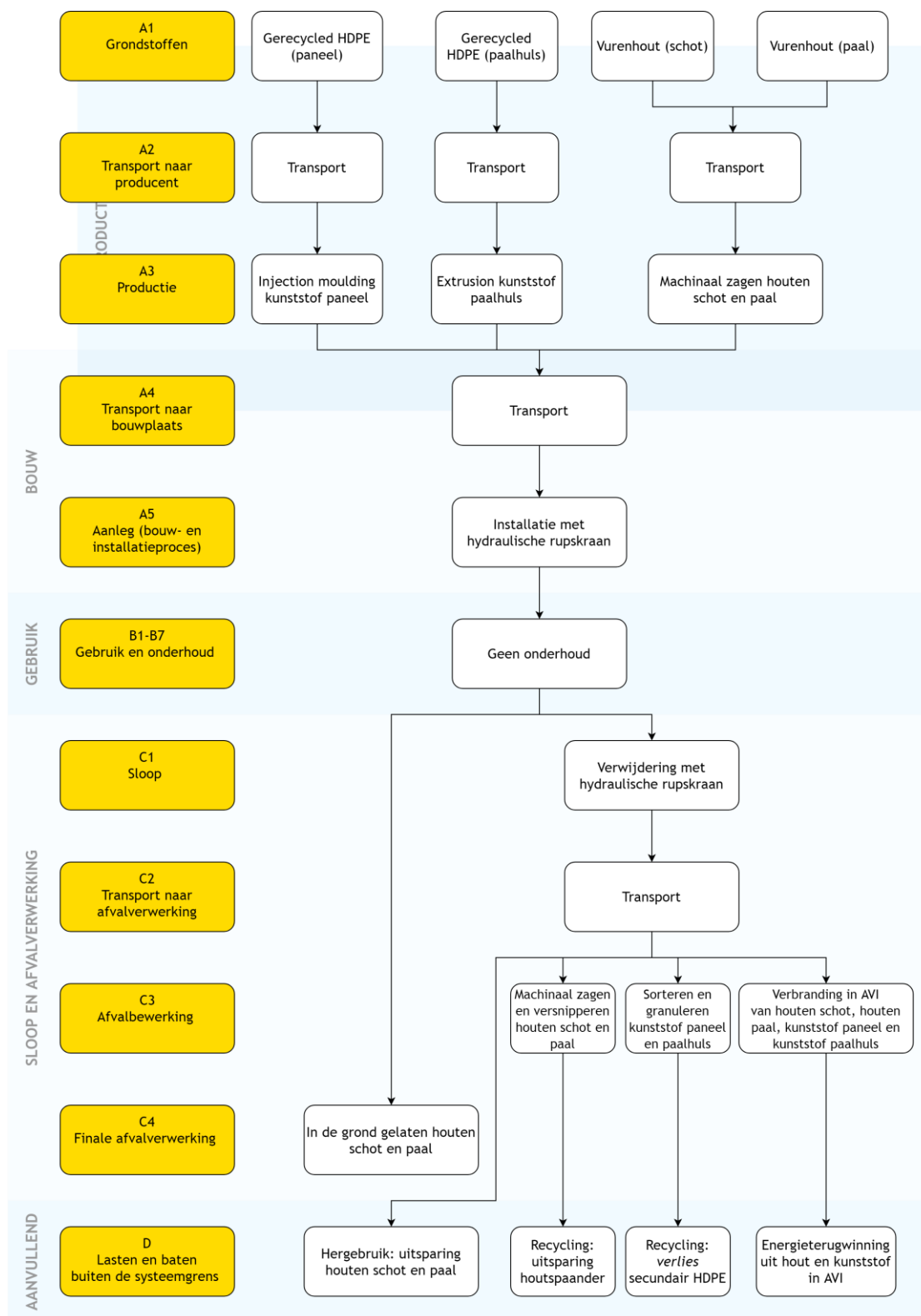
Systeemgrenzen en cut-offs

Selectie van processen en bepaling van cut-offs vindt plaats op basis van de beschrijving van systeemgrenzen (Paragraaf 2.6.3.4. en Bijlage III) en cut-off-criteria (Paragraaf 2.6.3.5.) in de SBK-Bepalingsmethode. Er is geen vermoeden dat relevante in- en outputs zijn weggelaten.

De vereiste emissies zoals gesteld in Paragraaf 2.6.4.1. van de SBK-Bepalingsmethode zijn meegenomen, aangezien deze LCA gebruikmaakt van basisprocessen uit de NMD en Ecoinvent. Wanneer tijdelijke opslag van biogene koolstof in biomassa is gemodelleerd, dan is tevens de emissie hiervan aan het eind van de levenscyclus gemodelleerd.

Een schematisch overzicht van de levensfasen en processen van de beschoeiing van hout en kunststof is weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 - Levenscyclusfasen en belangrijkste processtappen van een beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (inclusief zachthouten paal)



2 Inventarisatie en modellering

2.1 Productomschrijving

Een beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Figuur 2) is een constructie die toegepast wordt om de stabiliteit van een oever of waterkant te vergroten. Een beschoeiing beschermt tegen invloeden zoals afkalven en golfkrachten. Beschoeiingen worden ook in de bouwsector gebruikt langs wanden van bouwputten om droog te kunnen werken.

Figuur 2 - Beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof



Bron: <https://hipgroen.nl/producten/beschoeiing-type-delfland/>

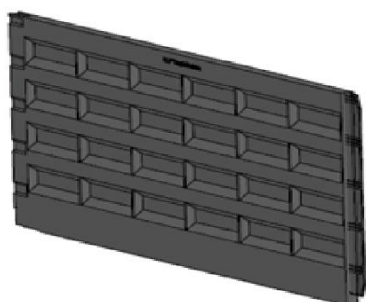
Deze gerecycled kunststof beschoeiing is samengesteld uit een gerecycled kunststof paneel en een vurenhouten schot, die op hun plek worden gehouden met combi-palen. Deze palen zijn opgebouwd uit een naaldhouten paal en een gerecycled kunststof paalhuls die aan het gerecycled kunststof paneel is bevestigd. Eventuele bevestigingselementen in de vorm van spijkers, schroeven of lijm zijn buiten beschouwing gelaten.

2.2 Inventarisatie productgegevens

Hierna volgt een kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving van de in- en outputs per levenscyclusfase. Daarbij wordt beschreven welke berekeningen zijn gemaakt en welke referentieprocessen zijn gebruikt voor het LCA-model.

De data over de productsamenstelling, aanleg en sloop zijn afkomstig van Waternet⁵. Aanvullende gegevens over afmetingen, materialen en gewicht zijn verkregen op basis van gemiddelde waarden van verschillende websites van de gespecificeerde producten en materialen. Transportafstanden en afvalscenario's zijn gebaseerd op forfaitaire waarden uit de SBK-Bepalingsmethode.

Figuur 3 - Kunststof paneel



Bron: <https://www.lankhorst-recycling.com/files/1/6/3/8/TECHNISCHE%20BROCHURE%20SEPTEMBER%202019%20-%20rev7.pdf>

Het gewicht van één gerecycled kunststof paneel is ingeschat op 5,23 kg. Voor het gerecycled kunststof paneel is uitgegaan van type Delfland zoals beschreven door HIP Groen⁶. Dit paneel is 0,55 meter lang, 0,25 meter breed en 0,06 meter dik, en heeft daarmee een volume van $8,25E-3 \text{ m}^3$. Het paneel is echter niet geheel massief. Op basis van de foto in Figuur 3 is aangenomen dat het volume van het paneel hierdoor met $1/3^e$ afneemt. De gerecycled kunststof panelen zijn gemaakt van oude flessendoppen, kratten en landbouwplastic⁷. Deze producten zijn over het algemeen gemaakt van hogedichtheid-polyetheen (HDPE). De dichtheid van HDPE is aangenomen op 950 kg/m^3 , dus één paneel weegt 5,23 kg. Met een breedte van 0,25 meter zijn er 4 panelen per vierkante meter beschoeiing nodig. Daarmee is het gewicht van de gerecycled kunststof panelen per vierkante meter beschoeiing 20,90 kg.

Het gewicht van één vuren houten schot is ingeschat op 1,55 kg. Voor het houten schot is uitgegaan van een lengte van 0,45 meter, zodat het paneel en het schot tezamen één meter lang is. Een houten schot is 0,03 meter dik en 0,25 meter breed⁶. De dichtheid is aangenomen op 460 kg/m^3 , aansluitend bij vuren hout in de NMD 3.1, dus één schot weegt 1,55 kg. Met een breedte van 0,25 meter zijn er vier panelen per vierkante meter beschoeiing nodig. Daarmee is het gewicht van de gerecycled kunststof panelen per vierkante meter beschoeiing 6,21 kg.

⁵ Aangeleverd in persoon door Waternet op 08-01-2020.

⁶ Referentie voor gerecycled kunststof en houten beschoeiing, zoals opgegeven door Waternet: <https://hipgroen.nl/producten/beschoeiing-type-delfland/>

⁷ Referentie voor kunststof beschoeiingspaneel, beschrijving kunststof: <https://www.lankhorst-recycling.com/nl/duurzaam-kunststof>

Het gewicht van één vurenhouten paal is ingeschat op 11,71 kg. Deze ronde vurenhouten palen zijn 4 meter lang met een diameter van 95 millimeter. De dichtheid is aangenomen op 460 kg/m³, aansluitend bij vurenhoud in de NMD 3.1. Er wordt uitgegaan van een cilinder, waarmee het volume uitkomt op 0,03 m³ en het gewicht op 11,71 kg. De vurenhouten palen staan 0,70 meter van elkaar verwijderd, dus per strekkende meter zijn er 1,43 palen nodig. Daarmee is het gewicht van de vurenhouten paal per strekkende meter beschoeiing 16,72 kg.

Het gewicht van één gerecycled kunststof paalhuls is ingeschat op 5,67 kg. Deze huls wordt over de houten paal geschoven en is ingeschat op 0,60 meter lang, op basis van online illustraties van het type Delfland beschoeiing. Er wordt uitgegaan van een wanddikte van 5 mm. De diameter is daarmee binnen 95 mm en buiten 100 mm. Het totale volume aan plastic is zodanig 5,97E-3 m³. De dichtheid van het gerecycled kunststof is aangenomen op 950 kg/m³, dus één paalhuls weegt 7,84 kg. Met een breedte van 0,25 meter zijn er vier panelen per vierkante meter beschoeiing nodig. Daarmee is het gewicht van de gerecycled kunststof panelen per vierkante meter beschoeiing 8,10 kg.

Het gerecycled kunststof paneel, het vurenhouten schot en de hardhouten palen zijn schaalbaar in lengte. De paalhuls deel is niet schaalbaar. De resultaten (MKI-scores en gekarakteriseerde waarden) in dit rapport zijn gebaseerd op de uitgangswaarden (Tabel 3).

Tabel 3 - Uitgangswaarden materiaalgebruik voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof

Type materiaal/onderdeel	Hoeveelheid per FU	Eenheid	Toelichting
Gerecycled kunststof paneel	20,90	kg	0,55 meter lang (Type Delfland), 1 meter breed en 0,06 meter dik. Paneel is op delen dunner, op basis van foto's aangenomen dat hierdoor de materiaalhoeveelheid met 1/3 ^e afneemt. 950 kg/m ³ .
Vurenhouten schot	6,21	kg	0,45 m lang, 1 m breed en 0,03 m dik. 460 kg/m ³ .
Vurenhouten palen	16,72	kg	Diameter 95 mm, lengte 4 meter, h.o.h. 0,70 meter. 460 kg/m ³ .
Gerecycled kunststof paalhuls	8,10	kg	Paalhuls van 0,60 meter lang en een interne diameter van 0,95 m en een dikte van 5 mm. 950 kg/m ³ .

A1: Grondstoffen

De benodigde grondstoffen voor de productie en aanleg (exclusief kapitaalgoederen omdat die per proces worden meegenomen) van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 4.

Voor het gerecycled kunststof wordt uitgegaan van gerecycled kunststof geproduceerd door Lankhorst Recycling. Dit bedrijf is geselecteerd als representatieve producent op aanwijzing van Waternet⁸. De gerecycled kunststof panelen zijn gemaakt van oude flessendoppen, kratten en landbouwplastic. Deze producten zijn over het algemeen gemaakt van hogedichtheidpolyetheen (HDPE). Het polyetheen van secundaire afkomst is toepasbaar voor specifieke doeleinden nadat het gesorteerd en gegraneerd is. Volgens het stappenplan bepaling einde afval in Bijlage IV van de SBK-Bepalingsmethode (SBK, 2019), is dit granulaat daarom vrij van impact toe te passen in Module A1.

Tabel 4 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase A1: Grondstoffen)

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Gerecycled kunststof paneel	Secundair HDPE	20,90	kg	0403-fab&Kunststof, gemengd, gerecycled (= 0-waarden want 'vrij van milieulast')	NMD 3.1	Secundair HDPE is na sorteren en granuleren toepasbaar voor specifieke doelen. Dit granulaat is daarmee vrij van impact toe te passen in Module A1.
Vurenhouten schot	Vurenhouten plank	6,21	kg	0067-fab&Hout, zachthout, vuren, grenen, lariks, douglas (o.b.v. Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER} production Cut-off, U en 1 m ³ = 460 kg)	NMD 3.1	Niet gelamineerd zachthout komt overeen met de aangeleverde informatie.
Vurenhouten palen	Vurenhouten balk	16,72	kg	0067-fab&Hout, zachthout, vuren, grenen, lariks, douglas (o.b.v. Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER} production Cut-off, U en 1 m ³ = 460 kg)	NMD 3.1	Niet gelamineerd zachthout komt overeen met de aangeleverde informatie.
Gerecycled kunststof paalhuls	Secundair HDPE	8,10	kg	0403-fab&Kunststof, gemengd, gerecycled (= 0-waarden want 'vrij van milieulast')	NMD 3.1	Secundair HDPE is na sorteren en granuleren toepasbaar voor specifieke doelen. Dit granulaat is daarmee vrij van impact toe te passen in Module A1.

⁸ Beschrijving gerecycled kunststof: <https://www.lankhorst-recycling.com/nl/duurzaam-gerecycled-kunststof>

A2: Transport naar producent

Het benodigde transport van materialen naar de producent van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof is weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase A2: Transport naar producent)

Onderdeel/activiteit	Modus	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Transport (Gerecycled kunststof paneel)	Weg	3,14	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Vurenhouten schot)	Weg	0,93	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Vurenhouten palen)	Weg	2,51	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Gerecycled kunststof paalhuls)	Weg	1,22	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.

A3: Productie

De benodigde processen voor de productie van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase A3: Productie)

Onderdeel/activiteit	Techniek	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Productie (Gerecycled kunststof paneel)	Injection moulding	21,03	kg	0359-pro&Spuitsieten, kunststof (exclusief kunststof) (o.b.v. Injection moulding {GLO} market for Cut-off, U; "1 kg of this process equals 0.994 kg of injection moulded plastics")	NMD 3.1	Conservatieve inschatting voor het productieproces van een massief plastic product met een complexe drie-dimensionale vorm. 1 kg injection moulding staat gelijk aan 0,994 kg plastic product (Ecoinvent-beschrijving).
Productie (Vurenhouten schot)	Machinaal zagen	3,33E-02	uur	0362-pro&Zagen, hout, benzinemotor, per uur (o.b.v. Power sawing, with catalytic converter {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Eén minuut aangenomen. Verlies aan hout tijdens zagen is buiten beschouwing gelaten, aangezien wordt aangenomen dat dit verwaarloosbaar is.
Productie (Vurenhouten palen)	Machinaal zagen	3,33E-02	uur	0362-pro&Zagen, hout, benzinemotor, per uur (o.b.v. Power sawing, with catalytic converter {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Twee minuten aangenomen. Verlies aan hout tijdens zagen is buiten beschouwing gelaten, aangezien wordt aangenomen dat dit verwaarloosbaar is.
Productie (Gerecycled kunststof paalhuls)	Extrusion	8,13	kg	0357-pro&Extruderen, kunststof, buizen (exclusief kunststof) (o.b.v. Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U; "1 kg of this process equals 0.996 kg of extruded plastic pipes.")	NMD 3.1	Meest geschikte productieproces voor een plastic huls (pijp). 1 kg extrusion staat gelijk aan 0,996 kg plastic product (Ecoinvent-beschrijving).

A4: Transport naar bouwplaats

Het benodigde transport naar de bouwplaats van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof is weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase A4: Transport naar bouwplaats)

Onderdeel/activiteit	Modus	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Transport (Gerecycled kunststof paneel)	Weg	3,14	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Vurenhouten schot)	Weg	0,93	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Vurenhouten palen)	Weg	2,51	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.
Transport (Gerecycled kunststof paalhuls)	Weg	1,22	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire waarde transport materialen (150 km) gebruikt.

A5: Aanleg (bouw- en installatieproces)

De benodigde activiteiten voor het plaatsen van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 8. Aangezien het gebruikte materieel niet (lineair) meeschaalt met de lengte van de panelen en schotten (informatie o.b.v. toelichting Waterschappen), hebben we dat als los element los gemodelleerd. Eventueel elektronisch ondersteund handmatig bevestigingswerk wordt verwaarloosbaar geacht.

Om de gemiddelde materiaalverliezen tijdens transport, bouw en installatie mee te nemen in de resultaten wordt er een forfaitair toeslagpercentage gerekend voor de hoeveelheid verbruikt materiaal over alle inputs uit Fases A1-A4 en C2-C4. Het toeslagpercentage verschilt per type product:

- Prefabproducten: 3%.
- In-situ-producten: 5%.

Tabel 8 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase A5: Aanleg (bouw- en installatieproces))

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Plaatsen beschoeiing	Hydraulische rupskraan	0,33	uur	0115-pro&Graafmachine, per uur (o.b.v. 572 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Een hydraulische rupskraan is een graafmachine, zoals bijvoorbeeld de Caterpillar 320.
Toeslagpercentage extra productie en transport bouwafval prefab-producten (damwand-planken, gording en bevestigingsmiddelen)		3%		A1-A4 en C2-C4		Forfaitaire waarde voor bouwafval van prefabproducten.

B1-B7: Gebruik en onderhoud

Tijdens de levenscyclus van een beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof is er geen sprake van onderhoud of vervanging van onderdelen.

C1: Sloop

De benodigde activiteiten voor de demontage en sloop van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 9. Net als binnen Module A5 is deze module alleen gekoppeld aan de gerecycled kunststof paalhuls, zodat deze niet meeschaalt als de panelen en schotten langer wordt uitgevoerd. Hierbij is de aanname gedaan dat de sloop niet lineair meeschaalt met de lengte van de panelen en schotten, en dat de extra sloop voor langere panelen en schotten verwaarloosbaar is.

Tabel 9 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase C1: Sloop)

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Verwijderen beschoeiing	Hydraulische rupskraan	8,33E-02	uur	0115-pro&Graafmachine, per uur (o.b.v. 572 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Een hydraulische rupskraan is een graafmachine, zoals bijvoorbeeld de Caterpillar 320.

C2: Transport naar afvalverwerker

Het benodigde transport naar de afvalverwerker van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase C2: Transport naar afvalverwerker)

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Transport (Gerecycled kunststof paneel)	Weg	1,99	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitair vervoer voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km).
Transport (Vurenhouten schot)	Weg	0,37	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitair vervoer voor hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 60% recycling en hergebruik. AVI 100 km transport, rest 50 km).
Transport (Vurenhouten palen)	Weg	0,25	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitair vervoer voor hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 60% recycling en hergebruik. AVI 100 km transport, rest 50 km).
Transport (Gerecycled kunststof paalhuls)	Weg	0,77	tkm	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitair vervoer voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km).

C3: Afvalbewerking

De benodigde activiteiten voor de afvalbewerking van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase C3: Afvalbewerking)

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Verbranden polyetheen (Gerecycled kunststof paneel)	AVI	18,81	kg	Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, municipal incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Forfaitaire afvalbewerking voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km). Meest geschikte Ecoinvent-referentie voor verbranding van HDPE.
Recyclen polyetheen (Gerecycled kunststof paneel)	Sorteren	2,09	kg	Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland} polyethylene production, high density, granulate, recycled Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Forfaitaire afvalbewerking voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km). Het polyetheen van secundaire afkomst is toepasbaar voor specifieke doeleinden nadat het gesorteerd en gegraneerd is. Volgens het stappenplan bepaling einde afval in Bijlage IV van de SBK-Bepalingsmethode (SBK, 2019), valt sorteren en granuleren daarmee onder afvalbewerking.
Verbranden hout (Vurenhouten schot)	AVI	1,86	kg	0263-avC&Verbranden hout, verontreinigd (13,99 MJ/kg) (o.b.v. Waste building wood, chrome preserved {CH} treatment of, municipal incineration Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).
Zagen van houten planken (Vurenhouten schot)	Machinaal zagen	3,33E-02	uur	Power sawing, with catalytic converter {RER} processing Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Eén minuut aangenomen. Verlies aan hout tijdens zagen is buiten beschouwing gelaten, aangezien wordt aangenomen dat dit verwaarloosbaar is.
Recycling hout (Vurenhouten schot)	Houtversnipperen	0,62	kg	0284-reC&Verspanen hout (o.b.v. Wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Hergebruik hout (Vurenhouten schot)	Geen impact	x	x	x	x	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Worst-case zachthout in alle gevallen.
Verbranden hout (Vurenhouten paal)	AVI	5,02	kg	0263-avC&Verbranden hout, verontreinigd (13,99 MJ/kg) (o.b.v. Waste building wood, chrome preserved {CH} treatment of, municipal incineration Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).
Zagen van houten planken (Vurenhouten paal)	Machinaal zagen	3,33E-02	uur	Power sawing, with catalytic converter {RER} processing Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Twee minuten aangenomen. Verlies aan hout tijdens zagen is buiten beschouwing gelaten, aangezien wordt aangenomen dat dit verwaarloosbaar is.
Recycling hout (Vurenhouten paal)	Houtversnipperen	1,67	kg	0284-reC&Verspanen hout (o.b.v. Wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).
Hergebruik hout (Vurenhouten paal)	Geen impact	x	x	x	x	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Worst-case zachthout in alle gevallen.
Verbranden polyetheen (Gerecycled kunststof paalhuls)	AVI	7,29	kg	Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, municipal incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Forfaitaire afvalbewerking voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km). Meest geschikte Ecoinvent-referentie voor verbranding van HDPE.
Recyclen polyetheen (Gerecycled kunststof paalhuls)	Sorteren	0,81	kg	Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland} polyethylene production, high density, granulate, recycled Cut-off, U	Ecoinvent 3.5 cut-off	Forfaitaire afvalbewerking voor gerecycled kunststof profielen en platen (90% AVI, 10% recycling. AVI 100 km transport, recycling 50 km). Het polyetheen van secundaire afkomst is toepasbaar voor specifieke doeleinden nadat het gesorteerd en gegraneerd is.

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
						Volgens het stappenplan bepaling einde afval in Bijlage IV van de SBK-Bepalingsmethode (SBK, 2019), valt sorteren en granuleren daarmee onder afvalbewerking.

C4: Finale afvalverwerking

De benodigde activiteiten voor de finale afvalverwerking van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase C4: Finale afvalverwerking)

Onderdeel/activiteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
In de grond gelaten hout (vuurhouten schot)	Hout	0,62	kg	0245-sto&Stort hout, 'schoon' (o.b.v. Waste wood, untreated {Europe without Switzerland} treatment of waste wood, untreated, sanitary landfill Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).
In de grond gelaten hout (vuurhouten paal)	Hout	1,67	kg	0245-sto&Stort hout, 'schoon' (o.b.v. Waste wood, untreated {Europe without Switzerland} treatment of waste wood, untreated, sanitary landfill Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik).

D: Lasten en baten buiten de systeemgrens

De lasten en baten buiten de systeemgrens van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof zijn weergegeven in Tabel 13.

Van het toegepaste secundaire HDPE in Module A, gaat 90% in Module C verloren, volgens het forfaitaire scenario voor kunststoffen van de SBK-Bepalingsmethode. De impact van het verloren materiaal in Module D is gebaseerd op het originele virgin materiaal: HDPE granulaat.

Tabel 13 - LCA-modelgegevens voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (Fase D: Lasten en baten buiten de systeemgrens)

Onderdeel/activiteit	Vermeden/ verloren	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Verbranden gerecycled kunststof (Gerecycled kunststof paneel)	Energie van fossiele afkomst	798,86	MJ	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIELE grondstoffen, 18% elektrisch en 31% thermisch (per MJ LHV)	NMD 3.1	Forfaitaire energie-uitsparing voor gerecycled kunststof volgens de SBK-Bepalingsmethode. LHV van 42,47 MJ/kg volgens de SBK-Bepalingsmethode.
Recycling gerecycled kunststof (Gerecycled kunststof paneel)	HDPE secundair granulaat	-18,81	kg	0353-fab&Polyetheen, HDPE, granulaat (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking gerecycled kunststof (90% AVI, 10% recycling). Er gaat meer secundair materiaal verloren dan vrij komt. De impact van het verloren materiaal is gebaseerd op het originele virgin materiaal: HDPE granulaat.
Verbranden hout (Vurenhouten schot)	Energie van biogene afkomst	26,06	MJ	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIEUWBARE grondstoffen, 18% elektrisch en 31% thermisch (per MJ LHV)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. Forfaitair vermeden energieproductie voor biogene materialen. LHV van 13,99 MJ/kg volgens de SBK-Bepalingsmethode.
Recycling hout (Vurenhouten schot)	Houtspaander	0,62	kg	0276-reD&Module D, houtspaanders, per kg NETTO geleverd (o.b.v. Wood chips, dry, measured as dry mass {RER} three layered laminated board production Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. houtspaander wordt uitgespaard.
Hergebruik hout (Vurenhouten schot)	Zachthouten paal	3,11	kg	0067-fab&Hout, zachthout, vuren, grenen, lariks, douglas (o.b.v. Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER} production Cut-off, U en 1 m ³ = 460 kg)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. Het hardhouten object wordt 1-op-1 uitgespaard.

Onderdeel/activiteit	Vermeden/ verloren	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Verbranden hout (vurenhouten paal)	Energie van biogene afkomst	70,18	MJ	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIEUWBARE grondstoffen, 18% elektrisch en 31% thermisch (per MJ LHV)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. Forfaitair vermeden energieproductie voor biogene materialen. LHV van 13,99 MJ/kg volgens de SBK-Bepalings- methode.
Recycling hout (vurenhouten paal)	Houtspaander	1,67	kg	0276-reD&Module D, houtspaanders, per kg NETTO geleverd (o.b.v. Wood chips, dry, measured as dry mass {RER} three layered laminated board production Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. houtspaander wordt uitgespaard.
Hergebruik hout (vurenhouten paal)	Zachthouten paal	8,36	kg	0067-fab&Hout, zachthout, vuren, grenen, lariks, douglas (o.b.v. Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER} production Cut-off, U en 1 m ³ = 460 kg)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking schoon hout uit waterbouw (10% laten zitten, 30% AVI, 10% recycling en 50% hergebruik). Er is geen secundair materiaal in Module A. Het hardhouten object wordt 1-op-1 uitgespaard.
Verbranden gerecycled kunststof (gerecycled kunststof paalhuls)	Energie van fossiele afkomst	309,64	MJ	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIELE grondstoffen, 18% elektrisch en 31% thermisch (per MJ LHV)	NMD 3.1	Forfaitaire energie-uitparing voor gerecycled kunststof volgens de SBK- Bepalingsmethode. LHV van 42,47 MJ/kg volgens de SBK-Bepalingsmethode.
Recycling gerecycled kunststof (gerecycled kunststof paalhuls)	HDPE secundair granulaat	-7,29	kg	0353-fab&Polyetheen, HDPE, granulaat (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U)	NMD 3.1	Forfaitaire afvalbewerking gerecycled kunststof (90% AVI, 10% recycling). Er gaat meer secundair materiaal verloren dan vrij komt. De impact van het verloren materiaal is gebaseerd op het originele virgin materiaal: HDPE granulaat.

Onderdeel/activiteit	Vermeden/ verloren	Hoeveelheid	Eenheid	Referentie	Database	Toelichting
Toeslagpercentage extra productie en transport bouwafval prefab-producten (damwandplanken, gording en bevestigingsmiddelen)		3%		Alles in Module D		Forfaitaire waarde voor bouwafval van prefabproducten.

2.3 Datakwaliteit en representativiteit

De gegevens zijn gebaseerd op regels voor cat.3-LCA zoals beschreven in de SBK-Bepalingsmethode (SBK, 2019). Het gaat hier om branchegemiddelde waarden die alleen representatief zijn voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof.

De waarden zijn niet representatief voor een één vierkante meter beschoeiingselement van een specifiek merk of type.

3 LCA-resultaten

3.1 MKI-scores (gewogen milieuprofiel)

De totale MKI-score van één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (exclusief palen) is € 10,7. De totale MKI-score van de naaldhouten palen behorende bij 1m² beschoeiing is € 2,9. De opgetelde MKI-scores per levenscyclusfase zijn weergegeven in Tabel 14, Tabel 15, Figuur 4 en Figuur 5.

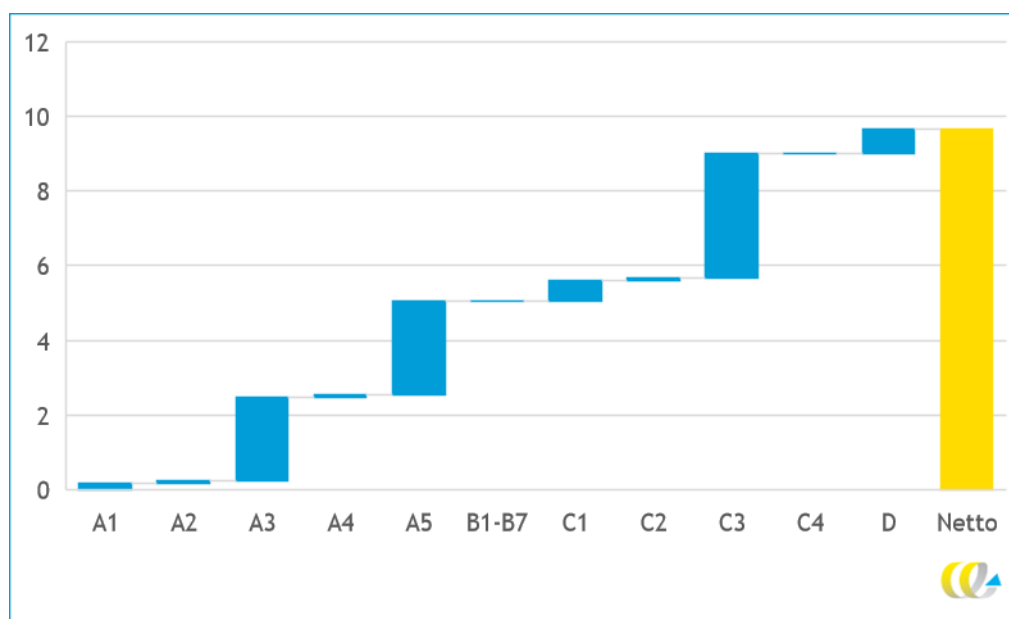
Tabel 14 - MKI-scores voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (exclusief palen), opgedeeld in levensfasen (exclusief 30% categorie-opslag)

Levenscyclusfase		Relatief aandeel (%)
Productie	A1: Grondstoffen	2%
	A2: Transport naar producent	1%
	A3: Productie	23%
Bouw	A4: Transport naar bouwplaats	1%
	A5: Aanleg (bouw- en installatieproces)	26%
Gebruik	B1-B7: Gebruik en onderhoud	0%
Sloop en afvalverwerking	C1: Sloop	6%
	C2: Transport naar afvalverwerking	0%
	C3: Afvalbewerking	35%
	C4: Finale afvalverwerking	0%
Aanvullend	D: Lasten en baten buiten de systeemgrens	7%
Totaal		100%

Tabel 15 - MKI-scores voor naaldhouten palen behorende bij 1m² beschoeiing

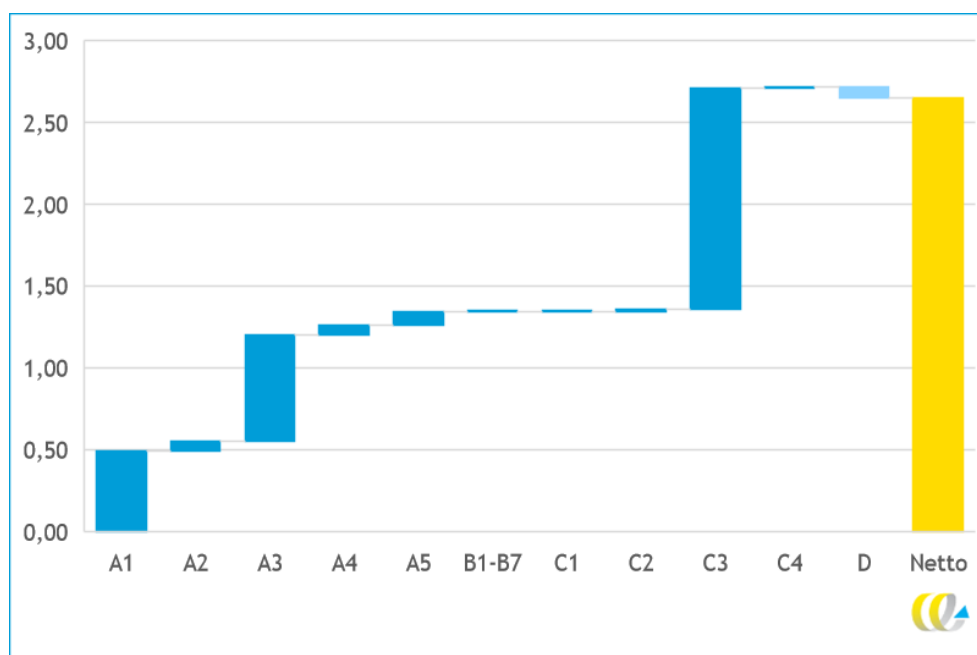
Levenscyclusfase		Relatief aandeel (%)
Productie	A1: Grondstoffen	19%
	A2: Transport naar producent	2%
	A3: Productie	25%
Bouw	A4: Transport naar bouwplaats	2%
	A5: Aanleg (bouw- en installatieproces)	3%
Gebruik	B1-B7: Gebruik en onderhoud	0%
Sloop en afvalverwerking	C1: Sloop	0%
	C2: Transport naar afvalverwerking	1%
	C3: Afvalbewerking	51%
	C4: Finale afvalverwerking	0%
Aanvullend	D: Lasten en baten buiten de systeemgrens	-3%
Totaal		100%

Figuur 4 - MKI-scores voor één vierkante meter beschoeiingselement van hout en gerecycled kunststof (exclusief palen), opgedeeld in levensfasen (exclusief 30% categorie-opslag)



NB: absolute waarden kunnen licht afwijken van de waarden in de NMD/DuboCalc vanwege verschil in database-versies ten tijde van de LCA-uitvoer en publicatie.

Figuur 5 - MKI-scores voor naaldhouten palen behorende bij 1m² beschoeiing



NB: absolute waarden kunnen licht afwijken van de waarden in de NMD/DuboCalc vanwege verschil in database-versies ten tijde van de LCA-uitvoer en publicatie.

Bronvermelding

NEN (2006): NEN-EN-ISO 14044:2006 en - Milieumanagement - Levenscyclusanalyse - Eisen en richtlijnen. NEN, Delft

NEN (2010): NEN-EN-ISO 14025:2010 en - Milieu-etiketteringen en -verklaringen - Type III milieuverklaringen - Principes en procedures. NEN, Delft

NEN (2011): NEN-EN 15978:2011 en - Duurzaamheid van constructies - Beoordeling van milieuprestaties van gebouwen - Rekenmethode. NEN, Delft

NEN (2013): NEN-EN 15804:2012+A1:2013 en - Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten. NEN, Delft

SBK 2019: Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' versie 3.0, januari 2019, met wijzigingsblad d.d. 1 juli 2019, Stichting Bouwkwiteit, Rijswijk

van Harmelen AK, Broers JW, Duijsens LJE, Korentromp RHJ, Ligthart TN 2004: Toxiciteit heeft z'n prijs: schaduwrijzen voor (eco-)toxiciteit en uitputting van abiotische grondstoffen binnen DuboCalc. 9036955688, RWS DWW, Delft

