

Catalogus biobased bouwmaterialen 2019

Het groene en circulaire bouwen

JAN VAN DAM EN MARTIEN VAN DEN OEVER



Catalogus
biobased bouwmaterialen
2019

Het groene en circulaire bouwen

Jan van Dam, Martien van den Oever

Uitgegeven in de reeks "Groene Grondstoffen"

- Biobased plastics 2019, Karin Molenveld en Harriëtte Bos (2019)
- Lignine, groene grondstof voor chemicaliën en materialen, Jan van Dam, Paulien Harmsen, Harriëtte Bos, Richard Gosselink (2017)
- Kunstmatige fotosynthese; Voor de omzetting van zonlicht naar brandstof, Robin Purchase, Huib de Vriend en Huub de Groot, editors: Paulien Harmsen en Harriëtte Bos, vertaling: Bruno van Wayenburg (2015)
- Catalogus biobased verpakkingen, Karin Molenveld en Martien van den Oever (2014)
- Groene bouwstenen voor biobased plastics; Biobased routes en marktontwikkeling, Paulien Harmsen, Martijn Hackmann (2012)
- Catalogus biobased bouwmaterialen; Het groene bouwen, Jan van Dam, Martien van den Oever (2012)
- Biocomposieten 2012; Natuurlijke vezels en bioharsen in technische toepassingen, Martien van den Oever, Karin Molenveld, Harriëtte Bos (editor) (2012)
- Biobased Plastics 2012, Christiaan Bolck, Jan Ravenstijn, Karin Molenveld, Paulien Harmsen (editor) (2011)
- Microalgen; het groene goud van de toekomst? Grootschalige duurzame kweek van microalgen voor de productie van bulkgrondstoffen, Hans Wolkers, Maria Barbosa, Dorinde Kleinegriss, Rouke Bosma, Rene Wijffels, Paulien Harmsen (editor) (2011)
- Duurzaamheid van biobased producten; Energiegebruik en broeikasgas-emissie van producten met suikers als grondstof, Harriëtte Bos, Sjaak Conijn, Wim Corré, Koen Meesters, Martin Patel (2011)
- Bioraffinage; Naar een optimale verwaarding van biomassa, Bert Annevelink, Paulien Harmsen (2010)

Deze en oudere uitgaven zijn te downloaden van www.groenegrondstoffen.nl

Voorwoord

In het kader van de transitieagenda's van het programma Nederland Circulair in 2050 heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) WFBR opdracht gegeven om biobased materialen die voor bouwtoepassingen geschikt zijn in kaart te brengen. Deze catalogus is opgezet om biobased bouwmaterialen te etaleren en beoogt een overzicht te geven van commercieel beschikbare biobased bouwmaterialen in 2019. De catalogus heeft als doel de grondstoffen, materialen, producten en diensten die betrekking hebben op biobased bouwen zoveel mogelijk te rubriceren naar grondstof en toepassing en kort te beschrijven. In sommige gevallen voldoen puur biobased producten niet aan bouwvoorschriften en bestaat een product deels uit biobased materiaal en deels uit niet-biobased materiaal. Daarnaast worden diverse bouwgrondstoffen van petrochemische of minerale oorsprong besproken wanneer ze in combinatie met biobased producten toegepast worden. Waar mogelijk zijn verwijzingen naar producenten en leveranciers opgenomen. De doelgroep van de catalogus is de gehele bouwketen: architecten, bouwbedrijven, aannemers, (inkopers van) bouwmarkten en de diverse opdrachtgevers van overheden tot collectieve particuliere opdrachtgevers.

Deze catalogus is opgesteld op basis van de eerdere versie in 2012, met een update van trends en beschikbare bioproducten en leveranciers. De catalogus is een brondocument voor hernieuwbare bouwmaterialen en duurzame bouwmethoden, waarmee de bouwsector een instrument in handen heeft voor het maken van verantwoorde keuzes van globaal ontwerp tot detail afwerking.

Leeswijzer

In deze catalogus worden de resultaten gepresenteerd van een studie in het kader van beleidsondersteunend onderzoek in het thema Biobased Economy. Hierin is onderzocht welke biobased materialen er in de bouw reeds worden toegepast of de potentie hebben op korte termijn ingezet te worden. In hoofdstuk 1 wordt de achtergrond van biobased bouwen en de aanleiding voor het samenstellen van deze catalogus toegelicht. In hoofdstuk 2 wordt gemotiveerd waarom het gebruik van CO₂ neutrale grondstoffen kan bijdragen aan de verduurzaming van de bouw. Hoofdstuk 3 bevat een uitgebreid overzicht van de bouwgrondstoffen die als biobased kunnen worden aangemerkt plus samengestelde bouwmaterialen die een aandeel biobased hebben. In hoofdstuk 4 wordt de potentie van biobased bouwmaterialen bij restauratie of renovatie kort toegelicht. Hoofdstuk 5 geeft een samenvatting van mogelijke interieurdesign met biobased producten terwijl in hoofdstuk 6 enkele toekomstige ontwikkelingen voor biobased producten in de bouw worden aangegeven. Hoofdstuk 7 geeft een lijst van voorbeeldbouwprojecten waarbij materiaalkeuze en duurzaamheid een belangrijke rol heeft gespeeld plus enkele nieuwe initiatieven, die op dit gebied worden ontplooit. In

hoofdstuk 8 worden de verschillende bestekonderdelen volgens de STABU coderingen beschreven, waarin biobased bouwmaterialen inzetbaar zijn, waarbij wordt verwezen naar de materiaallijsten uit hoofdstuk 3. In hoofdstuk 9 worden de gebruikte afkortingen en termen toegelicht. Leveranciers van producten uit hoofdstuk 3 worden vervolgens in hoofdstuk 10 vermeld, terwijl in hoofdstuk 11 adressen van verschillende instanties en partijen worden gegeven.

Dankwoord

Onze dank gaat uit naar Peter Fraanje, Fred van der Burgh, Sissy Verspeek, Hans Korbee, Thomas Pijnenborgh, Koert Weber, Bart de Vries, Willem Böttger en Wijnand Beemster voor hun bijdrage aan de realisatie van deze publicatie, alsmede naar het Ministerie van EZK voor de financiële ondersteuning van dit project (BO-20.12). Speciale dank gaat uit naar Daan Bruggink die illustraties heeft geupdate.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Groen en circulair bouwen	7
1.2	Beleid en Regelgeving.....	8
1.3	Innovatie in de bouw en duurzaamheid.....	9
1.4	Ontwikkeling biobased bouwprojecten.....	11
2	Biobased en circulair bouwen	13
2.1	CO ₂ uitstoot.....	13
2.2	Milieu impact	15
2.3	Circulair bouwen en trends in ecologisch bouwen	16
2.4	Bouwmaterialen en binnenklimaat.....	18
3	Bouwgrondstoffen en bouwmaterialen	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Hout	21
3.3	Houtverbindingen en verlijmde houtproducten	27
3.4	Geïmpregneerd hout en coatings.....	31
3.5	Gemodificeerd hout	36
3.6	Vezelplaatmaterialen	37
3.7	Overige composiet bouwmaterialen (samengestelde producten).....	41
3.8	Isolatie materialen	50
3.9	Afdichtingskitten	56
3.10	Vegetatiedaken, daktuinen en gevelbegroeiing.....	56
3.11	Diverse biobased producten.....	57
4	Renovatie, restauratie en duurzame ontwikkelingen	59
5	Interieurafwerking en -design	61
5.1	Inleiding	61
5.2	Linoleum.....	61
5.3	Parket.....	61
5.4	Tapijten en vloerbekleding	62
5.5	Wandbekleding	63
5.6	Bouwen met papier en karton	64
5.7	Installatie en sanitatie	64
6	Kansrijke ontwikkelingen	65
6.1	Inleiding	65
6.2	“Groene” bouwchemicaliën	65
6.3	Agrovezelplaten	65
6.4	Bouwblokken en prefab.....	66

6.5	Overige biobased ontwikkelingen	67
6.6	Circulaire ontwikkelingen	70
6.7	ICT en webwinkels	70
7	Voorbeeldprojecten in Nederland	71
7.1	Inleiding	71
7.2	Gerealiseerde voorbeeldprojecten	71
7.3	Voorbeeld initiatieven	80
8	Bestekonderdelen volgens STABU codering	83
9	Glossary.....	91
10	Leveranciers en producenten biobased bouwmaterialen	95
11	Adressen.....	115
11.1	Opleidingen, kennis, onderzoek en innovatie:	115
11.2	Algemeen.....	116
11.3	Architecten.....	119
11.4	Aannemers en advies- en ontwerp bureaus	121
11.5	Bouwmateriaalleveranciers	122
	Webwinkels	123
12	Referenties	125

1 Inleiding

1.1 Groen en circulair bouwen

“Green Building” en Circulair bouwen staan wereldwijd midden in de belangstelling zoals bijvoorbeeld ook blijkt uit de jaarlijkse organisatie van World Green Building Week en de Nederlandse organisatie van de 8^e editie met als thema “Paris proof”¹. De Transitie naar circulaire economie staat



hoog op de agenda van het Nederlandse overheidsbeleid. De Transitie-agenda Circulaire Bouweconomie spreekt over compleet circulaire bouw in 2050 met daarbij grootschalig gebruik van biobased materialen². Het onderwerp “de gebouwde omgeving” is één van de aandachts-gebieden in de wetenschapsagenda voor circulaire economische ontwikkeling. De thema’s voor de Building Holland expositie 2018 zijn: Circulair bouwen, Renovatie & Transformatie, Gezonde Gebouwen, Smart Buildings, C2C materiaalpaspoorten, Duurzame Energie, Innovaties en vernieuwing, Duurzame gebiedsontwikkeling, Digitalisering in de bouw³. Inzet van hernieuwbare grondstoffen en biobased bouwmaterialen sluiten daar nauw bij aan. Biobased bouwsystemen zijn gebaseerd op een lange traditie en veelal niet nieuw maar wel nog grotendeels onbekend terrein voor de huidige bouwindustrie.

Veel van de bouwbedrijven zijn op zoek naar mogelijkheden voor meer duurzaam en maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO). Veel bedrijven in de bouw hebben zich aangesloten bij de Dutch Green Building Council (DGBC)⁴. De 7 grootste ondernemingen in de bouw in Nederland hebben zich gecommitteerd aan MVO en hebben daarvoor gedragsregels opgesteld⁵. Hierbij staat ook het verminderen van de milieubelasting door bouwactiviteiten centraal. “Meer met minder”, is de slogan.

Ook kleinere spelers in de bouwketen, van aannemers en toeleveranciers tot adviseurs en architecten, worden met vragen en opdrachten geconfronteerd omtrent meer duurzaam ontwerpen, anders aanbesteden of alternatieve bouwmethoden. De vraag rijst dan: wat zijn meer duurzame of groene bouwsystemen? Wanneer spreken we van energie neutraal, biobased of ecologisch bouwen? Is dat allemaal hetzelfde of zijn er

¹ www.dgbw.nl

² www.debouwagenda.com/actueel/downloads+en+brochures/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=955001

³ www.buildingholland.nl/themas

⁴ www.dgbc.nl/over-dgbc/missie

⁵ BallastNedam, www.ballast-nedam.nl; Strukton, www.struktonbouw.com; TBI, www.tbi.nl; VolkerWessels, www.volkerwessels.com; Heijmans, www.heijmans.nl; Dura Vermeer, www.duravermeer.nl; BAM, www.bam.nl

alternatieven die zich onderscheiden. Wanneer is een 'groen' product biobased en wanneer is er sprake van "green washing"? Deze studie wil hierin inzicht verschaffen door in kaart te brengen welke biobased bouwmaterialen beschikbaar en/of inzetbaar zijn voor de verschillende bouwtoepassingen.

1.2 Beleid en Regelgeving

Het Duurzaam bouwen (DuBo) beleid heeft zich in de afgelopen decennia, naast energiebesparing en isolatie en recycling van grondstoffen (betongranulaat, pvc, gips), ook gericht op materiaal beperking (grind, koper, zink, lood) en stimulering van meer gebruik van hout. De doelstelling van het actieplan uit 1995 van Milieuberaad Bouw om 20% meer hout in de bouw te gebruiken is nog niet gehaald, maar het gebruik van (gecertificeerd) hout is wel aanzienlijk gestegen mede door de introductie van de Groenregeling. Deze Groenregeling (of Regeling groenprojecten, RVO) eist een duurzaamheidscertificaat voor het gebruik van hout, waarop de regeling Milieuinvesteringsaftrek (MIA) aansluit.



In de Nationaal Milieubeleidsplannen 3 en 4 en het tweede Structuurschema Oppervlakedelfstoffen werd het beleid van de rijksoverheid aangaande materialen globaal weergegeven (NMP 3, 1998; NMP 4, 2001; Rijkswaterstaat, 2009). In het Bouwbesluit 2012 (2011) werd eveneens beperkt aandacht gegeven aan grondstofgebruik en de milieuprestatie van

gebouwen en GWW-werken (artikel 5.9 Duurzaam bouwen, p96). Om de milieuprestatie te bepalen, worden de LCA berekeningen volgens de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen van Stichting Bouwkwiteit (SBK) voorgeschreven (p296). Met de wijziging van het Bouwbesluit per 1 januari 2018 is een grenswaarde voor de milieuprestatie van kracht⁶. In deze nieuwe regelgeving dienen de gebruikte bouwmaterialen, het transport, de levensduur en de materialen te worden meegenomen in de milieuprestatie berekening.^{7,8} Achtergrond informatie over de bepalingmethode (volgens NEN 8006) is te vinden in de SBK publicatie (2011). De interpretatie van de milieuprestatie

⁶ www.nen.nl/NEN-Shop/Bouwnieuwsberichten/Wijzigingen-Bouwbesluit-per-1-januari-2018.htm

⁷ www.milin.nl/blog/bouwbesluit-2018

⁸ www.onlinebouwbesluit.nl , Afdeling 5.2.

bepalingsmethode is echter niet eenduidig⁹. Het SER beleidsadvies besteedt aandacht aan biobased bouwen en krijgt daarin de steun van VNO-NCW voor “groen” ondernemen (2016). Grondstoffen efficiëntie en minder afhankelijkheid van fossiele bronnen is een van de zeven “flagships” voor het strategische EU beleid voor duurzame groei en het bereiken van de Horizon 2020 doelstellingen. In 2018 is de Transitie-agenda circulaire economie in de bouw geformuleerd en wordt in het Rijksbrede programma ‘Nederland Circulair in 2050’ aandacht gevraagd voor hernieuwbare grondstoffen en materiaalgebruik dat over de hele levensduur van het bouwwerk geoptimaliseerd dient te worden (waardebehoud, minder kosten, meer hergebruik en minder milieu-impact)¹⁰. De bouw moet zoveel mogelijk CO₂-emissies reduceren, zowel in de productie- en bouwfase als in de gebruiksfase¹¹. Volgens het Bouwbesluit dient nieuwbouw per 2021 bijna energie-neutrale gebouwen (BENG) op te leveren (RVO, 2018).

Marktgrootte en kansen

De bouw is sterk conjunctuurgevoelig en de omzet in de gehele bouwnijverheid is sinds het dal in 2013 weer sterk aangetrokken in de afgelopen jaren. De nieuwbouw van woningen en utilitaire gebouwen zijn bijna weer op het niveau van voor het begin van de crisis in 2008 (CBS 2018; EIB, 2018). Deze fluctuaties worden vooral gevoeld door architecten en de aannemerij. Omzetstijgingen van ca 6% voor hout en andere bouwmaterialen worden waargenomen t.o.v. voorgaande jaren. Raming voor de komende periode (EIB) is dat het herstel voor het bouwbedrijf zal doorzetten. In de sector wordt in Nederland jaarlijks meer dan 60 miljard € omgezet (Bouwend Nederland, 2018), waarvan naar schatting ca. 33% bestaat uit materiaalkosten. Het exacte aandeel biobased bouwgrondstoffen is vooralsnog lastig vast te stellen. In de bouw wordt een groeiende vraag naar meer duurzame materialen ervaren, en de beschikbaarheid van producten is sterk verbeterd in recente jaren. Voor sommige producten stagneert het aanbod echter nog. Er kan worden waargenomen dat in de bouwpraktijk de achtergrondkennis ontbreekt over hoe biobased bouwmaterialen moeten worden toegepast en welke materialen als duurzaam aangemerkt kunnen worden.

In het topsectoren beleid is beperkt aandacht voor de innovatie en vergroening van de bouwsector. In de topsector Energie is vanuit TKI Urban Energy een focus op innovaties m.b.t. energie in de gebouwde omgeving.

1.3 Innovatie in de bouw en duurzaamheid

Innovatie in de bouw wordt erg belangrijk gevonden maar wordt belemmerd en blijft achter door het z.g. bouwparadigma (Dorée, 2003). Het ontwikkelen van nieuwe

⁹ www.breeam.nl/content/bepalingsmethode-milieuprestatie-gebouwen-en-gww-werken

¹⁰ www.ser.nl/nl/actueel/werkprogramma/circulaire-economie.aspx

¹¹ www.circulaireeconomienederland.nl/transitieagendas/transitieagenda+bouw/default.aspx

producten en methoden is een uitdaging en vraagt veel durf van bedrijven. De hoge concurrentiedruk in de bouw geeft echter weinig ruimte voor experimenten en maakt de innovatiekracht laag. Door strengere eisen door de overheid aan de milieuprestatie van gebouwen (MPG), opgenomen in het Bouwbesluit, is de materiaalkeuze voor veel bouwbedrijven een eerste zorg. De materialen moeten daarvoor in de nationale milieudatabase (NMD) zijn opgenomen. Keuze voor alternatieve producten, die daarin niet staan vermeld, is daarom niet voor de hand liggend. Onbekendheid met de nieuwe bouwmaterialen en –methoden of meerkosten door kleinschalige productie en arbeidsintensievere installatie maken dat er gemakkelijk wordt teruggeslagen naar de vertrouwde methoden. Veel van de alternatieve bouwwijzen zoals bio-ecologisch bouwen worden als niche markten beschouwd. Bouwwijzen met volhout en houtskelet systemen worden door een groeiende groep professionele bouwers toegepast. Biobased materiaalgebruik wordt meer en meer gecombineerd met moderne architectuur (zie Hfst 7). Strobalebouw is arbeidsintensief en het aantal gespecialiseerde aannemers is beperkt. Leembouw, vaak in combinatie met strobalebouw en vakwerkhuisen, is een oude traditionele bouwmethode die weer steeds vaker wordt toegepast, ook in moderne gebouwen.

De bekende ruwbouw methoden, die gebruik maken van niet-biologische bouwmaterialen als baksteen, kalkzandsteen of natuursteen, kleidakpannen, geglazuurde tegels, staal en aluminium, etc., kunnen onder voorwaarden van hoogwaardig hergebruik eveneens worden aangemerkt als duurzame bouwproducten. Dergelijke materialen kunnen na hun functionele levensduur deels worden hergebruikt. De duurzaamheid van een bouwsysteem wordt bepaald door de volledige levenscyclus en de CO₂ uitstoot tijdens materiaalproductie, bouw, installatie en gebruik, maar ook door de mogelijkheden voor demontage /sloop en afvalverwerking.

Niettemin staat biobased bouwen meer en meer in de belangstelling als duurzame bouwmethode bij opdrachtgevers. Ook vanuit de hele bouwketen –van toeleveranciers en architecten tot aannemerij– krijgt biobased bouwen in toenemende mate aandacht vanwege de potentiële verbeterde milieuprestaties. Hernieuwbare grondstoffen zoals hout, riet en stro fixeren CO₂ uit de lucht als zij groeien en kunnen daardoor een positief effect op de broeikasgasbalans hebben.

Via BREEAM-NL en DGBC kunnen innovatiepunten worden verkregen voor innovatieve technologieën en methodes die aantoonbaar de duurzaamheid van een project-ontwerp, -bouw, -beheer, -onderhoud of -sloop vergroten (BREEAM-NL, 2016). Naast BREEAM-NL speelt met name in de woningbouw en non-profitsector het software-pakket 'GPR-gebouw'¹² een belangrijke rol; hiermee kan de duurzaamheid van iedere bouwfase

¹² www.gprsoftware.nl/gpr-gebouw

(beleid, ontwerp, realisatie en renovatie) worden gekwantificeerd en hiermee werden reeds vele m² gecertificeerd.

Duurzaamheidscertificaten en LCA

Voor gebouwen bestaat een verplichte duurzaamheidsberekening waarmee de energieprestatie voor de verwarming een gebouw (EPC) wordt bepaald. Daarnaast zijn er nog diverse andere certificaten, die een indicatie geven over duurzaamheid van bouwmaterialen. Voor materiaalgebruik kan de duurzaamheidsscore worden bepaald via de BREEAM-NL (2010) richtlijnen. Sinds het samengaan van GreenCalc en BREEAM-NL kunnen bouw- en verbouwprojecten ook een duurzaamheidscertificaat van BREEAM-NL verkrijgen. Door dit hulpmiddel kunnen projecten in een vroeg ontwerpstadium reeds inzicht verkrijgen in de duurzaamheid van de bouwplannen. Voor innovatieve projecten kunnen innovatiepunten worden gescoord, waarmee experimentele bouwproducten worden gewaardeerd.

De Milieu prestatie van Gebouwen (MPG) wordt berekend met een levenscyclus analyse van bouwproducten met een LCA rekenprogramma. LCA's voor materiaal en energiegebruik worden toegepast om milieuprestaties te kwantificeren en de keuze voor bouwmaterialen te onderbouwen. 'GPR-gebouw' is bijvoorbeeld zo'n rekenhulpmiddel. Eco-Quantum (EQ) berekent de milieuprestatie van hele gebouwen op basis van de LCA methodiek, met inachtneming van de hele levensduur. Hout en andere hernieuwbare producten scoren in dergelijke LCA vergelijkingen over het algemeen goed, zolang geen sprake is van ontbossing, onder andere ten gevolge van illegale houtkap. In de Nationale Milieu Database (NMD) zijn LCA's van bouwmaterialen opgenomen. Deze worden door de producerende industrie aangeleverd. Voor biobased materialen ontbreken nog de diverse producten.

Om milieuclassificaties te kunnen geven, gebruikt het NIBE het TWIN model (Haas, 1997), dat toegepast kan worden voor bepaling van zowel de milieubelasting als ook de gezondheidsaspecten die zijn verbonden aan het toepassen van bouwmaterialen of constructies. Internationaal zijn er verschillende certificeringen (LEED, Green Star, HQE, etc.) te vinden, die met analoge criteria een groter milieubewustzijn voor bouwmethode of materiaalgebruik trachten te bevorderen.

Diverse SBR handboeken zijn verschenen die relevant zijn voor materiaalkeuze en duurzaamheidsaspecten van de bouw zoals duurzame monumentenzorg, SBR Houtskelbouw, etc. (SBRCURnet, 2018).

1.4 Ontwikkeling biobased bouwprojecten

De laatste jaren zijn diverse bouwprojecten ontwikkeld, waarbij milieuprestatie of materiaalkeuze centraal staat in het ontwerp. Op de kennisbank biobased bouwen staan

diverse voorbeelden van gerealiseerde projecten¹³. Ambitieuze projecten als Floriade 2022 in Almere besteden veel aandacht aan groene uitstraling en aan constructie met biobased bouwmaterialen. Groen bouwen wordt meer en meer ook met de circulaire economie geassocieerd. Voor ontwerpen en bouwen met biobased materialen worden speciale cursussen voor architecten georganiseerd (BNA).

Green Deal Biobased Bouwen

In de periode van 2013 tot en met 2015 is er een Green Deal opgezet om te zien waardoor de biobased bouwmaterialen, -producten en concepten geen grote doorbraak bereiken binnen de bouwsector¹⁴. Deze Green Deal werd geleid door Agrodome en RVO en bestond uit een groep van een 40-tal bedrijven en organisaties die actief zijn op het gebied van biobased bouwen. Samen met drie ministeries hebben bedrijven, onderwijs & onderzoeksorganisaties en kennispartners zich gebogen over de barrières. Er is gekeken naar wet- en regelgeving, kennisontwikkeling en -verspreiding en de marketing. Uit deze Green Deal zijn een aantal handreikingen gekomen die de markt voor biobased bouwmaterialen, producten en concepten kunnen vergroten. Zoals een handreiking om in de Nationale Milieu Database te komen (van der Burgh & Verspeek, 2016), de kennisbank biobased bouwen (Agrodome, CoEBBE, WFBR, ICDubo en SBRCURnet, 2015)¹³ en in de eindrapportage adviezen voor vervolgstappen voor de ministeries (van der Burgh & van de Linde, 2016).

¹³ www.biobasedbouwen.nl

¹⁴ www.greendeals.nl/gd154-biobased-bouwen

2 Biobased en circulair bouwen

Vanwege de wens naar meer duurzame bouw en energiebesparing is de afgelopen tijd veel aandacht uitgegaan naar vermindering van het gebruik van (fossiele) energie door betere isolatie en balansventilatie, opwekking van groene energie (zonnepanelen, windenergie) en installatie van groene daken. Daarnaast heeft hergebruik van bouwgrondstoffen relatief veel aandacht gehad. Daarmee wordt echter niet het gebruik teruggebracht van de fossiele energie die nodig is voor de winning en productie van staal en beton gebaseerde bouwmaterialen. Biobased bouwen is een van de kansrijke mogelijkheden om meer klimaatneutraal te presteren. Biobased bouwen maakt gebruik van hernieuwbare bouwgrondstoffen; dit zijn grondstoffen uit gewassen die door fotosynthese CO₂ uit de lucht vastleggen. Hout en houtproducten zijn daarvan het belangrijkste voorbeeld. De beleidsdoelstelling om meer hout in de bouw toe te passen vindt meer en meer gehoor. Alternatieve bouwmethoden en het gebruik van hernieuwbare grondstoffen voor de bouw zijn niet langer een niche, maar vinden aantrekkelijke moderne architectonische voorbeeld projecten (zie hoofdstuk 7).

2.1 CO₂ uitstoot

De bouw is een van de industriële sectoren waarbij de meeste grondstoffen en materialen worden ingezet. Reductie van de CO₂ uitstoot door optimalisatie van het materiaalgebruik in de bouw is daarom van belang omdat de bouw in Europa verantwoordelijk is voor bijna 40% van de emissies¹⁵. Hernieuwbare bouwgrondstoffen met een aanzienlijk lagere carbon footprint, ofwel koolstofvoetafdruk, kunnen positief bijdragen aan de reductie van CO₂ emissies (VROM 2010).

Voor nieuwbouwwoningen en kantoren moet de milieubelasting van materialen (LCA) worden berekend (MPG milieuprestatie gebouwen)¹⁶. Deze berekeningen (rekenregels volgens EN 15978, nationale milieudatabase) werken met 11 indicatoren voor de milieubelasting van een product. Naast de MPG is er veel aandacht



¹⁵ ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings

¹⁶ www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/milieuprestatie-gebouwen

voor de energieprestatie van het gebouw (EPG). De DuurzaamheidsPrestatie Gebouwen (DPG) combineert EPG en MPG.¹⁷

Nog afgezien van de hoge (fossiele) energiebehoefte voor de productie van de diverse bouwmaterialen komt bij de productie van cement (CaO) uit kalksteen (CaCO₃) ook direct een aanzienlijke hoeveelheid CO₂ vrij¹⁸. De cement productie levert ongeveer 5% van de mondiale broeikasgas uitstoot (OECD/IEA, 2007). De cement industrie is daarom op zoek naar vervangende minerale binders zoals de zogenaamde geopolymere, die o.a. kunnen worden gewonnen uit vliegashoudend afval van afvalverbrandingsinstallaties. Ter verdere illustratie: de globale CO₂ emissiewaarden voor de productie van een aantal veelgebruikte bouwstoffen zijn als volgt: ca. 0.5 kg CO₂/kg cementklinker, kalk en soda (0.4 kg/kg), glas (0.15 kg/kg), ijzer (balkstaal 0.5 kg/kg), aluminium (0.4 kg/kg) (VROM, 2010). IJzer- en staalindustrie neemt wereldwijd ongeveer 19% van het industrieel energieverbruik voor zijn rekening en een kwart van de totale CO₂-emissies (o.a. kolenverbranding)(GHG, 2011). Meer dan een kwart van het staal wordt in bouwtoepassingen verwerkt. Hout en houtproducten daarentegen fixeren koolstof en geven daarom netto een negatieve CO₂-emissie waarde zolang het hout in gebruik is, en mits de energie die benodigd is voor de productie ook volledig hernieuwbaar is. De CO₂ opslag in hout is ca. 0.9 ton CO₂ per m³ hout, en levert overeenkomstig een negatieve emissiewaarde van ca. -1.5 tot -1.7 kg CO₂/kg hout (Sikkema & Nabuurs, 1995). Deze lage emissie-waarden leiden ertoe dat voor toepassingen van hout en houtproducten als vervanging van beton of staal "vermeden CO₂ emissies" opgevoerd kunnen worden (Centrum Hout, 2007). Een houtstambouw kan zo een aanzienlijke CO₂ besparing opleveren, tot meer dan het dubbele (Fruhwald, 2004; W/E adviseurs, 2016). Gebruik van hernieuwbare bouwmaterialen beperkt zich hier tot FSC-keur hout. Houtskeletbouw zou bijna 60% minder CO₂ uitstoot leveren per huis (NVTB, 2018).

Van oppervlakte delfstoffen als zand en grind worden jaarlijks miljoenen tonnen verbruikt in Nederland voor bouw- en infrastructuurprojecten: 20 Mt beton- en metselzand, 16.6 Mt grind, 6.2 Mt steenslag (Rijkswaterstaat, 2009). Vervanging van een deel daarvan door hernieuwbare bouwwijze kan potentieel veel CO₂ besparen.

Omdat 15% van de Nederlandse CO₂ uitstoot wordt veroorzaakt door verwarming en verlichting van gebouwen zijn er in het energieakkoord maatregelen opgenomen om energie te besparen. De overheid heeft met de bouw- en woningsector afspraken gemaakt om per jaar 300.000 woningen energie zuiniger te maken. Alle woningen moeten daarom van een energielabel worden voorzien en nieuwe gebouwen moeten

¹⁷ www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20170808-rapport-dpg-maakt-milieubelasting-beter-zichtbaar

¹⁸ Bij cementklinkerproductie komt CO₂ vrij als gevolg van chemische reactie: ca. 0.8 ton CO₂ per ton cement.

voldoen aan hoge energieprestatie normen (energieprestatiecoëfficiënt, EPC), die jaarlijks strenger worden. Energiezuinige bouwsystemen worden daarom door steeds meer bouwbedrijven aangeboden¹⁹. Hierbij worden energiebesparende technieken toegepast om zeer lage EPC waarden te bereiken (0.4 - 0.3). Vanaf januari 2020 moet nieuwbouw “nearly energy neutral” zijn volgens de Europese verplichting (EPBD)²⁰. Hierbij wordt uitsluitend de energievraag beoordeeld tijdens de gebruiksfase van het gebouw en is er geen aandacht voor de energievraag voor de productie van bouwmaterialen.

2.2 Milieu impact

Bouwgrondstoffen die nu de markt overheersen zijn minerale producten als cement en beton, staal en glas, (bak)steen, gips en aluminium. Van petrochemische oorsprong zijn de kunststofkozijnen, PVC leidingen, PUR/PIR isolatie, folies, EPS-isolatie, polyester composieten, etc. Deze producten worden vervaardigd uit eindige grondstoffen en scoren hoog in de verschillende milieu impact categorieën, zoals global warming, verzuring, ozon, etc. (Tabel 1).

Tabel 1. Energie en milieu-indicatoren voor verschillende bouwmaterialen (Asif, 2009).

Materiaal	energie-inhoud GJ/m ³	milieu impact factoren		
		kg/m ³		
		GWP	AP	POCP
Aluminium	497	29975	162	321
Baksteen	5.4	342	3.6	30.6
Keramische tegels	16	1142	8	102
Beton	4.8	156	2.4	0.72
Glas	19.2	1366	96	4.8
Gipsboard	4.5	238.5	2.7	1.8
Dakpannen	2.2	288.2	2.2	2.2
PVC	116	1932	17/9	0.69
Staal	200	17840	80	6720
Hout	1.65	63.8	0.55	0.55

GWP = Global warming potential; AP = Acidification potential; POCP = Photochemical ozone creation potential

¹⁹ Volker Wessels Climate ready woning; Dura Vermeer PCS hybride woning; BAM W&R groenwoning; Ballast Nedam IQ woning, etc.

²⁰ <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

Veel beter scoren hout en andere hernieuwbare producten, die door productie (landbouw en bosbouw) en natuurlijke aanwas of afzetting (klei, zand) duurzaam kunnen worden gewonnen zonder onomkeerbare uitputting van de grondstof (Deltares, 2009; PBL, 2009). Voor een volledige milieuanalyse dient rekening gehouden te worden met alle milieu impact factoren zoals ook fijnstof en eutrofiering, maar ook de impact van onderhoud (bijv. eens in de 5 jaar schilderen). Voor circulair bouwen moet ook rekening worden gehouden met wat er vrijkomt bij renovatie en sloop van gebouwen en op welke manier deze weer, al of niet hoogwaardig, kan worden ingezet.

2.3 Circulair bouwen en trends in ecologisch bouwen

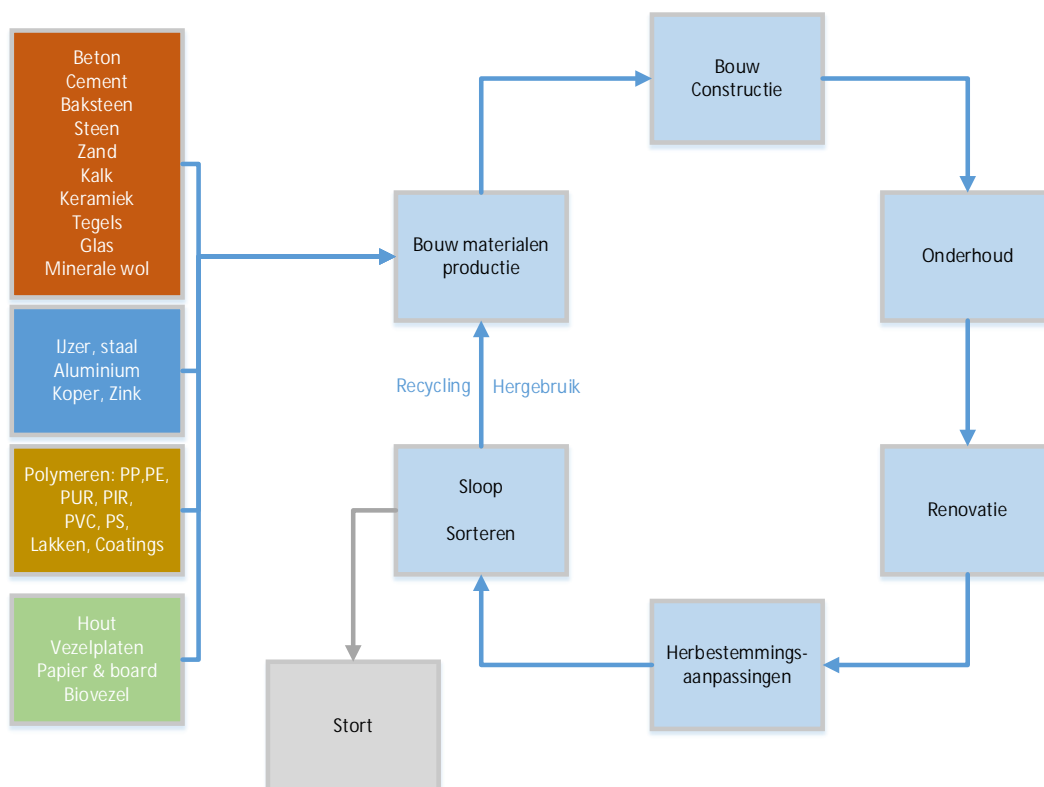
De bouw zorgt voor ca 40% van het totale volume afval in Nederland (Biesboer, 2016). Er zijn verschillende benaderingen om meer duurzaamheid in de bouw te bereiken. Circulair bouwen is momenteel een centraal thema voor de bouwsector om te werken aan de gestelde klimaatdoelstellingen. De doelstelling van circulair bouwen is het oneindig hergebruik van eindige grondstoffen, die in een kringloop kunnen worden toegepast (bijv. staal en aluminium). De energie die nodig is voor scheiding en opzuivering van gemengde grondstoffen voor hergebruik moet kosten efficiënt worden georganiseerd en kunnen concurreren met nieuw gedolven grondstoffen. Vrijwel alle vrijkomende bouw- en sloopafval (97%) worden hergebruikt, zij het grotendeels laagwaardig. Voor veel bouwgrondstoffen (cement en beton, kunststoffen) is na sloop van een gebouw een hoogwaardig hergebruik van gemengd puin een opgave omdat het (vooral nog) economisch niet haalbaar is om de grondstoffen terug te winnen (met de oorspronkelijke kwaliteit). 'Urban mining', om hoogwaardig hergebruik van vrijkomende materialen uit de gebouwde omgeving mogelijk te maken, wordt door het bedrijf New Horizon²¹ toegepast, door gecontroleerd gebouwen te ontmantelen met behoud van de waarde van de grondstoffen. Hernieuwbare biobased bouwgrondstoffen kunnen worden hergebruikt of na de functionele levensduur worden gebruikt voor opwekking van (CO₂ neutrale) energie.

De gedachte van circulair bouwen bouwt voort op het Cradle to cradle (C2C) principe (McDonough, 2002), dat veel heeft los gemaakt in het denken over duurzaam bouwen. Het volledig hergebruiken van materialen en sluiten van de kringloop is het motto voor het ontwerp. Toepassing van hernieuwbare bouwgrondstoffen is daarbij niet een prioriteit. Kritiekpunten over de praktische haalbaarheid van C2C doelstellingen en onduidelijke criteria voor certificering hebben geen positief effect op de toegankelijkheid van het gedachtegoed (Verdonk, 2010).

Van belang voor circulair bouwen is het ontwerp van nieuwbouw waarbij rekening wordt gehouden met mogelijkheden voor zo hoogwaardig mogelijk hergebruik van de

²¹ <http://newhorizon.nl>

bouwdelen na de functionele gebruiksfase (Figuur 1). Veel gebouwen worden vroegtijdig gesloopt – voor het einde hun technische levensduur – vanwege andere functionele eisen. Een illustratief voorbeeld van het gecascadeerd gebruiken van bouwmaterialen is het gebruik van hout in achtereenvolgens: vloerbalk, vloerplank (2x), kozijn, spaanplaat, vezelplaat, en tenslotte energierecuperatie (Didde, 1997; Fraanje, 1998).



Figuur 1. Kringloop van materialen in circulair bouwen.

Ecologisch bouwen omvat veel aspecten. Het gebruik van natuurlijke bouwmaterialen staat daarbij centraal en veelal worden daarbij houtskelet, leembouw en grasdaken toegepast (Ecobouwen, 2018). In de filosofie passen daarnaast ook: decentrale waterzuivering (grijswater/regenwater); ontwerpen van passiefhuizen en nul-energie woningen; toepassing van warmtepompen, zonnepanelen; opwekking van biogas uit organisch afval. Helaas worden de milieueffecten van gebruik van bouwgrondstoffen hierbij vaak nog onderbelicht. Autarkisch bouwen gaat hierin verder en wordt o.a. door

de Vereniging Integrale Bio-logische Architectuur (VIBA) opgevoerd als ideale vorm van bouwen, waarbij het streven naar een hoge mate van zelfvoorziening voorop staat. Dit omvat opwekking van energie, grondstoffen recycling, hergebruik van water, terugwinning en opslag van warmte, etc. Toepassing van hernieuwbare bouwmaterialen sluit hierbij naadloos aan.

Definitie van Circulair bouwen volgens de Transitieagenda:

Circulair bouwen betekent het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later.

Naar de ideeën van architect Mike Reynolds²², worden ook in Nederland z.g. earthships gebouwd, waarbij het doel is een ecologisch huis te realiseren dat geheel uit hergebruikte materialen is opgetrokken (autobanden, flessen, etc.) en zichzelf van energie kan voorzien. Dergelijke projecten vragen veel extra voorbereiding en inzet van vrijwilligers en zijn voor reguliere bouw minder geschikt.

De duurzaamheid van bouwmaterialen wordt bepaald door een complex van verschillende factoren gedurende de totale levenscyclus van het product (Asif, 2009). Hierin weegt de energie mee die nodig is voor de totale productieketen van grondstofwinning en verwerking tot de toepassing van bouwproducten. Verder zijn de levensduur van een product en effecten tijdens de gebruiksfase zoals vereist onderhoud van doorslaggevende invloed voor de milieubelasting, en tenslotte de mogelijkheden voor hergebruik, recycling of energietrugwinning na de sloop.

2.4 Bouwmaterialen en binnenklimaat.

Omdat de moderne mens het grootste deel van zijn tijd binnenshuis of op kantoor doorbrengt is het binnenhuisklimaat van invloed op welzijn en gezondheid. Gezien de toenemende luchtdichtheid van gebouwen, neemt het belang van ventilatie toe.²³ De gebruikte bouwmaterialen, methode van verwarming en luchtverversingsinstallaties hebben een significant effect op hoe prettig een binnenruimte is. De hoge eisen aan energiezuinig bouwen hebben ook een effect op vocht huishouding en binnenklimaat. Met name aan biobased materialen (hout, natuurvezel-kalk en cellulose- en natuurvezel

²² Enkele voorbeelden van earthships: OWAZE (www.owaze.nl); Ecodorp Brabant; Hunzedorp Drenths Borger-Odoorn; Zwolle (SWZ, Nooterhof).

²³ www.duurzamekunststoffen.be/boek

isolatie) wordt een positieve vochtregulerende invloed toegeschreven, wat een aangener binnenklimaat tot gevolg heeft (Latif et al., 2015). Hennepvezel heeft tevens een anti-bacteriële werking (Khan, 2014). Daarnaast worden ook accoustische isolatie en trillingsabsorptie als technische voordelen van verschillende biobased producten genoemd.

Voor verbetering van het binnenklimaat worden in kantoren ook vaker groene plantenbinnengevels / verticale tuinen toegepast, bijv. Aliander, Duiven; Geelen counterflow, Haelen; Krinkels Group, Breda.

3 Bouwgrondstoffen en bouwmaterialen

3.1 Inleiding

Er zijn diverse mogelijkheden voor vervanging van oppervlakte delfstoffen (zand, grind, klinker) door hernieuwbare materialen in de bouw. Met name hout (vuren, grenen, lariks en douglas) en houtproducten (grenen spaanplaat, populier multiplex, vezelplaat) kunnen worden ingezet voor diverse bouwdelen als vervanging van staal, cement en beton voor heipalen, casco, vloerdelen, binnenwanden, en dakdelen (Fraanje en Van Kampen 1998). Hiermee zijn hout en houtvezels de voornaamste bron van biobased bouwmaterialen. Voor binnenwanden komen ook andere vezelgrondstoffen in aanmerking zoals stro en vlassevenen of hennepspaanplaat. Vezelplaten en vezelcomposieten zijn eveneens voor de meubelindustrie inzetbaar. Diverse vezelgrondstoffen (cellulose, vlas, hennep, wol) kunnen verwerkt worden tot thermische isolatieproducten. Strobalen kunnen worden toegepast als bouwblokken voor buitenwanden. Metselmortel kan worden geproduceerd van schelpkalk. Schelpen worden tevens toegepast als vochtisolatie onder woningen. Daarnaast zijn eiwitten, rubbers, oliën en andere bestanddelen van organische oorsprong potentieel toepasbaar in de bouw. Verder kunnen vormdelen op basis van vezels als vlas en hennep die reeds worden geproduceerd voor de automobiellindustrie toepassing vinden in de bouw. In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op de diverse hernieuwbare bouwgrondstoffen en materialen, die reeds worden toegepast en innovatieve producten die in de nabije toekomst mogelijk meer toepassing kunnen vinden.

Achtergrondinformatie over bouwmaterialen is te vinden op diverse websites zoals Nederlandse Bouw Documentatie (zie §11.2) waar producten en leveranciers kunnen worden aangetroffen of sites waar producten ook direct kunnen worden besteld (zie §11.5). Speciaal voor architecten zijn er diverse sites²⁴, waarop men op de hoogte kan geraken van nieuwe ontwikkelingen, onder andere ook van nieuwe bouwmaterialen.

3.2 Hout

3.2.1 Toepassingen en markt

Voorbeelden van hernieuwbare bouwmaterialen zijn in de eerste plaats producten op basis van hout en (hout)vezelplaten zoals spaanplaat, hoge dichtheid vezelplaat (volkern HDF), MDF, of multiplex. Timmerhout wordt in de bouw zowel constructief (houtskelet, wanden, vloeren, daken) als in de



²⁴ www.materia.nl

afwerking (kozijnen, plinten, parket, gevelbekleding, rabat, schroten, koplatten, boeidelen & boeiboord, traptreden, leuning, etc.) gebruikt. Voor verschillende toepassingen worden verschillende eisen gesteld aan de sterkte, duurzaamheid en uitstraling. Hout is leverbaar in veel verschillende kwaliteiten en prijzen. Een overzicht wordt gegeven in het document 'Houtwijzer' van Centrum Hout (2005).

In Nederland wordt jaarlijks ca. 15-16 miljoen m³ rondhout verbruikt waarvan 0.9-1.0 miljoen m³ tropisch hout. Het meeste hout wordt geïmporteerd. Hiervan is 30% gezaagd hout en 15% plaatmateriaal (AVIH, 2011). Het overige deel wordt voornamelijk in de papier en karton industrie verwerkt.

3.2.2 Houtbouwsystemen

Er is een aantal houtbouwsystemen te onderscheiden:

- HSB: houtskeletbouw
- CLT: cross laminated timber / kruislaaghout
- Traditionele houtbouw: o.a. Finnhouse, Finn-logs HufHouse
- Modulaire houtbouwsystemen: o.a. STEKO bouwsysteem, Dhomino
- Massieve houtbouwsystemen: o.a. NurHolz, Holz100



Per houtskelet nieuwbouwwoning wordt ca. 12-15 m³ hout gebruikt. In een standaard woning op basis van gietbouw of prefab beton wordt gewoonlijk niet meer dan 2-3 m³ hout ingezet. Massiefhouten bouw of volhout maakt geen gebruik van metaalverbindingen of lijm, slechts houten borgpennen (deuvels). Holz100™ presenteert dergelijke massiefhouten bouw als zeer duurzaam, comfortabel en veilig (Holz100, 2018). Nur-Holz prefab bouwelementen werden o.a. toegepast in verschillende projecten (zie hoofdstuk 7).

Figuur 2. Houtprefab in Agrodôme

3.2.3 Certificering

Van groot belang bij de keuze voor houtbouwsystemen is dat het hout ook duurzaam wordt geproduceerd. Milieukeurmerken voor hout zoals FSC (Forest Stewardship Council), PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification systems), Keurhout etc. worden reeds breed toegepast, zowel voor inlands Europees hout alsook voor geïmporteerd tropisch hardhout, eucalyptus en naaldhout soorten (VVNH, 2018). In 2006 werd 45% van de import duurzaam geproduceerd (VVNH, 2006) terwijl in 2017 90% uit duurzaam beheerde bossen afkomstig was. Onderverdeeld per hoofdgroep was dit: 97% van het naaldhout, 65% van het loofhout en 89% van het plaatmeateriaal (VVNH, 2018). Centrum Hout (samenvoeging van VVNH en de NBvT) wensen in de komende jaren een verdere impuls te geven aan gebruik van verantwoord hout (= aantoonbaar duurzaam).

3.2.4 Houtsoort keuze

De toepassingsmogelijkheden van hout hangen o.a. af van de houtsoort en de omgevingscondities. Overzichten van toepassingsmogelijkheden van diverse soorten hout (duurzaamheidsklasse volgens NEN-EN 350-2) in relatie tot de omgevingscondities (risicoklasse volgens NEN-EN 335-1) en gewenste levensduur (volgens NEN-EN 460) zijn door verschillende partijen verzameld, o.a. door Stichting Probos (2009) en Ingenieursbureau Boorsma. De meest toegepaste houtsoorten in de bouw in Nederland en de meest gangbare tropische hardhoutsoorten zijn op een rij gezet in tabellen 2 en 3.



Houteigenschappen die van belang zijn voor de keuze in een toepassing zijn: fysische en mechanische eigenschappen (zoals dichtheid, hardheid, sterkte en modulus in buig-, druk-, en trekbelasting, krimp- en zwelgedrag); bewerkbaarheid, gebruiksmogelijkheden en beschikbaarheid. Dergelijke info is te vinden op diverse databases, waarop ook andere technische gegevens van hout zijn te vinden²⁵.

²⁵ www.houtdatabase.nl/?q=hout/bouw/4 ; www.wood-database.com/wood-identification/by-scientific-name ; www.matbase.com – link naar 'wood'.

Tabel 2. Meest toegepaste houtsoorten in de bouw in Nederland (Houtinfo, 2012; Houtvademecum, 2018).

Houtsoort	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheids-klasse NEN	Dichtheid kg/m ³	Toepassingen, o.a.
Fijnspar (vuren)	<i>Picea abies</i>	4	460	Kozijnen, puien, ramen, deuren, trappen vloeren, kasten, bekisting lijstwerk, triplex, spaanplaat, houtskeletbouw
Grove den (grenen)	<i>Pinus sylvestris</i>	3/4	510	Kozijnen, ramen, deuren, vloeren, binnen- en buiten betimmering, balkhout, triplex, houtwol, hekpalen
Lariks	<i>Larix sp</i>	3	590	Dragende constructies, kozijnen, ramen, gevelbekleding, binnen betimmering, trappen, stutten, daksporen, afrastering
Western red cedar	<i>Thuja plicata</i>	2	350	Buitentoepassingen, palen, plankieren, shingles
Douglas	<i>Pseudotsuga menziessii</i>	3/4	530	Timmerhout, balken/, planken, heipalen, multiplex, gevelbekleding, kozijnen
Berk	<i>Betula sp</i>	5	670	Fineer, multiplex
Beuk	<i>Fagus sylvatica</i>	5	680-720	Voor binnen toepassingen, meubels, dorpels, trappen, parket, gereedschap
Eik	<i>Quercus robur</i>	2	650-750	Constructiehout, houtskelet frames, balken, parket, fineer
Kastanje (tamme)	<i>Castanea sativa</i>	2	590	Hekwerk, buitentoepassingen, wandafwerking
Iep	<i>Ulmus sp</i>	4	550-600	Meubels,
Wilg	<i>Salix sp</i>	5	420	Vlechtwerk en afscheidingen, fineer
Populier	<i>Populus sp</i>	5	350-450	Pallets, multiplex, papierpulp
Robinia	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1/2	750-950	Meubels, vloeren, wanden, hekwerk, tuinrichting, beschoeiing, deuvelds
Noten	<i>Juglans regia</i>	3	570-660	Meubels, vloeren, fineer
Eucalyptus	<i>Eucalyptus sp</i>	1/2	620	Constructie, trappen, hekken, leuning, parket, tuinhout, plaatmateriaal (multiplex, houtvezelplaat)
Esdoorn	<i>Acer sp</i>	5	755	Timmerhout, meubels, houtsnijwerk, gereedschap
Es	<i>Fraxinus sp</i>	5	540-710	Meubels, fineer, schrijnwerk

Tabel 3. Overzicht van meest gangbare tropische hardhoutsoorten (Houtinfo, 2012).

Houtsoort handelsnaam	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheids- klasse NEN	Dichtheid kg/m ³	Toepassingen (Herkomst)
Acapou	<i>Vouacapoua americana</i>			(Midden & Zuid Amerika)
Angelim de campigna (Macucu de paca)	<i>Aldina heterophylla</i>	1	880	Buitentoepassing, vlonders en vloeren, zware meubels (Brazilië)
Angelim vermelho (Gurupa)	<i>Dinizia excelsa</i>	1	1070	Buitentoepassing, vlonders en vloeren, trappen (Brazilië)
Azobé (Bonkole)	<i>Lophira alata</i>	1/2		Buitentoepassing, vlonders en vloeren, trappen, constructief en zware meubels (West Afrika)
Bangkirai (Meranti) #	<i>Shorea spec.div.</i>	1/2	500-600	Sterk constructief timmerhout voor buiten toepassingen en tuinmeubelen. (Zuidoost Azië)
Bilinga	<i>Nauclea diderrichii</i>	1		Buitentoepassing, hekwerk, beschoeiing (W. Afrika)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	1	910-1060	Vloeren, parket, (N. Zuid Amerika)
Ebben (Ebony) #	<i>Diospyros sp</i>		960-1120	Houtbewerking, snijwerk, meubels, muziekinstrumenten (India, Sri Lanka, West Afrika)
Favinha, Timbauba	<i>Enterolobium schomburghi</i>	1		Meubels, boten, vloerdelen, constructie hout, fineer (Brazilië)
Guariuba, Mururé	<i>Clarisa racemosa</i>	1	1160	Tuinmeubels, dekvloeren (Brazilië)
Ipé	<i>Tabebuia sp</i>	1	850-970	Meubels, vloerdelen (M en Z Amerika)
Itauba	<i>Mezilaurus sp</i>	1	960	Boten, vloeren (M Amerika tot ZO Brazilië),
Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	1/2	655	(Afrikaans teak, bedreigde soort)
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i>	1	860	Buitentoepassingen, vloeren, constructiehout, fineer (West Australië)
Jatoba	<i>Hymenaea courbaril</i>	1	710-820	Meubels, vloeren, parket decoratie, snijwerk, gereedschap (Caribben, Midden & Zuid Amerika)

Staan op IUCN rode lijst

Tabel 3 (vervolg). Overzicht van meest gangbare tropische hardhoutsoorten (Houtinfo, 2012).

Houtsoort handelsnaam	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheids-klasse NEN	Dichtheid kg/m ³	Toepassingen (Herkomst)
Karri	<i>Eucalyptus diversicolor</i>	2	900	Vloeren en aftimmerwerk (Australië)
Louro gamela	<i>Ocotea rubra</i>	2	640-720	Meubels, dekvloer en parket (Brazilië, Suriname, Guyana)
Louro preto (Imbuya)	<i>Ocotea spec. div.</i>	1	650	(Zuid Brazilië)
Mahonie (Sipo) #	<i>Entandrophragma utile</i>	2/3	650	Meubels, fineer (Afrika)
Massaranduba	<i>Manilkara huberi</i> <i>M. bidentata</i>	1/2	870-1050	Meubels en vloeren (Midden Amerika)
Merbau	<i>Intsia bijuga</i>	2	1050	Vloeren, deuren, kozijnen (Zuid Azië, Pacific)
Padoek (Narra, Amboyna)	<i>Pterocarpus soyauxii</i> <i>Pterocarpus indica</i>	2/3	740	Fineer, vloeren, meubels, draaiwerk (Centraal-West Afrika)
Piquia	<i>Caryocar villosum</i>	2	780	Kozijnen en constructiehout (Brazilië)
Purperhart	<i>Peltogyne spec. div.</i>	2/3	860	Meubels, fineer, parket (Midden & Zuid Amerika)
Sucupira amarelo Mandioqueira	<i>Ferreirea spectabilis</i> <i>Bowdichia nitida</i> <i>Qualea paraenesis</i> <i>Ruizterania sp</i>	2/3	980 1010 720	Meubels, fineer, vloeren, balkhout, shingles, constructiehout (Brazilië)
Sucupira vermelho	<i>Andira parviflora</i>	2	630-710	Constructiehout, deuren, kozijnen, trappen en gevelbekleding, meubels, fineer (M & Z Amerika)
Teak	<i>Tectona grandis</i>	1	630-720	Meubels, vloeren, timmerhout (Zuidoost Azië, Afrika, Caribben)
Vitex	<i>Vitex cofassus</i>	1/2	700-800	Vloeren, constructiehout (Zuidoost Azië, Papua N Guinea)
Wengé #	<i>Millettia laurentii</i>	2	750	Vloeren, parket, hekwerk, draaiwerk, instrumenten (West-Centraal Afrika)

Staan op IUCN rode lijst

3.3 Houtverbindingen en verlijmde houtproducten

3.3.1 Houtverbindingen

Houtverbindingen zijn van belang voor het maken van degelijke constructies, omdat hout voor bouwtoepassingen is gebonden aan de maximale lengte en breedte van de boom en omdat hout in de verschillende richtingen ook verschillende sterkte eigenschappen heeft. Door breedte verbindingen (rabat, messing en groef) en lengte verbindingen (vingerlassen) worden houten onderdelen verkregen van gewenste dimensies. Daarnaast zijn er diverse hoek-, kruis- en halfhout-verbindingen bekend in de timmerindustrie, waarmee een grote vormvrijheid kan worden bereikt: pen-gat-, deuvell-, tand- en zwaluwstaartverbindingen, etc. Metalen schroeven, spijkers en bouten zijn welbekend voor bevestiging van houten delen. Daarnaast kunnen ook diverse metalen verbindingen, wijkhaken, hoekankers, balkdraggers en strips worden ingezet om een houten constructie samen te stellen. Een andere veel toegepaste mogelijkheid is het onderling verlijmen van houten oppervlakken.

Verlijmde bladen en panelen van massief hout en doorlopende gevingerlaste lamellen worden in verschillende afmetingen door de houtverwerkende industrie geproduceerd. Naast het verlijmen van houten planken of balken worden ook dunne fineerlagen verlijmd. Deze hout(vezel)producten worden meestal verlijmd met synthetische (petrochemische) lijmen zoals Ureum formaldehyde (UF), Phenol formaldehyde (PF), Polyvinylacetaat (PVAc) of isocyaan-gebaseerde binders. Vanwege verscherpte wetgeving om emissies van schadelijke stoffen te verminderen, komen de formaldehyde gebaseerde producten steeds meer onder druk. Dergelijke schadelijke stoffen worden ook wel volatile organic compounds (VOC) genoemd. De formaldehyde lijmen worden naar verwachting mondiaal uitgefaseerd. Hierbij valt op dat de normen voor binnenshuis toepassing van formaldehyde in de USA en Japan (< 0.03 ppm) aanzienlijk strenger zijn dan in de EU (< 0.13 mg/m³ lucht of < 0.1 ppm).

3.3.2 Fineer

Gefineerd hout is reeds lang toegepast in de meubelmakerij en interieurafwerking om houtoppervlakken af te werken. Vóór de introductie van synthetische lijmen werden beenderlijm of runderbloed als lijm gebruikt. Vanwege de



bewerkelijkheid en de huidige strikte regels voor het gebruik van dierlijke producten in de EU zijn deze biobased producten vervangen door synthetische lijmen (UF, PF of PVAc). Fineer is verkrijgbaar op basis van veel verschillende houtsoorten (eik, beuk, mahonie, teak, etc.) en specialiteiten (noten

wortel e.a.) en wordt veel gebruikt in de meubelmakerij, meubelrestauratie en interieurafwerking (deuren, kasten, boten, dashboards).

3.3.3 Multiplex

Triplex of multiplex (Plywood) wordt in grote hoeveelheden toegepast in de bouw en meubelindustrie. Deze plaatmaterialen zijn opgebouwd uit drie of meer lagen houtfineer, die kruislings worden verlijmd. Hierdoor ontstaat in alle richtingen een hoge sterkte. De dunne fineerlagen (tot 0.6 mm) worden meestal verkregen door het (machinaal) schillen van rondhout over de lengte van de stam. Het hout voor de toplaag is meestal van betere kwaliteit fineer. Soms wordt ook een (decoratieve) melamine toplaag toegepast voor fabricage van keukenbladen, deuren of kasten. Voor betonbekisting wordt ook vaak multiplex ingezet.



3.3.4 Gelamineerde houtelementen

Innovaties voor bouwen met hout wordt gevonden in de meerlaags verlijmd (gelamineerde) prefab houtelementen waarmee grote overspanningen kunnen worden gerealiseerd. De lijm is gewoonlijk UF, PF of melamine formaldehyde (MF). Vergelijkbaar met multiplex houtfineer producten worden kruislings georiënteerde lagen van planken verlijmd voor dragende vloer- en dakdelen. Gelamineerde vuren of lariks houten balken zijn geschikt voor overspanningen en dragende constructies, die inzetbaar zijn in bijvoorbeeld sporthallen of fabriekshallen. Kruislaaghout of 'cross laminated timber' (CLT) wordt wel het beton van de 21e eeuw genoemd.²⁶



²⁶ <https://boosting.nl/event/show/id/241>

3.3.5 Prefab elementen en logbouw

Prefab houten bouwblokken en panelen zijn de afgelopen jaren door verschillende bedrijven op de markt gebracht voor inpassing in houtskeletbouw. Deze blokken en elementen kunnen worden gestapeld als bakstenen waardoor verlijming overbodig is. Installatie van bedrading of leidingen

kan worden geïntegreerd in het ontwerp. Houtstapelbouw of logbouw wordt momenteel toegepast in verschillende nieuwbouw projecten (Houtbouwprojecten, 2012). Hierbij worden massieve of gelamineerde balken gestapeld tot constructieve wanden welke met verschillende methoden kunnen worden afgewerkt. Deze manier van bouwen zou ook voor zelfbouwen en renovatie geschikt zijn. Finnforest maakt houten I-liggers t.b.v. vloeren, wanden en daken.



3.3.6 Houtlijmen

Alternatieve formaldehyde vrije houtlijmen worden als milieuvriendelijke lijm op de markt aangeboden. Dergelijke lijmen zijn gebaseerd op sojameel maar ook een aandeel chemische cross-linker bevatten. Het gebruik van deze cross-linkers wordt niet breed uitgemeten. Ze zijn veelal op basis van reactieve

chemische componenten als epichloorhydrine (C_3H_5ClO) of isocyaan (methyleen di-isocyaan MDI; toluen di-isocyaan TDI; hexamethyleen di-isocyaan HDI) of acrylaat. Op basis van sojameel en PAE (polyamidoamine epichloorhydrin) is een lijm (Soyad™) met een goede natsterkte ontwikkeld (Kuo, 2001). Deze lijm wordt gebruikt in o.a. Purebond® multiplex. Acrodur® is een "ecologische" lijm van BASF op basis van acrylaat voor de fabricage van vezelcomposieten en thermohardende vormdelen.

De moderne formaldehyde gebaseerde lijmen hebben een lage formaldehyde emissie en de daarmee verlijmden producten voldoen aan de Europese emissiewaarden regelgeving²⁷. Fenol-formaldehydelijmen (PF) worden vooral in multiplex en HDF platen toegepast. Ook worden decoratieve papiercoatings met PF geïmpregneerd. Resorcine (Resorcinol formaldehyde hars, RF) wordt ingezet voor vingerlassen en buitentoepassingen (boten). Melamine hars (melamin formaldehyde hars, MF), is een synthetisch thermohardende kunststof (BASF), die voornamelijk wordt toegepast in de (decoratieve) toplaag van houtvezelplaten (MDF, spaanplaat, HDF). Het geeft een water- en brandwerende laag en is hard en krasvast. Dergelijk materiaal wordt ook wel formica



²⁷ MAC waarde 0.3 ml/m^3 ; UF verlijmden spaanplaat klasse A $< 3.5 \text{ mg/m}^2\text{h}$; NEN-EN1084; www.apa-europe.org.

genoemd. MUF lijm is een UF houtlijm die door toevoeging van melamine een sterkere en water bestendiger lijm geeft.

Acrylaat lijmen zijn snel drogende lijmen die een goede hechting en sterkte geven. Ze bestaan vaak uit twee componenten: polycarboxyzuren en multifunctionele alcoholen die worden uitgehard met een katalysator of door UV. Cyanoacrylaat is de bekende secondelijm of superlijm.

Epoxy twee-componenten (bisfenol A en epichloorhydrine) lijm is een oplosmiddel vrije lijm die door polymerisatie en vernetting van epoxide op het houtoppervlak de verschillende delen aan elkaar verbindt. Epoxy wordt vaak als reparatielijm toegepast.

Bioadhesives op basis van eiwitten of koolhydraten:

Er is een hele serie biobased lijmen, die niet meer, nog niet of slechts sporadisch in bouwproducten worden toegepast, maar die mogelijk wel geschikt zijn. Huidige toepassingen geven een indicatie van de toepassingsmogelijkheden:

- Beenderlijm wordt gemaakt op basis van collageen dat wordt gewonnen uit slachtafval zoals beenderen, huiden en vis. Het is niet watervast en door temperatuur en vochtinwerking reversibel weer los te maken. Het is beschikbaar met verschillende eigenschappen (sterkte, hardheid, droogsnelheid en 'bloomgetal'). Beenderlijm is geschikt voor het lijmen van hout (fineer) en andere binnen toepassingen. Het wordt nog slechts in beperkte hoeveelheden toegepast, en dan met name voor muziekinstrumentenbouw en de restauratie van meubelen.
- Ook van dierlijke oorsprong zijn de caseïne lijmen, die uit koeienmelk wordt gewonnen. Caseïne lijm wordt behalve als etiketterlijm ook gebruikt om kleurstoffen te binden en decoraties op pleisterkalk aan te brengen.
- Plantaardige eiwitlijmen zijn bijvoorbeeld sojelijm die in de USA als formaldehydevrij product op de markt is voor multiplex en OSB (Frihart, 2010). Ook gluten eiwit heeft goede lijm eigenschappen, maar wordt niet op commerciële schaal in de bouw toegepast als lijm.
- Zetmeellijmen (stijfsel) worden uit aardappel, tarwe, mais of rijst geproduceerd. Aardappel dextrine wordt bijvoorbeeld toegepast voor papier & karton. Hiermee kunnen papier schuimen, isolatie platen of ook vezel non-wovens worden geproduceerd die in bouwtoepassingen inzetbaar zijn.
- Voor vergelijkbare toepassingen, maar met name als behangplaksel en papierlijm, komen ook cellulose derivaten in aanmerking: zoals Methyl cellulose lijm (MC), methylhydroxyethyl cellulose (MHEC), carboxymethylcellulose (CMC), hydroxyethyl cellulose (HEC); hydroxypropylcellulose (HPC). Ieder derivaat heeft zijn typische

toepassing om papier of cellulose vezels te verstevigen, te binden of hydrofoob te maken.

- Andere koolhydraat gebaseerde lijmen zijn gebaseerd op chitosan (uit garnalen), of plantaardige gom zoals Arabische gom. Deze hars van *Acacia senegal* e a. geeft een watergevoelige lijm en is bekend als verdikkingsmedium in waterverf.

Furaan hars

Als hernieuwbare lijm en milieuvriendelijker vervanger van fenolformaldehyde hars is ook furaan hars uitstekend inzetbaar als houtlijm. De beschikbaarheid van furaanhars op de markt is echter (nog) beperkt.

3.4 Geïmpregneerd hout en coatings

3.4.1 Houtbescherming

Hout en houtproducten zijn gevoelig voor biologische afbraak als het vochtgehalte te hoog (> ca. 20%) wordt, waardoor met name voor buitentoepassingen maatregelen nodig zijn om voortijdige degradatie te voorkomen (Probos, 2009). Daarnaast hebben blootstelling aan weersinvloeden zoals uv-licht en wind ook een negatief effect op de materiaaleigenschappen.

Als bescherming van hout en houtproducten tegen vocht, uv-licht of aantasting door micro-organismen (schimmels) wordt vaak een waterafstotende, ondoordringbare laag aangebracht. Het grootste aandeel van deze impregneermiddelen, lakken en coatings worden geproduceerd op basis van petrochemische producten, maar ook biobased grondstoffen zijn inzetbaar. Natuurlijke houtbeschermingsmiddelen zijn was (wax), schellak, drogende oliën (lijnolie, tung olie), vernis, lak en verf (op plantaardige oliebasis).

Voor de bestrijding van zwammen op hout en vezels in buitentoepassingen wordt sinds het verbod op creosoot (steenkoolteer) en Wolman zouten²⁸ met name boorzuur houdende oplossingen populair²⁹.

²⁸ Wolmanzouten zijn zouten op basis van chroom en koper (CC) of chroom, koper en arseen (CCA)

²⁹ Boorzuur, borax, natriumoctaboraat.

3.4.2 Verven en houtcoatings

De verven en lakken die worden gebruikt voor houtbewerking vallen onder de categorie chemische bouwstoffen en worden voor het overgrote deel niet uit hernieuwbare grondstoffen geproduceerd. Niettemin vergroten ze de toepassingsmogelijkheden van houtproducten in de bouw aanzienlijk.

Hout en houtproducten worden tegen beschadiging en slijtage beschermd door het aanbrengen van een beschermende verf- of laklaag. Een coating beschermt tegen weer en wind en verhindert het binnendringen van vocht en aantasting door schimmels of insecten. Een goede coating moet beschermen tegen uv-straling en kunnen 'ademen' om ophoping van vocht te voorkomen. Deze verven worden meestal geproduceerd op basis van alkyd en/of acrylaat.



De meeste coatings worden aangebracht met behulp van organische oplosmiddelen, die als schadelijk voor de gezondheid worden bestempeld (bijv. toluen, terpentine) (FNV Bouw, 2009). Lakken zijn oorspronkelijk transparant, waardoor de houtkleur en nervenstructuur zichtbaar blijft, en geven een dekkende laag die niet doordringt in het hout. Verven zijn niet transparant en

bestaan hoofdzakelijk uit pigmenten, bindmiddelen en vulmiddelen, die meestal zijn verdund in een vluchtig oplosmiddel. Ook wordt een drogingsmiddel of siccatief toegepast. De begrippen lak en verf worden tegenwoordig vaak door elkaar gebruikt. Lakverven worden gefabriceerd op waterbasis (acrylverf) of terpentinebasis (alkydverf). Verven op thinnerbasis (epoxyverf, celluloselak) en terpentijn basis (lijnolieverf, langzaam drogend) worden beperkt ingezet.

- Houtvernissen zijn doorgaans transparant en glanzend, waardoor de houtnerf zichtbaar blijft. Vernissen op plantaardige oliebasis kunnen succesvol als bescherming van hout worden toegepast, maar langere droogtijden en meerdere behandelingen maken het bewerkelijker dan de sneldrogende synthetische producten. Deze olievernissen worden gefabriceerd uit drogende plantaardige oliën zoals tall olie, lijnolie, jojoba olie, maanzaadolie, walnootolie, etc. Dergelijke oliën zijn gevoelig voor oxidatie en kunnen daardoor aan de lucht ranzig worden. Er

worden in commerciële producten vaak metaalzout katalysatoren aan toegevoegd (Co, Mn, Fe), die de droging versnellen.

- Terpentijn wordt aan lijnolie toegevoegd, waardoor vernis verdund wordt. Terpentijn (pineen) wordt uit naaldhout gewonnen door destillatie. Terpentine daarentegen is een nafta kraakproduct dat ook wordt gebruikt voor het verdunnen van verven.
- Alkyd en PUR gebaseerde vernissen gebruiken eveneens petrochemische oplosmiddelen en geven een goede bescherming. Water-gebaseerde middelen geven minder VOC emissies maar kunnen zwelling van de vezels veroorzaken waardoor een ruw oppervlak ontstaat.
- Nitrocellulose lak (NC) is een cellulose derivaat dat nog beperkt wordt geproduceerd (vanwege vervuiling tijdens de productie en vergeling van het gelakte hout). Deze verspuitbare lak is transparant en geeft een goede glans maar is niet erg hard. Door instrumentmakers en modelbouwers is NC gewild voor de bescherming van houten instrumenten, vanwege het positieve effect op de klank.
- Alkydverven worden samengesteld uit een pigment (meestal minerale kleurstoffen) en alkydhars. Dit is een polymeer dat is opgebouwd uit polyolen, die zijn gecondenseerd met organische zuren. Aan de gevormde polyesters worden veelal emulsies van plantaardige oliën toegevoegd (lijnolie, sojaolie, zonnebloemolie) en een katalysator voor de uitharding (metaalzouten zoals Fe, Co, Ca, Zn, Zr, Pb).
- Beitsen dringen in tegenstelling tot verf en vernis door in het hout en geeft daardoor een extra bescherming. Beits zal daardoor niet afbladderen. Beitsen kunnen transparant of dekkend zijn en worden geleverd in uiteenlopende kwaliteiten. Binnenbeits is veelal op basis van waterverdunbare acrylaten. Buitenbeits is op basis van alkydhars en een oplosmiddel als terpentine. Beits geeft een donkere kleur aan het hout.
- Pigmenten zijn meestal minerale producten zoals oker, omber, titaanwit, sienna, ultramarijn, FeO_2 , Cr_2O_3 , etc. Biobased organische pigmenten en kleurstoffen zijn vaak minder kleurecht (bijvoorbeeld purper uit brandhoornslak, karmijn uit cochenille schildluis, indigo uit *Indigofera tinctoria*, wede, meekrap, etc.).

Het aandeel biobased componenten in de verf- en lakken sector is aanzienlijk (plantaardige oliën), maar zou nog kunnen worden uitgebreid. Deze componenten worden terug gevonden in de verschillende alkyd bindmiddelen op basis van natuurlijke olie (soja, zonnebloem, lijnolie, ricinus, saffloer, tallolie, houtolie, koolzaad, calendula). Ook worden cellulose derivaten (zoals CMC) toegepast als additief verdikkingsmiddel, glansmiddel. Daarnaast kunnen de oplosmiddelen van biologische oorsprong zijn (ethanol, terpentijn). Enkele voorbeelden van producten:

- Latex (watergedragen) muurverf bevatte vroeger natuurrubber latex, maar wordt tegenwoordig meestal gemaakt op basis van synthetische bindmiddelen (vinyl, acryl, styreen). Latex verf bevat verder kalk en pigment en vaak ook een schimmelwerend middel.
- Op basis van caseïne-kalk is een muurverf beschikbaar voor binnen en buiten. Deze verf is beschikbaar in 45 kleuren en is ademend, vochtregulerend en electrostatisch neutraal (Calcatex).
- Finse kookverf op lijnolie basis met 'aardpigmenten' (oker) is een traditionele kookverf. Voor sommige formuleringen wordt zetmeel van rogge en/of tarwe meegekookt als verdikkend bestanddeel.
- Wohlfühlfarbe is een waterverdunbare witte dispersieverf op natuurharsbasis voor binnen toepassing op minerale ondergrond (pleisters, gips).
- Ecoleum is een transparante beits, een milieuvriendelijke carbolineum vervanger voor houtbescherming voor ruwhout in buitentoepassingen tuinhout, schuren etc. Deze beits wordt op basis van lijnolie en alkydhars samengesteld.
- Van Wijhe Verf (Wijzonol) en ook Dreisol ontwikkelen beschermende coatings en lakken met betere milieuprestaties (reductie VOC emissies, oplosmiddelvrije lakken, uv hardende lakken). Deze zijn vooralsnog voornamelijk op petrochemische basis met uitzondering van het aandeel plantaardige oliën die in veel alkydharsen worden verwerkt.
- Een recente ontwikkeling is het impregneren van hout met natuurlijke olie waar vervolgens een coating van schimmels op wordt aangebracht (Xyhlo® biofinish).

3.4.3 Hydrofobeermiddelen (wassen)

Wassen komen in de natuur voor als de waterafstotende componenten die aan het oppervlak van plantaardige cellen een barrière vormen. Natuurlijke wassen worden ook door verschillende insecten uitgescheiden: bijenwas, schellak en Chinese schildluis was.

Informatie over de oorsprong en samenstelling van de toegepaste wassen als houtbeschermingsmiddel is beperkt voorhanden. Veelal wordt Paraffine wax toegepast, dit is een petroleum gebaseerde was.



- Bijenwas wordt uit de honingraten gemaakt en is opgebouwd uit vetzuur-esters en vet-alcoholen. Bijenwas vereist herhaalde behandeling en opwrijven om de glans te behouden.
- Schellak is afkomstig van de lakschildluis (*Coccus lacca* / *Laccifer lacca*), het geeft een gelige kleur en is erg duurzaam.

- Lanoline, of schapenwolvet, geeft een uitstekende bescherming aan leer, metaal en ook hout. Behalve voor onderhoud van antieke meubels wordt het slechts beperkt toegepast.
- Enkele voorbeelden van plantaardige wassen, die commercieel worden gewonnen, en voor impregnatie van hout gebruikt kunnen worden, zijn:
 - Carnauba palm was (*Copernicia prunifera*, Brazilië),
 - Candelilla (*Euphorbia cerifera*, *E. antisiphilitica*, Mexico),
 - Ouricury was gewonnen uit de vederpalm (*Syagros coronata*, Brazilië)
 - Japan was (*Rhus vermiciflua*)
 - Retamo was (*Bulnesia retamo*, Argentinië)
- Er zijn een aantal minerale wassen (koolwaterstoffen) te gebruiken als hydrofoberingsmiddel van hout:
 - Paraffine, C20-C40 alkanen, zware fractie uit aardolie
 - Montan, donkerbruine was geëxtraheerd uit lignite kool of turf,
 - Ozokerite, waxstone ook bekend als wassteen of mijnsteen. Dit is een minerale delfstof
 - Ceresine, is een extract uit waxstone

Voor het impregneren van poreuze gevels zijn siliconen hydrofoberingsmiddelen op de markt. Dit zijn synthetische anorganische polymeren met synthetisch organische substituenten die sterk water afstotende eigenschappen bezitten (bijv polydimethylsiloxaan = siliconen rubber). Dergelijke siliconen kunnen ook hout een goede bescherming en verduurzaming geven.

3.4.4 Brandvertragers

Vanwege de brandbaarheid van hout en andere hernieuwbare grondstoffen worden deze materialen soms behandeld om te kunnen voldoen aan de strengste veiligheidsnormen die in de bouw gelden [NEN 6068] (Centrum Hout, 2007b). Ter bescherming tegen brand en brandvoortplanting wordt hout geïmpregneerd met brandvertragers.



De methoden om hout en houtproducten brandvertragend te maken zijn gericht op het vertragen van de vlamvorming en het voorkomen van uitbreiding van de brand. Hiervoor worden verschillende zouten toegepast die kunnen reageren met de brandbare gassen die bij hoge temperatuur (> 250 °C) vrijkomen. Halogenen (fluoride, chloride, bromide) zijn zeer effectief, maar schadelijk voor het milieu en daarom worden deze niet meer ingezet voor deze toepassing. Meestal is geen of zeer beperkte informatie te vinden over de toegepaste brandvertragende middelen, die meestal wel de claim hebben vrij van

halogenen te zijn. Alternatieve vlamvertragers die vaak worden toegepast als impregneer middel voor hout zijn op basis van boorzouten, (quaternaire) ammonium zouten, en fosforverbindingen.

Waterglas (Na_2SiO_3) wordt vanouds gebruikt om hout en textiel brandwerend te maken en ook om poreuze wanden vochtwerend te maken. Keim Soldalan is bijvoorbeeld een op waterglas gebaseerde muurverf. Met waterglasverven kunnen ook buitengevels worden behandeld.

3.5 Gemodificeerd hout

Om hout te verduurzamen kan het een milde thermische behandeling worden gegeven (150-200 °C). Hierdoor worden voor schimmels en bacteriën makkelijk toegankelijke koolhydraten omgezet en onverteerbaar gemaakt en wordt het materiaal tegelijkertijd meer waterafstotend.



- ThermoWood® en Plato hout® zijn naaldhout (vuren) producten die door een thermische behandeling zijn verduurzaamd en daardoor breder inzetbaar zijn, o.a. voor buitentoepassingen als gevelbekleding, hekwerk of schuren.
- Acyleren of veresteren van hout heeft het effect dat het behandelde materiaal geen water meer opneemt en dat het door hout afbrekende micro-organismen niet meer wordt herkend.
- Accoya wood geeft (naald)hout een behandeling met azijnzuuranhydride, waardoor het materiaal waterafstotend wordt en betere dimensiestabiliteit vertoont.
- Waxwood® is een voorbeeld van een waterwerend houtproduct op basis van inheemse houtsoorten die bij verhoogde temperatuur met was zijn geïmpregneerd. Het product is geschikt voor buitentoepassing.
- Koolteer werd vroeger in de scheepsbouw toegepast. Door middel van pyrolyse van hout onder zuurstofvrije omstandigheden wordt een reactieve zwarte koolteer olie verkregen (bio-olie) waarmee hout verlijmd, gehydrofobeerd en verduurzaamd kan worden.
- Impregneren van hout met hernieuwbare producten zoals pyrolyse olie, lignine (restproduct uit de papierproductie) en furaan-harsen heeft een uitstekend verduurzamend effect, met name op goedkopere en lichtere houtsoorten zoals populier en wilg of naaldhout.



Figuur 3. Het NIOO-gebouw in Wageningen met gemodificeerd houten gevelbekleding

3.6 Vezelplaatmaterialen

Plaatmaterialen worden in diverse bouwdelen toegepast, van gevelbekledingen, die weer en wind moeten kunnen weerstaan, tot binnenwanden waarbij akoestische isolatie en decoratieve afwerking samen gaat met veiligheid en comfort.

3.6.1 Gevelbekleding

Architectonisch is de gevelbekleding van groot belang voor de uitstraling van een gebouw. Toekomst scenario's voor nieuwe materialen in de bouw houden rekening met de mogelijke recycling. Biobased plaatmaterialen en panelen voor gevelbekleding worden veelvuldig toegepast. Naast

(gecoate, geïmpregneerde, verduurzaamde) houten rabatdelen, shingles of schelpen stuc als gevelbekleding kunnen ook de Volkern HDF decoratieve panelen (zie §3.6.5) als biobased materiaal worden aangemerkt, vanwege het aandeel houtvezels (ca 70%).



3.6.2 Spaanplaat

Spaanplaat (Particle board) wordt in grote hoeveelheden toegepast in de bouw en meubelindustrie. Deze hout(vezel)producten worden veelal gebonden met synthetische (petrochemische) lijmen of harsen (zie §3.3.6) zoals Ureum formaldehyde (UF), Phenol formaldehyde (PF), en Polyvinylacetaat (PVAc) of isocyaan-gebaseerde binders. Vanwege verscherpte wetgeving m.b.t. hoge emissies van schadelijke stoffen staan de formaldehyde gebaseerde producten steeds meer onder druk.

Spaanplaten op basis van vlas- en hennepscheven worden geproduceerd door o.a. Faay, LCDA, LeFeber, Linex Pro-grass en Unilin. Vlasschevenplaat wordt toegepast in wand- en plafondsysteem. Separatiewanden, voorzetwanden bij renovatie of isolatiewanden kunnen worden opgetrokken van lichtgewichtspaanplaat ($320-540 \text{ kg/m}^3$) gebonden met UF hars (Formaldehyde klasse E1) en eventueel afwerking met gipskartonplaat, verf, sierpleister, tegels of stucwerk of vinyl decoratielaag. Ook meerlaagsproducten gelamineerd met steenwolisolatie of resol-hardschuimkern kunnen worden geleverd.



BIOBASED HUIS
vezelplaten
spaanplaat

3.6.3 MDF

MDF (medium density fibre board) wordt tegenwoordig grootschalig toegepast in de bouw en de meubelindustrie. MDF platen worden geproduceerd door houtvezels te besproeien met een lijm (gewoonlijk UF of PUR) en te persen bij verhoogde temperatuur. De vlakke platen hebben een dichtheid van ca $0.6-0.8 \text{ g/cm}^3$ en worden geleverd met standaard afmetingen (1.22 x 2.44 m en 4-30 mm dikte). Tegen watergevoeligheid of brandbaarheid kunnen de platen ook worden geleverd met een extra toevoeging. Het grote voordeel van vezelplaten is dat het gehele hout kan worden gebruikt (zonder zaagresten) en dat een hoogwaardig product kan worden gemaakt uit mindere kwaliteit houtsoorten (EPF, 2018).



BIOBASED HUIS
vezelplaten
MDF

3.6.4 Hardboard

Hardboard is een plaatmateriaal dat gewoonlijk van houtvezels wordt gefabriceerd. Hardboard platen worden geperst uit vervezelde gestoomde houtchips volgens de procedure van Mason (1924) zonder toevoeging van een hars: natte vezels worden op een fijn gaas geperst onder hoge druk



BIOBASED HUIS
vezelplaten
hardboard

en temperatuur (175-200 °C) waardoor het vocht wordt verwijderd. Deze vorm van hardboard heeft een dichtheid van ca 800 kg/m³ en is ook wel bekend als Masonietvezelplaat. Masoniet (3-6 mm dik) wordt toegepast in de meubelindustrie en voor het egaliseren van ondervloeren. Ook wordt masoniet veel door kunstenaars gebruikt als ondergrond voor schilderwerk.

3.6.5 HDF (High density fibre board)

HDF volkern is een massieve hoge dichtheid vezelplaat (1350 kg/m³), die veel wordt toegepast als gevelbekleding en in natte ruimtes (zwembaden, sportscholen) en in meubels, kasten, tafel- en werkbladen. HDF of Formica, beter bekend als de Trespa®-plaat, wordt geproduceerd door heet persen van met fenolhars beharste houtvezels (TMP of thermomechanisch vervezelde naaldhout chips) of van lagen met fenolhars geïmpregneerd kraftpapier.



BIOBASED HUIS
vezelplaten
HDF

3.6.6 Oriented strandboard (OSB)

Oriented strand boards (OSB) wordt vooral in de USA en Canada aangetroffen, maar wordt ook steeds vaker in Europa toegepast. OSB is sterker dan spaanplaat en heeft eigenschappen vergelijkbaar met multiplex platen maar is goedkoper. Deze platen van beharste en geperste dunne houtsnippers of schilfers worden met name binnen en in tijdelijke



BIOBASED HUIS
vezelplaten
OSB



bouwvoorzieningen toegepast. Het gebruik van lagere kwaliteit houtsoorten zoals populier- of esdoornhout in OSB is mogelijk zonder groot kwaliteitsverlies. Vanwege striktere regels m.b.t. formaldehyde emissies worden dergelijke platen tegenwoordig ook met sojalijm (en isocyaan hars) als formaldehydevrije platen op de markt gebracht (Soynewuses, 2018).

3.6.7 Stropanelen

- Geperste stroplaat werd vroeger gebruikt als scheidingswand en isolatiemateriaal; een andere naam was Halmplank (De Vree, 2012). Ekopanely (Cz) produceert en levert nog dergelijke geperste stropanelen met papier toplaag.
- Plaatmaterialen op basis van formaldehyde-vrije hars gebonden strovezels worden in Nederland onder de naam Ecoboards vermarkt.
- Durra plafond- en wandplaten (van Ortech, Australië) gemaakt van tarwe- of rijststro gebonden met PVA lijm op water basis, hebben een uitstekende akoestische en thermische isolatie.
- Stro-cellulose (karton) board wordt in W. Europa niet meer geproduceerd. Eind jaren 70 werden deze fabrieken (voornamelijk in Groningen) vanwege hun grote milieubelasting gesloten. Ook elders in Europa (Spanje, Denemarken) werden stropulpfabrieken gesloten of voor andere grondstoffen (papier recycling) geschikt gemaakt.
- Vroeger werden platen op basis van geperst nopriet toegepast als isolatieplaat, dakbeschot of wandisolatie.



BIOBASED HUIS
vezelplaten
stropanelen

3.6.8 Bagassevezelplaat

Bagassevezelplaat wordt gemaakt op basis van het restproduct dat vrijkomt bij suikerrietproductie. Jaarlijks wordt er wereldwijd meer dan 1,2 miljard ton suikerriet geoogst, waarbij ca 0.4 miljard ton bagasse vrijkomt. Deze vezelplaatproducten zijn beperkt op de Nederlandse markt beschikbaar. Wall

Art levert in Europa 3D interieur panelen op basis van bagasse. Bagasse panelen worden geproduceerd als particle board en MFD via verlijming met UF. Wereldwijd zijn diverse producenten actief zoals bijvoorbeeld in Cuba maar ook India (Sleek Boards Ltd.), en Thailand. De Duracane fabriek van Acadia Board Company in de USA past in de productie MDI lijm toe.



BIOBASED HUIS
vezelplaten
bagassevezel

3.6.9 Bamboe

Bamboe wordt niet inheems geproduceerd maar geïmporteerd uit vooral China, en in mindere mate uit andere landen zoals Indonesië en Colombia. Bamboe als bouw materiaal heeft vele



BIOBASED HUIS
vezelplaten
bamboe

mogelijkheden en traditioneel werd het toegepast in vlechtwerk en als (goedkoop) constructie materiaal.



Figuur 4. Bamboe, verlijmd bamboeparket en -composiet

Ook voor moderne bouwtoepassingen zijn bamboe en rotan inzetbaar. Bamboe wordt toegepast voor de fabricage van diverse bouwmaterialen en producten voor binnenhuis en tuininrichting. Nieuwe methoden voor de verlijming van de stroken bamboe leveren een heel scala aan goede kwaliteit bouwmaterialen op voor kozijnen, vloerdelen of traptreden.

3.6.10 Geluidisolatie-platen

Geluidwering in scheidingsconstructies is tamelijk gecompliceerd. De mate van geluidisolatie wordt uitgedrukt in een isolatie-index, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen lucht- en contactgeluid (NEN 1070). Kwaliteitsklassen

worden onderscheiden van I (zeer goed) tot V (slecht). In bouwkundige ontwerpen moet hiermee volgens de richtlijnen in het bouwbesluit rekening worden gehouden (zwevende dekvloeren, ankerloze spouw, geluid van installaties, etc.)



BIOBASED HUIS
vezelplaten
geluidisolatie

3.7 Overige composiet bouwmaterialen (samengestelde producten)

Veel materialen die tegenwoordig worden toegepast zijn opgebouwd uit een aantal verschillende en soms heel uiteenlopende componenten en grondstoffen. Dit geldt zeker ook voor bouwmaterialen. De ingrediënten kunnen zijn: metalen, niet-metaalachtige

minerale grondstoffen (zand, steen, klei, glas, cement, beton, kalk), synthetische kunststoffen (plastics, harsen) en/of organische grondstoffen zoals hout, stro, plantaardige vezels, agrarische afval (kaf, schillen, etc). Deze ingrediënten leveren ieder een functionele en specifieke bijdrage aan de eigenschappen van het samengestelde materiaal, ook wel composiet genoemd. Hierbij worden onderscheiden de matrix, (vezel)versterking, vulstof, kleurstof, coating en hulpstoffen ten behoeve van de fabricage zoals plastificeerder, lossingsmiddel etc.

3.7.1 Vezelcement

Sinds asbestcement golfplaten en plaatmaterialen voor gevelbekleding en dakbedekking in 1993 werden verboden vanwege schadelijke effecten op de gezondheid, zijn verschillende alternatieve cement-vezelcomposieten ontwikkeld met kunststofvezels, glasvezels of houtvezels.



BIOBASED HUIS
afwerking

Bijvoorbeeld houtwol-cementplaten zijn evenals asbestcement brandwerend en worden in binnentoepassingen ingezet: systeemwanden, vloerdelen en plafonds. Naast cement gebonden vezelplaten worden ook magnesiet en gips met natuurlijke vezels in bouwapplicaties aangetroffen. Enkele voorbeelden:

- Eternit produceert vezelcement dakbedekking en -platen, die niet als biobased kunnen worden aangemerkt. Als 'groen' product etaleert Eternit, in samenwerking met Mosterd de Winter ook vegetatiedaken voor dakhellingen (7-25°) op vezelcement golfplaten ondergrond.
- Cempanel® is een cement-gebonden houtspaanplaat voor niet dragende binnenwanden en tevens inzetbaar voor buitentoepassing. Het is een brandwerende plaat met vochtwerende eigenschappen en een goede geluidsisolatie.
- Houtwol-cement heeft een meer open structuur en is geschikt voor plafondplaten, ondergrond voor stucwerk en akoestische demping.
- Fermacell heeft cement gebonden houtvezelplaten die worden toegepast in o.a. vloerelementen.
- Celenit Houtwolcement is een lichtgewicht (360 kg/m³) plafondplaat op basis van vurenhoutwol gebonden met Portland cement (35%). Het materiaal is eventueel ook leverbaar in gelamineerde combinaties met EPS, steenwol, gipsplaat, houtvezelplaat voor wanden en akoestische demping en isolatie.

Hempcrete en Isochanvre zijn isolerende bouwplaten geproduceerd uit een mengsel van hennep houtpijp en een minerale binder (kalk, zand, cement). De producten zijn in Nederland moeilijk verkrijgbaar. Er was veel publiciteit voor Hemp houses (UK)

waarin hempcrete zou zijn toegepast, maar waarover verder niet veel concrete info kan worden gevonden.

- Diverse biobased bouwprojecten met hennep als bouwgrondstof worden in Frankrijk uitgevoerd: CenC ofwel Construire en Chanvre (2018). Hierbij worden hennep houtdeeltjes aan beton en mortels toegevoegd. Ook in Friesland zijn plannen voor bouwprojecten met bouwblokken van leem en hennep.
- Niet dragende lichtgewicht bouwblokken op basis van hennepscheven, kalk en water zijn dampdoorlatend en hebben een hoge warmtecapaciteit. Voor dit materiaal wordt een hoge isolatiewaarde geclaimd waardoor geen spouwmuur nodig zou zijn.

3.7.2 Schuimbeton

Schuimbeton heeft een lage dichtheid (250-300 kg/m³). Schuimbeton kan worden toegepast als fundering of ook bij renovatie van woningen als bodemafluiters (SSN, 2018). Als schuimmiddelen in de beton kunnen dierlijke of plantaardige eiwitten worden ingezet. Bij het storten van beton wordt als plastificeerder soms ook lignine (lignosulfonaat) ingezet, dat wordt gewonnen als bijproduct uit het papier pulp proces.



Figuur 5. Schuimbeton met eiwit schuimmiddel

3.7.3 Gipsvezelplaat

Gipsvezelplaat wordt samengesteld met houtdeeltjes en gips. Natuurlijk gips wordt gewonnen in bijv. Frankrijk en Duitsland, maar de winning ervan tast het natuurlijke landschap aan. Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bouwproducten worden meer en meer uit "synthetisch" gips geproduceerd als



BIOBASED HUIS
afwerking

alternatief voor natuurlijk gips. Synthetisch gips is een bijproduct dat vrijkomt bij de ontzwaveling van rookgassen uit kolenergiecentrales, maar het komt ook vrij bij de neutralisatie van bijproducten uit zuur gekatalyseerde bioraffinage processen (zoals 2^e generatie bio-ethanol uit lignocellulose). De duurzaamheid van gips wordt breed uitgemeten door de industrie en hergebruik en recycling van gips uit bouwafval wordt door de producenten bevorderd. Natuurgips wordt nog steeds geleverd.

3.7.4 Kalk en kalksteen

Steenkalk (CaCO_3) of schelpkalk is de grondstof voor metselmortels, pleister en kalkzandsteen. Steenkalk is een fossiele grondstof terwijl schelpkalk als hernieuwbaar en biobased kan worden aangemerkt. Door verhitten van kalk (900 °C) ontstaat ongebluste kalk (CaO), dat met zand



BIOBASED HUIS
constructie
afwerking

en water vermengd tot kalkzandstenen kan worden geperst. Mortels en pleisters worden samengesteld uit ongebluste kalk met zand of zilverzand, met toevoeging van een aandeel gips of trass. Kalk is water bestendig en heeft een vochtregulerende werking. Schelpkalk wordt slechts in beperkte mate toegepast (zie §3.8.9).

Trass-kalk (trass-cement) is een pleister van fijn gemalen vulkanisch gesteente, dat ook als ingrediënt in kallei-pleister toepassing vindt als gevelbekleding. Trass wordt gewonnen uit vulkanische tufsteen.

Een melding van biobeton als mengsel van zand, grind en water gebonden met kalk en of trasskalk is weinig biologisch en als zodanig misleidend. Een andere referentie is de zelf-reparerende 'biobeton' die door extremofiele bacteriën wordt geproduceerd, die onder bepaalde omstandigheden kalk kunnen afzetten en mogelijk kunnen worden ingezet bij scheurvorming in beton (Jonkers, 2016).

Tadelakt kalkpleister is een minerale glanspleister afkomstig uit Marokko die waterbestendig is en toepassing vindt als pleister voor binnen en buiten.

3.7.5 Leem of silt

Leem is een fijnkorrelig sediment (keileem, löss), dat niet van biologische oorsprong is maar wel veelvuldig wordt gecombineerd met milieuvriendelijke bouwmaterialen. Als bouw materiaal wordt een mengsel toegepast van deeltjes van uiteenlopende grootte van zand (50-2000 μm SiO_2), klei ($< 2\text{mm}$ kaoline, illiet $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$) en silt (2-50 μm).



BIOBASED HUIS
afwerking

Er worden verschillende productietechnieken gebruikt om bouwelementen (leemblokken of leemstenen) of strolemen (prefab) vloer-, dak- en wandelementen te fabriceren. Stroleem geeft materialen met een lager gewicht (300 kg/m^3) dan de verdichte leemblokken (tot 2000 kg/m^3). Leem is vochtgevoelig en hygroscopisch en minder sterk onder vochtige omstandigheden, waardoor in de toepassing rekening moet worden gehouden met vochtinwerking (Holst, 2011).

Tabel 4. Bouwfysische eigenschappen van leem.

	Verdichte leem		Stroleem			
	1800	2000	300	600	800	1000
Soortelijk gewicht, ρ (kg/m^3)	1800	2000	300	600	800	1000
Warmtegeleidingscoëfficiënt (W/mK)	0,91	1,13	0,1	0,17	0,25	0,35
Warmteweerstand, R , $d=40 \text{ cm}$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0,44	0,35	4	2,35	1,6	1,14
Specifieke warmte-Capaciteit, S (kJ/kgK)	1	1	1,3	1,1	1,1	1,1
Warmteopslag-Capaciteit, W ($\text{kJ/m}^3\text{K}$)	1800	2000	390	660	880	1100
Dampdiffusieweerstandgetal, μ (-)	< 10	< 10	< 5	< 5	< 5	< 5
Thermische uitzettingscoëf., α (10^{-6}m/mK)	12	12	4 - 12			
Luchtgeluidisolatie I_{lu} , bij $d=40\text{cm}$ (dB)	54	56				
Drukvastheid ongestabiliseerd, s_d (N/mm^2)	1 – 3	2 – 5	nvt	nvt	nvt	nvt
Drukvastheid gestabiliseerd, s_{dg} (N/mm^2)	10 – 30	20 – 50	nvt	nvt	nvt	nvt

- Leembouwplaten op basis van jute weefsel en riet worden in Duitsland geproduceerd.
- Leemstuc wordt toegepast voor binnenwandafwerking in combinatie met houtskeletbouw met strobalen of als stro-leem mengsel in een (glijdende) bekisting. Ecodesign en opMaat Delft ontwerpen bijvoorbeeld met biobased materialen en geven daarin ook leembouw een plaats.
- Stampleem is een oude techniek waarbij leemstructuren zoals massieve wanden laag voor laag worden aangebracht. In Limburg werden de wanden van houtskelet

vakwerkhuisen samengesteld met gevlochten wilgentenen die met leem werden gedicht.

- Om leem voor buitentoepassingen geschikt te maken heeft BASF een toevoeging op basis van acrylaat (Acronal®) ontwikkeld waarmee leem weersbestendig gemaakt kan worden.
- Voorbeelden van leemtoepassingen in combinatie met strobalembouw kunnen in Nederland op verschillende plaatsen worden aangetroffen (zie ook §7.1).

3.7.6 Klei

Klei wordt in verschillende vormen toegepast in de bouw. Klei is net als leem in principe hernieuwbaar, maar niet biobased. Kleibakstenen worden vaak toegepast als gevelafwerking of bestrating (KNB, 2018). Baksteen wordt uit (rivier)klei gebakken bij ca. 900-1100 °C. De productie van bakstenen kost



BIOBASED HUIS
constructie
afwerking

veel energie tijdens het bakproces (4.1 MJ/kg of 7 GJ/m³). Jaarlijks worden in Nederland ca. 1 miljard bakstenen geproduceerd. Het gebruik van baksteen wordt als duurzaam – in de betekenis van lange levensduur– aangemerkt en de lange traditie van baksteenproductie en -toepassing in de bouw wordt uitvoerig beschreven (KNB, 2007). Andere toepassingen van klei in de bouw:

- Geëxpandeerde kleikorrels worden ingezet als lichtgewicht isolatiemateriaal in vloeren, fundering en spouw.
- Terracotta is een (poreus) keramisch materiaal van (meestal) ongeglazuurde (rode) klei die als decoratie (tegels, ornamenten) in gevels wordt toegepast.

Zongebakken kleistenen, die met natuurlijke vezelmaterialen (stro, vlas, papyrus) zijn versterkt, werden reeds vroeger in Egypte toegepast. Nog steeds worden in verschillende landen dergelijke bouwblokken toegepast (Afrika, India, China). Het voordeel is de isolerende werking waardoor het gebouw koel blijft in de zomer en warm in de winter. De watervastheid van dergelijke adobe constructies (aangestampte klei met vezels) is beperkt, waardoor uitsluitend in droge gebieden een dergelijk materiaal kan worden gebruikt.

In gebakken keramische materialen zijn cellulose vezels minder geschikt, onder andere vanwege de beperkte thermische stabiliteit van cellulose (tot ca. 200 °C) en de meestal te hoge temperaturen tijdens het bakproces. Poriso-steen is een lichte steen die verkregen wordt door een mengsel van oud papier en klei te bakken. Het papier verbrandt bij het bakproces waardoor poriën ontstaan. Patenten die nano-cellulose en

kleideeltjes combineren claimen een hogere thermostabiliteit, waardoor nieuwe producten mogelijk worden.

Klei gemengd met schapenwolvezels en alginaat (een uit algen gewonnen verdikkingsmiddel) geeft een stevig bouwblok dat niet hoeft te worden gebakken (Kraaijvanger, 2010).

3.7.7 Composiet steen

- In Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk zijn naadloze gietvloeren verkrijgbaar, de z.g. Steinholzboden of Holzestrich. Dit zijn magnesiet (MgO en $MgCl_2$) gebonden composieten met houtdeeltjes en minerale vuller (talc en marmerpoeder). Xylolith of Xylite en woodstone zijn de Engelse benamingen voor het Duitse Steinh Holz (Belag).
- Composietsteen van Holonite bevat minerale vulmiddelen (kwartszand) met deels biobased kunsthars (koolzaadolie en restproducten uit de voedingsmiddelen-industrie) voor vensterbanken, dorpels, plinten muurafdekkingen, douchebakken etc. als vervanger van keramische of natuursteen producten. Het bindmiddel is 54% bio-based.
- Terrazzo is een composietmateriaal van gebroken (gekleurde) steen en glas (recyclage) in kunsthars of cement dat als een decoratieve mozaïek vloerafwerking wordt toegepast. Vergelijkbare (gedeeltelijk) biobased producten lijken realiseerbaar.



3.7.8 Vezel-Kunststofcomposieten

Kunststoffen worden in de bouw veelvuldig toegepast in o.a. kozijnen, deuren, schuifpuien, gevelbekleding, dakgoten, lichtkoepels, leidingen, buizen en hulpstukken, kunststof planken, rubber tegels, zonwering en luiken, polyester dakkapellen, ventilatieroosters, (KBH Kunststofbouw Holland). Mogelijkheden om petrochemische kunststoffen door hernieuwbare grondstoffen te vervangen worden onderzocht: deze producten zijn nog niet commercieel verkrijgbaar.



- Thermoplastische kunststoffen (PE, PVC, PP, PC, PS) zijn in principe recyclebaar in tegenstelling tot thermohardende kunststoffen (PUR, PIR, UP polyester, epoxy, aminohars, fenolhars), die na gebruik niet als materiaal kunnen worden hergebruikt. Wel kan energie worden teruggewonnen door verbranding in een energiecentrale.

- Zowel thermoplastische als thermohardende kunststoffen kunnen in plaats van met glasvezels en minerale vulstoffen met natuurlijke vezels worden versterkt en worden ook wel natural fibre composites (NFC) genoemd. Er is een aantal categorieën te onderscheiden.
- Houtvezelcomposieten of WPC (Wood Polymer composites) kunnen een aandeel van 30-70% natuurvezel bevatten die zijn versmolten met een thermoplastische kunststof (meestal PP). De kunststof binder kan ook een biobased polymeer zijn. Voorbeelden van WPC's zijn geëxtrudeerde planken en profielen van houtdeeltjes gebonden met PP, die worden toegepast in buitentoepassing zoals gevelelementen, vloonders, afrasteringen, tuinschermen en terrassen, vanwege de rotbestendigheid. WPC zoals ontwikkeld door TechWood is met name in de USA succesvol en is in Europa aan een opmars bezig. De inzetbaarheid van dergelijke producten voor bouwtoepassingen wordt nog beperkt door de lage brandveiligheid die met name het gevolg is van het thermoplastische polymeer. Vergelijkbare producten kunnen ook worden geproduceerd met andere vezels dan hout (bamboe, stro, etc).
- WPC planken en profielen die geschikt zijn voor vloerdelen en gevelelementen zijn ook te maken op basis van andere grondstoffen dan houtvezel en standaard plastics. De claims voor een materiaal op basis van rijstkaf, zeezout en minerale olie zijn de UV stabiliteit omdat het rijstkaf in tegenstelling tot houtvezel weinig lignine bevat (dat onder invloed van UV voor grijskleuring zorgt)³⁰.
- Gevelpanelen op basis van natuurvezels als hennep en vlas, gebonden met een biohars vormen een alternatief voor gevelbekleding op basis van (behandeld) hout of HDF.³¹
- Nonwovens van natuurlijke vezels kunnen geïmpregneerd worden met zowel thermoplasten als thermoharders om ze te verwerken tot composiet. Natuurlijke vezelmat versterkte thermoplast (natural fibre mat thermoplastic, NMT) wordt



³⁰ www.resysta.com/en/products-made-with-resysta/facades.html

³¹ www.npsp.nl/oplossing.asp?ID=447&IDP=1

meestal als nonwoven van natuurlijke en thermoplastische vezels gemaakt en vervolgens bij een verwerker bij hoge temperatuur en druk tot vormdelen geperst (o.a. bij toeleveranciers van de automobielenindustrie). Een natuurlijke vezel nonwoven kan ook besproeid worden met hars en in een warme pers uitgehard tot een vormdeel. Beide soorten natuurvezelcomposiet worden veelvuldig als vormdelen in de automobielenindustrie ingezet, o.a. vanwege het lagere gewicht t.o.v. glasvezelversterkte kunststoffen. Afhankelijk van de toegepaste technologie kunnen verschillende vormdelen met thermoplastische of thermohardende polymeren worden vervaardigd.

- NPSP levert vezelversterkte composieten voor de bouw (gevelbekleding, sanitair, vloeren en dakconstructie). De kunststofcomposieten worden geproduceerd op basis van onverzadigd polyester met een vacuïminjectietechniek. Naast glasvezels gebruiken zij ook natuurlijke vezels als vlas, jute en kokos in hun Nabasco® composieten. NPSP onderzoekt ook bioharsen als alternatief voor hun epoxy en polyester harsen.
- Sanitaire voorzieningen (wasbakken) voor natuurcampings van Staatsbosbeheer. Op basis van hennep-, vlas- en sisalvezel en polyester hars, gemaakt via VA-RTM. Door het gebruik van een melkachtige, semitransparante hars blijft de vezel zichtbaar en wordt het natuurlijke karakter van het sanitair benadrukt.³²
- Natuurlijke vezels als vlas, hennep en jute worden ook gecompoundeerd met plastics als PP en PLA (o.a. BeoLogic, GreenGran®, Transmare, Tecnar) waarna het als granulaat geschikt is om te spuitgieten tot 3D producten.
- Enviroshake (Ontario, Canada) maakt shingles voor dakbedekking op basis van 95% gerecycled plastic, rubber en cellulosevezel materiaal en geven daarvoor een 50 jaar garantie.

3.7.9 Hernieuwbare kunststoffen

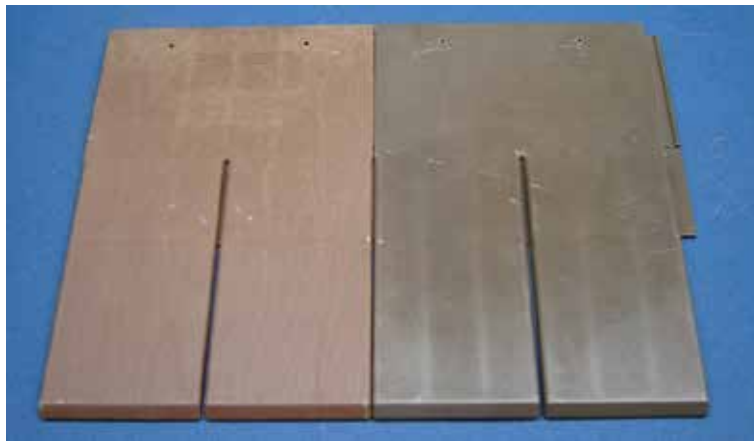
Hernieuwbare kunststoffen worden nog slechts beperkt in de bouw toegepast. Een hernieuwbaar plastic in opkomst is polymelkzuur (poly lactic acid, PLA). Andere mogelijke hernieuwbare kunststoffen zijn polyhydroxyalkanoaten (PHA) en de verschillende cellulose derivaten zoals cellulose diacetaat (CA), en cellulose acetaat-butyraat (CAB). Inmiddels bestaan er verschillende producenten van thermoplastisch verwerkbaar composieten (voor extrusie, spuitgieten) die 100% uit natuurlijke grondstoffen zijn samengesteld. Bijvoorbeeld biopolymeren als PLA of PHA gevuld met lignine of zetmeel en/of versterkt met cellulose vezels. Bedrijven



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie
afwerking

³² www.npsp.nl/oplossing.asp?ID=33&IDP=1

zoals GreenGran, Transmare, Tecnaró en Beologic produceren natuurlijke vezelversterkte bioplastic granulaat voor spuitgiettoepassingen. Tecnaró produceert Arboform[®], granules op basis van PLA, lignine en cellulose vezels die kunnen worden gespuitsgiet in verschillende vormen bijvoorbeeld als shingles voor dakbedekking.

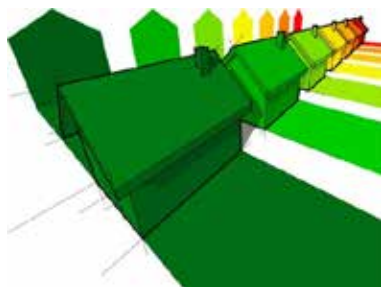


Figuur 6. Shingle op basis van houtvezel-lignine-PLA composiet (gespuitsgiet door Promolding bv).

Mogelijkheden voor toepassingen van deze biokunststoffen in elektrische behuizing of constructieve bouwdelen zijn in onderzoek, bijvoorbeeld PLA met toevoeging van lignine en/of furaan harsen.

3.8 Isolatie materialen

Naast houtproducten zijn diverse hernieuwbare isolatiematerialen op de markt, die in veel gevallen glas- en steenwol isolatiedekens of kunststof (PUR-PIR, polystyreen) isolatie kunnen vervangen. De technische prestaties van dergelijke producten op basis van cellulose vezels (vlas, kenaf, hennep, katoen, gerecycled paier, etc) zijn



vergelijkbaar (Tabel 5) en leveranciers claimen dat deze producten een positieve vochtregulerende invloed op het binnenklimaat hebben. De vochtabsorptiecapaciteit vermindert tevens de kans op vochtcondensatie bij hoge luchtvochtigheid. De isolatiewaarde, R , is afhankelijk van de dikte van het materiaal: $R = l/d$. Andere technische aspecten van belang voor isolatiematerialen zijn de dampdiffusiecoëfficiënt (m), de dichtheid (SG) en de

brandveiligheid of bandklasse. Om de brandveiligheid te verhogen worden boorzouten of ammonium sulfaat toegepast (Isolatieinfo, 2018). De feitelijke prestaties hangen af van hoe het product wordt toegepast. Juist gebruik van dampremmende folies is belangrijk om vochtstuwung te voorkomen (Meuwissen, 2004).

Tabel 5. Technische eigenschappen van isolatiematerialen.

	Lambda, λ W/m ² K	Dikte, d cm (benodigd voor R=2.5)	SG kg/m ³	dampdiffusie coëfficiënt, m	energie- inhoud (R=2.5) MJ/m ²
Stro	0.12	30			
Riet	0.06	15			
Kokos	0.045	11			
Vlas /Hennep	0.040-0.055	14	50		
Katoen	0.040	10			
Schapevool	0.040	10			
Schelpen	0.106-0.250	63			
Kurk	0.045	11	125		
Houtvool	0.050	13			
Houtvezels	0.100	25			
Cellulose	0.040	10	30-70	1.5	3
PUR / PIR	0.025-0.027		50	23-185	244
PS	0.035-0.038		15	23-150	158
Steenvool	0.040	10	35	1-2	84
Glasvool	0.038		35	1-2	53
Kleikorrels	0.110				

Door de steeds verder doorgevoerde energieprestatie-eisen van huizen en de installatie van mechanische luchtverversing en gesloten balansventilatiesystemen, wordt de kans op ophoping van schadelijke stoffen, micro-organismen (bacteriën en schimmels) en vocht verhoogd. Balansventilatie kan geluidoverlast veroorzaken en de capaciteit van de ventilatie blijkt niet altijd te reguleren. In het verleden voldeden veel van de huizen waar dergelijke systemen zijn geïnstalleerd niet aan de bouwvoorschriften en konden aanleiding geven tot gezondheidsklachten (Zembla, 2011; Schootstra, 2017). Voor een optimale prestatie, comfort en gezondheid zijn juiste installatie, afstemming op andere apparatuur in huis en onderhoud vereist. Tevens dient het systeem aangepast te worden aan het weer; bijvoorbeeld vochtige buitenlucht in de herfst, droge lucht in de winter (Schootstra, 2017; De Vree, 2018).

Voor advies over een gezond binnenmilieu (isolatie, balansventilatie, etc) kan de hulp worden ingeroepen van adviesbureaus. De producenten van hernieuwbare isolatiematerialen zijn verenigd in de Vereniging Vernieuwbare Isolatie (VVI). Andere organisaties geven advies over energiebesparing en over het gebruik van allerlei vormen van isolatie (kurk, schelpen, kleikorrels, en synthetische materialen) voor bepaalde toepassingen³³.

3.8.1 Vlaswol en hennepwol non-wovenvlies

Vlas- en hennepwol wordt toegepast als thermische spouwisolatie, dakisolatie, en vloerisolatie. Vanouds worden vlas- en hennepvezels als isolatie gebuikt in houtbouw, zoals nog te zien is in de houten logbouw van Rusland en Scandinavië. In de Nederlandse bouw was dit geen gebruik, maar al meer dan 15 jaar geleden werd het Eco-office in Bunnik als voorbeeld voorzien van vlaswol isolatiemateriaal. Het werd daar toegepast in de spouw.



3.8.2 Cellulose isolatie

Cellulose isolatie is verkrijgbaar in verschillende vormen. Gerecyclede cellulose, o.a. uit oud papier, wordt als spuitbare isolatie in spouwmuren aangebracht of als gebonden platen. Cellulose isolatie materialen zijn damp-open, vocht-regulerend, geluiddempend, en door toevoeging van brandvertragers ook brandwerend te maken. De isolatiewaarde van dergelijke cellulose materialen is vergelijkbaar met overige natuurvezel gebaseerde isolatiematerialen (Tabel 5).



Homatherm (Duitsland) maakt een elastische isolatieplaat van gerecycled papier. Hetzelfde bedrijf levert ook een spuitisolatie met hoge brandklasse (B2 DIN 4102). Deze producten zijn samengesteld uit oud papier, jute, lignine en boomhars, en als brandvertragers Aluminium Sulfaat, boorzout en boorzuur. De lichtgewicht cellulose isolatieplaat (70-100 kg/m³) is ook leverbaar met latex binder.

Er zijn ook diverse producenten van houtwol-isolatieplaten, die van zaag- en boomkapresten, gebonden met hars of latex, een lichtgewicht isolatieplaat maken (100-140 kg/m³).

³³ www.duurzaam buurten.nl

3.8.3 Kurk en kurkproducten

Natuurkurk wordt geproduceerd uit de bast van de kurkeik (*Quercus suber*) die in het middellandse zeegebied en vooral Spanje en Portugal wordt geoogst. Naast de afnemende toepassing als flessenkurk, vindt kurk meer toepassingen in de bouw. Kurk is van nature waterafstotend, vocht- en rotbestendig en heeft uitstekende brandwerende eigenschappen (Brandklasse 2 NEN 6065). Kurkplaat heeft thermische isolatiewaarden vergelijkbaar met natuurvezel gebaseerde isolatiematerialen (Tabel 5). Bovendien is kurk een goede isolator tegen (contact)geluid. Geëxpandeerde kurk (110-120 kg/m³), wat door een thermische behandeling wordt vervaardigd uit gemalen kurkbast, is verkrijgbaar in geperste platen in verschillende diktes (vanaf 10 mm). Kurk is uitstekend geschikt voor brandveilige geluid en thermische isolatie van wanden en vloeren. In sandwichpanelen en deuren kan kurk als lichtgewicht kernmateriaal worden ingezet.

Verskillende bedrijven leveren een uitgebreid productenpakket voor vloeren (kurkparket, laminaten, linoleum) en wanden. Deze kunnen eventueel ook worden gelamineerd met een kokosvezelmat voor extra akoestische demping in tussenwanden. Voor toepassing in ondervloeren wordt kurk ook met bitumen gebonden.



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie
afwerking



Figuur 7. Kurkschors en kurkproducten

3.8.4 *Katoen*

Katoen is een bekende cellulose grondstof voor de textielindustrie. Voor bouwtoepassingen is katoen cellulose relatief duur. Van gerecyclede katoen (en linnen) textiel wordt ook een isolatie materiaal gemaakt.



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie

3.8.5 *Kokos isolatie/stucdrager*

Kokosvezels worden gewonnen van de harige kokosbolster, die om de noot heen zit. De stugge vezels worden toegepast in deurmatten en vroeger ook in geweven tapijten. Als non-woven vilt worden kokosvezels ingezet voor geluidisolatie en als bouw-industrievilt bij zwaardere opleggingen (kanaalplaatvloeren), ondervloeren en parket. Diverse kokos isolatiematerialen zoals latexgebonden non-wovens (rubberized coir) en geperste plaatmaterialen met of zonder binders worden op de markt aangeboden.



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie



Figuur 8. Cocosbolster, cocosvezel en cocosvilt

3.8.6 Schapenwolisolatie

Schapenwol is een zeer goede warmte isolator met een warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda = 0.035-0.04$ W/mK (DIN) en warmteopslagcapaciteit van 1720 J/kg.K. Bovendien heeft het goede akoestische eigenschappen en net als cellulose isolatie is het dampdoorlatend en vochtregulerend. De slechte brandbaarheid leveren een indeling in brandklasse E op; de NIBE milieuklasse is 1a. Wol is relatief kostbaar maar vindt desondanks toch toepassing. In het kantoor van Van Zoelen aannemers in Utrecht is in 1996 reeds schapenwolisolatie aangebracht.



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie

3.8.7 Riet

Riet als dakbedekkingsmateriaal is traditioneel een bekend product voor boerderijen en villa's. De isolerende eigenschappen van de dikke laag riet kan bij een goed uitgevoerde constructie voor een aangenaam binnenklimaat zorgen. Aandacht voor eventuele dampdoorlatendheid van de isolerende lagen is van belang. Daarnaast kan riet worden toegepast als drager voor stucwerk of ook in een verloren bekisting voor beton.



BIOBASED HUIS
afwerking

3.8.8 Kleikorrels

Geëxpandeerde kleikorrels worden ingezet als ondervloerisolatie (losse korrels in kruipruimten) in nieuwbouw en renovatie, maar ook in open beton producten, en als lichtgewicht ondergrond voor groene daken. (zie ook §3.7.6)



BIOBASED HUIS
vloerisolatie
opvulling

3.8.9 Schelpen

Schelpen kunnen op verschillende manieren worden ingezet als bouwgrondstof. Gestort in kruipruimtes werkt het isolerend, waardoor vochtproblemen in huis voorkomen kunnen worden. Schelpkalkmortel is een geschikte mortel voor metselen of toepasbaar als pleister voor afwerken van binnen of buitenwanden. De waddensteen is een ongebakken steen uit schelpen, schelpengruis, zeezand en zeekezel.



BIOBASED HUIS
wandisolatie
vloerisolatie

3.8.10 Overige isolatie materialen

Eco-coustic[®] is een isolatiemateriaal op basis van gerecycled textiel, voornamelijk katoen.

Op basis van polymelkzuur (poly lactic acid, PLA) is enige jaren geleden Biofoam geïntroduceerd. Biofoam wordt gefabriceerd door opschuimen van PLA dat door fermentatie uit suiker wordt geproduceerd. PLA gebaseerd isolatiemateriaal is beschikbaar als platen (Biofoam[®]) en als parels (Biofoam Pearls[®]) en de eigenschappen zijn vergelijkbaar met die van EPS. Het kan worden toegepast voor spouwisolatie, dak isolatie en sandwich constructies.

Zeegras is een veel voorkomend zeewier dat aan de Noordzee- en Oostzee-kust in grote hoeveelheden kan aanspoelen. Zeegras is in het verleden toegepast als isolatiemateriaal en kan worden aangetroffen in monumentale panden. Het kan worden toegepast als gevel- en spouwisolatie materiaal. Het geeft een onbrandbare isolatie.

Zachtboardisolatie is een bindervrije 100% houtvezelplaat, eventueel voorzien van een afwerktoplaag, die wordt toegepast in aftimmerwerk of als ondergrond voor stucwerk, vloerplaten en in deuren. De dichtheid is ca. 275 kg/m³.

Rijstkaf is slecht brandbaar en resistent tegen vraat en schimmel en wordt als isolatiemateriaal aanbevolen (USA). Vanwege de vochtregulerende werking heeft het gebruik van rijstkaf in wandisolatie een positief effect op het binnenklimaat.

Diverse andere vezelmateriaal zijn in principe ook inzetbaar als isolatiemateriaal zoals grasvezel, of jute-cellulose-isolatieplaat. Hiervan zijn geen leveranciers bekend.

3.9 Afdichtingskitten

Stopverf, is een mastiek gemaakt van krijt, lijnolie en vroeger ook loodwit, dat werd toegepast om ruiten in sponningen te bevestigen en gaten of scheuren in hout te dichten. Met name door de lange droogtijd is stopverf verdrongen door kunststofkitten (PUR en Siliconen kit, etc).



3.10 Vegetatiedaken, daktuinen en gevelbegroeiing

Toepassing van beplanting op daken en gevels geven een direct herkenbaar groen imago aan bouwwerken. De groenbeplanting op het dak houdt water vast en isoleert (koelt) in de zomer. Met name in Scandinavië worden grasdaken veelvuldig toegepast. Als voordelen van groene daken worden



o.a. het afvangen van fijnstof in steden, het verhogen van biodiversiteit (nestmogelijkheden voor vogels) en minder weerkaatsing van geluid en licht genoemd.

- Vegetatiedaken kunnen niet overal worden ingezet omdat onderhoud en afwatering speciale aandacht vragen. Voor vegetatiedaken is het van groot belang dat het dak waterdicht is en dat de wortels van planten niet door het folie heen kunnen dringen. Een kunstrubber folie (EPDM folie) wordt hier meestal voor ingezet. EPDM is inmiddels ook verkrijgbaar met tot 70% biobased content. Voor platte daken is bitumen een veel toegepast alternatief, maar dit is minder geschikt voor beplanting vanwege de doordringende plantenwortels.
- Recycled rubber, gebonden met PUR en verbeterd met EPDM, kan eveneens voor toepassing op dakterrassen worden ingezet, met name voor beloopbare tegels op begroeide daken.
- Eternit Ecolor Green combineert golfplaten en zogenaamde 'hydropacks' op basis van gerecycled HDPE, waardoor op hellende daken sedum planten kunnen worden toegepast.
- Derbigum roofing produceert bitumen dakbedekking en adverteert met Derbipure® als milieuvriendelijk niet-bitumineus alternatief waaraan een Cradle to cradle certificaat is toegekend. Derbipure is een witte, reflecterende vervanger voor bitumen dakmembranen, waardoor minder hitte wordt geaccumuleerd onder het platte dak in de zomer. Er wordt geclaimd wordt dat het product voor 100% gebaseerd is op plantaardige bestanddelen, deze worden echter niet nader gespecificeerd. Wel wordt aangegeven dat het materiaal een (niet biobased) glasvezel-polyester wapening en een acrylcoating heeft.



3.11 Diverse biobased producten

3.11.1 Bekistingsmateriaal

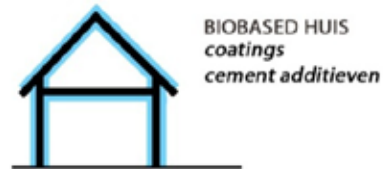
Ook in de reguliere gietbouwsystemen zijn mogelijke aanpassingen te realiseren met biobased producten. Zo zijn er voor betonbekistingen en ontkisting van beton alternatieven beschikbaar, die veel tijd- en kostenbesparing kunnen opleveren, o.a. op basis van plantaardige ontkistingsolieën op de markt. Textiel als flexibel bekistingsmateriaal maakt nieuwe modellering mogelijk en



spaart beton (Cauberg, 2008; Van Velden, 2010). Biobased textielen zouden hiervoor ook inzetbaar kunnen zijn.

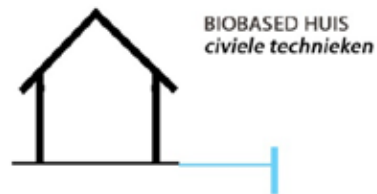
3.11.2 Coating en cement additieven

Bij de verbranding van graanstro, en met name van rijstkaf en -stro, komt as vrij dat rijk is aan silica. Deze stro-as silica is geschikt voor toepassing als additief in coating of cement. Silica uit rijstkaf-as heeft uitstekende pozzolane eigenschappen en kan (deels) cement vervangen in mineraalgebonden bouwelementen (vezelplaten, bouwblokken) (Rice husk, 2006). Lignosulfonaten worden gebruikt als plastificeerder in beton.



3.11.3 Geotextielen

In de civiele techniek worden geotextielen, meestal geokunststoffen, toegepast die diverse functies kunnen hebben. Geotextiel wordt gebruikt bijvoorbeeld als erosiematten op taluds of dient als oeverbescherming en grondscheiding. Biologisch afbreekbare geotextiel zou uitstekend kunnen worden ingezet in tijdelijke constructies of waar door natuurlijke wortelvorming het geotextiel materiaal mag vergaan (CUR-NGO, 1996). Anti-erosiematten zijn zowel biobased of synthetisch verkrijgbaar. Grondstoffen voor dergelijke geotextielen kunnen zijn kokos, jute en vlas.



Wilgenrijshout wordt toegepast voor de productie van wilgenschermen en wilgentenenmatten. Wilgentenen of elzen grienthout vlechtwerk werd vroeger toegepast in vakwerkhuisen. Ook bij de deltawerken werden wilgentenen veelvuldig voor zinkstukken ingezet. Geluidschermen en oeverbeschermingsmatten van wilgentenen worden nog regelmatig toegepast, o.a. door Natuurmonumenten.

4 Renovatie, restauratie en duurzame ontwikkelingen

Opleving van de bouwrenovatie kan worden waargenomen als gevolg van de druk op de woningmarkt. Leegstand bij kantoorpanden heeft geleid tot ombouw van ongebruikte panden tot woningen.

Bij renovatie van de bestaande bouw zijn ook diverse mogelijkheden voor keuze van biobased materialen. Veel gemeentes besteden aandacht aan energieneutraal renoveren en stimuleren dit op verschillende manieren. Diverse gemeenten hebben reeds aangegeven dat zij in de komende jaren klimaatneutraal willen zijn (Amersfoort, Assen, Den Haag, Tilburg, Venlo, etc.). Daarbij is van belang dat ook de bestaande bouw wordt verduurzaamd, en dat zou mogelijk ook kunnen door toepassing van meer CO₂ neutrale bouwgrondstoffen. Om lokaal de krachten te bundelen worden door de VNG enkele gemeentelijke voorbeeldprojecten geselecteerd (Rothengatter, 2008), die extra ondersteuning krijgen om de strengere milieuambities te kunnen optimaliseren (koploperaanpak).



Bij renovatie van de bestaande bouw zijn energiebesparende maatregelen de meest voorkomende verbeteringen, die worden toegepast. Om de energiebeleidsdoelstelling van 20% energiebesparing in 10 jaar tijd voor de bestaande woningvoorraad te kunnen realiseren moet de energieprestatie van de woningen verbeterd worden. Energielabelberekeningen aan

woningen volgens EPA (labels A tot G) hebben aangetoond dat besparende maatregelen gewenst zijn bij onderhoud en renovatie. Standaard uitkomst /advies is daarbij het aanbrengen van dubbelglas, wand- en vloer- en dakisolatie, en de installatie van hoogrendementsketels en ventilatiesystemen. Installatie van een warmtepomp, waarbij gebruik wordt gemaakt van aardwarmte, of systemen waarmee energie wordt opgewekt met zonnepanelen zijn daarbij extra's die niet in alle gevallen realiseerbaar zijn.

Praktische informatie voor duurzaam verbouwen is beschikbaar op verschillende websites van bijvoorbeeld de branchevereniging voor klussenbedrijven (VLOK) of Bouwgarant. Bouwgarant geeft veel informatie over de mogelijkheden om te verbouwen, maar duurzaamheid van materialen blijkt nog weinig aandacht te krijgen. Milieu Centraal

geeft consumenten voorlichting over milieu en energie, maar o.a. ook over milieuvriendelijke materialen.

Op de website van SBR-CURnet³⁴ zijn informatiebladen beschikbaar over bouwen en bouwsystemen waaronder ook een DuBo catalogus waarin aandacht voor het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen m.b.t. zonnepanelen, warmtepompen, windturbines. SBR-CUR geeft beperkt info over alternatieve bouwmaterialen. Er is wel informatie beschikbaar over bijvoorbeeld rietdaken of vegetatiedaken.

In het kader van monumentenzorg en -restauratie geeft de Rijksdienst voor Archeologie, cultuurlandschap en monumenten (RACM) praktische techniekbrochures uit voor verduurzaming en voorkoming van aantasting van hout en voegwerk.

Voorbeelden van duurzame renovatie worden gegeven door DuMo en de Stichting de Witte Roos in Delft.

Materialen specifiek voor renovatie/herbestemming bestaande bouw

Bij duurzame bouwrestauratie is het in de eerste plaats van belang dat de aanwezige materialen zoveel mogelijk worden hergebruikt. Sloophout uit oude gebouwen is veelal van hogere kwaliteit dan moderne houtproducten vanwege de andere oogst- en bewerkingsmethoden tegenwoordig. Verder gelden bij renovatie meestal dezelfde overwegingen en keuzemogelijkheden als bij nieuwbouw. Voor monumenten gelden vaak strikte eisen, waaraan de gewenste aanpassingen moeten voldoen. Iedere renovatie van monumentale panden vergt een unieke toegespitste aanpak.

Mogelijkheden om met hernieuwbare bouwmaterialen het EPA label te verbeteren, zijn bijvoorbeeld: Spouwisolatie, dakisolatie en vloerisolatie aanbrengen door gebruikmaking van hernieuwbare isolatiematerialen zoals cellulose, wol, vlas en door het aanbrengen van schelpen in de kruipruimte (zie §3.8). Vervanging van tussenwanden kan met gebruikmaking van diverse binnenwand systemen (zie §3.6). Herindeling van bestaande bouw met flexibele en demontabele tussenwanden is een oplossingsrichting voor de toenemende leegstand bij kantoorpanden. Hiervoor kunnen diverse biobased bouwsystemen worden ontwikkeld en toegepast. Voor meer ingrijpende verbouwingen van bestaande gebouwen of uitbouw met een dakraam, dakkapel, erker, serre, etc., liggen de mogelijke keuzes voor duurzame materialen niet anders dan voor nieuwbouw (zie hoofdstuk 3).

³⁴ www.sbrcurnet.nl

5 Interieurafwerking en -design

5.1 Inleiding

Interieurdesign is bijzonder gevoelig voor trends. Binnenhuisarchitectuur en -decoratie is een aanzienlijke markt, waar ook hernieuwbare producten een aandeel hebben. Biezen matten en hoogpolig wollen tapijten zijn misschien niet trendy en niet innovatief, maar veel meubels en stoffering kunnen prima van linnen, katoen, wol, of andere natuurlijke grondstoffen worden vervaardigd. In deze paragraaf wordt aandacht gegeven aan biobased producten voor vloeren en wanden. Noemenswaard zijn in dit verband linoleum, parket en tapijt en diverse soorten wandbekleding. Informatie over milieueffecten bij keuze van vloeren en vloerbedekkingen wordt door Milieu Centraal gegeven (Milieu Centraal, 2018). Keukens en installaties vallen buiten de scope van deze catalogus.

5.2 Linoleum

Forbo levert, naast vinyl, een breed scala aan marmoleum vloerbedekking, die wordt geproduceerd op basis van hernieuwbare grondstoffen: lijnolie, hars, kalk en houtmeel op een jute doek. Daarnaast is Forbo ook producent van industriële lijmen voor lamineren met hout op basis van synthetische componenten (EVA, PUR en PVAc) die van een Greenguard certificaat zijn voorzien (GEI, 2018). Het Greenguard certificaat richt zich met name op gezondheid en binnenklimaat.



5.3 Parket

Parketvloeren worden geproduceerd op basis van verschillende kwaliteiten hout of ook bamboe strips of gegranuleerde kurk. Vele hardhoutsoorten (zie §3.2) zijn geschikt om decoratieve vloeren te leggen. Van belang voor de milieuprestatie zijn de lijmen en lakken die worden toegepast bij aanbrengen en onderhoud.



Praktisch alle commerciële bedrijven die parket en parketonderhoudsproducten leveren hebben een productenpakket uitsluitend op basis van kunststoffen (lakken, lijmen). Veelvuldig worden PVAc, PUR of Epoxy gebaseerde systemen aangeboden. Vaak is het zoeken naar de (technische) specificaties, terwijl wel de milieuvriendelijkheid wordt aangevoerd (geen oplosmiddelen). Voor dispersielijmen of polymeerlijmen worden geen

nadere specificaties geleverd. Waarschijnlijk worden in sommige van deze lijmen ook silaanpolymeren toegepast.



Parketvloerlakken worden geproduceerd op basis van synthetische polymeren (PUR, Epoxy), waarmee slijtvastheid en waterafstotendheid wordt gegarandeerd. Voor parket en kurk is er een watergedragen PUR, een twee-componenten lak die een sterke beschermende laag vormt. Op basis van natuurlijke olie is een uitstekende beschermende laag aan te brengen, maar daarbij is een langere behandeling nodig en ook een meer intensief onderhoud vereist. Dit kan weer mogelijke consequenties hebben voor de ecologische footprint.

5.4 Tapijten en vloerbekleding

Tapijten, karpetten en vloerkleden zijn er in vele vormen en kleuren en worden gemaakt van uiteenlopende materialen. Tapijten zijn beschikbaar van met de hand vervaardigde tapijten en matten (getuft, geknoopt, geweven) tot industrieel geproduceerde vervilte tegels en hoogpolig kamerbreed tapijt.

De vezels (pool) kunnen van dierlijke of plantaardige oorsprong zijn (wol, katoen, sisal, kokos, jute) of veelal ook synthetisch (polyamide nylon, PP). Soms worden gerecyclede vezels gebruikt. In veel gevallen is de tapijtrug gemaakt van bijvoorbeeld een bitumen of pvc. In enkele gevallen wordt ook rubber latex toegepast in ondertapijten. Cunera heeft o.a. in hun productenpakket kokosmatten met latex rug. Natuurrubber wordt ook gebruikt voor decoratieve vloertegels.

Tapijten kunnen worden geleverd met een milieuproductverklaring (EPD). De tapijt industrie in Europa heeft productnormen ontwikkeld, waaraan vloerbedekkingen moeten voldoen om door te gaan als duurzaam geproduceerd tapijt³⁵.

Duurzaam inrichten is een van de nieuwe trends waarop de tapijten branche inspeelt. Desso bijvoorbeeld streeft C2C-productontwerp na. Ook andere bedrijven streven naar milieukeur voor hun producten zoals Interfaceflor (Mission Zero doel), MarcJansen, etc (Vloerbekleding, 2018). Recycling van tapijt maakt vorderingen, met name enkele producenten maken er werk van, maar het overal recyclingpercentage is nog laag door gebrek aan gescheiden inzameling (Recycling Netwerk, 2018).



³⁵ GUT label = Gemeinschaft Umweltfreundlicher Teppigboden, www.pro-dis.info

Voorbeelden van biobased vloerbedekkingen zijn verder:

- wollen tapijten
- berggras vloer
- zeegras tapijt
- jute tapijt
- kokos tapijt
- sisal vloerbedekking
- papiertapijt
- leer

Vloerverwarming (lage temperatuur verwarming) wordt veelal toegepast in combinatie met natuursteen plavuizen of keramiektegels, maar is ook een optie met sommige tapijten, (dun) parket of laminaat, linoleum of vinyl.

Rubber-cement tussenvloer is geschikt voor toepassing van natuursteen op een houten ondervloer. Rubbersnippers worden daarvoor gemengd met cement, water en latex. Een dergelijke tussenlaag kan de werking van houten ondervloer opvangen.

5.5 Wandbekleding

Voor wandafwerking en decoratie is, naast leemstuc, schelpenkalkstuc en latex muurverf, een scala aan diverse wandbekledingen op de markt, deels van biobased herkomst. Behang is een traditionele manier om wanden af te werken.

Vanouds waren dit met decoratieve patronen bedrukte rollen papier. Tegenwoordig zijn ook alle mogelijke soorten fotobehang verkrijgbaar (Fotobehang, 2018). Rollen behang worden tegenwoordig veelal voorzien van een vinyl toplaag en/of een non-woven vlies onderlaag. Ook glasvezelweefsels worden in verschillende soorten behang toegepast om scheuren in wanden te overbruggen. Raufaser behang is een dik behangpapier waarin houtdeeltjes zijn vermengd.

Voorbeelden van andere biobased wandbekleding zijn: kurk, linnen wandbekleding, houten lambrisering en schroten, wandpanelen (MDF, hout). Ook wordt lederen wandbekleding aangeboden, maar regelmatig is dit een kunststof imitatie (PVC en PUR kunstleer, of skai).

In Duitsland is zogenaamde Faserputz op de markt, een product dat primair aangeprezen wordt als een wandbekleding, die de warmte-isolatie verbetert en geluidsisolerend en -dempend werkt. Dit materiaal is o.a. gebaseerd op natuurlijke oliën en cellulose vezels. Ook in Nederland zijn spuitsystemen op de markt voor het



aanbrengen van cellulose vezels op wanden (met ca 15% PVA lijm), met name voor akoestische demping.

5.6 Bouwen met papier en karton

Papier en karton hebben aandacht gekregen als bouw materiaal met voordelen van lichtgewicht bouwen en tijdelijke constructies (Boosting, 2010). Bekende voorbeelden zijn honingraat karton kern in sandwich panelen en Octatube



(Chris Wattel) ontwerpen met kartonnen kokers naar voorbeeld van Japanse architecten (Shigeru Ban). De kant-en-klare kartonnen binnenwandpanelen van Spanell onderscheiden zich door de eenvoudige montage, en diverse toepassingsmogelijkheden en stabiliteit. Honingraatkarton, als kernmateriaal voor lichtgewicht deuren, meubels en sandwich constructies heeft beperkte thermische isolatiewaarde.

Kartonnen 'buizen' of vormprofielen kunnen worden toegepast in plaats van PVC buizen of kunststofschuimen in beton. Zo werden in 1999 kartonnen ventilatiekokers met een verwachte levensduur van 20 jaar toegepast in een kantoorgebouw door XX architecten (Jouke Post) in Delft (Tissink, 2018). Octatube heeft in 2010 een dakconstructie gerealiseerd op basis van kartonnen kokers voor de drukkrachten en staaldraden voor de trekkrachten (Octatube, 2018).

Vochtgevoeligheid en brandveiligheid zijn beperkende factoren bij toepassing van papier en karton in bouwconstructies. Papercrete (2018) wordt in USA toegepast als alternatief duurzaam bouw materiaal. Dit is een product waarbij gerecycled papier wordt vermengd met cement tot lichtgewicht constructiemateriaal en stuc afwerking.

Bouwpapier wordt door verschillende leveranciers geleverd. Het wordt toegepast als winddichte en dampremmende folie. Sisalex is een sisalvezel versterkt bouwpapier dat toepassing vindt als onderdakfolie.

5.7 Installatie en sanitatie

Er komt in nieuwe bouwprojecten ook meer en meer aandacht voor gebruik van grijswater en gescheiden sanitatie (Bentvelzen, 2008). Er worden diverse systemen voor regenwateropvang, grijswater, decentrale sanitatie en filtersystemen aangeboden waarmee een besparing op de drinkwaterzuiveringskosten kan worden gerealiseerd (GEP, 2018).



Connex ecodesign heeft een kabelgoot van bioplastisch op basis van aardappelzetmeel en maïsmeel met bieten- of spinaziekleurstoffen.

6 Kansrijke ontwikkelingen

6.1 Inleiding

Er zijn voor biobased bouwmaterialen nog veel mogelijkheden te bedenken, die tot nu toe geen haalbare opties waren of die in de afgelopen decennia werden verdrongen door goedkopere synthetische producten. Voorbeelden hiervan zijn de vervanging van rubber latex in muurverven door synthetische binders of stopverf door PUR-kit. De beperkte marktpenetratie van biobased bouwproducten wordt deels veroorzaakt door de huidige grootschalig toegepaste bouwmethoden, die zeer competitief zijn en zoveel mogelijk besparen op materiaalkosten en arbeid. Een nieuw concurrerend product moet voor de bouw zowel goedkoper zijn en ook gemakkelijker te installeren. Zodra de CO₂-impact wordt doorberekend in de materiaalkosten zullen hernieuwbare bouwsystemen breder toepassing kunnen vinden. Toepassing in de bouw wordt interessant als een materiaal in voldoende mate beschikbaar komt tegen een concurrerende prijs. De mogelijkheden om cement en beton, petrochemische kunststoffen en composieten door (nieuwe) CO₂-neutrale producten te vervangen zijn sterk afhankelijk van de marktontwikkelingen, die ook gelden voor de slaagkansen voor 'groene' energieproductie. Bijproducten uit de verschillende biomassa ketens kunnen worden omgezet in 'groene' energie, maar zouden – vanwege de meerjarige fixatie van de CO₂ in materialen – bij voorkeur ingezet worden als bouwgrondstof. Daarnaast zijn er vanuit het perspectief van bouwen met CO₂-neutrale grondstoffen ook een aantal wensen om specifieke synthetische producten zoals formaldehyde lijmen, PVC, PUR of EPS te kunnen vervangen door alternatieve bouwproducten.

6.2 "Groene" bouwchemicaliën

Er worden veel chemische bouwstoffen toegepast, die mogelijk door hernieuwbare producten kunnen worden vervangen. Deze chemicaliën worden gebruikt om materialen vuilafstotend, vochtregulerend, waterkerend, of thermisch isolerend te maken. Producenten van chemische additieven noemen hun bouwchemicaliën milieuvriendelijk vanwege de verbeterde milieuprestatie ("Blauwe Engel" milieupredicaat) ten opzichte van concurrerende producten of vanwege een verlenging van levensduur van producten of vermindering van onderhoud.

6.3 Agrovezelplaten

Vezelplaten kunnen gemaakt worden op basis van veel verschillende (landbouw)grondstoffen zoals stro, bagasse, miscanthus of kokosbolster. Miscanthus of olifantsgras is voornamelijk bekend geworden als energiegewas met hoge biomassa opbrengst (briquettes), maar het zou ook gebruikt kunnen worden voor de productie van MDF, isolatie matten of vezelcementplaten. Uit de vezelrijke bolsters van

kokosnoten kunnen plaatmaterialen of vormdelen worden geperst zonder toevoeging van synthetische lijmen (Ecocoboard, 2007). De in de bolster rijkelijk aanwezige lignine vormt hier de thermohardende binder, die door heet persen uithardt tot een hoge dichtheidsplaat. Dit product is nog niet commercieel beschikbaar. Er zijn wel diverse geperste (agro)vezelplaten met fenolformaldehyde of MDI gebaseerde hars als synthetische binder in het buitenland op de markt. Een kwalitatief goede rijststroplaat vergelijkbaar met MDF kan worden geproduceerd op basis van vervezeld rijststro. Vooralsnog is relatief veel hars nodig om deze goede kwaliteit te verkrijgen (Agrifiber panels). Vanwege de beperkte leverbaarheid van dergelijke stropanelen is het gebruik in de praktijk geen succes.



Figuur 9. Labschaal vezelplaatmateriaal op basis van kokosbolster

6.4 Bouwblokken en prefab

6.4.1 IFD

Voor de ontwikkeling van volwaardige bouwsystemen met biobased materialen is het van belang dat de bouwproducten op industriële schaal kunnen worden gefabriceerd. Hierbij zijn de mogelijkheden van prefab en IFD (Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen) interessant. Om verbouw te vergemakkelijken en verspilling van bouwgrondstoffen te beperken is het gewenst een bouwontwerp te hebben met demontabele en verplaatsbare tussenwanden of eenvoudig uit te bouwen constructies. Modulaire op-maat bouwsystemen voor tijdelijke en semipermanente constructies

kunnen uitstekend van biobased materialen worden gerealiseerd. Bij houtskeletbouw kunnen hele gevels, buitenwanden, vloeren en binnenwanden modulair geprefabriceerd worden. Zulke pre-gefabriceerde bouwelementen kunnen met diverse maatvoeringen worden geleverd.

6.4.2 Turf

Samengeperste en gedroogde turfbllokken zijn tamelijk hard en kunnen worden gebruikt als stapelbare bouwblokken. Behalve dat turf voor toepassing in de tuinbouw zwaar onder druk staat vanwege afgravingen van kwetsbare hoogveenengebieden (met name in Ierland, de Baltische staten en Rusland) is lokaal op kleine schaal turf winbaar, ook in Nederland (bijvoorbeeld in Zeeland). Voor constructieve doeleinden is de vormvastheid, vochtgevoeligheid en brandbaarheid van turf een punt van aandacht. Turf is vanwege het langzame vormingsproces niet aan te merken als een hernieuwbare grondstof en door oxidatie van natte turf bij blootstelling aan de lucht komt extra CO₂ in de atmosfeer, zoals bijvoorbeeld bij toepassing onder golfbanen. Wanneer turf wordt gedroogd en gecompacteerd, blijft de aanwezige koolstof langduriger vastgelegd.

6.4.3 Baggerslib

In vergelijkbare toepassingen als turfbllokken is mogelijk ook baggerslib inzetbaar. Gebakken baggerslib wordt ingezet als granulaat of steenachtige producten. Tevens wordt het in geotextiele tubes gebruikt als oeeverversterking (Leeuwen, 2008; Dronkers, 2008). Voor een veilige toepassing van baggerslib behoeven mogelijke verontreinigingen aandacht.

6.5 Overige biobased ontwikkelingen

Enkele voorbeelden van producten die nog niet op de markt zijn maar die mogelijk wel potentieel hebben om toepassing te vinden als bouw materiaal:

- Er zijn ontwikkelingen in gang gezet om bitumen of EPDM, die worden toegepast op groene daken en als dakbedekking (platte daken), te vervangen door biobased materialen op basis van rubber, lignine en of houtteer (pyrolyse-olie fracties). Deze materialen moeten ondoordringbaar zijn voor plantenwortels.
- Hernieuwbare en goedkope alternatieven voor cement en beton zijn beperkt voorhanden. Mogelijke toepassing van rijststro- en rijstkafsilica als minerale binder is aangetoond en toevoeging aan cement geeft interessante verbetering m.b.t. dimensie stabiliteit. Vergelijkbare minerale bijproducten uit bio-energieproductie zijn vooralsnog beperkt beschikbaar.

- Als grondstof voor isolatiematerialen wordt naar verschillende nieuwe materialen gekeken: paludiculturen zoals lisdodde (Naporo) en kroos; en mycelium (CoEBBE, Mycoplast).
- Op het gebied van kunststeen worden veel biohars ontwikkelingen gemeld waarvan het aandeel biobased tussen de 10-55% ligt. Bijvoorbeeld Aliancys (DSM) met Beyond One.
- Cellulose-acetaat zou toegepast kunnen worden in golfplaten en lichtstraten.
- 'Slimme folie' die tijdens de zomer en winter een wisselende vochtremming vertoont, afgestemd op de behoefte.³⁶

Veel onderzoek wordt verricht naar PLA plastic en composietmaterialen. PLA wordt gemaakt op basis van suikers en kan petrochemische plastics als PP en PET in een aantal gevallen vervangen. PLA kan puur gebruikt worden, of gemengd met vezels, vullers of andere plastics. Voorbeelden van mogelijke ontwikkelingen:

- Funderingsbekisting (PLA van Synbra)
- Systeemvloeren (Beton met brandvertragend EPS vervangen door PLA)
- Impermeabele bouwfolies voor vochtregulering en isolatie op basis van PLA.
- Dampdoorlatende geïmpregneerde non-woven vezelvlies en doeken.

Verschillende andere bioplastics en bioharsen zijn in ontwikkeling. Bestaande petrochemische kunststoffen als polycarbonaat, polyester en polyetheen kunnen in principe ook worden geproduceerd uit biomassa. Dit zou onder meer fabricage van bio-kunststof golfplaten en lichtstraten mogelijk maken. Het polymeer PMMA dat o.a. wordt gebruikt om Plexiglas te maken is sinds enige tijd ook beschikbaar met 70% biobased content.³⁷

Voor een scala aan bouwproducten zoals afdichtingsproducten, lijmen en kitten zouden naar voorbeeld van eiwit- of ligninelijmstoffen in de natuur nieuwe formuleringen kunnen worden ontwikkeld (biomimic). Voorbeelden hiervan zijn lignine en furaan hars, eiwitgebaseerde harsen, geëpoxideerde lijnolie kit, etc.

Onderstaand worden nog enkele kansrijke ontwikkelingen benoemd.

³⁶ www.certainteed.com/resources/30-28-080.pdf

³⁷ www.arkema.com/en/media/news/news-details/Plexiglas-Rnew-Bio-based-Acrylic-Resins-from-Arkema , www.prnewswire.com/news-releases/bio-polymethyl-methacrylate-pmma-market-size-worth-276-billion-by-2022-radiant-insights-inc-539790901.html

3D printen van complexe bouwkundige structuren op basis van bamboevezel versterkt PLA, een bouwwerk gemaakt in de VS door Techmer samen met Oak Ridge National Laboratory (ORNL).³⁸



Figuur 10. 3D geprinte structuur op basis van bamboevezel versterkt PLA. Foto TechmerPM.

Interface heeft een prototype tapijttegel ontwikkeld waarvan de grondstoffen (tijdens de groei) meer CO₂ hebben opgenomen dan uitgestoten wordt bij het gehele productieproces om de tegels te maken. Deze tegel heeft de naam Proof Positive gekregen. Interface claimt dat aan het einde van de levensduur van de tegels, de materialen kunnen worden hergebruikt om nieuwe tapijttegels te produceren.^{39,40,41}

Mycoplast heeft een schimmel-gebonden spaanplaat ontwikkeld, grotendeels in Nederland, heeft sinds 2018 een productiefaciliteit in Italië.⁴² Ook bij het Centre of Expertise Biobased Economy in Breda wordt gewerkt aan mycelium als isolatiemateriaal.⁴³

³⁸ www.techmerpm.com/2018/02/19/techmer-pm-develops-pla-based-bamboo-reinforced-materials-for-challenging-applications-including-3-d-printing , www.techmerpm.com

³⁹ www.interface.com/EU/nl-NL/campaign/negative-to-positive/bewijs-mogelijk-nl_NL

⁴⁰ www.duurzaam-ondernemen.nl/interface-introduceert-eerste-co2-negatieve-tapijttegel/

⁴¹ www.biobasedeconomy.nl/2017/07/19/interface-introduceert-eerste-co2-negatieve-tapijttegel/

⁴² www.mogu.bio

⁴³ www.cobouw.nl/bouwbreed/artikel/2018/06/duurzaam-isoleren-drie-trends-101262054?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.78533012.1258137568.1535036125-1651032704.1535036125

EcoBouw Nederland heeft mobiele multi-inzetbare woningen ontwikkeld bestaande uit 80% biobased materialen: een casco van hout, tapijt van oude visnetten, verf op basis van krijt- of lijnoliebasis en houtvezelplaat isolatie (Akkerman, 2016). De constructie is dampopen: vocht kan naar buiten, maar niet naar binnen.^{44,45} Een andere recente ontwikkeling is zogenaamde 'tiny houses'. Eco-cabins heeft dergelijke kleine huisjes ontwikkeld op basis van een houten draagconstructie en kurk isolatie gebonden met hars uit kurk.⁴⁶ Faro heeft 'tiny TIM' ontwikkeld op basis van 90% hout, waarvan de kozijnen op basis van Accoya-hout; de buitenpanelen zijn gebrand waardoor het beschermt tegen ongedierte en waterafstotend is.⁴⁷

6.6 Circulaire ontwikkelingen

Een recyclebare (niet primair biobased) woning is in ontwikkeling: Recyclebare fabriekswoningen met een casco op basis van een stalen frame en betonnen vloeren die herbruikbaar zijn. Er wordt gebruikt gemaakt van stapelbare bakstenen met een kliksysteem zonder specie, geperste houtvezel binnenwanden en gladde harde afwerkingsplaten waar behang van verwijderd kan worden (Biesboer, 2016).⁴⁸

Zogenaamde compensatiestenen bestaan uit een mengsel van zand en staalslakken, een restproduct uit de metaalindustrie dat geperst wordt tot stenen en vervolgens in gesloten ruimtes met puur CO₂ doorblazen wordt. Het broeikasgas reageert met de staalslakken waardoor het hard wordt en een steen verkregen wordt die niet onder doet voor kalkzandsteen. Dit proces is ontwikkeld door De RuwBouw Groep; de stenen worden gemaakt in een omgebouwde kalkzandsteenfabriek van Calduran in het Overijsselse Kloosterhaar.⁴⁹

6.7 ICT en webwinkels

Via de moderne ICT media is het eenvoudig om biobased bouwproducten onder de aandacht te brengen bij potentiële gebruikers. Een onafhankelijke virtuele etalage van producten en hun materiaal- en milieuspecificaties maakt eenvoudige vergelijking mogelijk, en daarmee een beter gefundeerde keuze. Daarnaast kan de website aan opdrachtgevers of architecten de mogelijkheid bieden om persoonlijke voorkeuren voor materialen bij een bouwproject aan te geven. Via een geïntegreerd webwinkel systeem of virtuele bouwmarkt kunnen bouwbedrijven de materialen bestellen. De gefundeerde afwegingen voor de keuze van alternatieve biobased producten zou dan eenvoudig online per computer thuis kunnen worden gedaan.

⁴⁴ www.mhome.nu/home

⁴⁵ www.ecoplus-bouw.nl

⁴⁶ www.eco-cabins.nl

⁴⁷ www.tinytimhouse.nl

⁴⁸ <http://thinkwonen.nl/thinkbouwsysteem>

⁴⁹ www.ruwbouw.nl/product/compensatiesteen-2

7 Voorbeeldprojecten in Nederland

7.1 Inleiding

Voor de bouwpraktijk is het van belang dat nieuwe producten een aantoonbaar voordeel opleveren. De bouwsector hecht belang aan innovatie, met name om de opgelegde lange termijn politieke doelen t.a.v. CO₂ reductie en verduurzaming te halen. Systeeminnovatie of de transitie naar meer duurzaam materiaalgebruik in de bouw verloopt echter langzaam (Donker-Blacha, 2017). Om te kunnen demonstreren dat nieuwe bouwmaterialen en -methoden een geschikt alternatief bieden, zijn succesvolle voorbeeldprojecten van belang als referentie. Pioniers zijn daarom essentieel voor het aantonen van de geschiktheid van nieuwe bouwsystemen en -producten. Het betrekken van lokaal bestuur en de organisatie van de gehele bouwketen zijn van doorslaggevend belang voor succesvolle realisatie van dergelijke plannen. In de volgende paragraaf worden enkele voorbeeldprojecten uitgelicht, die in de afgelopen jaren in Nederland zijn uitgevoerd (Omslag, 2011; van der Burgh, 2016). De lijst is zeker niet volledig, maar er is hier met name gekeken naar sprekende pionierprojecten, waarbij met name milieubewuste omgang met materialen aandacht heeft gekregen. Er zijn ook veel nieuwe initiatieven in voorbereiding die in paragraaf 7.3 worden genoemd.

7.2 Gerealiseerde voorbeeldprojecten

Praktijkvoorbeelden van energie-neutrale of nul-woningen zijn op diverse plaatsen te vinden, bijvoorbeeld geëtaleerde energie-neutrale scholen en kantoren (Agentschap NL, 2010). Het gebruik van biobased materialen is hierbij in het algemeen niet een eerste prioriteit.

Zonnewoningen maken maximaal gebruik van de invallende zonnewarmte waardoor een lage EPC kan worden bereikt (EPC 0.6-0.7). Daarbij worden veelvuldig warmtepompen en lage-temperatuur vloerverwarmingssystemen toegepast. Door het hele land zijn dergelijke woningen gerealiseerd.

In veel Nederlandse gemeenten worden initiatieven genomen om duurzaamheid in de bouw te bevorderen. De Kennisbank Biobased Bouwen refereert naar verschillende projecten, de website is dynamisch en groeit gestaag door.⁵⁰ Hierna volgt een selectie van projecten met daarbij aangegeven welke biobased materiaalkeuzes gemaakt zijn:

ALMERE: Profileert zich als praktijkatelier voor duurzaamheid. Voorbeelden hiervan zijn de 55 HSB woningen van het De Buitenkans project (2007) in Almere buiten naar ontwerp van ORGA architect Daan Bruggink. Zie ook initiatief Nobelhorst in paragraaf 7.3.

⁵⁰ www.biobasedbouwen.nl/projecten

ALPHEN a/d RIJN: Ecolonia (1992) is een voorbeeld van een pioniersproject voor een experimenteel woonerf (Archi Service), waarbij het gebruik van HSB met cellulose isolatie en groendaken zijn gedemonstreerd.

AMSTERDAM, IJburg, Steigereiland: 'het Blauwe Huis' (2007) van architect Peter Weijnen (FARO) werd volgens de principes van Trias Energetica en C2C gerealiseerd met gebruikmaking van zoveel mogelijk CO₂ neutrale bouwmaterialen (houten constructie, leem, cellulose isolatie, etc). Opmerkelijk is de intacte geschilde boomstam, die in het gebouw is opgenomen. Een interessant experiment was de toepassing van een oude Japanse techniek om hout door middel van vuur te verduurzamen. Deze techniek is inmiddels bij meerdere projecten toegepast.

Aan de Kadoelenweg is een woonhuis op basis van massieve balken en kolommen gerealiseerd. Dit door ORGA architect (2018) ontworpen huis is bekleed met donkergeel Plato-verduurzaamd vuren en zwarte delen verduurzaamd met de Japanse Shou Sugi Ban techniek, en geïsoleerd met verschillende typen houtvezel. De dampopen wanden voorkomen vochtophoping.



Figuur 11. Woonhuis met gevel en dak van Plato-verduurzaamd vuren en isolatie van verschillende typen houtvezel. Foto ORGA architect.

Tuvalu strobouw realiseert op IJburg een HSB nieuwbouwproject waarbij ook diverse hernieuwbare materialen worden ingezet (Tuvalu, 2018). Bij de Q-woningen van Edwin

Smit (MIII Architecten) is aandacht voor innovatie en conceptueel bouwen in alle aspecten van de bouw. In deze woningen wordt gestreefd naar een gebruik van meer dan 90 volume procenten aan hernieuwbare materialen en er is oog voor detaillering en aandacht voor binnenklimaatsaspecten (Qforyou, 2011). Andere voorbeelden van deze architect zijn villa's in Bodegraven en woningen in Emmeloord, Dinxperlo en het Bomencentrum Baarn.

De woontoren Patch22 (2016), ontworpen door architect Tom Frantzen, is met zes woonlagen en een hoogte van 30 meter momenteel het hoogste houten gebouw van Nederland. De toren bestaat uit een betonnen sokkel waarop zes houten dozen gestapeld zijn, en waarbij houten kruisen zorgen voor de stijfheid van de constructie. Door de vrije hoogte van de ruimtes 3,5 meter in plaats van de gangbare 2,6 meter te maken, is het gebouw zowel geschikt voor appartementen als bedrijfsruimten.

Het Jakarta hotel (2018) van Search architecten is modulair gebouwd met gelamineerd houten (CLT) wanden en daken. De wanden zijn dragend (X-LAM) uitgevoerd zodat 8 bouwlagen op elkaar gestapeld kunnen worden. De gelamineerde wanden zijn gemaakt door Derix, de modules zijn gemaakt bij Ursem.

BIERVLIET: Woningcorporatie Woongood Zeeuws-Vlaanderen (2017) heeft bij de renovatie van vier huurwoningen de voor- en achtergevel vervaardigd uit vlasisolatie en vlascomposiet panelen op basis van onder andere natuurlijke harsen.



Figuur 12. Gevel met vlas-isolatie en vlascomposiet panelen. Foto NPSP.

BOXTEL: Infocentrum Kleine Aarde (1994) van Tjerk Reijenga (BEAR) is een van de pioniersprojecten in Nederland voor alternatieve bouwmethoden en biobased materiaalgebruik.

BRUMMEN: Het tijdelijke gemeentehuis (2013) bestaat voor 95% uit herbruikbare materialen waaronder veel hout. De balie is gemaakt van karton, een eerbetoon aan de papierindustrie in de gemeente.



Figuur 13. Balie van karton in gemeentehuis in Brummen. Foto Bouwwereld.

CULEMBORG: Op initiatief van Marleen Kaptein werd het EVA Lanxmeer (2005) project gerealiseerd van 250 energiezuinige woningen met zonnepanelen, -boilers en keuze voor duurzame bouwmaterialen en helofytenfilters. Het werd ontworpen door opMAAT architecten.

DELFT: Woonbron (2015) heeft bij een appartement een gevel-element van vlasvezelcomposiet geplaatst, waarin een lucht-warmtepomp verwerkt zit. Het composiet is vormvrij, stijf bij een laag gewicht en heeft goede geluids- en trillingsabsorptie.

DELFT: De Delftse Hockey & Tennis Club Ring Pass (2010) heeft een dakconstructie laten realiseren door Octatube op basis van kartonnen profielen (met staaldraden voor de trekkrachten).



*Figuur 14. Gevel van vlasvezelcomposiet panelen met daarin een lucht-warmtepomp.
Foto NPSP.*

DOETINCHEM: Plaza Mediterra is een project van 16 milieuwoningen van de architecten P. van Gerwen & S. Seitz, waarbij veel hout werd toegepast. De woningen werden geconstrueerd met ankerloze spouwmuren, kruipruimten met schelpen isolatie, cellulose wand isolatie, en ook sedumdaken. Het project werd gerealiseerd door Van Campen Bouwgroep.

DRACHTSERCOMPAGNIE: 6 Biobased starterswoningen (2017) zijn dampopen gebouwd en bijna volledig opgetrokken uit biobased materialen; hernieuwbaar in de ecologische kringloop en daarnaast met een gezond binnenklimaat.

DRIEBERGEN: Zonnespreng (2010) is een bouwproject waarbij duurzaamheid en toepassing van ecologische materialen een belangrijke rol heeft gespeeld. Het project is uitgevoerd in collectief particulier opdrachtgeverschap en heeft een relatief lange aanlooptijd gehad.

ENSCHDEDE: Oikos, deelplan VINEX locatie Eschmarke (2005), is een ecologische wijk met 550 woningen die zich onderscheidt door gezamenlijke ecologische tuinen, wadi's en experimentele bestrating, water beheer en groene erfafscheidingen.

GELDROP: Villa Rielsedijk van ARCHES architecten BNA (2006) is een damp-open houtskelet woning, geïsoleerd met schapenwol en vlas. De zwarte gevels zijn gemaakt van recycled PET, op het schuine dak ligt riet en op de platte daken is een sedumvegetatiedak gemaakt. De nok van de woning is voorzien van een zonneboiler, een zogeheten econok.



Figuur 15. Houtskeletbouw woning met isolatie van schapenwol, riet- en sedumdak (inzet beneden) en een zonneboiler (inzet boven). Foto ARCHES architecten BNA.

's HERTOGENBOSCH: Hooipolder (1986) is een pioniersproject ontworpen door architect Renz Pijnenborgh (ArchiService) op basis van MW2 (mens en milieuvriendelijk wonen en werken) principes waarbij grasdaken en bio-ecologische principes werden toegepast. Dit project is een voorloper voor biobased bouwen in Nederland. In navolging hiervan zijn diverse andere projecten door ArchiService gerealiseerd, zoals Bio-recreatiewoningen te Herpen, Zandgoed te Deventer (2003), Ecologisch Woonproject te Purmerend (2000), Brabantwoningen o.a. in St Oedenrode (2011), etc.

KOLLUM: De Waddenwoningen (1997) zijn voorbeeld woningen, waarin schelpen in vele vormen werden toegepast als experimenteel biobased bouw materiaal. Daarnaast werd ook zogenaamd 'ecobeton' toegepast met hout, kurk en riet.

KRUININGEN: R&B Wonen (2014) heeft een woning gerenoveerd met biobased materialen. In de gevel is Modiwood (thermisch verduurzaamd vuren) aangebracht met een afwerklaag van kalkpleister. De ruimte tussen de vloerbalken is opgevuld met celluloseschuim en de kruipruimte is gevuld met schelpen. Het dak is afgewerkt met Derbipure dakbedekking op basis van plantaardige grondstoffen.

MIDDENMEER: Naar ontwerp van ORGA architect (2014) is een tandartspraktijk gerealiseerd op basis van Lariks spanten, vuren houtskeletbouw en isolatie van houtvezel. Het dak bevat een turflaag met sedum.



Figuur 16. Tandartspraktijk op basis van Lariks spanten, houtvezelisolatie en sedum dak. Foto ORGA architect.

NIJMEGEN: In Lent heeft Initiatiefgroep Ecologisch Wonen Nijmegen (Iewan), in samenwerking met woningcorporatie Talis en architect Michel Post een complex van 24 sociale huurwoningen gerealiseerd, opgetrokken uit stro, leem en hout (Strowijk Nijmegen, 2015). In deze 'strowijk' staat het grootste strogebouw van Nederland.

OLST: Vereniging Aardehuis (2015) heeft in collectief particulier opdrachtgeverschap (CPO) een aantal zogenaamde aardehuizen (earthships) gebouwd, deels met autobanden gevuld met aangestampte aarde, deels met houtskelet-strobalenbouw.

OSPEL: Het Buitencentrum De Pelen (2001, voorheen 'Mijl op zeven') van architect Renz Pijnenborgh is volledig ecologisch gebouwd. De bouwconstructie en de wanden zijn

geheel van hout. Het hout aan de buitenkant van het gebouw is fijnbezaagd zodat schilderen niet nodig is. De kozijnen en het binnenwerk zijn wel geschilderd met natuurverf op basis van lijnolie. De fundering is van isolerend schuimbeton en het dak bevat 25 verschillende soorten sedumplanten ter isolatie voor het dak. Als isolatiemateriaal voor de wanden is 'wol' op basis van oud papier gebruikt. Het gebouw bevat tevens een windmolen en zonnecellen voor energieopwekking.

RETRANCEMENT: BAS (2014) heeft een woning gerealiseerd geheel op basis van het STEKO houtbloksysteem.

STAVOREN: De Groene Leguaan (1998) is een project van 9 houten eco-woningen dat door initiatiefnemers Fokke de Boer en Hendrik Gommer werd uitgevoerd met grasdaken en zonnepanelen, zonnestroom PV, passieve zonnewarmte, warmtepompen, lage-temperatuur wandverwarming, en damp-open cellulose isolatie, schelpen isolatie, kookverf coating. Het project kreeg navolging in Deventer (2000).

STERKSEL: Een villa ontworpen door ARCHES architecten BNA (2011) op basis van een combinatie van hout- en staalskeletbouw met verticale rieten gevelbekleding waarbij de ruime spouw en het dak geïsoleerd zijn met cellulose van gerecyclede papiersnippers.



Figuur 17. Hout-staalskeletbouw met verticale rieten gevelbekleding en isolatie van papiersnippers. Foto ARCHES architecten BNA.

VENLO: Stadhuis (2016) met buiten- en binnenwanden bekleed met gemodificeerd Accoya hout, Ecoboard voorzetwanden op basis van stro en verticale tuinen op de noordgevel. Het gebouw is ontworpen vanuit de Cradle to Cradle filosofie (C2C), waarbij alle gebruikte materialen in het gebouw aan het einde van de levensduur weer ingenomen worden voor hergebruik.

WAGENINGEN: De Zonnewoningen aan de Veerweg (2004) met een EPC van 0.56 werden door de Woningstichting gerealiseerd met steun van de gemeente. Behalve passieve zonne-energie, zonnepanelen en warmtepompen werden tevens houten gevelbetimmering en houten shingles op het dak toegepast.

Ook heeft de Woning Stichting het Agrodôme project aan de Veerstraat (2007) gerealiseerd (foto voorkant van deze catalogus). Hierbij werden 4 woningen ontworpen door een samenwerking van Architecten Renz Pijnenburg en Tjerk Reijenga (BAER), waarin uiteenlopende biobased bouwmaterialen werden toegepast (Agrodome, 2018). Een van de woningen heeft tot/met 2018 gefungeerd als demowoning en zal verkocht worden aan een particulier.

ZUTPHEN: Woonderij EOS (2006), een huizencomplex met 29 woningen en een zorghuis in de wijk Leesten-Oost. Als materiaalkeuze werd voor zoveel mogelijk milieuvriendelijke producten gekozen (kalkzandsteen, FSC hout, cellulose isolatie).

ZWOLLE: Meanderhof (2008), een houtskeletbouw project in de wijk Stadhagen, waarbij 53 woningen werden gerealiseerd met damp-open wandisolatie, zonneboilers en warmte-terugwin installaties.

Voorbeelden van strobalebouw kunnen in Nederland op verschillende plaatsen worden aangetroffen (Strobouw, 2018). Ook hier valt de materiaalkeuze doorgaans bewust op biobased producten en meestal worden de strowanden afgewerkt met leemstuc. Bij strobalebouw valt de ambachtelijkheid van het bouwproces op, evenals dat het meestal gaat om zelfbouw door de initiatiefnemers. In een aantal plaatsen zijn sprekende voorbeelden van strobalewoningen gerealiseerd: IWAN, Lent bij Nijmegen, Warns (Eef Bruinsma); Almere (De Buitenkans, Oosterwold); Veghel; Amsterdam IJburg; Koudum; Vreeland; de Floriade 2002 (Rabobank Auditorium); Zoutelande (landgoed), etc.

Nur-Holz prefab bouwelementen werden o.a. toegepast in projecten (2012) in Berlicum, Dirksland, Haelen, Oegstgeest en Roosendaal.

De MASKERADE houtbouwmethode van architect Maarten van der Breggen is gebaseerd op het scheiden van het casco en de inbouw van een gebouw waardoor de levensbestendigheid wordt vergroot. Op Heijplaat in Rotterdam worden sinds 2015 een tweetal van dergelijke appartementen bewoond.

7.3 Voorbeeld initiatieven

Naast de reeds gerealiseerde projecten worden er overal in Nederland initiatieven genomen door gemeenten en bewoners (collectief en particuliere opdrachtgevers) om ecologische wijken of energie neutrale voorbeeld bouwprojecten te realiseren. Een selectie:

ALMERE: In de nieuw op te zetten wijk Nobelhorst wil basisschool De Verwondering de eerste ecologische school van Nederland worden met een houten gebouw, een groen dak en het opvangen van regenwater.



Figuur 18. Impressietekening van eco-school Nobelhorst. Tekening ORGA architect.

Met de Floriade 2022 beoogt Almere zich op de kaart te zetten als voorbeeld van circulaire (maximaal hergebruik van materialen) en afvalvrije stad.

AMSTERDAM: Het HAUT project beoogt een 21 verdiepingen tellend 70 meter hoog houten appartementengebouw te realiseren. In Japan heeft architect Nikken Sekkei

(2018) een ontwerp gemaakt voor een 350 meter hoge wolkenkrabber die voor 90% bestaat uit hout en 10% uit staal. Het gebouw zou 185.000 kuub hout gaan bevatten.

BOEKEL: Ecodorp Boekel beoogt een circulaire wijk te worden en ook op andere plaatsen worden vergelijkbare initiatieven overwogen.

's GRAVENHAGE: De nieuwbouwwijk aan de Erasmusveld-Leywegzone wil proeven doen met *tiny houses*: eenvoudige, volwaardige woningen die op kleine schaal worden gebouwd. In het project is tevens aandacht voor circulaire economie.

OOSTSTELLINGSWERF: Biosintrum, dit centrum naar ontwerp van Paul de Ruiter laat zien wat er allemaal mogelijk is met biobased materialen. En zal dienen als ontmoetingsplek voor partijen betrokken bij de biobased economie. De bouw is gestart in 2017 en bijna gereed.

VELDHOVEN: The Dutch Mountains, een 'super-circulair' gebouw op het gebied van materialen en energiegebruik, met een casco van hout.

8 Bestekonderdelen volgens STABU codering

In de woningbouw wordt veelvuldig gebruik gemaakt van bestekteksten, die volgens de STABU systematiek zijn opgesteld (STABU, 2016). Een projectbestek wordt opgesteld aan de hand van voorbeeldbestekken, eventueel aangevuld met BNA aanbevelingen. Gebruikmakend van de vaste STABU coderingen (STABU, 2017) voor de diverse



bestekonderdelen kunnen aanbevelingen voor inzet van biobased bouwproducten worden ingevoerd. In dit hoofdstuk worden de meest relevante bestekonderdelen voor toepassing van de diverse vermelde producten uit hoofdstukken 3-5 volgens de STABU nummercodering aangegeven. Tussen <> zijn relevante paragraafnummers aangegeven.

05 – Bouwplaats voorzieningen

- Wapening van tijdelijke wegfunderingen, tijdelijke ophopingen, geluidswallen, oever bescherming <3.11.3>
- Verpakkingsmateriaal voor bouwmaterialen: Biobased kunststoffen, papier, karton, jute weefsels, non-woven vilt <3.7.9 en 5.6>
- Beschermingsmateriaal tijdens bouw: bv jute doek en planken ter bescherming van boomstammen.

12 – Grondwerk

- (Tijdelijke) gronddrukspreading door een biobased non-woven vlies van kokos of PLA <3.11.3>
- Scheidingsfolies of korrels onder een tijdelijke stortplaats <3.7.9 en 3.8.8>

14 – Riolering en drainage

- Gescheiden opvang hemelwater, grijswater, sanitatie <5.7>
- Verticale en horizontale drains met tijdelijke functie worden momenteel vrijwel uitsluitend op basis van kunststof profielen en non-wovens gemaakt.

(Bio)degradeerbare bioplastic materialen zouden hiervoor uitstekend dienst kunnen doen⁵¹.

15 – Terreinverharding

- Taludbescherming, grondwapening, wegfundering <3.8.9>
- Terras, bestrating <3.4; 3.5; 3.7.7>

17 – Terrein inrichting

- Hekwerk: kastanjarahout, verduurzaamd vurenhout, wilgenschermen <3.3; 3.6; 3.11.3>
- Paden: houtsnippers, schelpen <3.2 en 3.8.9>
- Piketten
- Beplanting

20 – Fundering (palen en damwanden)

- Heiwerk: Fundering met houten heipalen wordt minder toegepast in nieuwbouw vanwege risico's (op termijn) van houtrot op de scheiding water-lucht. Een oplossing daarvoor zou kunnen zijn een (partiële) verduurzaming van het hout door impregnatie. Ook behoren "opzetters" van beton tot de technische oplossingen.
- Damwanden: vingerlassen van tropisch hardhout en inlands vuren.
- Lichtgewicht Schuimbeton fundering, bij voorkeur met organische additieven als schuimmiddelen (eiwitten) en plastificeerders (lignine).
- Menggranulaat als grindvervanger.

21 – Betonwerk en isolatie

- Mogelijke inzet van biobased grondstoffen in cement en beton komt aan de orde in <3.7.1 en 3.7.2>.
- De diverse opties voor isolatie met hernieuwbare bouwgrondstoffen zijn uitgebreid beschreven in <3.8>.

22 – Metselwerk, buitenwanden, woning scheidende wanden

- Metselwerk van baksteen <3.7.6> kan worden opgetrokken met schelpmortel als alternatief <3.8.9>.
- Ongebakken klei en composietstenen <3.7.7>
- Vezelcement bouwblokken <3.7.1>
- Prefab verlijmde houtproducten <3.3.4>

⁵¹ www.geotechnics.com ; www.horman.nl

-
- Leemblokken <3.7.5>
 - Strobalen <3.7.5>
 - Turfblokken <6.4.2>

De diverse houtbouwsystemen <3.2> kunnen worden gecombineerd met buitenwanden en woningscheidende wanden, die bijvoorbeeld worden opgetrokken met zogenaamde houten l-liggers <3.3.4> met daar tussen isolatiemateriaal <3.8> en afgewerkt met een binnen- en buitenplaat:

- Geperste vezelplaat <3.3.4; 3.6; 3.7.1; 3.7.3; 3.7.4>
- Shingles <3.2; 3.4; 3.7.8>
- Leem <3.7.5>
- Schelpenkalk stuc <3.8.9>
- Geperste vezelblokken (strobalen) <3.7.5>

Bij de constructie van wanden en daken is er discussie over de beste manier van isolatie met betrekking tot koudebruggen en vochtkering. In de context van de discussies over toepassingen van een damp-remmende laag of juist een dampdoorlatende laag worden diverse oplossingen aangedragen (Meuwissen, 2004), die betrekking hebben op inzet van kunststoffolies:

- Dampfolie (Delta-vent) waterdicht damp-open
- Damp-remmende folie, dampdichte folie, winddichte folie
- PE-papier, glasvezel-PES, paraffine papier
- EPDM rubber afdichting bestand tegen UV.

Materialen t.b.v. onder peil constructies: kalkzandsteen <3.7.4>, composiet steen <3.7.7> en water werende folie <3.7.9>.

24 – Ruwbouwtimmerwerk, balkconstructies, raveling, kapconstructie

Voor HSB ruwbouwtimmerwerk wordt een milieukeurmerk als FSC meer een meer vereist. Voor keuze van houtsoorten voor specifieke toepassingen wordt verwezen naar §3.2 en §3.3.

Hout wordt met name nog veel toepast in:

- Regel-, tengel- en rachelwerk
- Woningscheidende wanden
- Binnenwanden
- Verdiepingsvloeren
- Dakconstructie
- Sporen, balklagen en liggers

- Nokgording, schuine daken
- Sporenkap, dakbeschot en panlatten

30 – Kozijnen, ramen & deuren, roosters, hang en sluitwerk

Kozijnen van

- Geselecteerde houtsoorten <3.2.3> met FSC en KOMO attest
- Verduurzaamd en gemodificeerd hout <3.4 en 3.5>
- Vezelkunststof composieten <3.7.8>
- Binnenkozijnen, bijv. geïmpregneerd met lijnolie <3.4.1>

Deuren

- Massief tropisch hardhout <3.2> o.a. sipo, afzelia, meranti
- Massief inlands lariks
- Gelamineerde deuren op basis van MDF, met melamine coating
- Gefineerde deuren met kurkvulling
- Opdekdeuren met karton honingraatvulling

Hang en sluitwerk: standaard RVS (evt. met houten krukken).

31 – Gevelbekledingen

Voor gevelbekleding zijn de volgende producten in gebruik:

- Houten gevelbetimmering bijv Lariksdelen <3.2>
- Gecoat of geïmpregneerd hout <3.4>
- Gemodificeerd hout <3.5>
- Houten shingles <3.2>
- HDF <3.6.5>
- Vezelcement <3.7.1>
- Buiten stucwerk:
 - Schelpkalk <3.8.9>
 - Kalleipleister <3.7.4>
 - Leemstuc <3.7.5>

Gevelbeplanting is onder bepaalde omstandigheden decoratief toepasbaar <3.10>

32 – Trappen en balustraden

Trappen, muurleuningen en traphekken kunnen worden uitgevoerd met diverse houtsoorten en houtproducten:

- Hardhout of naaldhout <3.2>
- Geïmpregneerd of gecoat hout <3.4>
- Gemodificeerd hout <3.5>

- Verlijmde laminaten en houtcomposieten <3.3 en 3.7.8>

33 – Dakbedekking, isolatie, bitumen, dakpannen, shingles, felsplaat

- Houten shingles <3.2>
- Groen dak of vegetatie dak, sedum begroeiing <3.10>
- Rieten dak <3.8.7>
- Vezelcement golfplaten <3.7.1>
- Vezelcement dakpannen <3.7.1>
- Bitumen composiet biofolie <6.5>
- EPDM afdekvliezen vegetatiedaken <3.10>
- Rubberen tegel dragers, drainage tegels <3.10>
- Natuur rubber of gerecycled rubber als EPDM vervangers <6.5>
- Dakranden, kraallatten <3.2>

34 – Beglazing

Voor glas is om verschillende redenen moeilijk een biobased vervanging te vinden met dezelfde kwaliteit. Standaard HR++ wordt aanbevolen. In sommige toepassingen (bijvoorbeeld koepels) kunnen polycarbonaat (potentieel ook uit hernieuwbare grondstoffen) of cellulose acetaat (CA) gebaseerde producten worden ingezet. Deze materialen zijn transparant, hoewel CA een lichtgele kleur heeft.

35 – Natuur- en kunststeen (dorpels)

Binnendorpels vragen om slijtbestendige hardhoutsoorten: beuken, eiken, jatoba <3.2.3>.

Hout wordt voor buitendorpels slechts beperkt toegepast vanwege schimmel- en rottingsrisico's.

36 – Voegvullingen

Voor voegvullingen als overgang tussen verschillende materialen worden kunststoffen en elastische kitten ingezet. Voegvullingen zijn potentieel biobased te maken met bijvoorbeeld rubber, biobitumen, stopverf <3.9 en 6.5>.

37 – Na-isolatie

Voor na-isolatie zijn verschillende biobased producten op de markt:

- Vlas- en hennepwol <3.8.1>
- Smitbaar cellulose <3.8.2>
- Kurk <3.8.3>
- Katoen uit gerecycled textile <3.8.4>

- Kokos vilt <3.8.5>
- Schapenwol <3.8.6>
- Riet <3.8.7>
- Schelpen <3.8.9>
- Biofoam <3.7.9>

40 – Stukadoorwerk, pleisterwerk, buiten stuc en binnen stuc, wanden en plafonds

Leem-stuc en schelpen-stuc worden relatief veel toegepast in wandafwerking

- Leemstuc <3.7.5>
- Schelpenstuc <3.8.9>
- Behang <5.6>
- Tegels <5.4>
- Spuitwerk pleister mortel <3.7.4>
- Rogips (Brander Kristal) <3.7.3>
- Spuitbaar cellulose <3.8.2>

42 – Dekvloeren en vloersystemen

- Composiet steen afwerkvloer (magnesiet gebonden houtvezel) <3.7.7>
- Zwevende dekvloer <3.6.10>

44 – Plafond- en wandsystemen

- Spaanplaat en vlassecheven platen <3.6.2>
- Stroplaten <3.6.7>
- Vezelcement platen <3.7.1>
- Zachtboard <3.8.10>
- Gipsvezelplaat <3.7.3>
- Karton <5.6>

45 – Afbouw timmerwerk, lijsten en plinten

Voor HSB afbouw-timmerwerk wordt een milieukeurmerk als FSC meer een meer vereist. Voor keuze van houtsoorten voor specifieke toepassingen wordt verwezen naar §3.1 en §3.2.

46 – Schilderwerk

In paragraaf 3.4 worden de verschillende coatings en impregneermiddelen voor hout en houtproducten besproken.

- Buitenschilderwerk

- Binnenschilderwerk
- Trappen en hekwerk

47 – Binneninrichting

- Wandbekleding <5.5>
- Papier en karton <5.6>
- Installatie <5.7>

Binnen deze studie zijn kasten en keukeninrichting zoals aanrecht, keukenbladen en buffetbladen buiten beschouwing gelaten.

48 – Vloerbedekking

Zie hoofdstuk 5, waar diverse vloerbedekkingsmaterialen worden omschreven zoals:

- Linoleum <5.2>
- Parket, laminaat en kurk <3.8.3 en 5.3>
- Tapijten en vloerbedekking <5.4>

50 – Dakgoten en hemelwaterafvoer / Goot en regenpijpen

- Houten goot <3.1>
- Regenwater reservoir <6>

61 – Ventilatie en Luchtbehandelingsinstallaties

In dit verband zijn de discussies relevant m.b.t. ventilatiesystemen en damp-open bouwen. Om de EPC waarde van een woning te verbeteren is installatie van ventilatiesystemen gunstig.

9 Glossary

AVIH	Algemene vereniging inlands hout
BNA	Branchevereniging voor Nederlandse Architectenbureaus
BREEAM	Building Research Establishment Environment Assessment method
C2C	Cradle to cradle
CA	Cellulose acetaat
CAB	Cellulose acetaat-butyraat
CaCO ₃	Calciumcarbonaat (kalksteen)
CaO	Calciumoxide
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CMC	Carboxymethyl cellulose
CLT	Cross laminated timber / kruislaaghout
CO ₂	Koolzuurgas of kooldioxide
DGBC	Dutch Green Building Council
DIN	Deutsche Industrie Norm
DPG	DuurzaamheidsPrestatie Gebouwen
DuBo	Duurzaam bouwen
EIB	Economisch Instituut voor de Bouw
EN	Europese Norm
EPA	Energie prestatie advies
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPC	Energie prestatie coëfficiënt
EPD	Environmental Product Declaration
EPDM	Ethylene propylene diene monomer rubber
EPG	EnergiePrestatie Gebouwen
EPN	Energieprestatie norm
EPS	Expanded polystyreen
EVA	Ethyleen vinyl acetate
FSC	Forest Stewardship Council
GEI	Greenguard Environmental Institute
GWW	Grond-, weg- en waterbouw
HDF	High Density fibre board
HDPE	High Density Polyethyleen
HEC	Hydroxyethyl cellulose
HPC	Hydroxypropylcellulose
HSB	Houtskeletbouw
ICT	Information and communication technology
IEA	International Energy Agency

IFD	Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen
LCA	Life cycle assessment (Levenscyclus analyse)
MC	Methyl cellulose
MDF	Medium Density Fibre board
MDI	Methyleen di-isocyaan
MF	Melamine formaldehyde
MHEC	Methylhydroxyethyl cellulose
MPG	MilieuPrestatie Gebouwen
MVO	Maatschappelijk verantwoord ondernemen
NBVT	Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie
NEN	Nederlandse Norm
NFC	Natural Fibre Composite
NMD	Nationale milieudatabase
NMT	Natural fibre mat thermoplastic
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSB	Oriented Strand Boards
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PC	Polycarbonaat
PE	Polyethyleen
PEFC	Programme for Endorsement of Forest Certification systems
PF	Phenol formaldehyde
PHA	Polyhydroxyalkanoaat
PHB	Polyhydroxybutyraat
PIR	Polyisocyanuronaat
PLA	Polylactic acid (polymelkzuur)
PMMA	Polymethyl methacrylaat
PP	Polypropyleen
PS	Polystyreen
PUR	Polyurethaan
PVC	Polyvinylchloride
PVAc	Polyvinylacetaat
RACM	Rijksdienst voor Archeologie, cultuurlandschap en monumenten
RF	Resorcinol formaldehyde
SBK	Stichting Bouwkwiteit
SG	Soortelijk gewicht
SPN	Stralingsprestatie Norm
UF	Ureum formaldehyde
UV	Ultraviolet licht

VA-RTM	Vacuum assisted resin transfer moulding
VIBA	Vereniging Integrale Bio-logische Architectuur
VNG	Vereniging Nederlandse Gemeenten
VOC	Volatile organic compounds (vluchtige organische verbindingen)
VROM	(voormalig) Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VVI	Vereniging Vernieuwbare Isolatie
VVNH	Vereniging Van Nederlandse Houtondernemingen
WPC	Wood polymer composites
WPS	Water prestatie norm
I	warmtegeleidingscoëfficiënt (W/mK)

10 Leveranciers en producenten biobased bouwmaterialen

Leverancier	Product	URL
3.2 Hout		
Leveranciers van hout		www.vvnh.nl/vvnh_leden
Leveranciers van gecertificeerde houtproducten		www.houtwereld.nl/index.php?hnav=6
Leveranciers van deuren		www.deurengids.nl/deuren.nu www.bruynzeeldeuren.nl www.withagenhoutproducten.nl
Leveranciers van houten heipalen en bedrijven die heiwerk verrichten		www.dvanbiezen.nl www.wijffe-heiwerken.nl www.stigterheiwerken.nl www.heienwaterwerken.nl www.heicombinatiesps.nl www.dekuipergroep.nl www.heibedrijf-versluis.nl www.pvantwout.nl
3.3.2 Fineer		
		www.af.nl www.craftsupplies.nl www.dehoutexpert.nl www.leeuwenburgh.com www.haagse-fijnhouthandel.nl www.ornamentenwinkel.nl https://fineer.nl
3.3.4 Gelamineerde houtelementen		
Assink Hout, Rietmolen	Ontwerp en productie van houtconstructies	http://assinkhout.nl
Derix, Lierderholthuis	Gelamineerde houtpanelen	www.derix.de/nl
De Groot Vroomshoop	Gelamineerde houtconstructies, -liggers, -spanten, -kolommen	https://gelijmde-houtconstructies.nl

MetsäWood, Apeldoorn	Meerlaags verlijmde hout composieten (Kerto®)	www.metsawood.com
Withagen Houtproducten, Annen	Gelamineerd constructiehout	www.withagenhoutproducten.nl
3.3.5 Prefab elementen		
Benjamin Prefab, Harbrinkhoek	Houten bouwelementen voor HSB	www.benjamin-prefab.nl
Bouwcenter Logus	Houten bouw panelen (STEKO®)	www.logus.nl
Finnlogs Houtbouw, Heusden	Houten prefab systemen	www.finnlogs.nl/logbouw
Hout Bouw Wijchen	Houten prefab onderdelen	http://houtbouwwijchen.nl
Houtbouw 't Zand	Prefab elementen voor houtbouw	houtbouwelementen.nl
HSK Prefab, Ameide	Houten prefab wanden, gootconstructies, dakranden, dakkapellen	www.hskprefab.nl/houten-prefab-elementen
Janssen de Jong Groep, Son en Breugel	Kantoorgebouwen en bedrijfspanden van hout: kolommen, spanten, wanden, vloeren (Woody building concept)	www.jajo.com/nl/nieuws/detail/woody-building-concepts
Jaro Houtbouw, Apeldoorn	Prefab elementen voor houtbouw	www.jarohoutbouw.nl
MetsäWood, Apeldoorn	Houten I-liggers (FinnJoist)	www.metsawood.com
Hemar Hout Producten, Nijverdal	Prefab elementen voor houtbouw	hemar-houtproducten.nl
Norwin, Gorinchem	Houten gevelelementen	http://norwin.nl
Ter Harmsel, Rijssen	Prefab elementen voor houtbouw	www.timmerfabriekterharmsel.nl
Ursem Modulaire Bouwsystemen, Wognum	Gelamineerde 2D HSB elementen	www.ursem.nl
Woodteq, Rijssen	Houten bouwelementen voor HSB	www.woodteq.nl
Vereniging van Houtskeletbouwers		https://nbvt.nl/professioneel/houtskeletbouw

3.3.6 Houtlijmen		
Ashland, Barendrecht		
Baptist, Arnhem	Gele houtlijm: alifatische hars; oplosmiddelvrij; water vast (Titebond adhesives)	www.baptist.nl ; www.titebond.com
Bison houtlijmen, Goes	o.a. PVAc en PU	www.bison.nl/nl/product-catalogus
Bostik, 's Hertogenbosch	PVAc (Woodfix)	www.bostik.com/nl
Collall, Stadskanaal	Lijm op basis van aardappeldextrine voor papier en karton (Collal Eco)	www.collall.nl
Frencken bv, Weert	watervaste 1 en 2 componenten lijmen (NOVA COL)	www.frencken1901.nl
IVANA, Sassenheim	Groothandel en industrie	www.ivana.com
MeubelUniek, Meppel	Beenderlijm, vislijm	www.politoeren.com
Ecobouwwinkel, Diksmuide (B)	Methanolvrije parketlijm met Nordic Swan ecolabel	www.ecobouwwinkel.be ; www.nptsrl.com
Pattex houtlijm, Nieuwegein	PU, watervast	www.pattex.nl
SIKA, Utrecht	(Smelt)lijmen (SIKAbond, SIKAmelt)	nld.sika.com/nl/solutions_products/document_download/PDSBouw.html
Solenis (D)	Houtlijm op basis van sojameel (Soyad™)	https://solenis.com/en/industries/specialties-wood-adhesives/innovations/soyad-adhesive-technology
Stork lijmen, Leusden	EVA en PU (DORUS: breed assortiment verschillende lijmtoeepassingen zoals fineer-, folielijm, smelt lijm)	www.storklijmen.nl/PrimoSite/show.do?ctx=2697,3133,3134&anav=2700
3.4.2 Verven en Houtcoatings		
APP All Protect, Beers	Semipermanente beschermende coating voor gevels tegen graffiti	www.gevelmeesters.nl

	en ander vuil op basis van zetmeel (PSS-20)	
Atrium, Arnhem, Nijmegen	Diverse natuurverf producten	www.woonwinkelatrium.nl
Bohus (Zweden, nederlandstalige website)	Houtimpregneermiddelen op basis van 100% biobased grondstoffen, o.a. Stockholmer teer, oliën en harsen (Natunol), terpentinevervanger (BIAL 168) en reactieve verdunner (BIAL Premium)	http://bohuscoatings.com
Copperant, Etten-Leur	Pprimers, verven en beitsen (PURA) met biobased binder	www.copperant.nl/merken/pura
FarvoColour, Damwâld (D)	Kalk-caseïne muurverf voor binnen en buiten en andere natuurverfproducten, geïmporteerd van AURO Naturfarben uit Duitsland. Lijnolieverf met 'aardpigmenten' (traditionele kookverf, sommige formuleringen met zetmeel) (UULA, Farfoil). Natuurverven voor leemstuc (Tierrafino).	www.farvocolour.com ; www.auro.nl ; www.uula.nl ; www.tierrafino.nl
Haga bouwstoffen	Voorstrijkmiddelen en verven voor binnen, o.a. voor leemstuc	www.dubomat.nl/kalk/haga-bouwstoffen ; www.haganatur.ch
Koopmansverfshop, Eenum	Beitsen op basis van lijnolie. Milieuvriendelijke carbolineum op basis van lijnolie en alkydhars voor	www.koopmansverfshop.nl

	buitentoepassing (Ecoleum)	
Leinos Naturfarben GmbH (D)	Buitenverf op water- en natuuroolie-basis (Leinos)	www.leinos.de
Linova, Zutphen	Lijnolieverf	www.linova.nl
Natuurverf webshop, Den Haag	Diverse natuurverf producten (o.a. Allbäck)	www.natuurlijk-kleurrijk.nl
Ursapaint, Zaandam	Natuurverven	www.aquamarijn.com
Van Wijhe Verf, Zwolle	Verven en houtcoatings op basis van plantaardige oliën (OER)	www.wijzonol.nl
Xyhlo	Coating op basis van natuurlijke olie en schimmels (Xyhlo® biofinish)	www.xyhlo.com
3.4.3 Wassen		
De Monchy, Rotterdam	Wassen	www.monchy.com
Drycon, Gennep	Impregneermiddel voor hout tegen rot, schimmel en insecten	www.drycon.nl
Atrium, Arnhem, Nijmegen	Wassen en oliën voor hout (Auro)	www.woonwinkelatrium.nl
Hermadix, Aalsmeerderbrug	Watergedragen impregneermiddel tegen houtrot en schimmelvorming in buitentoepassing van zachthout (Hermadix Impraline) en hardhout (Bankirai-olie)	www.hermadix.nl
3.4.4 Brandvertragers		
Foreco, Dalfsen	Brandvertragend houten gevelbekleding; voldoet aan Euroklasse B NEN-EN 13501 (Safewood®)	www.foreco.nl
Keim, Almere	Muurverven op basis van waterglas (Soldalan)	www.keim.nl
Magma, Heijningen	Brandvertrager voor riet, textiel, papier,	www.magma-industries.nl

	kunststoffen, hout en plaatmaterialen (Magma Firestop; KOMO gecertificeerd)	
Multifire International bv, Amsterdam	Brandwerende coating voor houtproducten	www.multifire.nl
Quick-Mix, Osnabrück (D)	Muurverven op basis van waterglas, voor binnen en buiten	www.quick-mix.com
3.5 Gemodificeerd hout		
Accsys Group, Arnhem	Verduurzaamd naaldhout met verbeterde dimensiestabiliteit en waterafstoting (Accoya)	www.accoya.com/nl
Foreco, Dalfsen	Verduurzaamd naaldhout (NobelWood en WaxedWood) voor gevels	www.foreco.nl
International ThermoWood Association	Hele reeks leden die gemodificeerd hout produceren in Finland en Zweden, waaronder Finnforest en StoraEnso	www.thermowood.fi
MetsäWood, Apeldoorn	Verduurzaamd hout (ThermoWood)	www.metsawood.com/global/Products/uk-products/exterior-cladding/thermowood/Pages/thermowood-cladding.aspx
Plato International bv, Arnhem	Verduurzaamd hout	www.platowood.nl
StoraEnso (Finland, Zweden)	Verduurzaamd hout (ThermoWood)	http://buildingandliving.storaenso.com
TFC, Geel (B)	Biobased hars voor impregnatie van hout t.b.v. verduurzaming	www.polyfurfurylalcohol.com
Touwen & Co, Zaandam	Koolteer olie voor hydrofobering en verduurzaming van hout	www.tenco.nl

3.6.1 Gevelbekleding		
CemPlaat bv, Enschede	Verduurzaamde houtvezelplaat (Sam Trimax)	www.cemplaat.nl/producten
Fetim bv, Amsterdam	Cementgebonden cellulose vezelplaat (Shera), Gelamineerd hout (Protex), Verduurzaamd Europees naaldhout (ModiWood)	http://fetimgroup.com
Linnea bouwsystemen, Schagen	Vurenhouten gevelbekleding van Linnea uit Scandinavië (Linnwood®)	www.linnea.nl
Mobilane bv, Leersum	Groene gevels, gevelbeplanting en verticale tuinen	www.mobilane.nl
Mostert de Winter, Hardinxveld-Giessendam	Groene gevels, gevelbeplanting en verticale tuinen (Modulugreen®)	www.mostertdewinter.nl/nl/groene-gevels
Resopal, Breda	Decoratieve HDF platen	www.resopal.nl
Sempergreen, Zeist	Gevelbeplanting	www.sempergreen.com
Trespa, Weert	Decoratieve HD vezelplaat (Trespa)	www.trespa.com
Werzalit, Oberstenfeld (D)	HD vezelplaat en WPC	www.werzalit.com
Zie ook 3.7.8 Vezelkunststof composieten; o.a. NPSP en Resysta		
3.6.2 Spaanplaat		
Faay, Vianen	Vlasschevenplaat voor wand- en plafondsysteem	www.faay.nl
LCDA (F)	Hennepscheven plaat	
Linex Pro-grass bv, Koewacht	Vlasschevenspaanplaat	www.linex.nl

Unilin, Oostrozebeke (B)	SpaanplaatSpaan op basis van minimaal 75% gerecycled hout	www.unilin.com
3.6.5 HDF		
Milin bv, Nieuwegein	HDF plaat (Milyt®)	www.milin.nl
Resopal, Breda	Decoratieve HDF platen t.b.v. gevels, boeiboorden en deuren	www.resopal.nl
Trespa, Weert	HDF met een toplaag van melamine-gebaseerde decoratieve coating	www.trespa.com
3.6.7 Stropanelen		
Ecoboard international bv, Delft	Panelen op basis van formaldehyde vrije hars gebonden strovezels	ecoboardinternational.com
Ekopanely (Tsjechië)	Panelen op basis van geperst stro met papieren toplaag t.b.v. tussenwanden	www.ekopanely.cz ; https://ekopanely.co.uk
Ortech (Australië)	Panelen op basis van stro zonder binder met papieren toplaag t.b.v. tussenwanden (Durra Panel®)	www.ortech.com.au
3.6.8 Bagasseboard		
WallArt, Gorinchem	Paneel op basis van bagasse (vezel van rietsuikerplant)	www.mywallart.nl
3.6.9 Bamboe		
BIC, Schellinkhout	Parket, plaatmaterial en composiet (PLYBOO)	www.plyboo.nl
Buco Import, Emblem (B)	Bamboe producten voor interieur en exterieur: constructie, tuinschermen, vloeren, parketten, meubelpanelen, keukenbladen en fineer (EcoBam)	www.buco-import.com

Helwig, Geleen	Bamboeko zijnen	www.helwig.nl
Luit Interieurbouw, Almere	Akoestische panelen (Bamboo acoustics)	www.bambooacoustics.nl
MOSO International bv, Zwaag	Parket, plaatmateriaal, plafondpanelen, balken, terrasdelen, fineer, op rol	www.moso-bamboe.nl
OWA Benelux bv, Amsterdam	Plafondplaten	www.owa.de/nl
3.6.10 Geluidisolatie-platen		
HempFlax, Oude Pekela	Isolatie plaat op basis van vezelhennepe (Hempflax Panel)	www.hempflax.com/toepassingen/construction/panel-insulation
3.7.1 Vezelcement		
Bio Bound, Cruquius	Straatmeubilair op basis van miscanthus en grotendeels gerecycled (beton)	http://biobound.nl
CemPlaat bv, Enschede	Cementgebonden vezelplaat voor gevels, wanden, plafonds en vloeren (CemPanel)	www.cemplaat.nl/producten
Dun Agro, Oude Pekela	Prefab bouwelementen op basis van cementgebonden hennepscheven	www.dunagro.nl/building
HempFlax, Oude Pekela	Kalkhennepe mortel voor gieten of spuiten (HempFlax HB). Blokken op basis van hetzelfde materiaal (HempFlax ISO)	www.hempflax.com/toepassingen/construction
Heraklith, Oosterhout	Houtwolcementplaten voor brandwerende en isolerende wanden en plafonds	www.heraklith.nl
Isolco bv, Maarheeze	Houtwolcement voor thermische en acoustische	www.isolco.nl

	wand en plafondsysteem (Stertekt)	
Knauf AMF	Houtwolcementplaten (Fibracoustics)	www.amf-cz.cz/infoeng.htm
Xiriton	Kalksteenmeel-cement-olivijn gebonden miscanthus	www.acroniq.nl
3.7.2 Schuimbeton		
Gebr van Antwerpen, 's Hertogenbosch	Schuimbeton	www.van-antwerpen.nl
Xella Nederland bv, Gorinchem	Schuimbeton (Ytong)	www.xella.nl
3.7.3 Gipsvezelplaat		
CemPlaat bv, Enschede	Gipsvezelplaat en gipskartonplaat (CemPanel)	www.cemplaat.nl/producten
Fermacell bv, Niftrik	Gipsvezelplaat op basis van (gerecyclede) papiervezels (Fermacell)	www.fermacell.nl
Gyproc, Vianen	Gipsvezelplaat voor wand en vloerafwerking	www.gyproc.nl/gipsplaten
Knauf, Utrecht	Breed assortiment gipsvezelplaatmaterialen voor binnenwanden, plafonds en vloeren	www.knauf.nl
Siniat bv, Delfzijl	Gipsvezelplaten voor vloeren, wanden en plafonds	www.siniat.nl
3.7.5 Leem en silt		
BTC Chemical Distribution, Waterloo (B)	Additief om leem weerbestendiger te maken (Acronal®)	www.btc-europe.com/nl/BE/nc
Buro Robing Design, Enschede	Leem- en andere stuc- en isolatie-materialen (Technostuc systemen)	www.technostuc.nl
Claytec, Viersen (D)	Leembouwplaat op basis van riet	www.claytec.de

Chris Drijvers, Noorbeek	Aannemer van houtskelet vakwerk huizenbouw	www.vakwerkbouw.nl
Eigensinn, Eindhoven	Stucadoor gespecialiseerd in o.a. leemstuc en kalkstuc	www.eigensinn.nl
Leembouw Nederland, Amsterdam	Leemstuc, leemverf, stampleem	www.tierrafino.nl
Oudshoorn Leemwerk, Amsterdam	Stucadoorsbedrijf gespecialiseerd in o.a. leemstuc, kalkpleisters, stampleem	www.oudshoorn-leemwerk.nl
	Bedrijven gespecialiseerd in leembouw en leemproducten	www.livingearth.nl ; www.trepeinleembouw.nl
3.7.6 Klei		
Argex, Naarden	Geëxpandeerde kleikorrels voor isolatie in vloeren, fundering en spouw	www.argex.eu
3.7.7 Composiet steen		
Euböolithwerke AG (Zwitserland)	Hoge sterkte gietvloertoplagen op basis van magnesiet gebonden houtdeeltjes (Euböolith)	www.eubolith.ch
Holonite, Tholen	Composietsteen waarvan binder 54% bio-based	www.holonite.nl
Reposit AG (Zwitserland)	Gietvloer op basis van magnesiet gebonden houtdeeltjes (Reposit-Steinholz)	www.reposit.com
3.7.8 Vezel-Kunststofcomposieten		
Beologic (B)	Natuurlijke vezel versterkte polymer compounds voor spuitgieten en WPCs	www.beologic.com
Composites Evolution (Verenigd Koninkrijk)	PP en PLA composieten op basis van weefsels	www.compositesevolution.com

Enviroshake (Canada)	Composiet shingles op basis van 95% biobased en/of gerecycled materiaal	www.enviroshake.com
Evonik (Duitsland)	Natuurlijke vezelversterkte polyamide (PA) compounds voor spuitgieten (Vestamid® Terra)	www.vestamid.com
GreenGran, Hoogland	Natuurlijke vezelversterkte PP en PLA compounds voor spuitgieten	www.greengran.com
Hiendl, Bogen (D)	WPC profielen	www.hiendl-kunststofftechnik.de/Kunststoffteile_Hiendl/?n=421
Kosche, Much (D)	WPC profielen en planken	www.kosche.de
Möller, Meschede-Eversberg (D)	WPC profielen en planken (Lignodur®). Geluidsisolerende wandprofielen op basis van WPC.	www.terrafinade.de ; www.moeller-profilsysteme.de
NPSP, Amsterdam	Natuurlijke vezelversterkte composiet producten voor gevelpanelen, sanitair, vloeren en dakconstructies	www.npsp.nl
Resysta, München (D)	WPC materiaal voor facades op basis van rijstkaf, zeezout en minerale olie. UV stabiliteit geclaimd vanwege laag % lignine in rijstkaf.	www.resysta.com
Technamation, Guben (D)	WPC profielen en sheets	www.technamation.com
Tecnaro, Ilsfeld-Auenstein (D)	Natuurlijke vezelversterkte compounds voor spuitgieten	www.tecnaro.de

Techwood, Enter	WPC planken en profielen (Techwood®)	www.top-vlonderplanken.nl
Transmare	Natuurlijke vezelversterkte compounds voor spuitgieten	www.transmaretrading.com/compounds/#naturalfibrefilled
Werzalit, Oberstenfeld (D)	Natuurlijke vezelversterkte compounds voor spuitgieten, WPC planken	www.werzalit.com
3.7.9 Hernieuwbare kunststoffen		
FKuR, Willich (D)	<i>Soft touch</i> natuurvezel gevulde thermoplastische elastomeren (Terraprene®)	http://fkur-polymers.com
Scabro, Katwijk	Thermohardende harsen, 17-37% biobased	www.scabro.com
Tecnaro, IIsfeld-Auenstein (D)	Natuurlijke vezelversterkte lignine en PLA compounds voor spuitgieten	www.tecnaro.de
Total-Corbion, Gorinchem	Luminy® PLA, 100% biobased	www.total-corbion.com/products/pla-polymers
	Technische data en leveranciers van biopolymeergrondstoffen	www.ides.com ; www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=1171
3.8.1 Vlaswol en hennepwol non-wovenvlies		
Isolina, 's Hertogenbosch	Isolatie, bouwvilt en ondertapijt op basis van vlasvezels	www.isolina.com/nl/isolatie-producten.cfm
IsoVlas, Oisterwijk	Bouwisolatie (IsoVlas PL en PN), dakelementen (IsoVlas VRD) en onderplateen (IsoVlas Reno) op basis van vlasvezels	www.isovlas.nl

Hempflax, Oude Pekela	Hennepwolisolatie	www.hempflax.com
Hock GmbH & Co, Nördingen (D)	Isolatie op basis van hennep (Thermo-Hanf® PLUS)	www.thermo-natur.de
Steico, Feldkirchen (D)	Isolatie op basis van hennep- en houtvezel	www.steico.com/int/the-company/about-us
3.8.2 Cellulose en houtvezel isolatie		
Cellubor, Oss	Cellulose isolatie op basis van gerecycled papier	http://cellubor.nl
Climacell (D)	Cellulose isolatie op basis van gerecycled papier	www.climacell.de
EverUse, Zoetermeer	Isolatieplaat op basis van gerecycled papier	www.everuse.com/index.html
Excel (Engeland)	Spuitbaar isolatiemateriaal op basis van 100% gerecycled papier (Warmcel)	www.warmcel.co.uk
Gutex (D)	Houtvezelisolatie platen	http://gutex-benelux.eu
Heraklith, Oosterhout	Houtwol platen voor thermische en acoustische isolatie van plafonds.	www.heraklith.nl
Homatherm® Nederland	Losse isolatievlokken (fineFloc) en flexibele (holzFlex) en drukvaste isolatieplaten op basis van houtvezels	www.homatherm.com/nl
Isocell (F, A, CH)	Cellulose en houtvezel isolatievlokken	www.isocell.com
Isoproc, Banholt	Cellulose isolatievlokken (iQ3)	www.isoproc.be
Linex Prefab bv, Hulst	Dakelementen op basis van spaanplaat en cellulose isolatie	www.linexprefab.nl
Soprema, IJlst	Flexibele en drukvaste (o.a. PavaFlex) isolatieplaten op basis van houtvezels	www.soprema.nl

Sprayplan	Spuitpleister op basis van cellulosevezels	www.sprayplan.nl
Steico, Feldkirchen (D)	Isolatie op basis van houtvezel	www.steico.com
Warmteplan, Brummen	Cellulose- (Isofloc) en houtvezel isolatie ((Gutex, Homatherm)	www.warmteplan.nl
3.8.3 Kurk en kurkproducten		
Amorim Benelux bv, Tholen	Kurkvloeren	www.amorim.com/en/business-units/floor-and-wall-coverings
Forbo, Krommenie	Kurklinoleum	www.forbo.nl
Isokurk, Alken (B)	Spuitkurk	www.isokurk-be
Pro Suber, Tilburg	Geëxpandeerde kurk, o.a. gevelbekleding, isolatie	www.prosuber.com
Thole bv, Lelystad	Kurkvloeren, -parket, -laminaat	www.tholeholland.nl
Van Avermaet, Lokeren (B)	Kurkproducten voor vloeren, wanden en isolatie	www.vanavermaet.be
3.8.4 Katoen		
VRK Isolatie & Akoestiek, Tilburg	Isolatieplaten op basis van 90% gerecyclede spijkerbroeken (Métisse)	www.vrk-isolatie.nl
3.8.5 Kokos isolatie en stucdrager		
Nevima bv, Amersfoort	Viltten voor geluidsisolatie, geluidsabsorptie en vloeropleggingen op basis van paarden- en/of koeienhaar	www.nevima.nl
3.8.6 Schapenwolisolatie		
Doscha, Naarden	Isoaltieproducten op basis van schapenwol	www.doscha.nl
Isolena (AT)	Isoaltieproducten op basis van schapenwol	www.isolena.at

3.8.7 Riet		
Rietdekkers Gilde	Rieten daken	http://rietdekkersgilde.com
Riet portal		www.rietpromotie.nl
Vakfederatie Rietdekkers		www.riet.com
3.8.8 Kleikorrels		
Argex, Naarden	Geëxpandeerde kleikorrels voor isolatie tussen grond en vloerplaat	www.argex.eu
Lias Benelux bv, Enschede	Geëxpandeerde kleikorrels voor groene daken (Liapor)	www.liapor.nl
3.8.9 Schelpen en schelpkalkmortel		
Beijert, Akkrum	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten	www.isolatieschelpen.com
Bos, Deventer	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten en t.b.v. verharding en paden	www.bosdeventer.nl
Gebroeders de Vries, Dokkum	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten	www.gebroedersdevries.nl/producten
Goldshell, Zoutkamp	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten	www.goldshell.nl
Isoschelp, Yerseke	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten	www.isoschelp.nl
Spaansen, Winkel	Isolatieschelpen voor toepassing in kruipruimten en t.b.v. verharding en paden	www.spaansen.nl
Van Doorn, Soest	Schelpen t.b.v. verharding en paden	www.vandoorn-soest.nl
Van Rijn, Katwijk	Schelpen t.b.v. verharding en paden	www.schelpenhandelvanrijn.nl/kleischelpen
3.8.10 Overige isolatie materialen		
Isobouw, Someren Synbra, Etten-Leur	PLA gebaseerd isolatieschuim (BioFoam®)	www.isobouw.nl/nl/producten/algemene-isolatie ; www.synbratechnology.com/biofoam

Merford, Gorinchem	Gerecycled textiel, voornamelijk katoen	www.merford.com/nl/nl/nieuws/material-xperience-2015/
Termokomfort, Almere	PLA gebaseerde isolatie parels (BioFoam Pearls®)	www.termokomfort.nl/isolatieparels/biofoampearls
3.9 Afdichtingskitten		
Vrancken bv, Geleen	Stopverf	www.vranken.nl
3.10 (Vegetatie)daken		
Derbigum, Breda	Dakbedekking op plantaardige basis met C2C certificaat	www.derbigum.com
EKOgras, Zaltbommel	Producten voor de aanleg van begroeide daken	www.ekogras.com
Icopal, Grongingen	Producten voor de aanleg van begroeide daken	www.icopal.nl/producten/bitumen-dakbedekking/groendak.aspx
Groendak, Scherpenzeel	Producten voor de aanleg van begroeide daken	www.groendak.info
Arlanxeo, Geleen	EPDM op basis van 70% biobased (Keltan® Eco)	keltan.com/the-power-of-keltan/sustainable-innovation/go-bio-based-keltanr-eco
Mostert de Winter, Hardinxveld-Giessendam	Producten voor de aanleg van begroeide daken en daktuinsystemen (xeroflor®)	www.mostertdewinter.nl
Sempergreen, Zeist	Gevelbeplanting	www.sempergreen.com
Van Ginkel Groep, Veenendaal	Aanleg van daktuinen	www.ginkelgroep.nl
3.11.1 Bekistingsmateriaal		
Cugla, Breda	Ontkistingsmiddel op basis van (gemodificeerde) plantaardige olie en dierlijke vetten (Marginel)	www.cugla.nl
Van den Bergh, Werkendam	Lossingsoliën en – emulsies op basis van (gemodificeerde)	www.lossing.nl

	plantaardige olie (Pluriform, Marginel, Montaclean)	
3.11.2 Coating en cement additieven		
LignoStar, Den Haag, Deventer	Plastificeerder voor beton op basis van lignine (Starlig)	https://lignostar.com
3.11.3 Geotextielen		
Bonar (B)	Geweven geotextiel op basis van PLA (Duracover)	http://bonar-agro.com
BonTerra, Stolberg (D)	Kokos en kokos-stro matten voor anti- erosietoepassingen	www.Bonterra.de
Texion, Antwerpen (B)	Vlechtwerk van rijshout en (voorbeplante) matten op basis van kokosvezels (Greentex, Texi Flora)	www.texion.be
Tribute bv, Leusden	Kokosmat vegetatiedragers (Armaflor) voor oeverbescherming	www.tributegreenfix.nl
5.2 Linoleum		
Forbo, Krommenie	Vloerbedekking (Marmoleum®). Lijmen voor het lamineren van hout met Greenguard certificaat (Swift®lock, swift®therm en Swift®tak)	www.forbo.nl
5.3 Parket		
Bax, Terheijden	Lamelparket en vele soorten hout	www.baxhout.nl
Bona Benelux, Haarlem	Parketlijm, -lak en -olie; alles voor parket	www.bona.com/nl
Homé hout, Tiel	Houten vloeren en vele soorten hout	www.homehout.nl ; www.fairwood.nl
Lecol, Waalwijk	Totaalleverancier voor parket en houten vloeren	www.lecol.nl

Soudal, Turnhout (B)	Lijmen en schuimen voor de bouw	www.soudal.com/soudalweb/news.aspx?w=1&p=1
Stauf, Wilnsdorf (D)	Lijmen voor vloeren, waaronder parket	www.stauf.de/index.php?!ang=nl
Thomsit	Alles op het gebied van vloerafwerking	www.thomsit.nl
ZenDac WoodCare bv, Weesp	Hardwax-olie voor bescherming van hout (Blue Dolphin)	www.bluedolphin.nl/cat/onderhoud
Kurkvloeren, zie 3.8.3		
5.4 Tapijten en vloerbekleding		
Brabant Rubber, Best	(Natuur)rubberen vloertegels	www.brabantrubber.nl
Cunera, Rhenen	Cocosmatten met latex rug. Bamboe karpert of kamerbreed.	www.cunera.nl
5.5 Wandbekleding		
Asona, Uithoorn	Spuitsysteem voor aanbrengen van cellulose vezels op wanden t.b.v. acoustische isolatie (Sonacel, SonaTherm, Sonaflex)	www.asona.nl
Denimtex, Enschede	Wandbekleding op basis van gerecyclede kleding	www.denimtex.nl
Hollandfelt, Delft	Wolvilten bekleding voor wand, vloer en plafond	www.hollandfelt.nl
Mutsaerts Leather flooring, Kaatsheuvel	Lederen wandbekleding	www.leatherflooring.nl
Naturbau Direkt (D)	(Cellulose) Faserputz (Haga)	www.naturbaudirekt.de/catalogsearch/result/?q=cellulose

5.6 Bouwen met papier en karton		
Ampack (Zwitserland)	Sisalvezel versterkt bouwpapier (Sisalex)	www.ampack.ch/produkte/anzeigen/products/sisalex-500-15-m-2
Axxor, Zwolle	Kartonnen honingraatmateriaal	www.axxor.eu
BIA Systeemwanden, Wijchen	Kant-en-klare kartonnen binnenwandpanelen	www.spanell.nl

11 Adressen

11.1 Opleidingen, kennis, onderzoek en innovatie:

De BNA (2018) heeft een campagne gelanceerd "Wij gaan circulair"⁵², waarin de 5 ontwerpprincipes worden benoemd, die hergebruik en duurzaamheid centraal stellen. Daarin staat "de Natuur als inspiratiebron en schoolvoorbeeld van circulariteit" centraal.

Onderzoek aan de Nederlandse instituten, universiteiten en hogescholen m.b.t. bouwmethoden en bouwmaterialen:

Technische Universiteit Delft (TUD)

Em Prof Mick Eekhout: Sustainable architecture, bouwtechniek, "building product innovation"

Prof Andy van den Dobbelsteen: Bouwtechniek, "Climate design & sustainability"

Prof Ulrich Knaack: Bouwtechniek, "green building innovation"

Prof Philomena Bluysen: Bouwtechniek, "Indoor environment"

Technische Universiteit Eindhoven (TU/e)

Prof Jos Brouwers: Bouwmaterialen

Prof André Jorissen: Hout constructies

Prof Jan Hensen: Building performance

Nijenrode, prof Anke van Hal: Sustainable building and development

Hogescholen (HBO)

Willem Böttger, Avans Breda, Centre of Expertise Biobased Economy, www.avans.nl

HAN Arnhem, www.han.nl

Hogeschool Zuyd, www.hszuyd.nl

Saxion, Enschede, www.saxion.nl

R&D instituten

Stichting Hout Research (SHR), www.shr.nl, Wageningen.

TNO Innovation Centre Buildings, www.tno.nl, Peter Paul van 't Veen; Bart Luijten (Building Innovation).

Wageningen UR, www.fbr.wur.nl, Jan van Dam, Martien van den Oever (food and biobased research).

⁵² www.bna.nl/wp-content/uploads/2018/01/manifest-wij-gaan-circulair.pdf

Opleidingen/Kennis

BouwKennis	www.bouwkennis.nl
BouwProfs	http://bouwprofsnederland.nl
Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus	www.bna.nl/bna-academie/alle-categorieen/vakmanschap/biobased-bouwen
BREEAM-NL	www.breeam.nl/trainingen
Centre of Expertise Biobased Economy (Avans/HZ), lectoraat biobased bouwen	www.coebbe.nl
Centrum voor Innovatie in de Bouwkolom (CIB)	www.bouwkolom.org
Concept House Village (CHV)	http://concepthousevillage.nl
Dutch Green Building Council (DGBC) Academy	www.dgbc.nl/trainingen
Green Deal 'biobased bouwen' (t/m eind 2018)	www.greendealbouwen.nl
Greenworks Academy (Raab Karcher)	www.greenworksacademy.nl
Kennisbank Biobased Bouwen	www.biobasedbouwen.nl
Kennisinstituut Bouw- en Installatietechniek (ISSO)	www.issso.nl/kennis-bijeenkomsten
Passief Bouwen	https://passiefhuismarkt.nl/houtskeletbouw
Pianoo: Biobased inkopen	www.pianoo.nl/nl/themas/maatschappelijk-verantwoord-inkopen-mvi-duurzaam-inkopen/mvi-thema-s/biobased-inkopen
Stichting Agrodôme: LCAs	www.agrodome.nl
Stichting EcoBouw Nederland: biobased circulair bouwen	www.ecobouwnederland.nl

11.2 Algemeen

Er zijn voor de bouw een groot aantal beroeps- en belangenverenigingen actief. Hieronder zijn de verschillende organisaties die relevant zijn voor biobased bouwen opgenomen.

ArchitectenPunt, Bouwbreed Platform (leveranciers, aannemers, architecten, magazines)	https://architectenpunt.nl
Bouwcentrum EXPO	www.bouwcentrum-rotterdam.nl
Bouwgarant	www.bouwgarant.nl
Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus (BNA)	www.bna.nl
Branchevereniging voor klussenbedrijven (VLOK)	www.vlok.nl
Centraal bureau Riet- en Strodekkers	www.riet.com
Centrum Hout	www.centrum-hout.nl ; www.houtinfo.nl
Duurzaam Gebouwd	www.duurzaamgebouwd.nl
Duurzaam Thuis	www.duurzaamthuis.nl
Ecodorp (Stichting)	www.ecodorp.nl
Het Energie Bureau, Eindhoven	www.hetenergiebureau.nl
Informatie Centrum Eigen Bouw (ICEB)	https://iceb.nl
Informatiepunt Duurzaam Bouwen	www.ipdubo.nl
Innovatie Centrum Duurzaam Bouwen (ICDuBo)	www.icdubo.nl
Isolatie-Info	www.isolatie- info.nl/isolatiemateriaal/cellulose
Kennisbank Biobased bouwen	www.biobasedbouwen.nl
Koninklijke OnderhoudNL	www.onderhoudnl.nl
Milieu centraal	www.milieucentraal.nl
Netwerk voor Bouwprofessionals	www.bouwprofs.nl
Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie (NBVT), sectie Vereniging van Houtskeletbouwers	https://nbvt.nl/professioneel/houtskeletbouw

Nederlandse Vereniging van Leveranciers van Bouwgrondstoffen (NVLB)	www.nvlb.nl
Vereniging van Nederlandse projectontwikkeling Maatschappijen (NEPROM)	www.neprom.nl
Nederlandse Bouw Documentatie	www.nbd-online.nl
Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE)	www.nibe.org
Omslag, Servicepunt ecologisch bouwen	www.omslag.nl
Rijksdienst voor Monumentenzorg (RDMZ)	www.cultureelerfgoed.nl ; www.monumenten.nl
Service Instituut Duurzame Ontwikkeling	www.vibaexpo.nl
Stichting de Witte Roos	www.witteroos.nl
Stichting Keuringsbureau Hout (SKH)	www.skh.org
Verduurzaamd Hout Nederland	www.vhn.org
Vereniging Eigen Huis	www.eigenhuis.nl
Vereniging van HoutConstructeurs (VHC)	http://verenigingvanhoutconstructeurs.nl
Vereniging Integrale Bio-Logische Architectuur (VIBA)	www.vibavereniging.nl
VKG Keurmerk	www.vkgkeurmerk.nl
Vereniging Leveranciers Vloerverwarming (VLV)	
Vereniging Parketvloeren Leveranciers	www.vplparket.nl
Vereniging Vernieuwbare Isolatie (VVI)	www.verantwoordisoleren.nl
Woningborg Groep	www.woningborggroep.nl

Vakbladen

Het Houtblad: Maandblad met verwijzing naar projecten, dossiers en bredrijven, www.houtblad.nl

De Houtkrant: Nieuws over hout, www.dehoutkrant.nl

HoutWereld: Vaktijdschrift voor houtsector, www.houtwereld.nl

11.3 Architecten

- Beroepsvereniging Nederlandse Architecten (BNA), www.bna.nl
- Beroepsvereniging Nederlandse interieurarchitecten (BNI), www.bni.nl
- Bureau Architectenregister, www.architectenregister.nl
- Platform voor architecten in Nederland, <https://architectenweb.nl>

Enkele voorbeelden van architecten die betrokken zijn bij ecologisch bouwen of milieuvriendelijke innovatie in de bouw:

ARCHES architecten BNA	Eindhoven	www.arches.nl
Hans Achterbosch	AchterboschZantman architecten, Leeuwarden	www.achterboschzantman.nl
BouwhulpGroep		www.bouwhulp.nl
Maarten van der Breggen	Van der Breggen architecten, Oldeberkoop	http://maskeradebouw.nl
Daan Bruggink	ORGA, Nijmegen	www.orga-architect.nl
Peter van der Cammen	ORTA Nova, Zeist	www.ortanova.nl
Felix Claus, Amsterdam		www.felixclaus.com
Dieter Dettling	DD-architect, Amersfoort	www.dd-architect.nl
Edward Erasmus	ErasmusX, Schijndel	www.erasmusx.com
FARO	Lisserbroek	www.faro.nl
Alexander Giesen	Giesen Architectuur, Doetinchem	www.giesen.nl
Hans Goverde	Kraaijenvanger Architects, Rotterdam	www.kraaijvanger.nl
Willem Grotenbreg	Grotenbreg, Warnsveld	www.grotenbreg-architecten.nl

Sjap Holst	Ecodesign, Geldrop	www.artchitecture.nl
Daniel Höwekamp	AAYU	www.aayu.eu
Max van Huut	Alberts & van Huut, Amsterdam	www.albertsenvanhuut.nl
IAA Architecten, Enschede		www.iaa-architecten.nl
Kees Kaan	Kaan Architecten, Rotterdam	http://kaanarchitecten.com
KdV architectuur	Eindhoven	http://kdvarchitectuur.nl
Ro Koster en Ad Kil	RoAd, Bergen op Zoom	www.ro-ad.org
Edy Kwak	Buro voor architectuur, Winterswijk	
Jaap van der Laan	Architectenburo, Bergambacht	www.jaapvanderlaan.nl
Renz Pijnenborgh	Archi Service, 's Hertogenbosch	www.archiservice.nl
Josse Popma en Jan Willem Ter Steege	Popma en Ter Steege, Leiden	www.popmaentersteege.nl
Michel Post	ORIO architecten, Maarssen	www.orioarchitecten.nl
Tjerk Reijenga	BEAR-ID, Gouda	http://bear-id.com
Edwin Smit	M3 architecten, Rijswijk	www.m3architecten.com
Ralf van Tongeren	PlatforM ³ architecten, Houten	http://duurzame-architect.com
Joost Valk	Joost Valk Architectuur Nieuw Vennep	www.valk-architect.nl
Shai van Vlijmen	Narrativa Architecten, Houten	www.narrativa.nl
Rob de Vries	DVUA, Alkmaar	www.dvua.nl
Frans van der Werf	Zandvoort	www.vdwerf.nl
Kees van Wuyckhuysen	GreenHuus, Ouddorp	www.greenhuus.nl

11.4 Aannemers en advies- en ontwerpbureaus

Enkele voorbeelden van aannemers en advies- en ontwerpbureaus, die zijn betrokken bij ecologische bouwprojecten:

ABT bouwtechniek, Velp	www.abt.eu/expertise/materialen/hout
ARCON houtconstructies, Eindhoven	www.arcon-houtconstructies.nl
BG&M Bouw, Emmen	www.bgmbouw.nl/biobased-bouwen
Boerstra Binnenmilieu Advies, Rotterdam	www.binnenmilieu.nl
Bouwcentrum Advies, Rotterdam	http://bouwcentrum-advies.nl
Ecobouwen, Toldijk	www.ecobouwen.nl
Eco+Bouw, Nijmegen	www.ecoplus-bouw.nl
Eco-cabin, Amsterdam	www.eco-cabins.nl
Eco-quantum, Rotterdam	www.kiesuwlabel.nl/eco-quantum
EkoFLin, Bavel	www.ekoflin.com
Ekoplus Bouwstoffen, Banholt	www.ekoplus.nl
Finnhouse, Den Bosch	www.finnhouse.nl
Geveke, Groningen	www.gevekebouw.nl
GPR Gebouw, Utrecht	www.gprsoftware.nl
John Hartongh, Naarden	www.hartongbouwbedrijf.nl
Hegeman Bouwpartners, Arnhem	www.hegemanbouwpartners.nl
Heko Spanten, Ede	www.hekospanten.nl
Hendriksen Eco-bouw, Ruurlo	www.hendrikseneco-bouw.nl
Kingma Bouw bv, Twello	www.kingmabouw.com
NL Greenlabel, Megchelen	www.nlgreenlabel.nl
Octatube, Delft	www.octatube.nl
Pellikaan bouwbedrijf, Tilburg	www.pellikaan.com
Peter Fraanje	www.peterfraanje.com
Platform Binnenmilieu Wonen	www.gezondbinnen.nl
Royal HaskoningDHV, Rotterdam	www.royalhaskoningdhv.com
Siemensma, Surhuisterveen	www.bouwbedrijfsiemensma.nl
Slokker bouwgroep, Almere	https://slokker.com/bouwgroep
Sustainer Homes, Utrecht	www.sustainerhomes.nl
Svarok Natuurlijke bouw	www.svarok.com
VDM, Almere	www.vdm.nl

Achtergrondinformatie, naslagwerken en vergelijkingssites

Construction21, www.construction21.org, een (veeltalig, niet-Nederlands) platform voor bouwprofessionals, gericht op ontdekken en ontwikkelen van duurzaam bouwen.

Natuurlijk bouwen met hout: 33 boomsoorten die zich thuisvoelen in Nederland – Peter Fraanje, 2006, 448 pag. (ISBN 9062243509).

Natuurlijk isoleren – Dimitri Alderweireldt, Hannelore Goens, Peter Thoelen, Sigrid van Leemput, 2012, 144 pag. (ISBN 9789401404242).

Renewable resources for building materials – Peter Fraanje, 1998, 102 pag. (ISBN 9055710237).

In het InnProBio project wordt een online toolbox ontwikkeld voor biobased producten waaronder bouwmaterialen.⁵³ Met de toolbox kunnen productkenmerken van een aantal producten vergeleken worden, o.a. CPV code, biobased (koolstof) gehalte, gebruikte additieven en eventuele certificaten:

www.biobasedconsultancy.com/en/database .

11.5 Bouwmateriaalleveranciers

Het Nederlands Verbond Toelevering Bouw (NVTB, www.nvtb.nl) is de koepelorganisatie voor industrie en handel in bouwmaterialen. Het overheidsbeleid om duurzaamheid te bevorderen in de bouw wordt door hen ondersteund. De invoering van het bouwbesluit van 2012 heeft verdere aanscherping van milieu- en energieprestaties van gebouwen tot gevolg. In het bouwbesluit zijn (nog) geen bepalingen over materiaalkeuze opgenomen. Het overheidsbeleid om “duurzaam inkopen” te stimuleren kan van grote invloed zijn op het gebruik van hernieuwbare bouwgrondstoffen.⁵⁴

Om een overzicht te krijgen van de gereedschappen en materialen die worden toegepast in de huidige bouwmarkt is een lijst van meer dan 2000 bouwproducten te vinden op www.bouwproducten.nl/trefwoorden. Daarbij is slechts een klein aandeel aan te merken als biobased of meer milieuvriendelijk alternatief. De volgende marktplaatsen etaleren uiteenlopende biobased en duurzame bouwproducten:

- www.biobasedbouwen.nl/producten
- bouwboulevard.com/debedrijven

⁵³ <http://innprobio.innovation-procurement.org/home>

⁵⁴ www.pianoo.nl/sites/default/files/documents/documents/factsheet-biobased-inkopen-gebouwen-augustus2017.pdf

Webwinkels

Alles duurzaam:

www.allesduurzaam.nl/verkooppunten/verkooppunten_item/t/groene_bouwmaterialen

Atrium, Arnhem	www.woonwinkelatrium.nl
Dubomat, Groningen en Rucphen	www.dubomat.nl
Eco-bouwmaterialen, Toldijk	www.eco-bouwmaterialen.nl
Eco-logisch, Amsterdam	www.eco-logisch.nl
Ecostuc, Hilversum	www.ecostuc.nl
Ekoplus Bouwstoffen	www.ekoplus.nl
Greenworks (Raab Karcher)	www.raabkarcher.nl/greenworks
Groenebouwmaterialen, Heusden	www.groenebouwmaterialen.nl
Hiro Natuurlijk Wonen, Vogelenzang	www.hironatuurlijkwonen.nl
Vanbinnen, Rotterdam	www.vanbinnen.com

Hout en vezelplaat vormen het belangrijkste biobased aandeel: hout, plaatmateriaal (triplex, multiplex, spaanplaat, OSB, MDF, zachtboard) met of zonder kunststofcoating. Meer en meer bouwmaterialen leveranciers hebben een portal voor on-line bestellen van bouwmaterialen of diensten, bijvoorbeeld:

www.bauhaus-nl.com	www.karwei.nl
www.bouwbestel.nl	www.nubouwen.nl/hout
www.bouwmaat.nl	www.oke-bouwmaterialen.nl
www.bouwmaterialenleverancier.nl	www.onlinebouwmarkt.nl
http://bouwwereld.besteoverzicht.nl/Toeleveranciers.html	www.pontmeyer.nl
www.dehoutexpert.nl	www.praxis.nl
www.gamma.nl	www.raabkarcher.nl
www.hubo.nl	www.retbouwproducten.nl
www.formido.nl	www.stiho.nl
www.hornbach.nl	

Via de Kennisbank Biobased Bouwen (www.biobasedbouwen.nl) zijn opgenomen biobased bouwmaterialen, samen met uiteenlopende kenmerken en leveranciers, eenvoudig te vinden via indeling in productgroepen.

De erkende houthandels hebben zich verenigd in de Koninklijke Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen (VVNH, www.vvnh.nl). Deze organisatie is zeer betrokken bij de invoering van milieucertificaten en de import en productie van verantwoord hout in de gehele keten (zie www.bewustmethout.nl).

BRBS Recycling verwerkt (bouw)afval met focus op zo veel mogelijk recycling, o.a. biobased materialen als hout en isolatiematerialen op basis van krantenpapier en textiel (www.brbs.nl).

Stichting Keuringsbureau Hout (www.skh.nl/nl) certificeert producten, processen en personen.

12 Referenties

- Agentschap NL, 2010. www.kennishuisgo.nl/voorbeeldprojecten/Lijst.aspx?lid=2 .
- Agrodome, 2018. www.agrodome.nl .
- Akkerman J, Schilperoord P, 2016. Natuurhuisje, De Ingenieur 6, juni 2016, p.32.
- Arches architecten BNA, 2011. www.biobasedbouwen.nl/projecten/rieten-villa-in-sterksel .
- Asif M, 2009. Sustainability of timber, wood and bamboo in construction. Chapter 2, in 'Sustainability of construction materials', J.M. Khatib eds, CRC press, pp 31-54.
- AVIH, Algemene vereniging inlands hout, 2011. www.avih.nl .
- BAS, 2014. www.dehoop.nl/nl/actueel/bericht:eerste-woning-gebouwd-met-steko-blokken.htm .
- Bentvelzen L, 2008. Nieuwe methoden voor de verwerking van sanitair- en regenwater, <http://edepot.wur.nl/136856> .
- Biesboer F, 2016. Recyclebare fabriekswoningen, De Ingenieur 12, december 2016, p.19.
- Biosintrum Ooststellingwerf, 2017. <http://biosintrum.nl> .
- Boosting, 2010. Construeren met Karton - Licht & Luchtig, www.boosting.nl/news/show/id/38 .
- Bouwbesluit 2012, 2011. www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving .
- Bouwend Nederland, 2018. Feiten en cijfers, www.bouwendnederland.nl/feitenencijfers .
- Bouwtrefpunt, 2008. www.bouwtrefpunt.nl/kennisbank/7-baksteen.htm .
- BREEAM-NL, 2010. www.breeam.nl/keurmerken/nieuwbouw-en-renovatie .
- BREEAM-NL, 2016. Procedure BREEAM-NL Innovatiecredits, www.breeam.nl/sites/breeam.nl/files/bijlagen/IN101%20-%20Instructie%20BREEAM-NL%20Innovatiecredits%20v4%202016.pdf .
- Brummen gemeentehuis, 2013. www.bouwwereld.nl/nieuws/balie-van-karton .
- Cauberg N, 2008. Creatieve betonconstructies door het gebruik van textiel als flexibel bekistingmateriaal of functionele liner in bekistingen, www.innovatienetwerk.be/projects/1118 .
- CBS, 2018. www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/04/hogste-aantal-nieuwbouwwoningen-in-acht-jaar .
- Centrum Hout, 2005. Houtwijzer Naaldhout in de bouw, www.centrum-hout.nl/sites/default/files/u27/houtwijzer_naaldhout-in-de-bouw_jan2005.pdf .
- Centrum Hout, 2007. Dossier Houtskeletbouw, www.centrum-hout.nl/sites/default/files/u27/HSBnr3_webversie.pdf .

- Centrum Hout, 2007b. Houtwijzer Hout en Brand, www.nonignis.com/CMS/uploads/Hout%20en%20Brand.pdf .
- Construire en Chanvre, 2018. www.construire-en-chanvre.fr .
- CUR-NGO, 1996. Biologisch afbreekbare geotextielen, publicatie C187.
- De Buitenkans Almere, 2007. www.debuitenkans.nl .
- De Groene Leguaan Stavoren, 1998. www.rvo.nl/sites/default/files/2016/05/44%20De%20Leguanen%20Stavoren%202000%20v3_16031.pdf .
- Deltares, 2009. Hergebruik restproduct beperkt effecten zandwinning, Land en Water 49, pp 28-29.
- De Pelen, 2001. <https://anzdoc.com/inside-schuimbetonnen-the-building-fundering-a-natural-paint.html> .
- De Vree, 2012. www.joostdevree.nl/shtmls/stroplaat.shtml .
- De Vree, 2018. www.joostdevree.nl/shtmls/balansventilatie.shtml .
- Didde R, 1997. De zeven levens van een houten balk, Volkskrant 8 februari, www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/de-zeven-levens-van-een-houten-balk~b8021cd6/ .
- Donker-Blacha M, 2017. Ontmantel de rem op innovatie in de bouw, De Ingenieur 10 april. www.deingenieur.nl/artikel/ontmantel-de-rem-op-innovatie-in-de-bouw .
- Dorée A, Pries F, Van der Veen B, Vrijhoef R, 2003. Het bouwparadigma: waarom de bouw niet verandert. Building business.
- Dronkers JH, 2008. Bouwen met baggerspecie, in Proceedings van Mini-symposium 'Hergebruik baggerslib met geotextiele tubes', Zutphen, 3 juni. DWW 2004-063, ISBN 90-369-55666-1.
- Dutch Mountains Veldhoven, 2018. www.thedutchmountains.nl .
- Ecobouwen, 2018. www.ecobouwen.nl .
- Ecocoboard, 2007. www.ecocoboard.net .
- Ecodorp Boekel, 2018. www.ecodorpbrabant.nl .
- Eco-quantum, 2018. www.kiesuwlabel.nl/eco-quantum .
- EIB, 2018. Bedrijfseconomische kencijfers b&u- en gww-bedrijven 2016, www.eib.nl/pdf/Bedrijfseconomische%20kencijfers%20b&u%20en%20gww%20bedrijven%202016_web.pdf .
- EPF, European Panel Federation, 2018. www.mdf-info.org .
- Erasmusveld, 2018. www.proeftuinerasmusveld.nl .
- Eva Lanxmeer, 2005. www.eva-lanxmeer.nl .
- FNV Bouw, 2009. Arbowijzer 20 – Werken met verven, lakken en beitsen, www.yumpu.com/nl/document/fullscreen/19782299/arbowijzer-werken-met-verven-lakken-en-beitsen-fnv-bouw .

-
- Fotobehang, 2018. www.debehangsite.nl ; www.behang.nl ; www.behang.startpagina.nl ; www.behangwereld.nl .
 - Fraanje PJ, 1998. Renewable Resources for Building Materials (PhD thesis), IVAM Environmental Research; Universiteit van Amsterdam, June 18.
 - Fraanje PJ en Van Kampen MGH, 1998. Het vervangingspotentieel van vernieuwbare grondstoffen: indicatief onderzoek naar het potentiëel van vernieuwbare grondstoffen om oppervlakte delfstoffen voor de bouw te vervangen. Dienst Weg- en Waterbouwkunde
 - Frihart CR, Brikeland MJ, Allen AJ, Wescott JM, 2010. Soy adhesives that can form durable bonds for plywood, laminated wood flooring, and particle board, Proc Int Convention Soc Wood Sci and Technology, co-hosted by UN Economic Commission for Europe – Timber committee, Geneva (Switzerland), October 11-14, Paper WS-20.
 - Fruhwald A, 2004. www.vhn.org/pdf/Eurofact3-Wood_as_Carbon_stores.pdf .
 - GEI, 2018. Greenguard Environmental Institute, www.greenguard.org .
 - GEP, 2018. www.regenwater.com .
 - GHG, 2011. www.global-greenhouse-warming.com/iron-and-steel-emissions.html .
 - Haas EM, 1997. NIBE milieuclassificatie, www.nibe.info .
 - HAUT Amsterdam, 2018. www.stichtinghoogbouw.nl/houten-wolkenkrabbers/ , www.houtblad.nl/Nieuws/Duurzaamheidslabel_voor_woontoren_HAUT-171201100000 .
 - Holst S, 2011. Ontwerpen in leem, SBR Nationaal Congres “Bouwen met leem”, Made, 17 maart.
 - Holz100, 2018. www.nur-holz nederland.nl ; www.wood100.com .
 - Houtbouwprojecten, 2012. www.scanabouw.nl ; www.finnhouse.nl .
 - Houtinfo, 2012. Een aantal websites zijn geraadpleegd: www.tracer.dk ; www.globalwoodimport.nl ; www.fsc.dk ; www.woodsoftheworld.org ; www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods ; www.industrial-resources.net ; www.engineeringtoolbox.com/wood-density-d_40.html .
 - Houtvademecum, 2018. www.houtvademecum.com/bestellen .
 - Isolatie-Info, 2018. www.isolatie-info.nl/isolatiemateriaal/cellulose .
 - Jonkers H, 2016. Zelfherstellend beton met behulp van calciumcarbonaat producerende bacteriën, www.tudelft.nl/citg/onderzoek/stories-of-science/zelfherstellend-beton .
 - Khan BA, Warner Ph, Wang H, 2014. Antibacterial Properties of Hemp and Other Natural Fibre Plants: A Review, BioResources 9(2), 3642-3659, https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_09/BioRes_09_2_Review_3642_Khan_W_Antibacterial_Hemp_Natural_Fiber_Plants_5326.pdf .

- KNB, vereniging Koninklijke Nederlandse Bouwkeramiek, 2007. Van klei tot baksteen, www.knb-keramiek.nl/publicaties/knb-publicaties/brochure-van-klei-tot-baksteen-en-meer .
- KNB, 2018. www.knb-baksteen.nl .
- Kraaijvanger, 2010. Stenen van wol: Sterker en milieuvriendelijker, www.scientias.nl/bakstenen-van-wol-sterker-en-milieuvriendelijker/17365 .
- Krutwagen B, Kortman J, Monné T, 2004. Gekwantificeerde milieudoelstellingen voor bouwmaterialen (IVAM).
- Kuo M, et al., 2001. Soybean-based adhesive resins and composite products utilizing such adhesives, U.S. Patent 6306997.
- Latif E, et al., 2015. Moisture buffer potential of experimental wall assemblies incorporating formulated hemp-lime, *Building and Environment* 93 (2015): 199-209. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315300597 .
- Leeuwen J van, 2008. CUR commissie F50. www.vakbladgeotechniek.nl/sites/default/files/pdf/archief/artikelen/g_120_5_1265_053182.pdf .
- McDonough W, Braungart M, 2002. Remaking the way we make things, www.cradletocradle.nl .
- Meanderhof, 2008. www.meanderhof.nl .
- Meuwissen, 2004. www.mi.nl/bouw/vocht.htm .
- Milieu Centraal, 2018. www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Vloerbedekking#Milieubelasting_van_vloerbedekking .
- NMP 3, 1998. NMP 4, 2001. www.milieufocus.nl/factsheets/n/nationaal-milieubeleidsplan-4-nmp4.html .
- Nobelhorst Almere, 2018. <http://nobelhorst.nl/over-nobelhorst/het-plan> .
- NVTB, 2018. <https://nbvt.nl/duurzaam-hout/dankzij-industrieel-en-lichtgewicht-bouwen-hout-bijna-60-minder-co2-uitstoot-huis> .
- Octatube, 2018. Ring Pass, www.octatube.nl/nl_NL/project-item/projectitem/136-ring-pass.html .
- OECD/IEA, 2007. Tracking Industrial Energy efficiency and CO2 emissions.
- Oikos, 2005. www.architectuurgidsenschede.nl/objects/object00000168 .
- Omslag, 2011. Ecologisch wonen en bouwen, www.omslag.nl/wonen/ecobouw.html
- ORGA, 2014. www.orga-architect.nl/2014/09/12/biobased-tandartspraktijk .
- ORGA, 2018. www.architectuur.nl/project/biobased-materialen-in-geknikt-houten-huis .
- Papercrete, 2018. <https://en.wikipedia.org/wiki/Papercrete> , www.greenhomebuilding.com/articles/papercrete.htm .

-
- Patch22 Amsterdam, 2016. <http://patch22.nl> , [www.amsterdam.nl/projecten/buiksloterham/overzicht-afgeronde/patch-22-\(kavel-22\)](http://www.amsterdam.nl/projecten/buiksloterham/overzicht-afgeronde/patch-22-(kavel-22)) .
 - PBL, CBS, Wageningen UR, 2009. Compendium voor de leefomgeving (feiten en cijfers over milieu, natuur en ruimte in Nederland), www.clo.nl .
 - Probos, 2009. Infoblad Houtsoortenkeuze en toepassingen, www.houtdatabase.nl/infobladen/infoblad_houtsoortenkeuze_versus_toepassing.pdf .
 - Qforyou, 2011. www.qforyou.org .
 - R&B Wonen Kruiningen, 2014. www.renbduurzaamwonen.nl/projecten/biobased-onderhoud-kruiningen .
 - Recycling Netwerk, 2018. <https://recyclingnetwerk.org/themas/tapijten> .
 - Rice Husk, 2006. www.ricehuskash.com/details.htm .
 - Rijkswaterstaat, 2009. Productie en verbruik van beton- en metselzand en gebroken grond in 2007.
 - Rijkswaterstaatkantoor Terneuzen, 2013. www.debouwmakelaar.nl/bouwproject/dienstkringgebouw-van-zeeuws-vlaanderen-te-terneuzen .
 - Rothengatter R, Mathijssen R, 2008. Milieu in ruimtelijke plannen: Gemeente, Projectburo IPO/ MILO, VNG en VROM.
 - RVO, 2018. www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/energieneutraal-bouwen .
 - Sekkei N, 2018. De Ingenieur 3, maart 2018, p.8-9. www.houtblad.nl/Nieuws/Japan_ontwerpt_350_meter_hoge_wolkenkrabber_in_hout-180226095133 .
 - Sikkema R, Nabuurs GJ, 1995. Forests and wood consumption on the carbon balance: Carbon emission reduction by use of wood products. *Studies in environmental science*. Vol. 65. Elsevier, 1995. 1137-1142. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016611160680141X .
 - Soynewuses, 2018. www.soynewuses.org .
 - SBK, Stichting Bouwkwaliiteit 2011 – Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW werken. www.milieudatabase.nl/imgcms/SBK-Bepalingsmethode-1-7-2011.pdf
 - SBRCURnet, 2018. www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties .
 - SSN, Stichting Schuimbeton Nederland, 2018. www.schuimbetoninfo.nl
 - STABU, 2016. www.stabu.org/bestekteksten , www.stabu.org/sitemap/hoofdstukserie-stabu%c2%b2 .
 - STABU, 2017. STABU-Catalogus 2017-1, www.stabu.org .

- Stofberg F, Duijvesteijn K, 2008. Basisdoc XS 2 duurzaam bouwen. In opdracht van SenterNovem en VROM, www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2008/01/11/boekje-basisdoc-xs-2-duurzaam-bouwen .
- Strobouw, 2018. www.strobouw.nl .
- Strowijk Nijmegen, 2015. www.iewan.nl .
- Tissink A, 2018. Het is nog veel te vroeg voor een requiem voor gebouw XX, Cobouw, 30 april 2018, www.cobouw.nl/utiliteitsbouw/nieuws/2018/04/het-nog-veel-te-vroeg-voor-een-requiem-voor-gebouw-xx-101260017 .
- Tjeerdsma B, Van Dam J, Fraanje P, 2002. Hernieuwbare grondstoffen als bouw materiaal. Tien leverbare producten. ISBN 90-9016283-6, www.shr.nl/uploads/pdf-files/2005-00-00-bt-hernieuwbare-grondstoffen-als-bouwmateriaal.pdf .
- Tuvalu Amsterdam, 2018. www.tuvalustrobouw.nl .
- Van der Burgh, Fred & van de Linde, Jaap, 2016. Eindrapportage Green Deal Biobased Bouwen, conclusies en aanbevelingen, RVO, Agrodome, Wageningen, www.greendeals.nl/sites/default/files/downloads/20160309-Eindrapportage-Green-deal-Biobased-Bouwen.pdf .
- Van der Burgh, G.F. & E.F.L.M. Verspeek; 2016. Bevordering opname van biobased bouwproducten in de Nationale Milieu Database (NMD), Green Deal Biobased Bouwen, Agrodome, Wageningen, Nederland, www.greendeals.nl/sites/default/files/downloads/20160613-Eindverslag-RVO-NMD_def.pdf .
- Van der Burgh, Fred, 2016. Top tien biobased gebouwen, Stedebouw & Architectuur, februari 2016, Acquire Publishing, Zwolle, Nederland, www.stedebouwarchitectuur.nl/nieuws/160216/top-10-biobased-gebouwen .
- Van Velden F, 2010. Volume betonnen ligger kan 42 procent omlaag, Cobouw 17 juni, www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2010/06/volume-betonnen-ligger-kan-42-procent-omlaag-101102673 .
- Venlo stadhuis, 2016. <http://docplayer.nl/27640993-Stadskantoor-venlo-kraaijvanger-architects.html> .
- Verdonk A, 2010. Cradle to cradle past slecht in huidige bouwcultuur: Zelfs het graf een wieg, De Ingenieur 15 Oktober, pp48-53.
- Vereniging Aardehuis, 2015. www.aardehuis.nl .
- Vloerbekleding, 2012. www.desso.com ; www.interfaceflor.nl ; www.tapijten.nl .
- VROM, 2010. Protocol 0054: Procesemissies niet fossiel, t.b.v. NIR 2010.
- VVHN, Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen, 2006. www.vvnh.nl/duurzame_vvnh_import .

-
- VVHN, 2018. Resultaten VVNH monitoring rapportageformulier geheel 2017, Joyce Penninkhof & Jan Oldenburger, Probos Wageningen.
www.vvnh.nl/system/files/Extern_RapportageVVNH%20monitoring2017v3_Mei2018.pdf .
 - W/E adviseurs, 2016. Klimaatwinst door Bouwen in Hout,
www.houtinfo.nl/sites/default/files/WE_rapport-Klimaatwinst-door-Bouwen-in-hout_24okt2016.pdf .
 - Woonbron Delft, 2015. www.npsp.nl/newsItem.asp?ID=6&IDNewsItem=74 ,
www.growinggreen.nl .
 - Woonderij EOS, 2006. www.woonderijeos.nl .
 - Woongoed Biervliet, 2017. www.woongoedzvl.nl/over-woongoed/woningbezit-en-projecten/vlaswoningen .
 - Zembla, 2011. Uitzending op 19 mei, <https://zembla.bnnvara.nl/nieuws/ventilatie-in-nieuwbouwwoningen-dramatisch-slecht> .
 - Zonnespreng, 2010. www.zonnespreng.nl .

Colofon

Catalogus biobased bouwmaterialen 2019 – Het groene en circulaire bouwen

Jan van Dam en Martien van den Oever

2019

© Wageningen Food & Biobased Research

ISBN: 978-94-6343-521-5

DOI: <https://doi.org/10.18174/461687>

Druk: Propress, Wageningen

Wageningen Food & Biobased Research

Bornse Weilanden 9

Postbus 17

6700 AA Wageningen

<https://www.wur.nl/wfbr>

Zijn er relaties die u met dit boek een plezier kunt doen dan zouden we dat graag van u vernemen.

Deze publicatie is mede mogelijk gemaakt door de TKI-BBE en door het beleidsondersteunend onderzoeksthema Biobased Economy (BO-20.12), gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Het is de tweeëntwintigste in een reeks publicaties over het gebruik van agrogrondstoffen en nevenstromen in veilige en gezonde producten voor consumenten- en industriële markten (zie ook www.groenegrondstoffen.nl en www.biobasedeconomy.nl).

