

Milieuwinst in de bouwsector:

*Een scriptie over bouwmaterialen en de consequenties hiervan voor het milieu en de bouwers.
Toegepast op het Clean Tech House project te Zutphen.*



Bachelorscriptie Milieukunde
Versie 1.0 definitief
11-07-2016

Milieuwinst in de bouwsector

Bachelorscriptie Milieukunde

Auteur	Serena de Wit
Onderwijsinstelling	Saxion, Deventer
Studentennummer	327426
Opleiding	Milieukunde
Contact	serenadewit@hotmail.com +31(0)6 303 789 31
Onderwijsinstelling	Saxion Hogeschool Deventer Handelskade 75 7417 DH Deventer
Begeleider	Ir. Weynand Oostwoud Wijdenes j.w.oostwoudwijdenes@saxion.nl
Beoordelaar	Drs. Bauke de Vries b.j.devries@saxion.nl
Interne opdrachtgever	Kenniscentrum Leefomgeving Handelskade 75 7417 DH Deventer
Lectoraat	Duurzame energievoorzieningen
Contactpersoon	Jan de Wit j.b.dewit@saxion.nl
Externe opdrachtgever	Cleantech Center Noorderhavenstraat 49 7202 DD Zutphen
In samenwerking met	Attika architecten Waterstraat 3 7201 HM Zutphen
Begeleider	Géke de Wilde zutphen@attika.nl

Afbeelding voorpagina

(Segregation, 2012)

Bachelorscriptie Milieukunde

Versie 1.0 definitief

11-07-2016



attika architecten

Dit is een afstudeeronderzoek naar milieuwinst in de bouwsector. Voor het Clean Tech House project is onderzocht welke bouwmaterialen toegepast kunnen worden en welke bouwmaterialen de meeste milieuwinst opleveren. Er zijn drie bouwconceptvarianten ontwikkeld met als uitgangspunten CO₂-reductie, de technische (demontabel bouwen) en de biologische (biobased bouwen) kringloop van circulaire economie. Voor elk uitgangspunt is onderzoek gedaan naar achtergrondinformatie en referentieprojecten.

Als aanbeveling is naar voren gekomen dat bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop) conform de principes van demontabel bouwen de meeste milieuwinst oplevert. Door het toepassen van demontabele bouwmaterialen kunnen milieuvraagstukken als CO₂-reductie, grondstofschaarste en afvalstromen worden geminimaliseerd. CO₂ kan worden bespaard doordat het materiaal niet opnieuw gewonnen hoeft te worden en het materiaal zich al in Nederland bevindt. De transportafstand naar een ander Nederlands project is in dit geval veel korter. De grondstofschaarste wordt tegengegaan omdat het materiaal volledig opnieuw kan worden ingezet of kan worden bewerkt tot een nieuw bouw materiaal/product. Doordat het materiaal volledig opnieuw kan worden ingezet bij een volgend project worden de bouwgerelateerde afvalstromen geminimaliseerd. Bouwconceptvarianten één en drie hebben veel overeenkomsten. Bouwconceptvariant één (uitgangspunt CO₂-reductie) levert minder milieuwinst op omdat voornamelijk is gefocust op CO₂-reductie. De bouwmaterialen die in dit bouwconcept zijn opgenomen hebben een grote(re) footprint dan de materialen uit bouwconceptvariant twee door het landgebruik. Bouwconceptvariant drie (uitgangspunt biobased bouwen) levert minder milieuwinst op doordat de bouwmaterialen een grote milieu-effect hebben op landgebruik en niet (veel) beter scoren dan de demontabele bouwmaterialen.

De wijze waarop de bouwconceptvarianten zijn opgesteld, kan worden toegepast bij ieder bouwproject. Echter zijn de uitgangspunten die in dit onderzoek zijn toegepast afgestemd op de wensen en eisen van de opdrachtgever(s) van het Clean Tech House project.

Voorwoord

Voor u ligt mijn bachelorscriptie over milieuwinst in de bouwsector. Gedurende de afstudeerperiode is onderzoek gedaan naar bouwmaterialen met een lage carbon footprint en circulaire bouwmaterialen met daarbij de consequenties voor het milieu en de bouwers. Dit onderzoek is in opdracht van het Kenniscentrum Leefomgeving (Saxion), het Cleantech Center, en in samenwerking met Attika Architecten uitgevoerd.

Vanwege de grote invloed van het gebouwde gebied op het milieu en mijn interesse voor de bouwsector en duurzaamheid, wilde ik graag afstuderen aan een hieraan gerelateerde onderzoek. Gedurende mijn opleiding aan Saxion Hogeschool Deventer kreeg ik steeds meer interesse in duurzaamheid en de milieubelasting van het gebouwde gebied. Toen ik via Bauke de Vries in contact werd gebracht met Jan de Wit, lector van Kenniscentrum Leefomgeving, over de vraag die er lag werd ik gelijk enthousiast. Dit kwam vooral door de raakvlakken tussen milieukunde en de bouwsector. Daarnaast zijn CO₂-reductie en circulaire bouwmaterialen (waaronder biobased) actuele onderwerpen waar veel bedrijven in de bouwsector inzicht in willen krijgen.

De onderzoeksresultaten zijn toegepast op het Clean Tech House project. Het Clean Tech House project heeft een looptijd van vier jaar (vier versies) waarin elk jaar nieuwe Clean Tech woningen worden opgeleverd. Met ieder jaar een hogere ambitie met betrekking tot het verlagen van de (carbon) footprint van de woningen. Het einddoel van het project zijn woningen met een lage footprint (vrijwel nul). De woningen worden intensief gemonitord op bewonerstevredenheid, bouwterstevredenheid, bestuurderstevredenheid en duurzaamheid. De opgebouwde kennis en ervaring wordt toegepast in de opvolgende versies van het Clean Tech House project.

Voordat u begint met deze scriptie te lezen wil ik graag een paar mensen bedanken, want zonder hen heeft dit onderzoek niet de diepgang kunnen behalen waarnaar gestreefd werd. Als eerste wil ik Jan de Wit bedanken voor het toereiken van deze afstudeeropdracht. Daarnaast wil ik Jan ook bedanken voor de vrijheid die ik heb gekregen om een eigen invulling te geven aan het onderzoek en voor de feedback die ik heb ontvangen. Géke de Wilde wil ik bedanken voor de werkplek die mij aangeboden werd de afgelopen periode, voor het aanreiken van informatieve stukken en voor het in contact brengen met diverse partijen. Graag wil ik Weynand Oostwoud Wijdenes en Bauke de Vries bedanken voor de begeleiding, ondersteuning en feedback dat ik afgelopen periode heb gekregen.

Serena de Wit

Afstudeerder Kenniscentrum Leefomgeving en Cleantech Center van januari t/m juli 2016. Vierdejaars studente Milieukunde, Academie Bestuur, Recht en Ruimte, Saxion te Deventer.

* Voor de verspreiding van deze scriptie wil ik u graag er op attenderen dat deze scriptie ook digitaal te verkrijgen is. Hiermee voorkomt u onnodig papierverbruik en spaart u het milieu.

Samenvatting

Aanleiding

Om een woning te realiseren is een samenstelling van energie en grondstoffen nodig. Energie is nodig om de bouwmaterialen te produceren en te verwerken en grondstoffen zijn nodig om bouwmaterialen te kunnen ontwikkelen. Het verbruik van energie voor het produceren en verwerken van bouwmaterialen en het winnen van grondstoffen laten een milieubelasting achter (CO₂-uitstoot, grondstofschaarste en bouwgerelateerde afvalstromen).

De meest voorkomende brandstoffen die worden ingezet als energiebron zijn aardgas, steenkool en aardolie. Tijdens de verbrandingsprocessen die nodig zijn om energie te produceren wordt CO₂ uit gestoten. CO₂ is een broeikasgas dat zorgt voor een versterkt broeikaseffect waardoor de atmosfeer meer warmte vasthoudt en de gemiddelde temperatuur stijgt. Dit is een nadelig effect voor het milieu. De CO₂-emissie van de gebouwde omgeving bedraagt ongeveer 17 procent van de totale uitstoot per jaar in Nederland. Daarnaast is 10 procent van het totale Nederlandse energieverbruik nodig voor de productie van bouwmaterialen. Door een omschakeling te maken naar volledig gebruik van duurzame energiebronnen kan een grote (milieu)winst behaald worden, dit is echter op korte termijn nog niet in zicht.

Om een CO₂-reductie te behalen kan de bouwsector bouwmaterialen toepassen met een lage carbon footprint. Dit zijn bouwmaterialen waarbij gedurende de winning, productie en verwerking weinig CO₂ is uitgestoten en waarbij de transportafstand zo kort mogelijk is. Naast CO₂-uitstoot kan de bouwsector een grotere milieuwinst behalen door in te spelen op nog twee milieuvraagstukken. Want naast CO₂-uitstoot spelen grondstofschaarste en bouwgerelateerde afvalstromen ook een grote rol in Nederland. Het toepassen van circulaire bouwmaterialen kan hier een oplossing bieden. Circulaire bouwmaterialen zijn volledig her te gebruiken en/of te recyclen. Door het toepassen van circulaire bouwmaterialen wordt er bespaard op grondstoffen doordat het huidige materiaal opnieuw kan worden ingezet. Dit heeft als bijkomend effect dat de afvalstromen minimaliseren.

Clean Tech House Project

Contact tussen Saxion, het Cleantech Center en Attika Architecten heeft geleid tot het ontwikkelen van Clean Tech woningen. Het Clean Tech House project wordt uitgevoerd in de Regio Stedendriehoek, met als experimenteergebied Zutphen. Het Clean Tech House project heeft als ambities om energieneutraal en gezond te bouwen, wonen, renoveren en slopen. Daarnaast worden de woningen uit het project voorzien van de diverse (duurzame) installaties die moeten zorgen voor een gezond leefklimaat en een lage energiebehoefte. Het project bestaat uit vier versies waarbij versie 1.0 in 2016 wordt gerealiseerd en vooral bestaat uit *state of the art* technologie. De opvolgende versies worden toegewerkt naar verdere verduurzaming en innovatie, die moeten leiden naar woningen met een lage milieubelasting (footprint).

Voor het project zijn drie bouwconceptvarianten opgesteld met verschillende uitgangspunten. Deze uitgangspunten zijn CO₂-reductie, circulair – technische kringloop (demontabel bouwen) en circulair – biologische kringloop (biobased bouwen). Per bouw materiaal zijn de consequenties voor de bouwers en het milieu weergegeven.

Probleemstelling

Dit onderzoek levert inzicht in de milieuwinst die behaald kan worden door het toepassen van circulaire bouwmaterialen en bouwmaterialen met een lage carbon footprint. Voor het onderzoek is onderstaande probleemstelling geformuleerd:

Wat zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House 2.0 en welke variant levert de meeste milieuwinst op?

Reflectie projectresultaten voor toepassing op andere bouwprojecten

Om de milieuwinst van een bouwproject in kaart te brengen kan de theorie in deze scriptie en de bouwconceptvariantentabel worden gehanteerd. Dit heeft betrekking tot het inzichtelijk maken van mogelijke CO₂-reductie, minimalisatie van bouwafvalstromen en het tegengaan van grondstofschaarste door het toepassen van circulaire bouwmaterialen.

Conclusie

Door middel van deskresearch, veldonderzoek, actieonderzoek en een expertonderzoek is antwoord gegeven op de probleemstelling. De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn:

- De consequenties voor het milieu voor bouwconceptvariant één zijn dat bouwmaterialen met een lage carbon footprint niet altijd ook een lage ecologische footprint hebben en dus nadelige effecten kunnen hebben voor het milieu. Daarnaast moeten bouwmaterialen met een lage carbon footprint op grote schaal worden toegepast wil dit resultaat opleveren. Voor bouwconceptvariant twee geldt dat demontabele bouwmaterialen milieuwinst opleveren omdat deze opnieuw ingezet kunnen worden. Echter kunnen deze materialen wel een grote(re) footprint hebben omdat deze materialen veel processen moeten ondergaan. Bouwconceptvariant drie maakt gebruik van biobased bouwmaterialen. Deze zijn hernieuwbaar en richten weinig schade aan het milieu, indien het materiaal verantwoord gewonnen wordt. Biobased materialen scoren wel hoog in de beoordeling van levenscyclusanalyses omdat biobased bouw materiaal veel landgebruik in beslag nemen.
- De consequenties voor de bouwers voor de bouwconceptvarianten één en drie zijn vrijwel gelijk. Veel bouwmaterialen die zijn opgenomen in de bouwconcepten worden momenteel al toegepast in de reguliere bouwtechniek. De nadelige consequenties liggen bij de nog vrijwel onbekende bouwmaterialen. Voor de verwerking van deze materialen is het belangrijk dat de bouwer wordt voorzien van juiste instructies en dat de kennis onder de bouwers gedeeld moet worden. Voor bouwconceptvariant twee ligt de nadruk op de koppelingen en aansluiten van bouwmaterialen. De materialen zorgen voor weinig consequenties omdat deze materialen momenteel al toegepast worden in de reguliere bouwtechniek.
- Bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop) conform demontabel bouwen levert de meeste milieuwinst op omdat bij toepassing (op grote schaal) meerdere milieuvraagstukken kunnen worden geminimaliseerd. Het gaat hierbij om bouwgerelateerde CO₂-uitstoot, grondstofschaarste en afvalstromen.

Aanbevelingen

Op basis van de conclusie zijn de volgende aanbevelingen opgesteld voor de opdrachtgevers en partners van het Clean Tech House project:

- Het toepassen van bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop) conform demontabel.
- Meer onderzoek verrichten naar bouwmaterialen met een lage carbon footprint. Er is door verschillende partijen voornamelijk onderzoek gedaan naar circulaire bouwmaterialen, waaronder biobased bouwmaterialen. Echter ontbreken onderzoeken naar bouwmaterialen met een lage carbon footprint. Door hiernaar onderzoek te doen kan een grotere CO₂-reductie behaald worden in de bouwsector.
- Niet alleen het ontwerp van de woningen uit het Clean Tech House project presenteren, maar ook de resultaten die behaald zijn een jaar na de realisatie van de woningen. Door de resultaten te presenteren kan worden aangetoond dat wonen in een milieuvriendelijke woning voor elke doelgroep toegankelijk is. Maar ook dat het wonen in een milieuvriendelijke woning niet altijd van buitenaf gezien hoeft te worden. Zo kan een grotere doelgroep benaderd worden.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	7
1.1. Carbon footprint van de bouwsector	7
1.2. Cleantech Regio Stedendriehoek	7
1.3. Clean Tech House project.....	8
1.4. Onderzoeksopzet milieuwinst in de bouwsector	9
1.5. Doelstelling en probleemstelling	9
1.6. Eindproduct en afbakening	9
1.7. Kernbegrippen	10
1.8. Leeswijzer	10
2. Milieuwinst in de bouwsector	12
2.1. Klimaatimpact Nederlandse bouwsector	12
2.2. Europese en landelijke doelstellingen en ambities	13
2.3. Veranderingen in de bouwsector	14
2.4. Anticiperen op het behalen van milieuwinst in de bouwsector	15
2.5. Levenscyclusanalyse	16
2.6. CO ₂ -berekenningsmethode	17
2.7. Beoordelings-/toetsingscriterium bouwmaterialen.....	17
2.8. Rol theoretisch kader in het onderzoek	18
3. Onderzoeksmethodiek.....	19
3.1. Probleemstelling en onderzoeksvragen	19
3.2. Onderzoeksaanpak.....	19
4. Resultaten.....	24
4.1. Noodzaak van milieuwinst in de bouwsector	24
4.2. Het stimuleren van milieuwinst in de bouwsector.....	25
4.3. Bouwmaterialen met een lage (carbon) footprint	28
4.4. Marktkansen	32
5. Betekenis onderzoeksresultaten voor het Clean Tech House project.....	34
5.1. Overzicht mogelijke bouwmaterialen	34
5.2. Knelpunten	37
6. Discussie.....	38
7. Conclusie en aanbevelingen	39
7.1. Conclusie.....	39
7.2. Aanbevelingen.....	41
Bronnenlijst.....	42

1. Inleiding

Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van de CO₂-situatie van de bouwsector in Nederland, waarna wordt ingegaan op de Cleantech Regio Stedendriehoek en het Clean Tech House project. Wat volgt is de onderzoeksopzet, de doel- en probleemstelling, het eindproduct en de afbakening, en kernbegrippen. Tot slot is een leeswijzer weergegeven.

1.1. Carbon footprint van de bouwsector

De uitstoot van CO₂ wordt in beeld gebracht door middel van een carbon footprint. Een carbon footprint is een vergelijkingsinstrument voor de uitstoot van CO₂ (broeikasgas). De CO₂-emissie van de gebouwde omgeving bedraagt ongeveer 17 procent van de totale uitstoot per jaar in Nederland. Daarnaast is 10 procent van het totale Nederlandse energieverbruik nodig voor de productie van (reguliere) bouwmaterialen en is 25 procent van al het wegtransport gerelateerd aan de bouwsector. De productie van energie voor de bouwmaterialen veroorzaakt luchtvervuiling door het verbruik van fossiele brandstoffen (Groene grondstoffen, 2013). Gelet op de ambities van de overheid (20-30 procent minder CO₂-emissie in 2020 ten opzichte van 1990) moet ook in de gebouwde omgeving deze uitstoot worden verminderd, wil deze doelstelling kans van slagen hebben (Cleantech Agenda, 2015).

Meer CO₂ in de atmosfeer zorgt voor een versterkt broeikaseffect: de atmosfeer houdt meer warmte vast waardoor de gemiddelde temperatuur op aarde stijgt. In december 2015 heeft er in Parijs een klimaatconferentie plaatsgevonden. Het resulterende klimaatverdrag is een beperking van de opwarming van de aarde tot beneden de 2 graden (sinds het pre-industriële tijdperk); gestreefd moet worden tot 1,5 graad. Daarnaast moet er een einde komen aan de stijging van de uitstoot van broeikasgassen (Climate action, 2015).

Omdat de bouwsector verantwoordelijk is voor een aanzienlijk deel van de CO₂-uitstoot en een grote milieubelasting heeft, is het noodzakelijk dat de bouwsector een omschakeling moet maken om bij te dragen aan het behalen van de doelstellingen van de overheid en het klimaatverdrag.

Milieubelasting bouwsector

Veel focus ligt momenteel bij energie-efficiëntere woningen die minder energie verbruiken en zo besparen op CO₂-uitstoot (SBRCURnet, 2015a). Door het toepassen van bouwmaterialen met een lagere milieubelasting kan ingespeeld worden op drie vraagstukken. Zo spelen naast CO₂-uitstoot, de uitputting van grondstoffen en bouwgerelateerde afvalstromen een steeds belangrijke rol in de bouwsector.

Door een toenemend gebruik van grondstoffen worden deze steeds schaarser, met een hogere milieubelasting als gevolg. Een mogelijke oplossing hiervoor is het toepassen van circulaire bouwmaterialen. Circulaire bouwmaterialen hebben een gesloten kringloop. Dit houdt in dat deze bouwmaterialen na hun gebruiksfase te hergebruiken en/of recyclen zijn of dat zij kunnen worden opgenomen in de natuur. Door het toepassen van circulaire bouwmaterialen wordt de grondstofschaarste en bouwgerelateerde afvalstromen tegengegaan (Circle economy, 2014). Daarnaast leveren circulaire bouwmaterialen indirect CO₂-reductie op omdat de bouwmaterialen geen of weinig processen te hoeven ondergaan om opnieuw te kunnen worden ingezet in een levenscyclus (van Dam & van den Oever, 2012). Door het toepassen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint en circulaire bouwmaterialen kan de bouwsector een grotere milieuwinst behalen. Paragraaf 2.4 geeft een verdiepende beschrijving van circulaire economie en circulaire bouwmaterialen.

1.2. Cleantech Regio Stedendriehoek

De Stedendriehoek ontwikkelt zich tot Cleantech Regio. Cleantech staat voor producten, processen en diensten die operationele prestaties verbeteren door vergroting van productiviteit en efficiëntie, terwijl kosten, energieverbruik, vervuiling (lucht) en afvalproductie worden verminderd. Het gebruik van grondstoffen en (fossiele) energie worden geminimaliseerd door onder andere hergebruik, recycling, het toepassen van circulaire grondstoffen en het toepassen van duurzame energie (Wit, 2016).

De ambities van de Stedendriehoek om zich te ontwikkelen tot een Cleantech Regio zijn te verdelen onder drie speerpunten. Op het gebied van economie en innovatie moet de concurrentie zijn aandachtspunt leggen

op toegevoegde waarde in plaats van kosten. Het speerpunt arbeidsmarkt streeft naar de laagste werkloosheid van Nederland. Het vestigingsklimaat legt het doel op het binden van gevestigde ondernemingen aan de regio, het aantrekken van nieuwe bedrijven en investeringen en het aantrekken van jong talent. Het laatste speerpunt, (energie)transitie, heeft als doel een energieneutraal Stedendriehoek in 2030. In Zutphen is het Cleantech Center gevestigd. Het Cleantech Center is een kenniscentrum waar lokale ondernemingen bij aangesloten zijn en samenwerken aan innovatieve projecten (Cleantech Agenda, 2015). Door de samenwerking van de lokale ondernemingen worden de eerdergenoemde speerpunten haalbaar en kan er een overschakeling plaatsvinden naar een duurzame en schonere toekomst.

1.3. Clean Tech House project

Aanleiding

Contact tussen Saxion, het Cleantech Center en Attika Architecten heeft geleid tot het ontwikkelen van Clean Tech woningen. Het Clean Tech House project wordt uitgevoerd in de Regio Stedendriehoek, met als experimenteergebied Zutphen en heeft als ambities om energieneutraal en gezond te bouwen, wonen, renoveren en slopen. Het gebruik van circulaire bouwmaterialen en het verwezenlijken van een lage (carbon) footprint staan hier centraal. Het uitgangspunt van het project is om de gezondheid in alle fasen van de woninglevenscyclus te verbeteren. Daarnaast moet een Clean Tech House gewild en betaalbaar zijn.

De woningen uit het Clean Tech House project 1.0 liggen in het verlengde van een project genaamd Waterrandwoningen (zie figuur 1). De woningen uit het Clean Tech House project hebben hetzelfde (basis)ontwerp als de Waterrandwoningen, echter worden de Clean Tech woningen op een andere wijze uitgevoerd (bouwmaterialen, technieken en installaties). De ontwerptekeningen van de woningen van het Clean Tech House project 1.0 zijn opgenomen in bijlage 2.



Figuur 1. Leesten-Oost, Waterrandwoningen (Leesten is TOP, 2013).

Projectactiviteiten

Het vertrekpunt, Clean Tech House 1.0, zal in 2016 opgeleverd worden. Hierin is (nog) vooral *state of the art* technologie toegepast. De opvolgende versies (2.0, 3.0 en 4.0) worden toegewerkt naar verdere verduurzaming en innovatie. In versie 2.0 zal de ervaring verwerkt worden van 1.0 en zal in ieder geval 'nul op de meter' zijn (zelfvoorzienend op het gebied van energie), alsmede een zover mogelijk doorgevoerde toepassing van circulaire bouwmaterialen. De Clean Tech woningen worden gemonitord met betrekking tot energie en duurzaamheid, maar ook wat betreft de tevredenheid van bewoners, bouwers, bestuurders en onderzoekers. Om de woningen en het gedrag van de bewoners te monitoren worden de Clean Tech woningen de eerste paar jaren aangeboden als huurwoning. Door de woningen als huurwoning aan te bieden kan er geselecteerd een doelgroep gekozen worden. Deze doelgroepen bestaan uit ouderen, jongeren en een jong gezin. Op deze manier kunnen de verschillen in bewonersgedrag en tevredenheid inzichtelijk worden gemaakt tussen de doelgroepen. De resultaten van de monitoring worden door een expertgroep (partners van het project en externe partijen) geïnterpreteerd en ingezet om de woningen uit de opvolgende versies van het Clean Tech House project duurzamer te maken en meer aan te laten sluiten op de marktvraag (Wit, 2016).

Betrokken partijen en hun rol

Het Clean Tech House project is ontstaan door een samenwerking tussen het Cleantech Center, Saxion en Attika Architecten. Het Cleantech Center wil concreet bijdragen aan een gesloten grondstoffen- en energiekringloop binnen woningen en gebouwen, en stimuleert innovatieve projecten die leiden tot een duurzame en circulaire toekomst. Vanuit Saxion nemen diverse lectoraten deel aan het Clean Tech House project. De rollen die de lectoraten uitvoeren zijn projectmanagement, (mede) ontwerp van innovatieve installaties, onderzoek naar het gedrag van de bewoners, installaties en regeltechniek, toepassen van circulaire bouwmaterialen, rapportage en het inzetten van studenten voor onderzoeken. Attika Architecten is de ontwerper van de Clean Tech woningen. Naast het ontwerpen van de woningen vult Attika Architecten ook de rol van bouwregie. Hieronder valt onder andere het organiseren van vergaderingen met de deelnemende organisaties en kennisinstellingen, en de voortgang van het project monitoren.

Om de woningen van het Clean Tech House project te realiseren is een samenwerking aangegaan met diverse lokale MKB-bedrijven, ROC Aventus en de Technische Universiteit Eindhoven. De deelnemende MKB-bedrijven en kennisinstellingen en hun rollen en belangen is weergegeven in bijlage 3.

1.4. Onderzoeksopzet milieuwinst in de bouwsector

Dit onderzoek is een vervolgstap op het eerdergenoemde Clean Tech House project waarbij bij versie 1.0 vooral *state of the art* technologie is toegepast. De woningen van Clean Tech House 1.0 worden momenteel gebouwd. Dit onderzoek sluit op dit project aan door:

- in het onderzoek het bouwconcept van de Waterrandwoningen en Clean Tech House 1.0 als basis te gebruiken (ontwerp en uitgangspunten). Het bouwconcept is weergegeven in bijlage 4.
- een overzicht van drie bouwconceptvarianten op te stellen voor het Clean Tech House project versie 2.0 met als uitgangspunten CO₂-reductie, de technische kringloop van circulaire economie en de biologische kringloop van circulaire economie. Ieder bouwconceptvariant heeft één van deze uitgangspunten. Het overzicht geeft inzicht in hoe groot de (milieu)winst is die behaald kan worden. Dit wordt inzichtelijk gemaakt door de consequenties voor het milieu en de bouwers in kaart te brengen.

1.5. Doelstelling en probleemstelling

Om gericht naar een eindproduct toe te kunnen werken is er een doelstelling en probleemstelling opgesteld. Deze voorzien in sturing en afbakening, en geven vorm aan het eindproduct.

Doelstelling

De partners van het Clean Tech House project inzicht geven in de milieuwinst die behaald kan worden door het ontwikkelen van drie bouwconceptvarianten inclusief de consequenties hiervan voor het milieu en de bouwers. Dit wordt inzichtelijk gemaakt door middel van een onderzoeksrapport met in de bijlagen een bouwconceptvariantentabel. De basis van de bouwconceptvariantentabel kan tevens op elk project in de bouwsector worden toegepast om de milieuwinst die behaald kan worden en de consequenties hiervan inzichtelijk te maken.

Hierbij levert het onderzoek een vervolg op het eerdergenoemde project Clean Tech House 1.0 en levert het een bijdrage aan de milieuwinst die te behalen valt met de opvolgende versies van het Clean Tech House project (2.0, 3.0 en 4.0). Tevens zullen de uitkomsten van dit onderzoek invulling geven aan de kennisbehoefte van Kenniscentrum Leefomgeving en zal het een bijdrage leveren aan de verdere ontwikkelingen en toepassingen van Cleantech Regio en het Cleantech Center.

Probleemstelling

Wat zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House 2.0 en welke variant levert de meeste milieuwinst op?

1.6. Eindproduct en afbakening

Eindproduct

Het eindproduct bestaat uit dit document waarin onderzoeksresultaten worden gepresenteerd. De onderzoeksresultaten zijn op basis van literatuuronderzoek, deskresearch, actieonderzoek, veldonderzoek en input van experts verkregen. Er zijn aanbevelingen uitgebracht naar de opdrachtgevers en partners van het Clean Tech House project. In de bijlagen is de bouwconceptvariantentabel opgenomen. De bouwconceptvariantentabel toont drie bouwconcepten die zijn opgesteld voor Clean Tech House 2.0 en opvolgende versies.

Afbakening

De bouwmaterialen die zijn geanalyseerd en geselecteerd zijn afgestemd op de bouwmaterialen uit het bouwconcept van Clean Tech House 1.0. De consequenties voor het milieu en de bouwers zijn inzichtelijk gemaakt door de voor- en nadelen van de bouwmaterialen in kaart te brengen. Deze consequenties zijn afgestemd op het vooraf opgestelde criteria waarop de bouwmaterialen zijn geselecteerd (zie bijlage 8A). Van de drie uitgangspunten van de bouwconceptvariantentabel zijn twee uitgangspunten gebaseerd op de

kringlopen van circulaire economie. De technische kringloop is in dit onderzoek afgebakend tot demontabel bouwen en de biologische kringloop tot biobased bouwen.

1.7. Kernbegrippen

De kernbegrippen van dit onderzoek zijn als volgt gedefinieerd:

- **Bouwconceptvariantentabel:** Is een overzicht van drie bouwconceptvarianten. Bouwconceptvariant één heeft als uitgangspunt CO₂-reductie behalen met bouwmaterialen die qua esthetische waarde weinig afwijken van het bouwconcept van Clean Tech House 1.0/Waterrandwoningen. Bouwconceptvariant twee heeft als uitgangspunt de technische kringloop van circulaire economie, deze is afgebakend tot demontabel bouwen. Bouwconceptvariant drie heeft als uitgangspunt de biologische kringloop van circulaire economie, deze is afgebakend tot biobased bouwen. Voor elk bouwconceptvariant zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers in kaart gebracht.
- **Carbon footprint:** Een vergelijkingsinstrument (milieumaat) voor de uitstoot van CO₂. Bij het bouwen van woningen wordt materiaal en materieel ingezet die CO₂ uitstoten of hebben uitgestoten gedurende de winning, productie, verwerking en het gebruik ervan. Door de carbon footprint op projectniveau inzichtelijk te maken kunnen veel besparingen worden gerealiseerd.
- **Consequenties:** De voor- en nadelen van de bouwmaterialen die genoemd zijn in de bouwconceptvarianten voor het milieu en de bouwers.
- **Milieuwinst:** Het minimaliseren van de milieubelasting door het toepassen van duurzamere bouwmaterialen. De milieuwinst in dit onderzoek uit zich in het toepassen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint, het minimaliseren van bouwafval en het tegengaan van grondstofschaarste door het toepassen van circulaire bouwmaterialen.

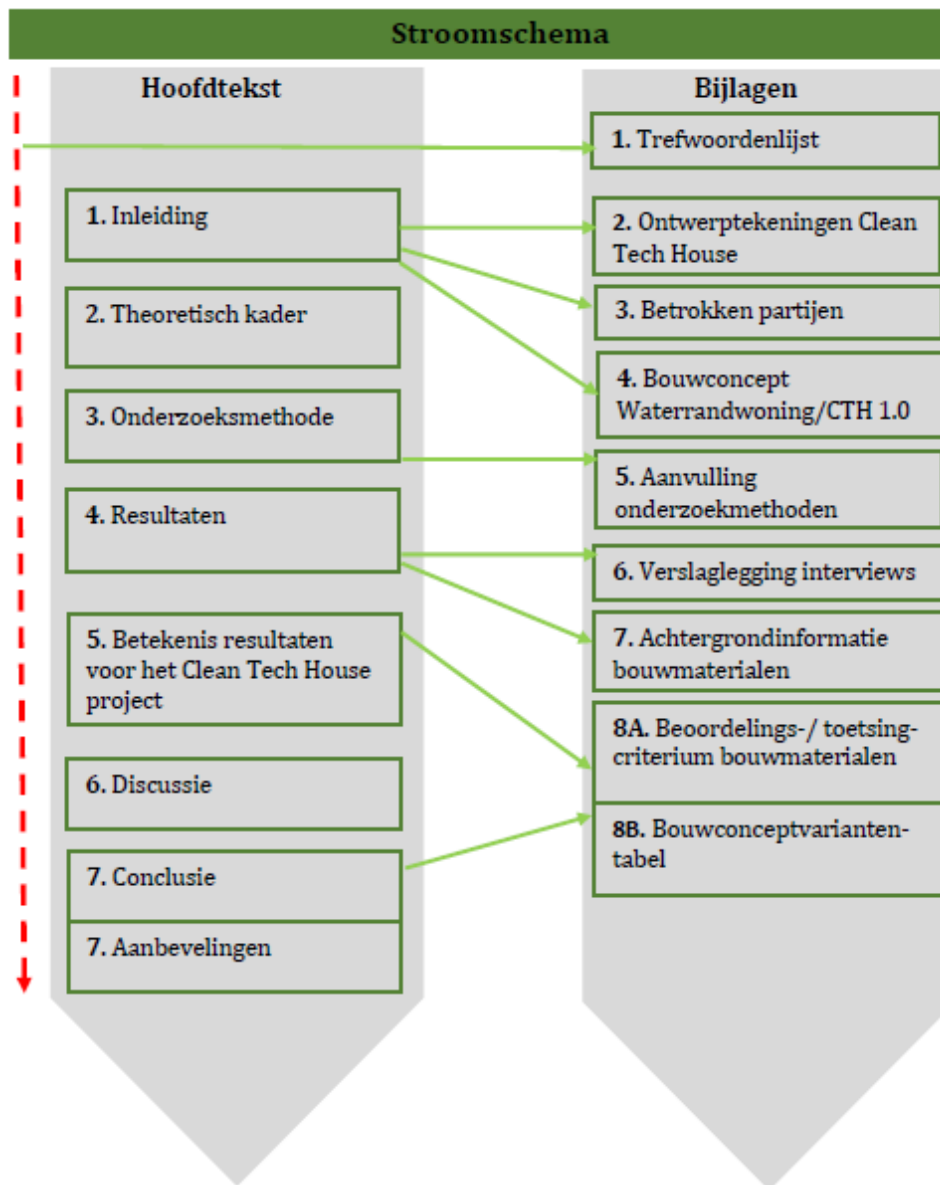
1.8. Leeswijzer

Inleiding	Het eerste hoofdstuk betrof de aanleiding van dit onderzoek. Vervolgens wordt in
Theoretisch kader	hoofdstuk 2 <i>the state of the art</i> beschreven waarin de milieu-impact van de bouwsector en circulaire economie wordt toegelicht. Ook wordt er ingegaan op een LCA-tool en een berekeningsmethode die de milieu-effecten in kaart brengen. In
Methodiek	hoofdstuk 3 zijn de onderzoeksvragen weergegeven en wordt een
Resultaten	onderzoeksmethodiek toegelicht. In hoofdstuk 4 worden de onderzoeksresultaten beschreven. Er wordt toegelicht waarom milieuwinst noodzakelijk is in de bouwsector en welke wet- en regelgeving, labels en keurmerken dit bevorderen of bemoeilijken. Vervolgens wordt er ingegaan op bouwmaterialen die voor een milieuwinst kunnen zorgen. In dit onderzoek is de focus gelegd op bouwmaterialen waarbij gedurende de winning, productie en verwerking weinig CO ₂ is uitgestoten en circulaire bouwmaterialen waaronder biobased bouwmaterialen. In hoofdstuk 5
Project	worden de onderzoeksresultaten doorgevoerd naar projectniveau. Voor het Clean Tech House project 2.0 zijn drie bouwconceptvarianten opgesteld (CO ₂ -reductie, circulair – technische kringloop en circulair- biologische kringloop) die een milieuwinst moeten opleveren ten opzichte van Clean Tech House 1.0. In hoofdstuk 6
Discussie	wordt de kwaliteit van het onderzoek aan de hand van enkele aandachtspunten
Conclusie	toegelicht. Volgens wordt in hoofdstuk 7 antwoord gegeven op de probleemstelling
Aanbevelingen	en worden er aanbevelingen uitgebracht naar de opdrachtgevers en betrokken partijen van het Clean Tech House project.

In bijlage 1 “Trefwoorden” zijn de definities van termen opgenomen welke veel voorkomen in deze scriptie.

Stroomschema

Omdat een deel van het onderzoek niet in bovengenoemde hoofdstukken staat beschreven maar in de bijlagen is gevoegd, is een stroomschema opgesteld. Zie figuur 2 op de volgende pagina. Het stroomschema geeft weer welke informatie in deze scriptie (hoofdtekst) staat vermeld en welke informatie opgenomen is in de bijlagen. De groene pijlen in het stroomschema geven de relaties weer tussen de onderdelen. De rode pijl aan de linkerzijde staat symbolisch voor de ‘rode draad’ van dit onderzoek.



Figuur 2. Stroomschema "Opbouw scriptie".

2. Milieuwinst in de bouwsector

Dit hoofdstuk begint met een omschrijving van de klimaatimpact van de bouwsector waarna de Europese en landelijke doelstellingen voor een duurzame en schonere toekomst worden toegelicht. Vervolgens wordt ingegaan op de veranderingen in de Nederlandse en buitenlandse bouwsector en hoe de bouwsector kan anticiperen op het behalen van milieuwinst. Vervolgens wordt de levenscyclusanalyse (LCA) van bouwmaterialen toegelicht en worden berekeningsmethoden toegelicht die de CO₂-uitstoot en overige milieueffecten van bouwmaterialen in kaart brengen. Hiermee vormt dit hoofdstuk het theoretisch kader van dit onderzoek.

2.1. Klimaatimpact Nederlandse bouwsector

Duurzame ambities en innovaties

Verhuurders, beleggers en ontwikkelaars in de bouwsector geven in groeiende mate blijk van duurzame ambities en innovaties. Deze ambities resulteren in afspraken die zijn vastgelegd in het Energieakkoord. Ook zijn deze ambities doorgevoerd in de Europe 2020-strategie. Het Energieakkoord en de Europe 2020-strategie worden verder toegelicht in de volgende paragraaf. Samen met andere sectoren zorgt ook de bouwsector voor de uitstoot van schadelijke stoffen en grondstofschaarste. Een nadelig effect hiervan is klimaatverandering. Klimaatverandering is op wereldschaal aantoonbaar en om de gevolgen van klimaatverandering te minimaliseren zijn afspraken gemaakt tijdens de klimaattop in Parijs in 2015 (Europa Nu, 2015a).

Klimaatimpact

Materiaalgebruik/afvalstromen

Materiaalgebruik levert de grootste bijdrage aan de klimaatimpact van de Nederlandse bouw- en sloopactiviteiten. Gemiddeld is dit jaarlijks 260 Mton aan materiaal, dit betreft ongeveer 70 procent van de materiaalstroom in Nederland. In het totaal is ook het gebruik van recyclede materialen inbegrepen. In werkelijkheid zal de klimaatimpact van materiaalgebruik lager liggen (ongeveer 40 procent), aangezien het recyclen van materialen na sloop juist voor klimaatwinst zorgt. Klimaatwinst komt voort uit de opwekking van energie en warmte door verbranding van het materiaal en het nuttig hergebruiken of recyclen van het materiaal waardoor de productie van nieuw materiaal wordt vermeden. Jaarlijks wordt meer materiaal gebruikt dan er vrijkomt bij de sloop: 260 Mton gebruik versus 22 Mton bouw- en sloopafval (Blijveld, Bergsma, Krutwagen & Afman, 2014).

Transport

Uit onderzoek van CE Delft, dat op basis van cijfers van het CBS is opgesteld, blijkt dat in 2010 het aandeel van transport gerelateerd aan bouwnijverheid in Nederland op 18 procent lag (Blijveld, Bergsma, Krutwagen & Afman, 2014). Eind 2013 heeft de WUR (Wageningen University & Research centre) opnieuw hiernaar onderzoek verricht. Hieruit bleek dat in 2013 de bouwnijverheid verantwoordelijk was voor 25 procent van het totale vervoerd gewicht van goederen over de weg binnen Nederland. De toestroom van transport van bouwmaterialen is toe te kennen aan de stijgende welvaart in de bouwsector (Groene grondstoffen, 2013).

Blijveld (2014) stelt dat de transportsector op lange termijn zal verduurzamen door een overgang van diesel, stookolie en benzine naar biobrandstoffen, biodiesel (mits geen concurrentie optreedt met voedseltoepassing) en/of elektriciteit (mits opgewekt uit hernieuwbare bron). De meeste besparing in het transporteren van bouwmaterialen kan behaald worden op de herkomst van de materialen. Materialen die in Nederland (of omliggende landen) gewonnen, geproduceerd of verwerkt worden hoeven minder kilometers af te leggen, waardoor een besparing van CO₂ gerealiseerd kan worden. Niet alleen de transportafstand verkleinen leidt tot een CO₂-besparing, ook de transportvorm speelt hierbij een rol. Bouwmaterialen worden vervoerd per vrachtwagen, schepen en treinen. Het transporteren van bouwmaterialen met vrachtwagens zorgt voor meer CO₂-uitstoot dan het transporteren met schepen. Om een milieuwinst te behalen moet ook in het transporteren van bouwmaterialen bewuste keuzes worden gemaakt. Een besparing op CO₂ kan positieve gevolgen hebben voor klimaatverandering (opwarming van de aarde) indien op grote schaal wordt ingezet op besparing/reductie.

Fijnstof

Tot fijnstof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. Fijnstof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte, herkomst en chemische samenstelling. Fijnstof is bij inademing schadelijk voor de gezondheid (RIVM, 2013). Fijnstof komt vrij bij de winnings- en productiefase maar ook tijdens het transport van bouwmaterialen. Verbranding van fossiele energiedragers is de voornaamste bron van fijnstofemissie in Nederland. Fijnstofvorming op de bouwplaats door stofontwikkeling heeft een kleiner aandeel op de totale fijnstofvorming en bestaat vrijwel voornamelijk uit grotere deeltjes (PM10) (Blijveld, Bergsma, Krutwagen & Afman, 2014). De normen voor fijnstof worden in Europa op veel plaatsen overschreden, vooral langs drukke wegen. Fijnstof en transport zijn in de bouwnijverheid daarom nauw aan elkaar verbonden. Als de transportsector van bouwmaterialen wordt verduurzaamd zal dit een positief effect hebben op de fijnstof uitstoot.

Energie

De Nederlandse bouw- en sloopactiviteiten, inclusief materiaalwinning in binnen- en buitenland, zijn gemiddeld verantwoordelijk voor een primair energiegebruik van 170 Petajoule per jaar. Dit staat gelijk aan 4,5 procent van het totaal primair energieverbruik in Nederland. Primaire energie is energie in de vorm zoals wij die aantreffen in de oorspronkelijke gewonnen energiedragers zoals aardgas, olie en steenkool. Secundaire energie is energie in de vorm die ontstaat na omzetting van primaire energie zoals warmte of elektriciteit (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2013).

De activiteiten gerelateerd aan de bouwnijverheid die energie verbruiken kunnen verduurzaamd worden door enkel gebruik te maken van hernieuwbare brandstoffen en/of elektriciteit (uit hernieuwbare bron).

Hierbij kan gedacht worden aan het vervangen van inefficiënt materiaal (bouwplaats vervoer en machines) door hybride materieel of het materieel enkel gebruik te laten maken van hernieuwbare brandstoffen of elektriciteit. Tabel 1 laat een overzicht zien van niet-hernieuwbare en hernieuwbare brand- en energiebronnen.

Type	Bron	Omvat
Niet-hernieuwbaar	Fossiel	Energie uit olie, gas, steenkool, bruinkool, etc.
	Nucleair	Kernenergie
	Biomassa	Energie uit biomassa/hout/biotische grondstoffen waarbij primaire bossen worden aangetast, bijvoorbeeld door houtkap of verandering van landgebruik waardoor primair woud verloren gaat
Hernieuwbaar	Biomassa	Energie uit hernieuwbare biomassa, agrarische en/of voedselketens. Er is geen ontbossing of verandering van landgebruik
	Wind, zon, geothermisch	Wind-, zonne- en geothermische energie
	Water	Energie uit waterkracht

Tabel 1. Overzicht niet- hernieuwbare en hernieuwbare brand- en grondstoffen (Blijveld, Bergsma, Krutwagen & Afman, 2014).

2.2. Europese en landelijke doelstellingen en ambities

Zowel op Europees als landelijk niveau zijn ambities en doelstellingen opgesteld die moeten leiden naar een duurzame en schonere economie. Door doelstellingen en ambities vast te leggen kunnen eisen worden gesteld aan materialen, producten, productie- en bedrijfsprocessen van organisaties.

Europees

Europe 2020

Europe 2020 is het tienjarenplan voor groei en werkgelegenheid van de EU, dat in 2010 van start is gegaan. De Europe 2020-strategie moet leiden tot slimme groei door efficiënter te investeren in onderwijs, onderzoek en innovatie en duurzame groei. Duurzame groei betekent een concurrerende, CO₂-arme economie die zuinig en duurzaam omgaat met grondstoffen, en zorgt voor het milieu door minder emissies uit te stoten en biodiversiteit te behouden.

De strategie is gericht op vijf ambitieuze doelstellingen op het gebied van werk, innovatie, onderwijs, armoedebestrijding en klimaat/energie. Op het gebied van klimaatverandering en duurzame energievoorziening moeten de volgende doelstellingen worden bereikt voor 2020:

- Tegen 2020 de uitstoot van broeikasgassen met 20 procent verminderen in vergelijking met 1990 (of zelfs 30 procent, als de omstandigheden het toelaten).
- Het aandeel van duurzame energiebronnen verhogen tot 20 procent.
- De energie-efficiëntie verhogen met 20 procent (Europe 2020, 2012).

Horizon 2020 programma

Horizon 2020 is het programma van de Europese Commissie (EC) om Europees onderzoek en innovatie te stimuleren. Met dit programma wil de EC het bedrijfsleven en de academische wereld uitdagen om samen oplossingen te bedenken voor maatschappelijke vraagstukken die in heel Europa van toepassing zijn. Horizon 2020 heeft een totaalbudget van ongeveer 80 miljard euro voor de periode 2014-2020. Iedere organisatie die in internationaal verband actief is in onderzoek, technologische ontwikkelingen en innovatie mag deelnemen aan het programma. Met deelname biedt Horizon 2020 kennisinstellingen, bedrijven en individuele wetenschappelijke onderzoekers de mogelijkheid tot financiering van een project, het versterken van hun internationale netwerk en het opdoen van nieuwe kennis en expertise (Horizon 2020, 2015).

Landelijk

Energieakkoord

Nederland heeft in 2013 een belangrijke stap gezet richting een schonere toekomst. Ruim veertig organisaties, waaronder de overheid, werkgevers, vakbewegingen, natuur- en milieuorganisaties, maatschappelijke organisaties en financiële instellingen, hebben zich aan het Energieakkoord voor duurzame groei verbonden. De kern van het akkoord bestaat uit afspraken over energiebesparing, schonere technologie en klimaatbeleid. De doelstellingen die zijn opgenomen in het Energieakkoord zijn: een besparing van het energieverbruik met gemiddeld 1,5 procent per jaar, 100 Petajoule energiebesparing in 2020 en een toename van het aandeel hernieuwbare energieopwekking naar 14 procent in 2020 en 16 procent in 2023. Het akkoord streeft naar duurzame groei en dat vraagt om een goede balans tussen betrouwbaarheid, duurzaamheid en betaalbaarheid van energie. Investerings in energie-efficiëntere producten, productietechnieken en hernieuwbare energie zijn van belang om de ambities van dit akkoord te verwezenlijken. Energieakkoord brengt ook enig discussie met zich mee. Vanuit verschillende sectoren is aangegeven dat de doelstellingen niet haalbaar en realistisch zijn (SER, 2014).

Nationaal topsectorenbeleid

De Nederlandse overheid heeft aangegeven om bij de verwezenlijking van de Europe 2020 doelstellingen vooral in te zetten op 'Slimme en Duurzame Groei'. Het Rijk wil innovatie bevorderen in nauwe samenwerking met het bedrijfsleven en kennisinstellingen. Dit gebeurt in het kader van het topsectorenbeleid (Cleantech Agenda, 2015).

Nederland behoort tot de twintig grootste economieën ter wereld en wordt wereldwijd als toonaangevend kennisland gezien. Om economisch en maatschappelijk tot de wereldwijde top te blijven behoren, richt Nederland zich op maatregelen voor alle bedrijven en in negen topsectoren. De negen nationale topsectoren zijn Agri & Food, Chemie, Creatieve Industrie, Energie, High Tech, Life Sciences & Health, Logistiek, Tuinbouw en Water. Slimme samenwerking tussen bedrijven, onderzoekers en de overheid staat in alle gevallen centraal. De topsectoren zijn kennisintensief, export-georiënteerd en kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het oplossen van maatschappelijke vraagstukken (Topsectoren.nl, 2013).

2.3. Veranderingen in de bouwsector

Europese bouwsector

Het gebouwde gebied in Europa is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van alle gewonnen materialen en energieverbruik en een derde van al het waterverbruik en afvalstoffen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het gebouwde gebied een grote milieudruk heeft op Europa, maar ook op wereldschaal (European Commission, 2014).

Veel organisaties in de Europese bouwsector hebben duurzaamheid in hun agenda staan, echter wordt bij een minderheid ook concrete doelstellingen vastgelegd met betrekking tot energiebesparing, CO₂-reductie en grondstofverspilling (Duurzaam aandeel, 2014). Doordat de Europese Commissie doelstellingen heeft vastgelegd voor diverse sectoren in de Europe 2020 en Horizon 2020programma's/doelstellingen wordt ook de Europese bouwsector verplicht en gestimuleerd om een schonere bouwsector te ontwikkelen en realiseren. Dit uit zich in meer vraag naar schonere en duurzame technologie en gebouwen. Doordat er meer vraag is naar schone technologie en duurzame gebouwen neemt de economische waarde hiervan toe. Dit veroorzaakt een domino-effect waarbij Europa in een snel tempo zal omschakelen naar een duurzame bouwsector en economie (Europa Nu, 2015b).

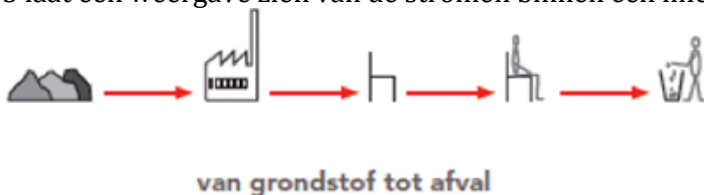
Nederlandse bouwsector

Mede door de crisis, die in 2008 begon, ondergaat de bouwsector een aantal veranderingen. Van een aanbodgerichte markt wordt er de komende jaren een omwenteling gemaakt naar een vraaggerichte markt. Maatschappelijke ontwikkelingen, zoals verstedelijking en vergrijzing, hebben invloed op de wijze van bouwen. Duurzaamheid, energiebeleid, leefomgeving en domotica (huisautomatisering) spelen hierbij een belangrijke rol (Centric, z.d.). Zo is het niet meer het geval dat het in de bouw enkel gaat om het goedkoper zijn dan de concurrent. Klanten stellen meer eisen aan productkwaliteit met als uitgangspunt dat het gebouw of de woning een hogere economische waarde behaalt. Voor de crisis vermeerde vastgoed altijd in waarde, maar dat is niet meer het geval. Anke van Hal, hoogleraar duurzaam bouwen aan de TU Delft en Nyenrode, veronderstelde in 2011 dat in het vastgoed een krimp te zien was als het gaat om economische waarde. Dit kwam doordat veel woningen en gebouwen leegstonden. Door deze trend werd niet alleen kwaliteit belangrijker, maar ontstond er ook een vraag naar duurzamere ontwikkelingen. Anke van Hal gaf daarbij ook aan dat duurzaamheid geen overwaaiende hype is, maar een pragmatische noodzaak is geworden. In dit verband wordt verwezen naar de emissies en de toenemende schaarste aan materialen, grondstoffen en energie. Vooral de schaarste van grondstoffen en de toenemende emissies (zoals CO₂) zijn een structureel probleem. Om deze reden is het van belang om niet alleen materialen te hergebruiken, maar ook om andere energiebronnen dan alleen de klassieke, fossiele in te zetten (Trouw, 2011). Dit vraagt ook om een omslag in de bouwsector. Sinds 2015 is er een groeiende trend te zien in het hergebruiken van materialen, het minimaliseren van emissies en de vermeerdering van economische waarde van woningen.

2.4. Anticiperen op het behalen van milieuwinst in de bouwsector

Lineaire economie

Het huidige economische systeem is vooral lineair te noemen. Dit houdt in dat grondstoffen worden omgezet in producten die aan het einde van hun levensduur worden vernietigd. De huidige economische ontwikkeling legt een grote druk op het milieu: uitputting van natuurlijke hulpbronnen, klimaatverandering, verontreiniging en verlies van biodiversiteit zijn hier enkele voorbeelden van (Rijksoverheid, 2014). Figuur 3 laat een weergave zien van de stromen binnen een lineaire economie.

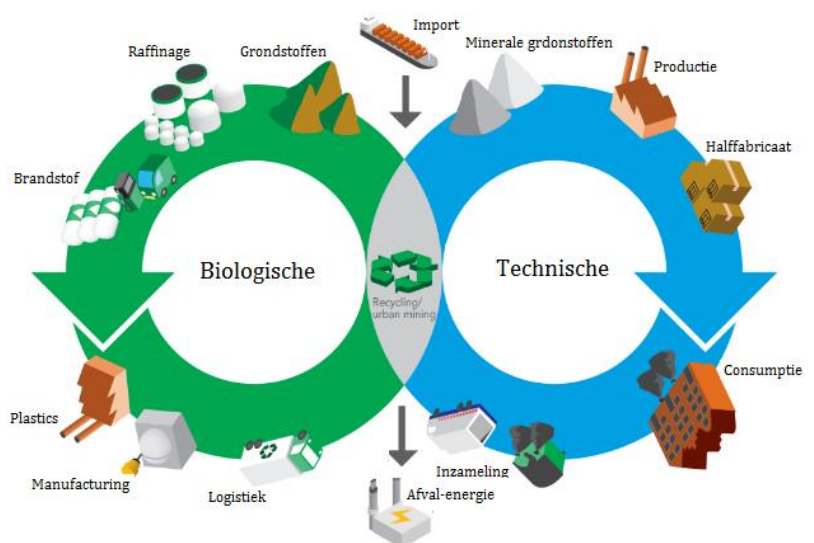


Figuur 3. Weergave lineaire economie volgens Thomas Rau (Turntoo, 2016).

Het implementeren en standaardiseren van circulaire economie in de bouwsector biedt hier een mogelijke oplossing. De volgende alinea geeft een beschrijving van circulaire economie.

Circulaire economie

Circulaire economie is een systeem waarin groei en welvaart ontkoppeld worden van het gebruiken van natuurlijke grondstoffen en ecosystemen. Door producten en materialen te hergebruiken en niet zomaar weg te gooien, ontstaat er een samenleving met een gezond economie geïnspireerd op en in balans met de natuur (Circle Economy, 2013). De circulaire economie onderscheidt twee kringlopen: de biologische en de technische kringloop (MacArthur, 2013). Figuur 4 toont een weergave van deze twee kringlopen.



Figuur 4. Een weergave van de stappen die producten en materialen doorlopen in de biologische en technische kringloop van circulaire economie [aangepast] (Port of Amsterdam, z.d.).

Biologische kringloop

In de biologische kringloop worden natuurlijke grondstoffen ingezet bij het vervaardigen van producten en materialen. Als een biologisch materiaal aan het einde van zijn levensduur is kan deze weer worden opgenomen in de natuurlijke kringlopen van de aanwezige ecosystemen. In de bouwsector is de biologische kringloop te koppelen aan biobased bouwen. Biobased bouwen maakt gebruik van hernieuwbare bouwgrondstoffen; dit zijn grondstoffen uit gewassen die door fotosynthese CO₂ uit de lucht opnemen. Traditioneel gezien wordt de bouwsector overheerst door minerale producten als cement en beton, staal en glas, steen, gips en aluminium en kunststoffen. Deze producten worden vervaardigd uit eindige grondstoffen en scoren hoog in de verschillende milieu-impactcategorieën, zoals global warming, verzuring, ozon, et cetera. 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 (van Dam & van den Oever, 2012).

Technische kringloop

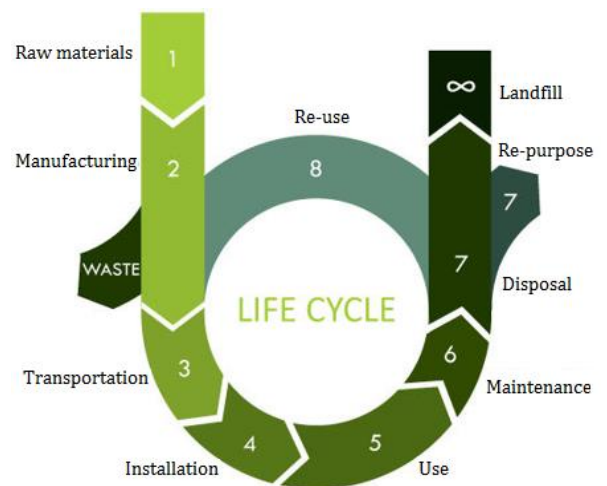
In de technische kringloop wordt meer gebruik gemaakt van traditionele/reguliere grondstoffen (minerale grondstoffen en producten). Dit zijn grondstoffen die tot hoogwaardige materialen worden omgevormd met een lange levensduur en die zonder al te veel moeite en (milieu)belasting weer voor andere doeleinde hergebruikt kunnen worden (Circle Economy, 2014). In de bouwsector is de technische kringloop te koppelen aan demontabel bouwen. Het uitgangspunt van demontabel bouwen is dat alle materialen/componenten die een gebouw bezit zonder veel bewerkingen gedemonteerd kunnen worden en opnieuw kunnen worden ingezet bij een volgend project (Club green, z.d.).

Door op bovenstaande wijze te anticiperen kunnen woningen gerealiseerd worden met een lagere milieubelasting, wat uiteraard milieuwinst oplevert. Uiteindelijk zal dit bijdragen aan het minimaliseren van de milieubelasting van het gebouwde gebied in Nederland.

2.5. Levenscyclusanalyse

Levenscyclusanalyse van bouwmaterialen

De milieueffecten van bouwmaterialen worden in dit onderzoek geanalyseerd door bestaande levenscyclusanalyses (LCA's) te raadplegen. Een LCA kan gedefinieerd worden als de verzameling en waardering van alle in- en uitstromen en mogelijke milieueffecten van een productsysteem gedurende zijn levenscyclus. De levenscyclus doorloopt hierbij de volgende stappen: de winning van grondstoffen, via productie van materialen, productonderdelen en het product zelf, tot aan het gebruik van het product tot de uiteindelijke verwerking na sloop door hergebruik, recycling, storten of verbranden (Solidworks Sustainability, z.d.). Figuur 5 laat de stappen zien die doorlopen en beoordeeld worden bij een LCA van een product of materiaal. Onderstaande alinea's gaan in op een LCA-tool die in dit onderzoek wordt toegepast. Indien een materiaal niet in onderstaande tool is opgenomen zal de beschikbare informatie van de leverancier/producent worden gehanteerd.



Figuur 5. Processen die beoordeeld worden bij een levenscyclusanalyse (Southwest Environmental, z.d.).

LCA-tool

De milieu-effecten van bedrijfsprocessen en de productie van bouwmaterialen en producten worden verzameld in databases. Door de gegevens om te rekenen naar de hoeveelheid materialen en processen van het te analyseren product, wordt de milieu-impact van dat product uitgerekend. Deze berekeningen worden geautomatiseerd en er zijn dan ook verscheidene LCA-tools beschikbaar: web-based, Excel-based, geïntegreerd in een CAD-pakket en speciaal geschreven softwareprogramma's. Op internet worden ruim 120 LCA-tools aangeboden, zowel gratis als betaald (Goselink, Holle & Sitte, 2013). Voor dit onderzoek is gebruikt gemaakt van de tool "milieuclassificatiemethode op basis van het TWIN-model" van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE).

TWIN-model van het NIBE

Het Nederland Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE) heeft een milieuclassificatiemodel ontwikkeld op basis van het TWIN-model. Dit is een model voor de beoordeling van milieu- en gezondheidseffecten van bouwmaterialen en bouwconstructies dat achterhaald is door LCA's uit te voeren. De volgende milieucriteria worden beoordeeld: emissies, uitputting van grondstoffen, landgebruik en hinder (stank, geluid, licht en kans op calamiteiten). Voornamelijk wordt er ingegaan op de emissies (onder andere CO₂) van bouwmaterialen. Er worden zeven milieuklassen onderscheiden waarbij één staat voor beste keuze en zeven voor onaanvaardbare keuze. Binnen elke klasse wordt onderscheid gemaakt tussen een eerste voorkeur (a), tweede voorkeur (b) en een derde voorkeur (c). Vanuit milieu-oogpunt krijgt het beste product klasse 1a. De klassen worden geëvalueerd aan de hand van de schaduwkosten (NIBE, 2016).

2.6. CO₂-berekeningsmethode

Voor het opstellen van een bouwconceptvariantentabel zal een combinatie worden gemaakt tussen de LCA-tool en de CO₂-berekeningsmethode. Hiervan wordt gebruik gemaakt om de verschillende uitgangspunten van deze tool/methode te combineren. Eén van de bouwconceptvarianten betreft het uitgangspunt CO₂-reductie. Hierin zijn bouwmaterialen opgenomen waarbij minder CO₂ is uitgestoten gedurende de winning, productie en verwerking. De LCA-tool genoemd in paragraaf 2.5 gaat ook in op CO₂-uitstoot. Echter is dit maar één van de vele milieucriteria die worden berekend en toegelicht. De Project Carbon Calculator, die in de volgende alinea wordt toegelicht, berekent alleen de CO₂-uitstoot van bouwmaterialen of een bouwproject. Doordat alleen de focus op het milieu-effect CO₂ (emissie) is gelegd kan een afweging worden gemaakt welke informatie moet worden weergegeven in de bouwconceptvariantentabel.

Project Carbon Calculator

De Project Carbon Calculator is een berekeningsmethode die is ontwikkeld door BAM, en berekent de carbon footprint van bouwprojecten (BAM, 2009b). BAM is een Europese bouwgroep, die actief is in de bouw en techniek, infra, vastgoed en publiek-private samenwerking.

De Project Carbon Calculator (PCC) is een instrument om in samenwerking met ketenpartners CO₂-reductiekansen te bepalen in de inkoop- en bouwphase van een project. De berekeningsmethode is ook toe te passen op de gebruiksfase maar zal in dit onderzoek niet behandeld worden. Zowel tijdens het ontwerp als de aanbesteding en de bouw, kan worden bepaald wat de carbon footprint van een bouwproject is (of wordt) en waar reductiemaatregelen getroffen kunnen worden (BAM, 2009a). De PCC heeft een database met (bouw)materialen waarvan bekend is hoeveel CO₂ zij hebben uitgestoten per eenheid. Zo kunnen materialen met elkaar vergeleken worden en kan inzichtelijk gemaakt worden waar de CO₂ reductiemaatregelen liggen.

2.7. Beoordelings-/toetsingscriterium bouwmaterialen

Zoals in paragraaf 1.4 is vermeld wordt voor het Clean Tech House project een bouwconceptvariantentabel ontwikkeld. De bouwconceptvariantentabel bestaat uit drie bouwconcepten met verschillende uitgangspunten. Deze bestaan uit CO₂-reductie, de technische (demontabel bouwen) en de biologische (biobased bouwen) kringloop van circulaire economie. Het toetsingskader, bestaande uit criteriapunten, waarop de bouwmaterialen geselecteerd worden bestaat uit verkrijgbaarheid, verwerkbaarheid, aanpasbaarheid, kosten en milieubelasting grondstoffen. Uiteraard worden de bouwmaterialen eerst geselecteerd op sterkte en isolatiewaarde. De criteria verkrijgbaarheid, verwerkbaarheid, aanpasbaarheid en kosten zijn opgesteld op basis van de uitgangspunten van de bouwconceptvarianten en het Clean Tech House project. Onderstaand wordt per criteriumpunt toegelicht waarom deze is opgesteld voor de selectie van bouwmaterialen voor het Clean Tech House project.

- *Verkrijgbaarheid:* De verkrijgbaarheid speelt een rol omdat sommige bouwmaterialen nog weinig worden toegepast of niet binnen Nederland en omliggende landen wordt geproduceerd. Om het project op een redelijk korte termijn te kunnen realiseren is het belangrijk dat de bouwmaterialen voor het Clean Tech House project gemakkelijk te verkrijgen zijn.
- *Verwerkbaarheid:* De verwerkbaarheid van bouwmaterialen is opgenomen in de beoordelings-/toetsingscriterium omdat de verwerking/toepassing van sommige (nieuwe) bouwmaterialen nog onbekend zijn voor bouwers. Dit geldt niet voor de reguliere bouwmaterialen maar wel voor diverse circulaire bouwmaterialen, waaronder biobased bouwmaterialen. Door de verwerkbaarheid op te

nemen als criteriumpunt kan inzichtelijk worden gemaakt welke voor- en nadelen er zijn voor de bouwers. Indien er meer voordelen zijn dan nadelen voor een nieuw of onbekend bouw materiaal dan zal dit bouw materiaal wellicht vaker worden toegepast bij andere projecten. Waardoor het gebruik van minder milieubelastende bouwmaterialen wordt gestimuleerd.

- *Aanpasbaarheid:* Bouwconceptvariant 2 heeft als uitgangspunt demontabel bouwen. Hierbij speelt de aanpasbaarheid van bouwmaterialen een belangrijke rol. De aanpasbaarheid van bouwmaterialen is ook van toepassing op de andere bouwconceptvarianten. Bouwmaterialen die aanpasbaar zijn kunnen gemakkelijk gedemonteerd worden en opnieuw worden ingezet bij een ander project. Dit levert CO₂-reductie op omdat het materiaal niet opnieuw gewonnen, geproduceerd en verwerkt hoeft te worden. Demontabele bouwmaterialen die ook biobased zijn, bijvoorbeeld hout, levert hierbij ook winst op omdat er niet opnieuw gekapt hoeft te worden voor hetzelfde eindproduct.
- *Kosten:* De kosten zijn opgenomen in het beoordelings-/toetsingscriterium omdat de woningen uit het Clean Tech House project betaalbaar moeten zijn voor starters op de woningmarkt. Ten opzichte van de woningen uit het Clean Tech House project 1.0 is een marge van 20% aangehouden. Uit onderzoek naar referentieprojecten is naar voren gekomen dat de kosten van woningen die circulair zijn uitgevoerd gemiddeld 20% hoger liggen dan woningen uitgevoerd met reguliere bouwmaterialen.
- *Milieubelasting grondstoffen:* Om milieuwinst inzichtelijk te maken moeten de milieu-effecten van de bouwmaterialen geanalyseerd worden. Bouwmaterialen met weinig milieu-effecten hebben een lage milieubelasting. Voor het analyseren van de milieu-effecten wordt gebruikt gemaakt van de methode en tool die genoemd zijn in de paragrafen 2.5 en 2.6. De milieubelasting van grondstoffen worden op basis van de uitkomsten van onderstaande tool/methode inzichtelijk gemaakt.

TWIN-model NIBE	Project Carbon Calculator
Deze tool wordt gebruikt om de milieu-effecten emissies, uitputting grondstoffen, landgebruik en hinder inzichtelijk te maken. Hierbij worden ook de schaduwkosten meegenomen, deze zijn leidend bij het bepalen van de milieubelasting. Deze tool wordt gebruikt voor twee bouwconcept-varianten. Voor bouwconceptvarianten 2 en 3 wordt gekeken naar de uitputting van grondstoffen en landgebruik.	Deze methode wordt gebruikt om de CO ₂ -uitstoot van verschillende bouwmaterialen met elkaar te vergelijken. Aan elk bouw materiaal kan een alternatief gekoppeld worden. De methode berekend dan het CO ₂ verschil uit. De methode wordt alleen gebruikt voor bouwconceptvariant 1 met als uitgangspunt CO ₂ -reductie.

Weging criteria per bouwconceptvariant

De criteria voor de bouwmaterialen voor het Clean Tech House project wegen per bouwconceptvariant verschillend omdat de bouwconcepten verschillende uitgangspunten hebben. Een uitgebreide toelichting hiervan is opgenomen in bijlage 8A.

2.8. Rol theoretisch kader in het onderzoek

Met de kennis die is opgedaan in paragraaf 2.1 en 2.2 is meer inzicht verkregen in de milieu-impact en veranderingen in de Nederlandse en buitenlandse bouwsector en de Europese en landelijke doelstellingen en ambities. Ook laten deze paragrafen zien dat diverse milieugerelateerde onderwerpen de aandacht trekken in de bouwsector en dat bouwgerelateerde organisaties steeds bewustere keuzes maken met betrekking tot milieubelasting van materialen en producten. Hierdoor wordt de interesse en urgentie van het onderzoek benadrukt. Paragraaf 2.5 beschrijft een levenscyclusanalysemethode die milieu-impacts van bouwmaterialen in kaart brengt. De CO₂-uitstoot van bouwmaterialen kan door verschillende berekeningsmethoden, databases en softwareprogramma's worden beoordeeld. De tool/methode genoemd in paragraaf 2.5 en 2.6 zullen als inspiratiebron dienen voor de bouwconceptvariantentabel. De onderzoeksstappen uit dit theoretisch kader hebben als uitgangspunt gediend voor de onderzoeksvragen en de onderzoeks aanpak die geformuleerd zijn in het volgende hoofdstuk (3). Ook heeft de informatie input geleverd voor het opstellen van interviewvragen.

3. Onderzoeksmethodiek

Dit hoofdstuk betreft de onderzoeksmethodiek. Ten eerste zijn in paragraaf 3.1 de onderzoeksvragen weergegeven. Ten tweede is in paragraaf 3.2 de onderzoeksaanpak beschreven waarmee de onderzoeksvragen zijn beantwoord.

3.1. Probleemstelling en onderzoeksvragen

De eerdergenoemde probleemstelling is: Wat zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House 2.0 en welke variant levert de meeste milieuwinst op? De onderzoeksvragen die hieronder zijn weergegeven, hebben elk een bijdrage geleverd aan het beantwoorden van de probleemstelling.

1. Waarom is milieuwinst in de bouwsector noodzakelijk op zowel Europees als mondiaal niveau?

1.1 Welk beleid en wet- en regelgeving zijn van toepassing op het verduurzamen van de bouwsector?

1.2 Waar zitten de mogelijke problemen?

2. Welke officiële keurmerken en labels bevorderen milieuwinst in de bouwsector?

3. Welke bouwmaterialen kunnen worden toegepast in het Clean Tech House project (versie 2.0)?

3.1 Welke bouwmaterialen hebben een lage carbon footprint die esthetisch weinig afwijken van Clean Tech House 1.0?

3.2 Welke bouwmaterialen vallen onder de principes van circulaire economie – de technische kringloop?

3.3 Welke bouwmaterialen vallen onder de principes van circulaire economie – de biologische kringloop?

4. Welke consequenties hebben de bouwmaterialen voor het milieu en de bouwers?

5. Welke aanbevelingen kunnen naar aanleiding van de bouwconceptvariantentabel worden gedaan naar de opdrachtgevers en partners van het Clean Tech House project?

3.2. Onderzoeksaanpak

Onderstaande alinea's beschrijven de overkoepelende onderzoeksmethoden en een onderzoeksaanpak per onderzoeksvraag.

Overkoepelende onderzoeksmethoden

Deskresearch

Het onderzoek is van start gegaan met een deskresearch. Hiervan wordt gesproken als er tijdens de dataverzameling alleen gebruik is gemaakt van bestaande bronnen (Baarda, et al., 2013). Deskresearch is uitgevoerd om het theoretisch kader (hoofdstuk 2) te beschrijven. Er is gebruik gemaakt van digitale bronnen en literatuur. De informatie die is gewonnen tijdens deskresearch heeft input geleverd voor het opstellen van interviewvragen voor het expertonderzoek.

Expertonderzoek

Bij een expertonderzoek worden de meningen, kennis en ervaringen van experts gebruikt voor het beantwoorden van vraagstukken en het opdoen van nieuwe inzichten (Baarda, et al., 2013). Tijdens het expertonderzoek hebben er een aantal gesprekken en interviews plaatsgevonden met experts en belanghebbende. De uitwerkingen van de interviews zijn opgenomen in bijlage 6 "Verslaglegging interviews". Het theoretisch kader in hoofdstuk 2 heeft input geleverd voor het opstellen van de interviewvragen voor de experts. Daarnaast is de inventarisatie van het Clean Tech House project ook in de interviewvragen opgenomen. Naast (geregisteerde) interviews hebben er ook gesprekken plaatsgevonden waarvoor geen interviewvragen voor zijn opgesteld. Tijdens deze gesprekken werden onderzoeksresultaten toegelicht en kwamen referentieprojecten ter sprake. Deze gesprekken hebben geleid naar nieuwe inzichten en internationale projecten.

Hieronder volgt een opsomming van de experts en belanghebbende die zijn geraadpleegd:

- *Jörg Blass - Commercieel directeur van Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie Milieubelasting bouwmaterialen, duurzaam bouwen, energieneutraal bouwen, beleid, wet- en regelgeving, levenscyclusanalyse en milieu-effecten.*
- *Henk Janssen - Directeur Cleantech Center Zutphen, Stedendriehoek*

Circulaire economie, milieu, MVO, duurzaamheid, duurzame initiatieven, Smart Energie Collectief en bouwtechnologie.

- *Géke de Wilde - Eigenaar en Architect bij Attika Architecten*
Cleantech Center, het Clean Tech House project, bouwstijlen en bouwmaterialaalkennis.
- *Jan de Wit - Lector; lectoraat Duurzame Energievoorzieningen, Kenniscentrum Leefomgeving*
Biobased economy, duurzame energievoorzieningen en innovatieve installatietechniek.
- *Michael Sailer - Senior onderzoeker, lectoraat Innovatieve technologie in de bouw*
Biobased materialen, duurzaamheid, functionalisering, beschermen en testen van(bio)materialen.
- *Benjamin van Twist - Eigenaar van Living Project homes*
Zeecontainers ombouwen tot studio's, scholen, kantoren, et cetera (containerbouw).
- *Patrick Schreven - Directeur van ORGA-bouw*
Biobased bouwen, biobased bouwmaterialen en duurzaamheid.
- *Arie van Zadelhoff - Commercieel directeur van Daas Baksteen*
Circulaire economie, circulaire bouwmaterialen, baksteen, gezonde en duurzame bouwmaterialen en Cradle to Cradle.

Actieonderzoek

Een actieonderzoek wordt omschreven als een onderzoek dat gericht is op het veranderen en oplossen van problemen. Mogelijke problemen worden onderzocht en de oplossingen worden ontwikkeld en beoordeeld (Baarda, et al., 2013). In dit onderzoek zijn de volgende onderwerpen als probleem gezien: de CO₂-situatie van de bouwsector, bouwafval en grondstofschaarste. Deze problemen dienen opgelost te worden door het in kaart brengen van bouwmaterialen met een lage(re) milieubelasting die toepasbaar zijn op het Clean Tech House project. De oplossingen (bouwmaterialen met een lage milieubelasting) zijn door middel van literatuuronderzoek en interview/gesprekken gewonnen. Vervolgens zijn de bouwmaterialen aan de hand van een criterium (zie bijlage 8A) getoetst en beoordeeld waardoor deze toepasbaar zijn voor het Clean Tech House project.

Veldonderzoek

Dit onderzoek had ook het karakter van een veldonderzoek. Tijdens een veldonderzoek worden nieuwe gegevens/informatie verzameld en geanalyseerd (Baarda, et al., 2013). Voor dit onderzoek is veldonderzoek uitgevoerd om referentieprojecten te analyseren. Deze onderzoekstechniek wordt ook wel observatie genoemd. Er zijn vier referentieprojecten geobserveerd waarvan twee projecten zijn uitgevoerd conform de technische kringloop van circulaire economie en twee projecten conform de biologische kringloop. De referentieprojecten zijn gericht gekozen. De referentieprojecten zijn geselecteerd door middel van een analyse van de toegepaste bouwtechniek(en) en bouwmaterialen en of het project overeenkomsten had met het Clean Tech House project. Een overeenkomst van de referentieprojecten en het Clean Tech House project is dat het allen nieuwbouwprojecten zijn.

Onderzoeksaanpak per onderzoeksvraag

Noodzaak milieuwinst in de bouwsector

Om de noodzaak van milieuwinst in de bouwsector in kaart te brengen moest antwoord gegeven worden op onderzoeksvraag één. Voor het beantwoorden van onderzoeksvraag één zijn interviews afgenomen met organisaties die zelf veel waarde hechten aan het milieu en de impact die zij mogelijk kunnen toedienen aan het milieu. Hiervoor zijn Arie van Zadelhoff, commercieel directeur van Daas Baksteen, Jörg Blass van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE), Benjamin van Twist, eigenaar van Living project homes en Patrick Schreven, directeur van ORGA bouw geïnterviewd. Deze interviews kunt u terugvinden in bijlage 6. Ook hebben er gesprekken met experts Henk Jassen en Michael Sailer plaatsgevonden om dit in kaart te brengen. Tijdens de interviews en gesprekken is ook antwoord gegeven op de vraag welk beleid en wet- en regelgeving van toepassing zijn op het verduurzamen van de bouwsector en welke mogelijke problemen er zijn. Als aanvullen materiaal zijn digitale bronnen geraadpleegd en zijn rapporten gedownload van onder andere de overheid (Green deals), WUR, Circle Economy, duurzaam gebouwd en het NIBE.

Officiële keurmerken en labels die milieuwinst bevorderen

Met het in kaart brengen van officiële keurmerken en labels die milieuwinst in de bouwsector bevorderen is antwoord gegeven op onderzoeksvraag twee. Tijdens de interviews met Arie van Zadelhoff, commercieel directeur van Daas Baksteen, Jörg Blass van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE),

Benjamin van Twist, eigenaar van Living project homes en Patrick Schreven, directeur van ORGA bouw is de vraag gesteld welke keurmerken en labels bij hun bekend waren. Na de uitwerking van de interviews is verdiepend onderzoek verricht door het raadplegen van digitale bronnen.

Mogelijke bouwmaterialen voor het Clean Tech House project

Door de mogelijk bouwmaterialen voor het Clean Tech House in kaart te brengen is antwoord gegeven op onderzoeksvraag drie.

Voor het selecteren van mogelijke bouwmaterialen voor het Clean Tech House project zijn de volgende stappen doorlopen.

- Stap 1: Op basis van onderzoek is door middel van het raadplegen van diverse digitale bronnen en gesprekken met experts referentieprojecten geanalyseerd. Daarnaast is er al enige kennis aanwezig door een afgeronde mbo-vooropleiding "Bouwkunde & Architectuur". Tijdens deze stap is gekeken naar de bouwmaterialen die zijn toegepast bij circulaire bouwprojecten en bouwprojecten met een lage carbon footprint. De bouwconceptvariant zijn gelijktijdig aangevuld omdat sommige bouwmaterialen bij meerdere bouwconceptvarianten konden worden toegepast. Bij deze stap is het bouwconcept op logische wijze afgewerkt. Dit houdt in dat begonnen is met de fundering waarna de gevels en wanden, vloeren, daken, kozijnen, trappen en goten en hemelwaterafvoeren zijn afgewerkt. Dit zijn de elementen die zijn opgenomen in de bouwconceptvarianten.
- Stap 2: Uit de bouwmaterialen die bij *stap 1* zijn verzameld is een selectie gemaakt. De bouwmaterialen werden getoetst op de volgende criteria: de eerste criteria betrof de sterkte en isolatiewaarde van het bouw materiaal, daarna is geselecteerd op verkrijgbaarheid, verwerkbaarheid, aanpasbaarheid, kosten, en de milieubelasting van de grondstoffen.
- Stap 3: De geselecteerde bouwmaterialen zijn per element besproken. Op basis van de gesprekken zijn een aantal mogelijkheden geschrapt en wat over bleef waren één, twee of drie opties die konden worden toegepast in één van de bouwconceptvarianten.
- Stap 4: De opties uit *stap 2* zijn geanalyseerd door middel van een tool en methode. De CO₂-uitstoot is met behulp van de tool milieuclassificatie van het NIBE en de berekeningsmethode de Project Carbon Calculator in kaart gebracht. De biobased bouwmaterialen uit de bouwconceptvariant van de biologische kringloop van circulaire economie zijn geanalyseerd met behulp van de tool van NIBE op basis van het TWIN-model. De demontabele bouwmaterialen uit de bouwconceptvariant van de technische kringloop van circulaire economie zijn ook geanalyseerd met behulp van de tool van NIBE op basis van het TWIN-model. Omdat de weging van de criteria genoemd in *stap 2* voor elk bouwconcept anders weegt is de afweging van milieu-effecten voor elk bouwconcept anders uitgevoerd. In bijlage 8A "*Beoordelings-/toetsingscriterium bouwmaterialen*" is een overzicht weergegeven welk criteriumpunt hoger weegt per bouwconceptvariant.
- Stap 5: Door de milieu-effecten van de bouwmaterialen in kaart te brengen konden de consequenties voor het milieu opgesteld worden. Met het in kaart brengen van de consequenties voor het milieu is antwoord gegeven op onderzoeksvraag vier.
- Stap 6: Na de analyse van de bouwmaterialen uit *stap 4* is het bouw materiaal welke het hoogst/best scoorde opgenomen in de één van de bouwconceptvariant. De bouwmaterialen zijn tussentijds getoond aan de opdrachtgever(s), waarna enige feedback en aanvullingen zijn verwerkt. De drie bouwconceptvarianten samen vormen het bouwconceptvariantentabel.
- Stap 7: Deze stap betreft het in kaart brengen van de consequenties voor de bouwers. De consequenties voor de bouwers zijn achterhaald door verdiepend onderzoek te verrichten. Dit bestond uit contact opnemen met de producent/ontwikkelaar of door de verwerkwijze van het materiaal te analyseren en daaruit consequenties te concluderen. Met het in kaart brengen van de consequenties voor de bouwers is antwoord gegeven op onderzoeksvraag vier.

In onderstaande tabellen is de onderzoeks aanpak per bouwconceptvariant weergegeven. De bouwmaterialen die zijn opgenomen in bouwconceptvariant één (CO₂-reductie) en drie (biologische kringloop circulaire economie – biobased) hadden veel overeenkomsten en zijn op dezelfde wijze gewonnen. Deze zijn daarom in één tabel samengevoegd.

<i>Bouwmaterialen conform de technische kringloop van circulaire economie (demontabel bouwen)</i>	
Toegepaste methode	Toelichting
Deskresearch (digitale bronnen)	Er is veel informatie beschikbaar over circulaire economie en circulair bouwen. Het rapport van Circle Economy "Het fundament onder een vernieuwde sector" en "Meten is weten in de Nederlandse Bouw" van CE Delft heeft veel input geleverd in het onderzoek. Daarnaast zijn ook factsheets van de overheid over greendeals geraadpleegd. De bouwmaterialen zijn geïnventariseerd door referentieprojecten online op te zoeken zowel nationaal als internationaal. Dit leverde veel projecten op die waren voorzien van toelichting, hoe de woningen en gebouwen zijn uitgevoerd en wat de visie hierachter was.
Veldonderzoek	De projecten GB4ALL "Parkwijk De Grote Boel" en Containerwoningen te Apeldoorn zijn geobserveerd om de bouwmaterialen en concepten worden toegepast bij demontabele woningen. GB4ALL is een project dat demontabel, 100% recyclebaar en her te gebruiken is. De containerwoningen zijn losse containers welke gestapeld kunnen worden. Momenteel vooral toegepast als studio's maar de plannen zijn al aanwezig om containers aan elkaar te koppelen (horizontaal en verticaal) zodat een eengezinshuis mogelijk blijkt.
Interview	Benjamin van Twist, eigenaar van Living project homes is geïnterviewd om zijn bedrijf het concept containerwoningen uitvoert. Zo kwam ter sprake dat het wel degelijk mogelijk is om eengezinswoningen of nog grotere woningen te realiseren met oude zeecontainers. Arie van Zadelhoff, commercieel directeur van Daas Baksteen is geïnterviewd omdat de baksteen een grote milieubelasting heeft. Door deze uitvinding waarbij de baksteen geklikt wordt in plaats van gemetseld kan de baksteen steeds opnieuw worden ingezet. Op deze manier kan veel milieuwinst behaald worden. Jörg Blass van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE).

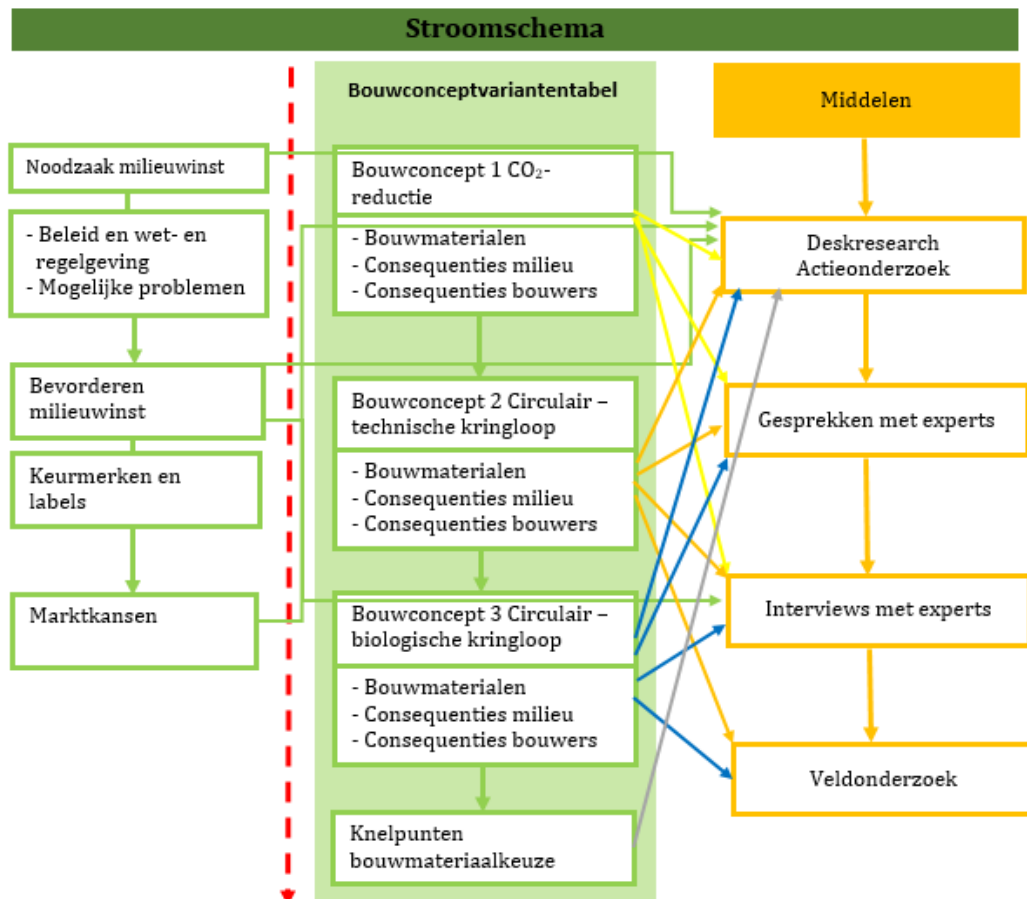
<i>Bouwmaterialen conform de biologische kringloop van circulaire economie (biobased bouwen) en bouwmaterialen met een lage carbon footprint.</i>	
Toegepaste methode	Toelichting
Deskresearch (digitale bronnen)	De achtergrondinformatie van bouwmaterialen met een lage carbon footprint waaronder ook biobased bouwmaterialen is door middel van het raadplegen van diverse websites en rapporten gewonnen. Het rapport van de WUR – biobased bouwen bevat veel informatie over verschillende bouwmaterialen voor eenzelfde element (bijvoorbeeld isolatie). Uit dit document zijn bouwmaterialen geselecteerd waarna ze verder werden beoordeeld door middel van de tool genoemd in stap 4. Daarnaast zijn ook factsheets van de overheid over greendeals geraadpleegd. Een belangrijke website gedurende dit onderzoek was biobasedbouwen.nl. Op deze website staan diverse projecten (binnen Nederland) die zijn uitgevoerd met biobased bouwmaterialen. Hierdoor is inzichtelijk geworden dat niet alle elementen in een woningen biobased uitgevoerd kunnen worden en dat daarvoor andere minder milieubelastende oplossingen voor zijn. Voor het in kaart brengen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint zijn ook bovenstaande bronnen toegepast. Echter is daarnaast gekeken naar de afkomst van het materiaal om de transportafstand zo klein mogelijk te houden, om op die manier CO ₂ te besparen.
Veldonderzoek	Er zijn twee referentieprojecten bezocht. De woningen die gelokaliseerd zijn in "De Stad van de Zon" in Heerhugowaard zijn ecologisch uitgevoerd. Veel materialen die zijn toegepast hebben een lage milieubelasting. Daarnaast zijn veel woningen zelfvoorzienend op het gebied van energie en soms ook van voedsel. De aardehuizen te Olst zijn biobased uitgevoerd waar mogelijk was. Zo zijn de wanden gemaakt van volgestampte autobanden met zand en is de achterwand van de woning een heuvel. Dit project is wel voor een nichemarkt maar toont wel aan dat ook binnen Nederland een doelgroep aanwezig is dat op een alternatieve manier wilt leven en wonen.
Interviews	Jörg Blass van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE) is geïnterviewd om in kaart te brengen welke problemen er momenteel zijn met biobased bouwmaterialen en hoe het gebruik van biobased bouwmaterialen gestimuleerd kan worden. Patrick Schreven, directeur van ORGA bouw, bouwt zelf biobased woningen en gebouwen. Naast het winnen van informatie van de website van ORGA bouw is verdiepende informatie gewonnen tijdens een interview. Tijdens het interview is de vraag gesteld waarom de bouwsector een omschakeling moet maken en wat nou de voor en nadelen zijn van wonen in een biobased woning.

Aanbevelingen richting de opdrachtgevers en partners van het Clean Tech House project

Door aanbevelingen op te stellen is antwoord gegeven op onderzoeksvraag vier. De aanbevelingen die zijn opgesteld voor de opdrachtgevers en partners van het Clean Tech House project zijn afgeleid van de onderzoeksresultaten. De onderzoeksmethoden die hiervoor zijn toegepast zijn weergegeven in de onderzoeksrapportage van onderzoeksvragen 1 t/m 4.

Stroomschema

Figuur 6 toont een stroomschema waarin de inhoudelijke verbanden van het onderzoek zijn weergegeven. Dit is een schematische weergave van de onderzoeksrapportage. Evenals de rode lijn in het stroomschema in paragraaf 1.7, staat de rode lijn in dit stroomschema voor de “rode draad” in het onderzoek.



Figuur 6. Stroomschema “Inhoudelijke verbanden”.

Betrouwbaarheid en geldigheid onderzoek

De betrouwbaarheid van de onderzoeksresultaten is vergroot door gebruik te maken van een combinatie van methoden voor dataverzameling. Het gebruik maken van meerdere methoden wordt ook wel triangulatie genoemd (Baarda, et al., 2013). Voor het analyseren van de milieu-effecten van bouwmaterialen is gebruik gemaakt van een tool en een berekeningsmethode. Om de betrouwbaarheid te valideren zijn de verschillen en overeenkomsten van de tool en methode met elkaar vergeleken. Deze zijn weergegeven in bijlage 5 “Aanvulling onderzoeksmethodiek”. De verschillende methoden hebben niet alle twee dezelfde database en toonden in sommige gevallen verschillen in uitkomsten voor hetzelfde bouw materiaal. Er is toen achterhaald waarom die ene methode afweek, door de rekenwijze te analyseren en door contact op te nemen met de ontwikkelaar. De geldigheid van het onderzoek is vergroot door “open” gestructureerde interviewvragen af te nemen.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk wordt het eerste deel van de onderzoeksresultaten weergegeven. Het hoofdstuk start met een beschrijving van de noodzaak van milieuwinst waarna in wordt gegaan op verschillende initiatieven die milieuwinst bevorderen in de bouwsector. Vervolgens wordt in paragraaf 4.3 bouwmaterialen met een lage carbon footprint en circulaire bouwmaterialen toegelicht. Het hoofdstuk sluit af met een beschrijving van de marktkansen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint en circulaire economie in de bouwsector.

4.1. Noodzaak van milieuwinst in de bouwsector

De afgelopen jaren is het steeds duidelijker geworden dat de huidige economie, die nog veelal lineair is, leidt tot een tekort aan grondstoffen en een toename van afvalstromen. In 1972 bracht de Club van Rome het rapport “De grenzen aan de groei” uit. De Club van Rome bestaat uit wetenschappers die onderzoeken verrichten naar diverse wereldproblemen. In het rapport werd vermeld dat de groei van de wereldbevolking, de economie en het daaraan gekoppelde energie en materiaalgebruik uiteindelijk tot een catastrofe zou kunnen leiden. Zolang de wereldpopulatie groeit en de economie stijgt neemt de druk op het milieu toe (Doepel, 2015).

De winning en productie van grondstoffen hebben een grote impact op het milieu. Denk bijvoorbeeld aan erosie, water- en bodemvervuiling, ontbossing, verlies van biodiversiteit en uitputting van landbouwgrond. Bovendien raken de bronnen langzaam op. Dat geldt met name voor de niet-hernieuwbare grondstoffen: fossiele brandstoffen en metalen. Door het schaarser worden van grondstoffen worden deze duurder. Dat is merkbaar bij inkoopproces en/of productiekosten. De prijzen stijgen niet alleen, ze fluctueren ook sterk. Daardoor is de inkoop onberekenbaar en zijn de kosten moeilijk te voorspellen. Dit heeft een grote impact op de continuïteit van een bedrijfsvoering. De druk op het milieu kan verminderd worden door efficiënter om te gaan met de eindige grondstoffen en fossiele brandstoffen (MVO Nederland, 2015).

Bewuste materiaalkeuze

In de bouwsector ligt de focus momenteel nog op energieneutraliteit maar op materiaalgebied kan er misschien wel een grotere milieuwinst behaald worden (Blass, 2016). Bouwmaterialen die worden toegepast hebben invloed op de milieubelasting van een woning. Het is daarom ook belangrijk om bewuste keuzes te maken. Door het analyseren van de milieu-effecten van bouwmaterialen kan dit inzichtelijk worden gemaakt. Het proces kan gestart worden met de vraag of er gebruik wordt gemaakt van nieuwe bouwmaterialen of hergebruikte en gerecyclede bouwmaterialen. Nieuwe bouwmaterialen brengen een hogere milieubelasting met zich mee. Het materiaal ondergaat namelijk alle fases van de levenscyclus. Hergebruikte en gerecyclede bouwmaterialen hoeven niet alle fases van de levenscyclus te ondergaan en hebben daarom een lagere milieubelasting. Met enige uitzondering als het materiaal veel processen moet ondergaan om opnieuw te kunnen worden ingezet.

Koppeling naar het Clean Tech House project

Waarom nieuwbouw en geen renovatiewoning voor het Clean Tech House project?

Zoals hierboven is vermeld brengt het toepassen van nieuwe materialen meestal een grotere milieubelasting met zich mee dan het toepassen van gerecyclede of hergebruikte materialen. Dit geldt ook voor woningen en gebouwen. Eind 2015 heeft het Centraal Bureau voor de Statistiek onderzoek gedaan naar leegstaande woningen en gebouwen. Er zijn veel leegstaande woningen en gebouwen die nog gerenoveerd kunnen worden (CBS, 2015). Het team van onderzoekers en MKB-bedrijven van het Clean Tech House project is zich hiervan bewust. Toch is er bewust gekozen voor nieuwbouw in plaats van renovatie. Het aantal vrijheidsgraden voor het onderzoek, duurzaamheidsmaatregelen en de haalbaarheid daarvan is bij nieuwbouw velen malen groter dan bij renovatie. Daarnaast vallen de kosten bij nieuwbouw lager uit en de acceptatie van de maatregelen die tot energieneutraliteit leiden is groter (Wit, 2016).

Beleid en wet- en regelgeving

Nationale en internationale overheden formuleren steeds meer doelstellingen om een duurzame, circulaire samenleving te creëren (Circle Economy, 2014). Zo ook Nederland. Een aantal van deze doelstellingen zijn eerder vermeld in paragraaf 2.2 “Europese en landelijke doelstellingen”. De doelstellingen worden omgezet in eisen en geïmplementeerd in bestaande wet- en regelgeving.

Milieuprestatie en het rijksbeleid

Milieuprestaties van gebouwen en materialen is ook opgenomen in het rijksbeleid. In de kabinetsbrief "Groene Groet voor een sterke, duurzame economie" (2013) is hier aandacht aan besteed. In deze kabinetsbrief staat dat innovatie in de bouw een drijvende kracht is om te komen tot een energiezuinige en energieneutrale woningen en gebouwen. De focus richt zich op de beperking van CO₂-emissies en uitputting van grondstoffen. In opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties en het Ministerie is de bepalingmethode "Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken" ontwikkeld (Milieudatabase, z.d.).

Sinds 2013 is het verplicht een milieuprestatieberekening materialen toe te voegen bij elke omgevingsvergunningaanvraag. Deze bepalingmethode berekent de milieubelasting van de bouwmaterialen in een bouwwerk door de milieu-effecten te kwantificeren (Bouwend Nederland, z.d.).

Onder verwijzing naar deze bepalingmethode zijn in het Bouwbesluit bouwtechnische voorschriften gegeven. Dit beleid sluit nauw aan op het Europese beleid omtrent CO₂-emissies en uitputting van grondstoffen. Namelijk het eenduidig en transparant maken van de milieuprestaties van gebouwen en producten. Dit in combinatie met het stimuleren van het gebruik van producten met een lagere milieubelasting (Milieudatabase, z.d.).

Mogelijke problemen

Innovatie

Door de strakke wet- en regelgeving die in de bouwsector geldt is het niet altijd even makkelijk geweest om te innoveren. Wet- en regelgeving heeft volgens Bouwtotaal innovaties op materiaal en product gebied vertraagd. Zoals in de vorige paragraaf is vermeld is het sinds 2013 verplicht een milieuprestatieberekening materialen toe te voegen bij elke omgevingsvergunningaanvraag (Bepalingmethode "Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken"). Hierbij moet gebruik worden gemaakt van de materialen die zijn opgenomen in de Nationale Milieudatabase. Veel innovatieve materialen zijn hier nog niet in opgenomen. Dit komt mede omdat er nog te weinig testrapporten zijn van innovatieve materialen waarmee de eigenschappen van deze materialen en methodieken aangetoond kunnen worden (Bouwtotaal, 2014). Dit geldt ook voor het opnemen van innovatieve bouwmaterialen en producten in het Bouwbesluit en de NEN. Het Bouwbesluit bestaat uit bouwtechnische voorschriften waaraan een woning/gebouw aan moet voldoen. In een aantal gevallen verwijst het Bouwbesluit naar NEN-normen (Nederlandse Norm) voor een uitgebreidere uitleg. Daarin staan één of meerdere methoden om aan een voorschrift te voldoen (Rijksoverheid, z.d.).

Circulaire bouwmaterialen

Veel circulaire materialen conform de technische kringloop zijn al opgenomen in besluiten en wet- en regelgeving en hebben tot op heden nog voor weinig problemen gezorgd. De problemen vormen zich bij het gebruik van circulaire bouwmaterialen conform de biologische kringloop (biobased bouwmaterialen). Dr. Michael Sailer, Senior onderzoeker op Saxion, stelt dat een aantal biobased materialen die al met regelmaat worden toegepast in Nederland al jaren zijn opgenomen in de besluiten en wet- en regelgeving. Het betreft bijvoorbeeld het materiaal hout. Hout wordt in de Nederlandse bouw al jaren toegepast en heeft op het gebied van wet- en regelgeving nog voor weinig problemen gezorgd. De mogelijke problemen zitten in de biobased materialen die nog onvoldoende voorzien zijn van testen en onderbouwing en daardoor nog weinig zijn toegepast (M. Sailer, persoonlijke communicatie, 3 mei 2016). Om het gebruik van biobased bouwmaterialen te stimuleren is het belangrijk dat er een platform komt waar biobased bouwmaterialen kunnen worden getest en op basis van die resultaten kunnen worden opgenomen in besluiten en wet- en regelgeving (Bouwtotaal, 2014).

4.2. Het stimuleren van milieuwinst in de bouwsector

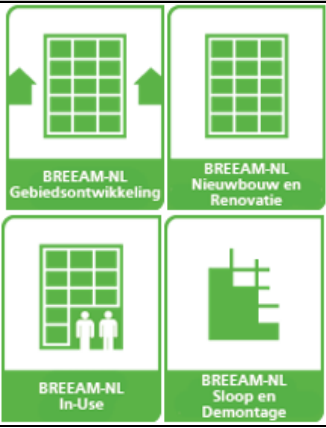
Door diverse marktpartijen waaronder de overheid zijn keurmerken en labels ontwikkeld om de doelen voor een duurzame en circulaire economie in de bouwsector na te streven. Hierbij heeft de afgelopen jaren energiegebruik van een woning veel aandacht gekregen, denk hierbij aan het energielabel. Per januari 2015 is een verkoper of verhuurder verplicht om bij de verkoop of huur van hun woning een energielabel te overhandigen (Rijksoverheid, 2016). Door middel van een energielabel kan inzichtelijk worden gemaakt hoe isolerend de woning is uitgevoerd en of er veel energie verloren gaat. Het toekennen van een energielabel heeft een stimulerende functie om de woning zo goed mogelijk te isoleren. Hoe hoger het energielabel hoe energiezuiniger de woning. Deze stimulans speelt nog niet bij bouwmaterialen. Dit komt omdat

consumenten niet direct de voordelen inzichtelijk krijgen bij het kopen van een milieuvriendelijk product of materiaal (M. Sailer, persoonlijke communicatie, 3 mei 2016).

Uit onderzoek van de consumentenbond (2015) is gebleken dat consumenten meer willen betalen voor bouwmaterialen en producten waaraan een keurmerk of label gekoppeld is. Daaruit kan geconcludeerd worden dat keurmerken en labels zeker milieuwinst bevorderen in de bouwsector. Het is van belang dat keurmerken, labels en milieuvriendelijke bouwmaterialen gestimuleerd moeten worden (Schreven, 2016).

Officiële keurmerken en labels

Onderstaand is een tabel weergegeven met keurmerken en labels, die tijdens het onderzoek naar bouwmaterialen voor de bouwconceptvariantentabel naar voren zijn gekomen.

Overzicht keurmerken en labels		
BREEAM		BREEAM-NL is een instrument om integraal de duurzaamheid van nieuwe gebouwen, bestaande gebouwen, gebieden en sloopp projecten te meten en te beoordelen. BREEAM-NL is afgeleid van het internationale BREEAM en wordt beheerd en ontwikkeld door de Dutch Green Building Council. BREEAM-NL kent vier verschillende keurmerken (BREEAM, z.d.).
LEED	Four Certification Levels 	Is een wereldwijd erkend systeem, dat wordt gebruikt om de duurzaamheid van gebouwen vast te stellen (B en R adviseurs, 2014). LEED is een scoresysteem met een lijst van af te vinken zaken. De lijst is afhankelijk van het type bouw (huizen, scholen, interieurs, et cetera), met individuele zaken waar punten voor verkregen kunnen worden. De score bepaalt dan of het gebouw basis certificering, zilver, goud of platina krijgt toebedeeld (Duurzaam gebouwd, 2009).
Nature plus		Is een label dat wordt toegekend aan bouwmaterialen die voldoen aan drie essentiële criteria: de gebruiksgeschiktheid, de veiligheid voor de menselijke gezondheid en de veiligheid voor het milieu (Aantoonbaar duurzaam bouwen, 2012).
DUBOkeur		Is een keurmerk wat laat zien dat een product tot de meest milieuvriendelijke producten in een bepaalde toepassing behoort. Hierin worden de producten geplaatst in klasse waarbij klasse 1 voor het meest milieuvriendelijk staat en klasse 7 voor onaanvaardbaar (DUBOkeur, 2014).
FSC		Het FSC-keurmerk geeft aan dat het hout afkomstig is uit een bos dat onafhankelijk is beoordeeld als een goed beheerd bos volgens normen voor milieu, sociale omstandigheden en economie (FSC, z.d.).
PEFC		Het internationaal onafhankelijk keurmerk ter bevordering van duurzaam bosbeheer (PEFC Nederland, 2012).
Keurhout		Is een door de overheid geaccepteerd handelsketensysteem voor het aantoonbaar leveren van duurzaam geproduceerd hout (Keurhout, 2013).

Cradle to Cradle		Wordt toegekend aan producten die voldoen aan eisen op het gebied van milieuvriendelijk-intelligent ontwerpen (C2C certified, z.d.). De Cradle to Cradle filosofie heeft veel overeenkomsten met de principes circulaire economie (Ellen MacArthur).
Eu ecolabel		Is een certificatieschema voor duurzamere producten en diensten en richt zich vooral op ecologische aspecten (Europees ecolabel, 2013).
MVO Nederland		MVO Nederland is een kennis- en netwerkorganisatie die het bedrijfsleven stimuleert om maatschappelijk verantwoord te ondernemen. MVO Nederland helpt ondernemers om de kansen van MVO te benutten; kansen die winst opleveren voor bedrijf, milieu en maatschappij (Eco-logisch, z.d.).
Milieukeur		Met een Milieukeur certificaat wordt voldaan aan de duurzaamheidsdoelstellingen van overheidsregelingen. Milieukeur is een Nederlands keurmerk voor producten en diensten die het milieu minder belasten. De eisen van het keurmerk worden vastgesteld bij SMK (Stichting Milieukeur) in samenspraak met producentenorganisaties, detailhandel, de Nederlandse overheid, wetenschappers en consumenten- en milieuorganisaties (Eco-logisch, z.d.).
EKO		Het EKO-keurmerk claimt dat het product (landbouwproducten en voedingsmiddelen) biologisch is. De belangrijkste zijn dat geen genetisch gemodificeerde organismen, kunstmest of chemisch-synthetische bestrijdingsmiddelen zijn gebruikt, vruchtwisseling plaatsvindt en bodemverbetering wordt toegepast met behulp van organische mest of plantenresten (Eco-logisch, z.d.).

Tabel 2. Overzicht labels en keurmerken.

Green Deals

Green Deals zijn afspraken tussen de Rijksoverheid en andere partijen om problemen op het gebied van wet- en regelgeving helder te maken en op te lossen. Met Green Deals helpt de Rijksoverheid, in de vorm van samenwerkingsverbanden, bedrijven, maatschappelijke organisaties en overheden om duurzame plannen uit te voeren. Green Deals zijn te plaatsen in de volgende thema's: energie, klimaat, water, grondstoffen, biodiversiteit, mobiliteit, biobased economy, bouw en voedsel (Green Deal, 2015). Ook specifiek voor de bouwsector zijn Green Deals opgesteld. Onderstaand worden vier Green Deals toegelicht die een duurzame stap in de bouwsector bevorderen.

1. Green Deal - Nederland hotspot voor circulaire economie

In samenwerking met Stichting Circle Economy, MVO Nederland en Amsterdam Economic Board is deze Green Deal afgesloten. Deze Green Deal heeft als doel de transitie naar circulaire economie te versnellen. Dit wordt gerealiseerd door praktijkcursussen op te pakken en de kennis en ervaring die hiermee opgedaan wordt te verspreiden (MVO, 2013).

2. Green Deal - Circulair Inkopen

In 2013 heeft MVO Nederland in samenwerking met Pianoo (expertisecentrum aanbesteden), Circle Economy (platform circulaire economie) en NEVI (inkooporganisatie) deze Green Deal ingevoerd. Het doel van Green Deal Circulair Inkopen is om in samenwerking met zowel publieke als private organisaties concrete afspraken te maken en ervaringen uit te wisselen om het leerproces te stimuleren om daarmee een impuls te geven aan circulair inkopen. Inmiddels hebben meer dan 20 organisaties zich aangemeld waaronder ABN-AMRO, Alliander, Dura Vermeer, Royal Haskoning DHV en Waternet (Schuurman, van Assen, Padding & Braam, 2013).

3. Green Deal - Circulaire Gebouwen

Eind 2014 is deze Green Deal gestart en is een initiatief van Corporate Facility Partners en de Rijksoverheid. De insteek hiervan is de ontwikkeling van een gebouwenpaspoort, waarin circulaire kenmerken van een gebouw zijn vastgelegd, in te voeren. Met een gebouwenpaspoort krijgen gebouwenbeheerders inzicht in de mate waarin gebouwen voldoen aan de circulaire principes (Bouwend Nederland, z.d.).

4. Green Deal – biobased bouwen

Deze Green Deal is in 2013 door 22 (biobased) bouwgerelateerde bedrijven ondertekend en de Ministerie van Economische Zaken, Infrastructuur en Milieu, het Ministerie van Wonen en Rijksdienst. Het doet hiervan is het gebruik van biobased materialen, producten en concepten in de bouw te stimuleren (Bouwtotaal, 2014).

4.3. Bouwmaterialen met een lage (carbon) footprint

Op materiaalgebied kan in de bouwsector een grote milieuwinst behaald worden. Hiervoor moeten bewuste keuzes gemaakt worden. Voor het Clean Tech House project worden drie bouwconceptvarianten ontwikkeld zoals beschreven in paragraaf 1.4. De uitgangspunten van de drie bouwconcepten zijn CO₂-reductie, de technische en biologische kringloop van circulaire economie. Hierbij is de technische kringloop is afgebakend tot demontabel bouwen en de biologische kringloop tot biobased bouwen. Onderstaande alinea's geven een beschrijving waaraan de bouwmaterialen aan moeten voldoen en worden er referentieprojecten toegelicht.

Bouwmaterialen met een lage carbon footprint

De bouwsector is één van de industriële sectoren waarbij de meeste grondstoffen en materialen worden ingezet. Het is daarom van belang dat er een reductie van CO₂-uitstoot plaatsvindt door optimalisatie van het materiaalgebruik in de bouwsector. Hernieuwbare bouwgrondstoffen met een aanzienlijk lage carbon footprint kunnen positief bijdragen aan de reductie van CO₂-emissies (van Dam & van den Oever, 2012). Bouwmaterialen met een lage carbon footprint hebben veel overeenkomsten met biobased bouwmaterialen, die verder in deze paragraaf worden toegelicht. Dit komt omdat deze materialen weinig processen hoeven te ondergaan waarbij CO₂ wordt uitgestoten en omdat zij CO₂ kunnen opnemen. Om het CO₂-uitstoot in de bouwsector te reduceren moet niet alleen gekeken worden naar de productieprocessen van de bouwmaterialen, maar ook naar het transport van bouwmaterialen naar de bouwplaats, de montage, het onderhoud en de afvalfase.

De levensfasen van een bouw materiaal kunnen op verschillende niveaus worden beoordeeld. Dit kan variëren van alleen de productiefase tot de volledige levenscyclus. De volgende berekeningen worden onderscheiden: Bij Cradle to Gate wordt alleen de CO₂-uitstoot bij de winning en het productieproces tot de fabriekspoort wordt hierbij berekend. Cradle to Site neemt ook het transport naar de bouwplaats en de montage op de bouwplaats in beschouwing. Bij Cradle to Grave wordt ook de periode tot einde functionele levensduur in beschouwing genomen. En als laatst wordt bij Cradle to Cradle ook de recycling van een product of materiaal meegenomen (VN Constructeurs, 2013). De CO₂-berekeningsmethode genoemd in paragraaf 2.6 heeft de CO₂-uitstoot berekend op basis van de *Cradle to Grave* cyclus.

CO₂ compenseren

Bij de winning, productie en verwerking van bouwmaterialen en producten wordt CO₂ uitgestoten. Dit is (bijna) niet te omzeilen. Een oplossing hiervoor is het compenseren van CO₂-uitstoot. Dit kan gerealiseerd worden door de woning of gebouw te voorzien van diverse installaties. Door middel van installaties kan een woning of gebouw zo uitgevoerd worden dat deze weinig energie verbruikt of deze energie zelf produceert door middel van zonnepanelen.

Er zijn twee referentieprojecten voor dit onderzoek geanalyseerd. Het eerste referentieproject betreft het Zero Carbon Building project. Dit gebouw stoot geen CO₂ uit en de CO₂ die is uitgestoten bij de realisatie van het gebouw (inclusief bouwmaterialen en transport) wordt gecompenseerd. Zie figuur 7 op de volgende pagina voor een korte toelichting en een weergave van dit project.

Referentieproject – Zero Carbon Building

De ZCB is het eerste CO₂-vrije gebouw in Hong Kong. De oriëntatie van het gebouw, natuurlijke materialen, zonwering en natuurlijke ventilatie stonden centraal in het ontwerp. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van milieuvriendelijke materialen om de milieubelasting zo laag mogelijk te houden. Om het CO₂ dat is uitgestoten tijdens de processen te compenseren is het gebouw voorzien van diverse installaties, welke het gebouw zelfvoorzienend maakt. CO₂ is ook bespaard door de transport afstand te minimaliseren en minder materiaal in te kopen waardoor minder afval ontstond dat verwerkt moest worden. Een uitgebreide beschrijving van het referentieproject is opgenomen in bijlage 7.



Figuur 7. Referentieproject Zero Carbon Building Hong Kong, (Archdaily, 2012).

Het tweede referentieproject is een project in Almere. Bij dit project stond zelfvoorzienend op energiegebied centraal. De bouwmaterialen hebben niet allemaal een lage milieubelasting, maar bouwmaterialen met een lage milieubelasting zijn waar mogelijk was toegepast. De woning in Almere heeft zich volledig ingezet in het optimaal isoleren van de woning en installaties. De CO₂-uitstoot wordt gecompenseerd doordat er gebruik wordt gemaakt van duurzame energiebronnen die geen CO₂-uitstoten. In deze scriptie staat de milieuwinst die behaald kan worden op materiaalgebied centraal, maar dit kan ook op meerdere manieren. Dit referentieproject is opgenomen in het onderzoek om aan te geven dat wanneer het niet mogelijk is om te bouwen met bouwmaterialen met een lage carbon footprint, dit een goede manier is om CO₂-uitstoot te compenseren. Zie figuur 8 voor een korte toelichting en een weergave van de zelfvoorzienende woning op energiegebied. In bijlage 7 is een uitgebreide toelichting van dit project opgenomen.

Referentieproject - Woonhuis Almere ; voorziet zichzelf van energie

Dit woonhuis in Almere is een combinatie van het unieke ontwerp met zeer innovatief gebruik van onder andere warmtewisselaars die met de heipalen mee geslagen zijn, warmte opslag, 20 zonnepanelen en zonnecollectoren op het dak, 10 PV-panelen op de veranda die bestaan uit PV buisjes waardoor het licht in de veranda valt en in de zomer tevens werkt als zonweringen. Daarnaast is de woning optimaal geïsoleerd en heeft het een EPC-waarde van -/ - 0,25.



Figuur 8. Woonhuis in Almere; heeft vrijwel geen CO₂-uitstoot (Huis vol energie, 2015).

Koppeling naar het Clean Tech House project

Het compenseren van CO₂-uitstoot is ook in de bouwconceptvariantentabel voor het Clean Tech House project doorgevoerd. De mogelijke bouwmaterialen voor het bouwconcept met uitgangspunt CO₂-reductie die genoemd zijn in paragraaf 5.2 zijn geselecteerd op afkomst. Dit houdt in dat bij de verschillende opties ook gekeken is naar de afkomst van het materiaal/product. Bouwmaterialen worden vervoerd over weg-, water- en luchtverkeer. Hoe korter de afstand is tot de bouwlocatie hoe minder CO₂ er uitgestoten wordt. Ook zit er verschil in de transportmogelijkheden zo wordt en bij watertransport minder CO₂-uitgestoten dan bij weg- en luchttransport.

Circulaire bouwen

Bij circulair bouwen wordt rekening gehouden met de twee kringlopen die de circulaire economie onderscheidt. Er moet nagedacht worden over hoe het ontwerp en materiaal op elkaar aansluiten.

Principes circulaire economie toegepast op bouwmaterialen

De principes van circulaire economie hebben een breed scala en kunnen worden toegepast in vele sectoren. De principes van circulaire economie toegepast op circulaire bouwmaterialen kunnen als volgt worden omschreven:

- Bij materiaal- en productkeuze wordt waardebehoud gemaximaliseerd door eerst te kijken naar het productgebruik, vervolgens naar hergebruik van onderdelen (materiaal) en als laatste naar het hergebruik van de grondstoffen.

- De producten en materialen zijn zo ontworpen en gemaakt dat deze aan het eind van de gebruiksfase makkelijk demontabel zijn en materiaalstromen eenvoudig gescheiden kunnen worden voor hergebruik of recycle.
- Tijdens het gebruik en de verwerking van het product en materiaal worden geen schadelijke stoffen uitgestoten of voor zover mogelijk is beperkt.
- De onderdelen en grondstoffen van een product, bijvoorbeeld een kozijn, kunnen worden hergebruikt zonder kwaliteitsverlies. Of de grondstoffen zijn biologisch afbreekbaar en worden teruggegeven aan de natuur.
- De producenten behouden het eigendom van de producten en materialen. Dit is een soort huurovereenkomst waarbij klanten betalen voor het gebruik en niet voor het bezit. Een andere mogelijkheid is dat de producent het product terugkoopt aan het einde van de gebruiksfase. Dit kan gezien worden als statiegeld dat is toegekend aan producten en materialen (Joustra et al., 2014).

Bovenstaande principes gaan voornamelijk in op het in gebruik nemen van nieuwe circulaire bouwmaterialen en producten. Echter kan ook gekozen worden voor hergebruikte en gerecyclede bouwmaterialen. Deze materialen hebben al eerder de gebruiksfunctie ondergaan en kunnen na het demonteren opnieuw in de levenscyclus worden ingezet. Paragraaf 4.1 is hier al kort op ingegaan. Onderstaande alinea's geven een verdiepende toelichting.

Hergebruikte bouwmaterialen

In de huidige maatschappij komen gebouwen en woningen steeds sneller aan het einde van hun prestatiecyclus en dat terwijl de materialencyclus gelijk blijft of juist langer wordt. Neem bakstenen hierbij als voorbeeld. De baksteen is niet duurzaam doordat zijn footprint groot is door de winning van de grondstoffen en de productie van het materiaal maar wel duurzaam doordat de baksteen langer mee gaat dan de woning of het gebouw zelf. Woningen en gebouwen worden gesloopt en veel materialen die nog zeker een prestatiecyclus van een woning kunnen worden ondergaan, worden verpulverd of verbrand. Als er op de huidige manier materiaal wordt toegepast waarbij constant gebruik wordt gemaakt van nieuwe materialen en producten, dan is er in 2030 per jaar zo'n 2.8 keer zoveel nodig aan grondstoffen als wat de wereld ons in één jaar kan leveren (SBRCURnet, 2015b).

Het toepassen van hergebruikte materialen levert milieuwinst op. Zo wordt bespaard op CO₂-uitstoot doordat niet opnieuw een productieproces in gang is gezet. Toch zitten er nog wel wat haken en ogen aan het toepassen van hergebruikt bouw materiaal. In de huidige bouwstijl is het lastig en vooral kostbaar om materialen terug te winnen. Dit komt omdat deze materialen bijvoorbeeld zijn samengevoegd. In dat geval zijn veel delen van het materiaal, nadat deze gedemonteerd zijn, zodanig vervuild dat het niet rendabel is om ze te hergebruiken. Ook moeten de eisen die gesteld worden aan hergebruikte materialen aangescherpt worden en worden opgenomen in het bouwbesluit, wettenbundels en overheidspublicaties. In het bouwbesluit staan technische voorschriften waaraan alle bouwwerken in Nederland moeten voldoen (Circle Economy, 2014).

Gerecyclede bouwmaterialen

Niet alle bouwmaterialen kunnen opnieuw worden toegepast in een bouwproject. Dit kan komen doordat de eigenschappen zijn aangetast zoals de sterkte van een materiaal of de esthetische waarde. In dit geval kunnen de materialen worden gerecycled. Bij dit proces worden de materialen of producten zo bewerkt en verwerkt dat zij kunnen dienen als grondstof voor nieuwe producten.

Recyclen kan opgedeeld worden in twee verschillende groepen, namelijk downcycling en upcycling. Bij downcycling worden de producten en materialen bewerkt als grondstof voor een vergelijkbaar doel. De grondstof is na het proces van een lagere kwaliteit als het originele product of materiaal. Bij upcycling worden afvalstoffen gebruikt om nieuwe, kwalitatief hoogwaardige producten te produceren. Het doel van upcycling is om verspilling van grondstoffen te voorkomen door potentiële en bruikbare producten en materialen te gebruiken (Environment, 2015).

Het toepassen van gerecycled bouw materiaal klinkt als de ideale oplossing maar ook hier zitten haken en ogen aan. Het bewerken en verwerking van de materialen en producten leidt tot extra inzet van energie en voor CO₂-uitstoot. Ook bij gerecyclede bouwmaterialen geldt dat de eisen die hieraan worden gesteld moeten worden aangescherpt en worden opgenomen in het bouwbesluit.

Technische kringloop – demontabel bouwen

Om de reguliere bouwmaterialen onderdeel uit te laten maken van de technische kringloop worden deze bouwmaterialen vaak demontabel toegepast. Demontabel houdt in dat verbindingen tussen materialen niet worden gelijmd of gekit maar door te schroeven of te klikken. Daarnaast moeten de bouwmaterialen met zo min mogelijk energie weer hergebruikt kunnen worden. Het inzetten van enkel de technische kringloop heeft een grote impact op het bouwtechnische ontwerp van een woning. Gebouwdelen zoals een constructie moeten volgens de technische kringloop op zichzelf demontabel zijn maar ook onafhankelijk van elkaar kunnen functioneren (BouwProfs Nederland, 2013). Demontabele woningen worden in Nederland nog niet veel gerealiseerd. Echter door de opspraak van grondstofschaarste en bouwgerelateerde afvalstromen is een stijgende lijn te zien in het aantal demontabele projecten. Als referentieproject voor dit onderzoek is onder andere het project van Green Building for All geanalyseerd. Zie figuur 9 voor een korte toelichting en een weergave van de demontabele woningen.



Figuur 9. Referentieproject De Grote Boel van GB4ALL (Grote Boel Parkwijk, 2016).

Vergelijkbare bouwconcepten

De concepten lego-bouw en containerbouw hebben veel overeenkomsten met demontabel bouwen. Echter zijn lego-bouw en containerbouw gericht op het hergebruiken van hele units en is demontabel bouwen vooral gericht op het demonteren en hergebruiken van losse materialen. In bijlage 7 wordt een verdiepende toelichting gegeven op deze concepten onder het kopje “Lego-bouw/containerbouw”.

Biologische kringloop – biobased bouwen

Als er volledig ingezet wordt op de biologische kringloop dan wordt er in principe ook circulair gebouwd omdat de materialen aan het einde van de levensduur van de woning kunnen worden opgenomen in de natuur (MVO Nederland, 2012). Een woning of gebouw volledig volgens de biologische kringloop uitvoeren wordt ook wel biobased bouwen genoemd.

Biobased bouwen, zoals de term al doet vermoeden, maakt gebruik van biologische materialen. Deze materialen worden daarom ook wel biobased materialen genoemd (bouwtootaal, 2014). Biobased materialen zijn gemaakt van grondstoffen afkomstig uit de natuur. Dit zijn grondstoffen die hernieuwbaar zijn of minerale grondstoffen die onbeperkt en zonder milieuschade gewonnen kunnen worden (van Dam & van den Oever, 2012). Er zijn diverse mogelijkheden voor vervanging van oppervlaktedelfstoffen die gebruikt worden voor reguliere bouwmaterialen door hernieuwbare materialen. Met name hout en houtproducten kunnen worden ingezet voor diverse bouwdelen als vervanging van staal, cement en beton voor heipalen, casco, vloerdelen, binnenwanden, en dakdelen (Eco-logisch, z.d.).

Als referentieproject voor dit onderzoek zijn een aantal biobased referentieprojecten geanalyseerd. Figuur 10 toont een biobased project en geeft een korte toelichting en een weergave van een biobased woning.



Figuur 10. Referentieproject Houten woonhuis te Eemnes (ORGA-architect, 2015).

Bovenstaande alinea's laten enkele referentieprojecten zien die in Nederland zijn gerealiseerd. In Nederland worden steeds meer woningen gebouwd die voldoen aan de principes van circulaire economie. Een van de uitgangspunten voor de woningen uit het Clean Tech House project is dat de woningen gewild en betaalbaar moeten zijn. In de volgende paragraaf worden de marktkansen van circulaire economie in de bouwsector en bouwmaterialen met een lage milieubelasting toegelicht.

4.4. Marktkansen

Als je nagaat dat de bouwsector voor 96 procent afhankelijk is van fossiele brandstoffen, voor 90 procent afhankelijk is van ruwe grondstoffen, en de bouwsector verantwoordelijk is voor 17 procent van de totale CO₂-uitstoot per jaar in Nederland, valt er in de bouwsector een grote winst te behalen. Ruwe grondstoffen zijn bijvoorbeeld ijzer, aluminium, zand en kalksteen (Doepel, 2015). Met ±40 procent van de totale afvalstroom is de bouwsector een van de grootste afvalproducenten in Nederland. Er liggen in de bouwsector dus veel kansen en uitdagingen voor een duurzamere en schone toekomst (Bastein, Roelofs, Rietveld, & Hoogendoorn, 2013). Toch is het voor de bouwsector niet altijd even makkelijk om op dit gebied te innoveren. Om dit inzichtelijk te maken is SWOT-analyse uitgevoerd. Een SWOT-analyse geeft de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen van een innovatie weer. Onderstaande alinea's geven de SWOT-analyses weer en is voorzien van een toelichting.

SWOT-analyse milieuwinst in de bouwsector

Duurzaam Gebouwd heeft in 2015 onderzoek gedaan naar circulaire economie specifiek in de bouwsector. Bij een scala aan bouwgerelateerde bedrijven is onderzocht in hoeverre circulaire economie al geïmplementeerd is en tegen welke problemen aangelopen wordt. Het toepassen van bouwmaterialen waarbij tijdens de winning, productie en verwerking weinig CO₂ is uitgestoten wordt momenteel nog niet veel in kaart gebracht. Dit komt mede omdat CO₂-uitstoot maar slechts één criteriumpunt is waarop een bouw materiaal getoetst wordt. Dit in tegenstelling tot het toepassen van circulaire bouwmaterialen, waarbij meerdere fases van het product worden beoordeeld. De bestaande SWOT-analyse van Duurzaam Gebouwd is aangevuld met eigen onderzoeksresultaten. Deze onderzoeksresultaten zijn gewonnen door middel van interviews/gesprekken met experts. Figuur 11 geeft de SWOT-analyse weer.



Figuur 11. SWOT-analyse circulaire economie in de bouwsector, uitgevoerd door Duurzaam Gebouwd (2015) aangevuld met eigen onderzoeksresultaten.

Toelichting SWOT-analyse

De SWOT-analyse geeft aan dat circulaire economie door de nieuwe generatie steeds vaker aan bod komt en geïmplementeerd wordt in de bouwsector. Een zwakte die daar tegenover staat is dat de meest ervaren bouwers/ingenieurs nog lineair denken en vooral willen bouwen met reguliere bouwmaterialen, waarbij het einde van de gebruiksfase de afvalfase betekent. Dit geldt ook voor bouwmaterialen met een lage carbon footprint. Er is steeds meer vraag naar duurzame/milieuvriendelijke producten en materialen, maar de achtergrondkennis ontbreekt vaak waardoor er verwarring ontstaat. Hierdoor valt de bouwsector terug op reguliere bouwmaterialen. Als de nieuwe generatie haar kansen pakt door pro-actief op de markt te gaan met milieuvriendelijke oplossingen en producten dan kunnen zij een voorspong nemen op de huidige generatie die nog (vaak) lineair denken. Het succes dat de nieuwe generatie hiermee behaald zal de huidige generatie doen nadenken om ook duurzaamheid en milieuvriendelijkheid te implementeren in hun bedrijfsvoering.

5. Betekenis onderzoeksresultaten voor het Clean Tech House project

In dit hoofdstuk wordt het tweede deel van de onderzoeksresultaten weergegeven. Deze resultaten zijn afgestemd en toegepast op het Clean Tech House project. In paragraaf 3.2 is toegelicht welke stappen zijn doorlopen bij het selecteren van mogelijk bouwmaterialen voor het Clean Tech House project. In paragraaf 5.1 wordt een opheldering gegeven over de afbakening van de bouwconcepten, waarna een tabel volgt waarin per bouwconcept de mogelijke bouwmaterialen zijn opgenomen. Bij het analyseren en selecteren van de bouwmaterialen kwamen knelpunten naar voren. Deze knelpunten zijn in paragraaf 5.2 beschreven.

5.1. Overzicht mogelijke bouwmaterialen

Keuzevrijheid bouwmaterialen

Voor het Clean Tech House project is onderzoek gedaan naar diverse bouwmaterialen die een milieuwinst opleveren ten opzichte van reguliere bouwmaterialen. Omdat er veel aanbod is van bouwmaterialen is een afbakening gemaakt waardoor de keuzevrijheid geminimaliseerd is. De technische kringloop is afgebakend tot demontabel bouwen en de biologische kringloop afgebakend tot biobased bouwen. Enige uitzondering bij biobased bouwen omdat het niet geheel mogelijk is (bij het Clean Tech house project) om 100% biobased te bouwen. Na deze afbakening is een beoordelings-/toetsingscriterium opgesteld, waardoor de keuzevrijheid nog beperkter is geworden.

Mogelijke bouwmaterialen voor Clean Tech House 2.0

In onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van bouwmaterialen die kunnen worden toegepast in het Clean Tech House project. Er zijn vier kolommen weergegeven waarvan de eerste kolom het (bouw)element beschrijft en de overige drie zijn afgestemd op de uitgangspunten van de drie bouwconceptvarianten.

Element	CO ₂ -reductie	Circulair – Technische kringloop (demontabel)	Circulair – Biologische kringloop (biobased)
Fundering	- Fundering op palen met houten balken (vuren)	- Betonpalen met prefab gewapende fundatie balken - Betonpalen met gewapende betonbalken	- Fundering met schuimbeton - Fundering op palen met houten balken (vuren)
Buitengevels	- De Clickbrick - Hergebruikt baksteen	- De Clickbrick - Lariks gevelbeplating - Plato Wood (Fraké)	- Lariks gevelbeplating - Plato Wood (Fraké)
Binnenspouwbladen	- Houtwolcement. - Houtskeletbouw (vuren)	- Prefab beton gevelement - Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)	- Houtskeletbouw (vuren) - Natuurgipsblokken - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)
Dragende wanden	- Houtwolcement - Houtskeletbouw (vuren)	- Prefab beton gevelement - Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)	- Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)
Woningscheidende wanden	- Houtwolcement, - Houtskelet (vuren)	- Prefab beton gevelement - Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)	- Houtskelet (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)
Lichte scheidingswanden	- Natuurgipsblokken - Houtskeletbouw (vuren)	- Prefab beton gevelement - Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)	- Natuurgipsblokken - Houtskeletbouw (vuren) - HIB-systeem (vuren, isolatie, bouwsysteem)
Isolatie (wanden)	- Isovlas - Houtvezel (Homatherm)	- Isovlas - Kingspan Kooltherm	- Houtvezel (Homatherm) - Hennep

		- Biopearls	- Biopearls - Isovlas
Isolatie (dak)	- Isovlas - Houtvezel (Homatherm)	- Isovlas - Kingspan Kooltherm - Houtvezel (Homatherm)	- Houtvezel (Homatherm) - Hennep - Isovlas
Begane grondvloer	- Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten - Vuren balkvloer, OSB vloerplaat	- Vuren balkvloer, multiplex vloerplaat - Houten kanaalplaatvloer - Kanaalplaatvloer	- Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten - Vuren balkvloer, OSB vloerplaat
Eerste verdiepingvloer	- Vuren balkvloer, OSB vloerplaat - Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat	- Houten kanaalplaatvloer - Kanaalplaatvloer - Prefab betonelement	- Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat - Vuren balkvloer, OSB vloerplaat
Dakvloer	- Vuren balkvloer, OSB vloerplaat - Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat	- Houten kanaalplaatvloer - Kanaalplaatvloer - Prefab betonelement	- Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat. - Vuren balkvloer. OSB vloerplaat
Dakbedekking	- OSB plaatmateriaal, vegetatie afwerking - Bitumen dakbedekking (Cradle to Cradle)	- OSB plaatmateriaal met Polyisobutyleen (PIB) dakbedekking - Bitumen dakbedekking (Cradle to Cradle)	- Lenotec plaatmateriaal, vegetatie afwerking - Lariks beplating - Plato Wood (Fraké)
Kozijnen (buiten)	- Meranti (FSC) - Merbau (FSC)	- Meranti (FSC) - Merbau (FSC) - Kunststof	- Meranti (FSC) - Merbau (FSC)
Kozijnen (binnen)	- Vuren - Meranti (FSC)	- Meranti (FSC) - Vuren - Kunststof	- Vuren - Meranti (FSC)
Deuren (buiten)	- Meranti (FSC) - Merbau (FSC)	- Meranti (FSC) - Merbau (FSC) - Kunststof	- Merbau (FSC) - Meranti (FSC)
Deuren (binnen)	- MDF (FSC) - Vuren	- MDF (FSC) - Vuren - Kunststof	- MDF (FSC) - Vuren
Eerste verdiepingstrap	- Vuren - Meranti (FSC)	- Vuren - Meranti (FSC)	- Vuren - Meranti (FSC)
Trappleuning/-hek	- Meranti (FSC) - Vuren	- Meranti (FSC) - Vuren	- Meranti (FSC) - Vuren
Goten en hemelwaterafvoeren	- Lariks (PEFC en FSC keurmerk) - Meranti (FSC)	- Meranti (FSC) - Lariks (PEFC en FSC keurmerk)	- Lariks (PEFC en FSC keurmerk) - Meranti (FSC) - Plato Wood (Fraké)

Tabel 3. Overzicht mogelijke bouwmaterialen bouwconcepten.

Toelichting tabel

Bouwconceptvariant één (CO₂-reductie)

De mogelijke bouwmaterialen voor dit bouwconceptvariant komen veel overeen met de mogelijk bouwmaterialen die zijn opgenomen in bouwconceptvariant drie. Het betreffen voornamelijk materialen van natuurlijke afkomst. Hout is een natuurlijk materiaal dat CO₂ kan opnemen, dit heeft een positief effect op het reduceren van CO₂. Echter kon in dit bouwconcept niet gekozen worden voor een houten gevelafwerking omdat de uitstraling overeen moet komen met de woningen uit het Clean Tech House 1.0. De woningen uit het Clean Tech House 1.0 project worden uitgevoerd met baksteen. Als de esthetische waarde geen onderdeel zou uitmaken van de criteria dan zou een houten gevelafwerking voor dit bouwconcept worden aanbevolen. De materialen die in dit bouwconceptvariant zijn opgenomen zijn in Nederland of omliggende landen voorradig of worden daar geproduceerd. Hiervoor is gekozen omdat de transportafstand kort te houden en zo te besparen op CO₂-uitstoot.

Bouwconceptvariant twee (Circulair – technische kringloop; demontabel)

Dit bouwconceptvariant richt zich voornamelijk op de aansluitingen van de verschillende bouwmaterialen en elementen. Om die reden zijn de bouwmaterialen en elementen ook niet afzonderlijk van elkaar geselecteerd maar is juist gekeken hoe de materialen aan elkaar aangesloten en gekoppeld konden worden. De verschillende koppelingen en aansluitingen worden niet in het bouwconcept vermeld. De materialen en componenten worden door middel van kliksystemen, schroeven en spijkers aan elkaar verbonden.

Bouwconceptvariant drie (Circulair – biologische kringloop; biobased)

De mogelijke bouwmaterialen die in dit bouwconceptvariant zijn opgenomen bestaan voornamelijk uit hout. Hout is een hernieuwbaar materiaal wat past binnen de biologische kringloop van circulaire economie. Een uitzondering is de fundering. Hier is gekozen voor de meest ecologische mogelijkheid.

Deelconclusie

In bovenstaande tabel is te zien dat eenzelfde bouw materiaal meerdere malen is opgenomen in alle drie de bouwconceptvarianten. De reden hiervan is dat de bouwmaterialen op meerdere criteria goed scoorde. Op deze manier konden de bouwmaterialen opgenomen worden bij alle drie de bouwconceptvarianten met verschillende uitgangspunten. Zo past het bouwen met voornamelijk hout in bouwconceptvariant drie ook goed bij bouwconceptvariant twee met als uitgangspunt demontabel bouwen. Om tot drie verschillende bouwconcepten te komen is daarom de keus gemaakt om, waar mogelijk was, verschillende bouwmaterialen op te nemen per bouwconcept.

Bouwconceptvariantentabel

Uit de mogelijke bouwmaterialen is een afweging gemaakt welke de meeste milieuwinst oplevert op het betreffende uitgangspunt van de bouwconceptvariant. De milieuwinst is inzichtelijk gemaakt door de milieu-effecten in kaart te brengen door middel van de methode en tool genoemd in de paragrafen 2.5 en 2.6. De uitkomsten van deze methode en tool kwamen niet altijd overeen. In bijlage 7 is per bouwconceptvariant een tabel opgesteld met welke methode en/of tool er is of zijn toegepast, welke overeenkomsten of verschillen er waren in de uitkomsten

In bijlage 8B zijn de drie bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House project opgenomen. De bouwconceptvarianten tonen de bouwmaterialen en de bijbehorende consequenties voor het milieu en de bouwers. Onderstaande afbeelding laat de weergave van de bouwconceptvarianten zien. Hierbij is alleen het element fundering weergegeven. In de complete bouwconceptvarianten volgen na de fundering de gevel en wanden, vloeren, daken, kozijnen, trappen, en goten- en hemelwaterafvoeren,

Variant 1: CO ₂ -reductie				
Bouwmateriaal			Milieu impact	Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu
Element	Materiaal	Eenheid	CO ₂ /kg	Voordelen
Fundering				Nadelen
Fundering				

Variant 2: Circulair - Technische kringloop				
Bouwmateriaal			Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal		Voordelen	Nadelen
Fundering				
Fundering				

Variant 3: Circulair - Biologische kringloop				
Bouwmateriaal			Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal		Voordelen	Nadelen
Fundering				
Fundering				

Figuur 12. Opzet/lay-out bouwconceptvarianten.

5.2. Knelpunten

Gedurende het onderzoek naar mogelijke bouwmaterialen voor de bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House project zijn een aantal knelpunten naar voren gekomen.

Combineren van materialen

Voor alle drie de bouwconcepten was een groot aanbod aan bouwmaterialen aanwezig. Uit het grote aanbod is de keuze gevallen voor bouwmaterialen die het beste scoren op het uitgangspunt van het bouwconcept. Door de bouwmaterialen naast elkaar te leggen, kwam al snel naar voren dat bepaalde bouwmaterialen niet met elkaar gecombineerd konden worden. De knelpunten bij het combineren van bouwmaterialen waren voornamelijk:

- Verschillende ondergrondtypen.
- Geen bevestigingsmogelijkheden.
- Overbelasting van materialen door bevestiging ander materiaal.
- Werking van bouwmaterialen (uitzetting en krimp).
- Levensduur van bouwmaterialen.
- Esthetisch aspect. Bouwmaterialen die niet kunnen worden afgewerkt moeten enigszins wel op elkaar afgestemd (kunnen) worden.

Om deze knelpunten te vóórkomen is het belangrijk om bouwmaterialen toe te passen die bij eenzelfde bouwtechniek worden ingezet.

Consequenties afwegen

Per bouw materiaal zijn de consequenties in kaart gebracht. De consequenties zijn door middel van de voor- en nadelen voor het milieu en de bouwers inzichtelijk gemaakt. Voor dit project wegen de consequenties voor het milieu zwaarder dan de consequenties voor de bouwers. Een van de uitgangspunten voor het Clean Tech House project is het realiseren van woningen met een lage footprint. Het inzichtelijk maken van de consequenties voor de bouwers was geen uitgangspunt van het Clean Tech House project. Om het gebruik van milieuvriendelijke bouwmaterialen te stimuleren, kan het inzichtelijk maken van de voor- en nadelen van bouwmaterialen een positieve stimulans leveren.

Hoe omgaan met deze knelpunten?

Dat de knelpunten aan het licht komen is erg belangrijk tijdens een project. Zo kunnen mogelijke problemen in een volgende fase opgelost worden, door deze knelpunten te bespreken met de belanghebbende van het project. Het is van belang dat bij de belanghebbende van het project helder is wat de uitgangspunten van het project zijn. Dit kan opgehelderd worden door de missie en visie van de opdrachtgevers en het project (opnieuw) te bespreken.

6. Discussie

In dit hoofdstuk wordt de kwaliteit van het onderzoek aan de hand van enkele aandachtspunten toegelicht. Ook wordt er kort ingegaan op de gevolgen van het project en het onderzoek. Dit onderzoek is gebaseerd op deskresearch, gesprekken en interviews met experts, een actieonderzoek en veldonderzoek. Doordat meerdere onderzoeksmethoden zijn toegepast zijn de onderzoeksresultaten gevalideerd.

Discussiepunten

Discussiepunt 1: Betrouwbaarheid uitkomsten methoden

Bij het uitvoeren van de onderzoeksmethodiek is er een aanpassing doorgevoerd. De milieu-effecten van de bouwmaterialen zouden met het LCA-softwareprogramma SimaPro in kaart worden gebracht. Hier kon echter geen gebruik van worden gemaakt omdat Saxion voor dit programma geen licentie had en dit erg prijzig bleek te zijn. Erik Goselink (projectleider en onderzoeker van Saxion) kwam met een vergelijkbare tool van de TU Delft. Deze tool gaf niet alle milieu-effecten weer en daarom is ervoor gekozen om een andere tool en methode toe te passen. De tool van het NIBE op basis van het TWIN-model en de Project Carbon Calculator van BAM zijn door middel van deskresearch gewonnen. De uitkomsten van de toegepaste tool en methode hadden overeenkomsten maar ook verschillen. Dit kan een discussieonderwerp vormen. De verschillen in uitkomsten zijn geanalyseerd door de berekenings-/beoordelingsmethoden te achterhalen. Hiervoor is contact opgenomen met de ontwikkelaars. Door middel van het analyseren van de berekenings-/beoordelingsmethoden is een keuze gemaakt welke het meest betrouwbaar was.

Na het downloaden van de Project Carbon Calculator van BAM werd geconcludeerd dat de database erg beperkt bleek te zijn en dat veel materialen onder eenzelfde "soort" werden geplaatst. Een voorbeeld hiervan zijn verschillende soorten hout. Elke soort hout brengt andere milieu-effecten met zich mee. In de Project Carbon Calculator kon er geen keuze worden gemaakt tussen houtsoorten maar kan alleen "hout" ingevoerd worden. Bij een aantal materialen is wel de Project Carbon Calculator toegepast, maar door de onbetrouwbare uitkomsten van de Project Carbon Calculator is voornamelijk de tool van het NIBE toegepast bij het analyseren van de milieu-effecten. De tool van het NIBE betreft een grote database waarin alle berekeningsmethoden zijn toegelicht, waardoor de betrouwbaarheid van de resultaten geborgd kon worden.

Discussiepunt 2: Kennis van bouwmaterialen

Er wordt een groot aanbod (milieuvriendelijk) bouwmaterialen aangeboden. Om bouwmaterialen uit te sluiten is enige kennis van bouwmaterialen een noodzaak geweest in dit onderzoek. De kennis is verkregen door middel van het raadplegen van onlinebronnen, literatuur, het raadplegen van experts en eigen kennis. Bij het selecteren van de bouwmaterialen, speelde de uitgangspunten van het Clean Tech House project ook een rol. Zo is er enigszins rekening gehouden dat het project aansluit bij de "mainstream" woningmarkt.

Discussiepunt 3: Toepasbaarheid onderzoeksresultaten

Ook kan de toepasbaarheid van de onderzoeksresultaten een discussieonderwerp vormen. Een van de bouwconceptvarianten heeft pas waarde als deze wordt toegepast in het Clean Tech House project 2.0 of opvolgende versies. Doordat er al een bouwconcept is opgesteld voor Clean Tech House 1.0 bestaat de kans dat, indien de monitoringsresultaten positief zijn, het onderzoek en de bouwconceptvarianten in een lade belandt. Vanuit de opdrachtgever moet de eerste stap worden gezet in het wijzigen van het bouwconcept en het toepassen van één van de bouwconceptvarianten.

De gevolgen van het project en onderzoek

Het Clean Tech House project is op het Cleantech Tomorrow congres op 5 april dit jaar gepresenteerd door Jan de Wit. Hierbij waren veel organisaties aanwezig die kennis hebben gemaakt met het project en de uitgangspunten van het project. De onderwerpen CO₂-reductie, het gebruik van circulaire bouwmaterialen en gezond wonen zijn tijdens de presentatie toegelicht. Door het project te presenteren is aangetoond dat het mogelijk is om te bouwen met materialen die minder belastend zijn voor het milieu en tegelijkertijd aansluiten bij de massa van de markt ("gewone woningen" voor "gewone mensen" die niet bijzondere interesse hebben voor duurzaamheid en/of energiebesparing) (Wit, 2016). Hierbij kan het Clean Tech House project een voorbeeldproject vormen voor andere projecten binnen Zutphen maar ook in andere dorpen en steden in Nederland. Bij de aankomende presentaties van de opvolgende versies van het Clean Tech House project kunnen de onderzoeksresultaten van dit onderzoek worden toegelicht. Zo kan benadrukt worden dat er meerdere mogelijkheden zijn om milieuwinst te behalen met een nieuwbouwproject.

7. Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de probleemstelling. Vervolgens worden aanbevelingen gedaan naar de partners van het Clean Tech House project.

7.1. Conclusie

De probleemstelling die voor dit onderzoek was opgesteld, luidt: *Wat zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House 2.0 en welke variant levert de meeste milieuwinst op?*

De beantwoording van de probleemstelling wordt opgesplitst in twee delen. Deel één beantwoordt de vraag wat de consequenties zijn van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het milieu en de bouwers en deel twee beantwoordt de vraag welke variant de meeste milieuwinst oplevert.

Deel 1: Wat zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie mogelijke bouwconceptvarianten voor het Clean Tech House 2.0?

De consequenties voor het milieu en de bouwers van de drie bouwconceptvarianten zijn inzichtelijk gemaakt door de voor- en nadelen van de bouwmaterialen in kaart te brengen. In onderstaande tabellen worden deze voor- en nadelen toegelicht.

Bouwconceptvariant 1: CO₂-reductie	
Consequenties milieu	Consequenties bouwers
Een reductie van CO ₂ heeft een positief effect op het broeikas effect. Echter moet het toepassen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint op grote schaal worden toegepast wil dit resultaat opleveren. Bouwmaterialen met een lage carbon footprint kunnen wel een grote ecologische footprint hebben. Dit komt bijvoorbeeld doordat deze materialen grote oppervlakte in beslag nemen waardoor het materiaal hoog scoort op landgebruik bij een LCA. Gezien de periode waarin het onderzoek is uitgevoerd is het niet gelukt om CO ₂ -besparing te kwantificeren in vergelijking met het bouwconcept van Clean Tech House 1.0. Wel zijn bouwmaterialen toegepast die in de meeste gevallen minder CO ₂ hebben uitgestoten gedurende de winning, productie en verwerking.	De consequenties voor de bouwers zijn niet groot. Veel materialen die een CO ₂ -besparing opleveren op het project worden momenteel al toegepast in de reguliere bouwtechniek. De bouwmaterialen in deze bouwconcept hebben overeenkomsten met bouwconcept 3: Circulair – Biologische kringloop. De nadelen liggen bij de nieuwe bouwmaterialen die nog onbekend zijn bij de bouwers. Hier is het belangrijk dat de bouwers voorzien worden van de juiste informatie hoe zij om moeten gaan met het materiaal en hoe deze verwerkt moet worden. Het bouwen met CO ₂ -reductie als uitgangspunt vereist een andere manier van werken en dat de bouwers en slopers meer verantwoordelijkheden krijgen.

Bouwconceptvariant 2: Circulair -Technische kringloop	
Consequenties milieu	Consequenties bouwers
Demontabele bouwmaterialen conform de technische kringloop van circulaire economie kunnen nadelige effecten hebben voor het milieu. Een vereiste is dat de materialen opnieuw ingezet kunnen worden en gemakkelijk demontabel zijn. Dit kunnen dus ook bouwmaterialen zijn die meer milieu-effecten hebben. Een voorbeeld hiervan zijn kunststof kozijnen. Deze kunnen volledig opnieuw worden ingezet, dus helemaal circulair. Echter hebben kunststof kozijnen wel een grotere footprint/milieu-impact dan houten kozijnen. Bij deze bouwconceptvariant is het milieu-effect milieubelasting	Veel demontabele bouwmaterialen worden al met regelmaat toegepast in de bouwsector. Echter zijn het vaak de koppelingen en aansluitingen die op een speciale manier uitgevoerd dienen te worden. Voor de bouwers is het belangrijk dat er informatie ter beschikking is zodat de bouwers niet uit automatisme bouwmaterialen op een regulier wijze aan elkaar aansluiten. Ook bij deze bouwconceptvariant geldt dat demontabel bouwen een andere manier van werken vereist en dat de bouwers en slopers meer verantwoordelijkheden krijgen.

grondstoffen wel meegenomen maar weegt minder zwaar dan bouwconceptvariant 3 (biobased bouwen). Circulaire bouwmaterialen moeten her te gebruiken zijn. Net zoals de consequentie genoemd in bouwconceptvariant één, kan ook hier de vraag gesteld worden of de bouwmaterialen die momenteel worden toegepast over tientallen jaren ook nog kunnen worden hergebruikt, of zijn er dan al andere technieken en innovaties die dit belemmeren?	
--	--

Bouwconceptvariant 3: Circulair -Biologische kringloop	
Consequenties milieu	Consequenties bouwers
Biobased bouwmaterialen scoren in veel LCA's hoog op het beoordelingspunt landgebruik. Biobased bouwmaterialen zijn namelijk afkomstig uit de natuur. Door veel gebruik te maken van biobased bouwmaterialen kan gesteld worden dat het project een grote footprint heeft. Echter zijn deze materialen hernieuwbaar en groeien dus weer terug. Indien biobased materialen niet verantwoord gewonnen worden dan heeft dit een grote impact op het milieu.	De consequenties voor de bouwers zijn vooral dat veel materialen nog moeten worden afgewerkt, en dat dit tijd in beslag neemt. Biobased materialen als hout worden al veelal toegepast in de bouwsector en heeft om die reden ook geen (nieuwe) voor- en nadelen. Voor nieuwe biobased materialen ligt dit anders. Veel bouwers hebben nog nooit met het materiaal gewerkt en dit kan problemen met zich meebrengen. Net als bij de consequenties bij bouwconceptvariant één is het dan ook belangrijk dat de bouwers voorzien worden van instructies hoe zij om moeten gaan met deze materialen. Het delen van kennis is hierbij ook erg belangrijk. En ook bij deze bouwconceptvariant geldt dat biobased bouwen een andere manier van werken vereist en dat de bouwers en slopers meer verantwoordelijkheden krijgen.

Deel twee: Welke variant levert de meeste milieuwinst op?

Om tot deze conclusie te komen is voorafgaand een afweging gemaakt welk uitgangspunt zwaarder weegt en daardoor meer milieuwinst op zou kunnen leveren. CO₂-reductie is een onderwerp dat wereldwijd besproken wordt en waarvoor ambities en doelstellingen zijn opgesteld (in onder andere het Kyoto-protocol). Maar ook grondstofschaarste is een onderwerp dat steeds vaker ter sprake komt bij leveranciers en consumenten. Zij geven aan meer te willen betalen voor materialen en producten indien deze milieuvriendelijk is. De groeiende afvalstromen is niet altijd zichtbaar voor leveranciers en consumenten, het is daarom van belang dat dit benadrukt wordt. Alle drie de milieuvraagstukken zijn belangrijk, maar welk vraagstuk en bouwconceptvariant levert meer milieuwinst op? Deze vraag wordt onderstaand beantwoord.

Bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop) conform de principes van demontabel bouwen levert de meeste milieuwinst op. Het toepassen van demontabele bouwmaterialen minimaliseert namelijk alle drie de milieuvraagstukken (CO₂-reductie, grondstofschaarste en het verminderen van afvalstromen). CO₂ wordt gereduceerd doordat het materiaal dat wordt toegepast al klaar is om opnieuw ingezet te kunnen worden. Voor het materiaal hoeven niet opnieuw processen te ondergaan waarbij energie wordt verbruikt en CO₂ wordt uitgestoten. Indien het demontabele materiaal opnieuw in Nederland wordt ingezet, kan er ook een besparing van CO₂-uitstoot plaatsvinden doordat de transportafstand mogelijk korter is. Grondstofschaarste wordt geminimaliseerd omdat het materiaal volledig opnieuw ingezet kan worden of bewerkt kan worden tot een nieuw materiaal. Doordat het materiaal (volledig) opnieuw kan worden ingezet bij een volgend project worden de bouwgerelateerde afvalstromen geminimaliseerd. Bouwconceptvarianten één en drie hebben veel overeenkomsten. Bouwconceptvariant één (uitgangspunt CO₂-reductie) levert minder milieuwinst op omdat voornamelijk is gefocust op CO₂-reductie. De bouwmaterialen die in dit bouwconcept zijn opgenomen hebben een grote(re) footprint dan de materialen uit bouwconceptvariant twee door het landgebruik. Bouwconceptvariant drie (uitgangspunt biobased

bouwen) levert minder milieuwinst op doordat de materialen een grote milieu-effect hebben op landgebruik en niet (veel) beter scoren dan de demontabele bouwmaterialen.

7.2. Aanbevelingen

Vanuit de conclusie zijn aanbevelingen opgesteld naar de partners en betrokken partijen van het Clean Tech House project voor de milieuwinst die behaald kan worden in de bouwsector en op projectniveau.

Aanbeveling 1: Toepassen bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop)

Van de drie bouwconceptvarianten die zijn opgesteld voor het Clean Tech House project levert bouwconceptvariant twee (circulair – technische kringloop) de meeste milieuwinst op. Voor het Clean Tech House project 2.0 wordt dan ook het tweede bouwconceptvariant aanbevolen. Omdat alle drie de bouwconceptvarianten milieuwinst opleveren ten opzichte van het bouwconcept van Clean Tech House 1.0, kan ook de keuze worden gemaakt om in de opvolgende versies alle drie de bouwconcepten door te voeren. Dit heeft echter wel invloed op de monitoring die wordt uitgevoerd en de resultaten hiervan. Dit zal ter discussie moeten worden gesteld.

Aanbeveling 2: Meer onderzoek naar bouwmaterialen met een lage carbon footprint

Binnen het Cleantech Center is veel kennis aanwezig over circulaire economie en circulair bouwen. Zowel bij het Cleantech Center als op diverse geraadpleegde bronnen is informatie over bouwmaterialen met een lage carbon footprint beperkt. Uiteraard wordt bij het toepassen van circulaire bouwmaterialen ook CO₂ bespaard omdat de bouwmaterialen her te gebruiken en/of te recyclen zijn en niet opnieuw alle levensfasen en processen hoeven te ondergaan. Meer onderzoek kan gedaan worden naar bouwmaterialen die in Nederland gewonnen, geproduceerd en verwerkt worden en de transportvormen binnen Nederland. Omdat op materiaalgebied veel winst behaald kan worden in de bouwsector is het aan te bevelen om meer onderzoek hiernaar uit te voeren.

Aanbeveling 3: Clean Tech House in the spotlight

Deze aanbeveling benadrukt de urgentie van CO₂-reductie, grondstofschaarste en bouwgerelateerde afvalstormen binnen Nederland. Het Clean Tech House project heeft de eerdergenoemde onderwerpen als uitgangspunten opgesteld. Doordat deze uitgangspunten zijn toegepast op projectniveau kan inzichtelijk worden gemaakt dat de milieu-impact van deze onderwerpen geminimaliseerd kunnen worden. Het is van belang om niet alleen de ontwerpen van de woningen te presenteren maar ook de behaalde resultaten uit de monitoring. De woningen uit het Clean Tech House project worden gemonitord, zoals vermeld in paragraaf 1.3. De resultaten van de monitoring kunnen gepresenteerd worden om aan te tonen dat wonen in een milieuvriendelijke woning voor elke doelgroep toegankelijk is. Maar ook dat het wonen in een milieuvriendelijke woning niet altijd van buitenaf gezien hoeft te worden. Zo wordt een grotere doelgroep aangesproken en kan er een grotere milieuwinst behaald worden als meerdere projecten zoals het Clean Tech House worden gerealiseerd.

Bronnenlijst

- Aantoonbaar duurzaam bouwen. (2012). *Natureplus*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van Aantoonbaar duurzaam bouwen:
<http://www.aantoonbaarduurzaambouwen.nl/keurmerken/natureplus/>
- Alles duurzaam. (z.d.). *Keurmerken – Cradle to Cradle*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van Alles duurzaam:
http://www.allesduurzaam.nl/keurmerken/keurmerken_item/t/cradle_to_cradle
- Archdaily. (2012). *Zero Carbon Building / Ronald Lu and partners*. Opgeroepen op juni 10, 2016 van Archdaily:
<http://www.archdaily.com/282880/zcb-zero-carbon-building-ronald-lu-and-partners>
- B en R adviseur. (2014). *Leed certificering*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van B en R adviseurs:
<http://www.benr-adviseurs.nl/example/leed-certificering/>
- Baarda, B., Bakker, E., Fisher, T., Julsing, M., Peters, V., van der Velden, T., et al. (2013). Hoe kies je een opzet waarmee je de onderzoeksvraag beantwoordt? In B. Baarda, E. Bakker, T. Fisher, M. Julsing, V. Peters, T. van der Velden, et al., *Basisboek kwalitatief onderzoek: Handleiding voor het opzetten en uitvoeren van kwalitatief onderzoek*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers.
- BAM. (2009a). *Project Carbon Calculator tool*. Opgeroepen op januari 27, 2016, van BAM CO₂ desk:
<http://www.bamco2desk.nl/pcctool>
- BAM. (2009b). *Reductie van CO₂-emissie in de praktijk*. Opgeroepen op januari 27, 2016, van BAM CO₂ desk:
http://www.bamco2desk.nl/sites/default/files/domain-73/documents/uitgerekend_co2-emissie_2009-73-13510039701734232518.pdf
- Bastein, T., Roelofs, E., Rietveld, E., & Hoogendoorn, A. (2013). *Kansen voor de circulaire economie in Nederland*. Delft: TNO.
- Biobased bouwen. (2015). *Producten*. Opgeroepen op mei 18, 2016 van Biobased bouwen:
<http://www.biobasedbouwen.nl/producten/>
- Blass, J. (2016, april 19). Milieubelasting bouwmaterialen. (S. de Wit, Interviewer).
- Blijeveld, M.M., Bergsma, G.C., Krutwagen, B.T.J.M. en Afman, M.A. (2014) *Metten is weten in de bouw*. Delft: CE Delft.
- Bouwend Nederland. (z.d.) *Duurzaam materiaalgebruik*. Opgeroepen op juni 6, 2016 van Bouwend Nederland:
<http://www.bouwendnederland.nl/themas/duurzaamheid/sub/duurzaam-materiaalgebruik>
- BouwProfs Nederland. (2013). *Gaat de overgang van lineaire naar circulaire bouw de bouw op de kaart zetten als innovatieve sector?* Opgeroepen op januari 28, 2016, van BouwProfs Nederland:
<http://bouwprofsnederland.nl/forum/topics/innoveer-naar-circulaire-bouw>
- Bouwtotaal. (2014). *Biobased bouwen vraagt om cultuuromslag*. Opgeroepen op juni 7, 2016 van Bouwtotaal:
<http://www.bouwtotaal-online.nl/artikel/actueel/79/biobased-bouwen-vraagt-cultuuromslag-1448/1448/>
- BREEAM. (z.d.). *Over BREEAM*. Opgeroepen op mei 18, 2016 van BREEAM:
<https://www.breeam.nl/over-breeam>
- C2C certified. (z.d.). *Get certified*. Opgeroepen op juni 8, 2016 van C2C certified:
<http://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>
- CBS. (2015). *Leegstand woningen 2015*. Opgeroepen op juni 1, 2016, van Centraal Bureau voor de Statistiek:
<https://www.cbs.nl/nl-nl/zoeken?query=keyword%3a%22leegstaande+woningen%22>

- Centric. (z.d.). *Visie op veranderingen in de bouw*. Opgeroepen op februari 12, 2016, van Centric: <http://www.centric.eu/NL/Default/Branches/Bouw/Experts/Peter-Stolk/Visie-op-veranderingen-in-de-bouw>
- Circle Economy. (2014). *Circulair bouwen "Het fundament onder een vernieuwde sector"*. Opgeroepen op februari 3, 2016, van Circle economy: <http://www.circle-economy.com/wp-content/uploads/2015/02/ABN-AMRO-Circulair-Bouwen.pdf>
- Cleantech Agenda. (2015). *Cleantech Agenda – een groeidocument*. Opgeroepen op januari 26, 2016, van Cleantech Regio: <http://cleantechregio.nl/wp-content/uploads/2015/03/Cleantech-Agenda-een-groeidocument-20150320.pdf>
- Climate action. (2015). *Paris Agreement*. Opgeroepen op februari 29, 2016, van Europese Commissie: http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_wn.htm
- Club green. (z.d.). *Industrieel, Flexibel en demontabel bouwen*. Opgeroepen op mei 19, 2016 van Club green: <http://www.clubgreen.nl/ifd-bouwen/>
- Daas Baksteen. (z.d.). *Over Daas Baksteen*. Opgeroepen op mei 10, 2016, van Daas Baksteen: <http://www.daasbaksteen.nl/Home/Over-Daas-Baksteen/page.aspx/17>
- Dam, J. v. en Oever, M. v. d. (2012) *Catalogus Biobased bouwmaterialen; het groene bouwen*. Wageningen: Propress
- Doepel, D. (2015). *Naar een circulaire en inclusieve bouwpraktijk*. Rotterdam: Kenniscentrum RDM
- DUBOkeur. (2014). *DUBOkeur product uitleg*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van DUBOkeur: <http://www.dubokeur.nl/files/DUBOkeurproductuitleg.html>
- Duurzaam aandeel. (2014). *Sector: Bouw en Vastgoed*. Opgeroepen op maart 9, 2016, van Duurzaam aandeel: <http://www.duurzaamaandeel.nl/sectoren/10/bouw-vastgoed>
- Duurzaam gebouwd. (2009). *Zin en onzin over LEED*. Opgeroepen op mei 30, 2016, van Duurzaam gebouwd: <http://www.duurzaamgebouwd.nl/onderzoek/20080814-zin-en-onzin-over-leed>
- Duurzaam gebouwd. (2015). *Mindset van bouw bepalend voor succes*. Opgeroepen op juni 1, 2016, van Duurzaam gebouwd: <http://www.duurzaamgebouwd.nl/evenementen/20151022-mindset-van-bouw-bepalend-voor-succes>
- Eco-logisch. (z.d.). *Milieukeurmerken*. Opgeroepen op mei 30, 2016, van Eco-logisch: <https://www.eco-logisch.nl/kennisbank.asp?ContentID=129&ParentID=223>
- Energie overheid. (2015). *Uitstoot CO₂ stijgt in Nederland*. Opgeroepen op januari 19, 2016, van Energie overheid: <http://www.energieoverheid.nl/2015/02/17/uitstoot-co2-stijgt-nederland/>
- Environment. (2015). *Upcycling, Downcycling, and how to tell the difference*. Opgeroepen op februari 12, 2016, van The University of Tennessee: <http://environment.utk.edu/2015/02/25/upcycling-downcycling-and-how-to-tell-the-difference/>
- Europees ecolabel. (2013). *EU ecolabel*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van Europees ecolabel: <http://www.europeesecolabel.nl/28/home.html>
- Europa Nu. (2015a). *Klimaatconferentie Parijs 2015 (COP21)*. Opgeroepen op mei 17, 2016 van Europa Nu: https://www.europa-nu.nl/id/vjmhg41ub7pp/klimaatconferentie_parijs_2015_cop21
- Europa Nu. (2015b). *Building sector: Europe's local goverment call time on waste*. Opgeroepen op maart 9,

2016, van Europa Nu:

http://www.europa-nu.nl/id/vjt665s39pyp/nieuws/building_sector_europe_s_local?ctx=vhvqjodvo2p7

- Europe 2020. (2012). *Europe 2020 in a nutshell*. Opgeroepen op februari 29, 2016, van European Commission: <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/sustainable-growth.htm>
- European Commission. (2014). *Communication from the commission to the European Parlement, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions on recourse efficiency in the building sector*. Opgeroepen op maart 9, 2016, van European Commission: <http://eu.europa.eu/environment/eussd/pdf/SustainableBuildingsCommunication.pdf>
- FSC. (z.d.). *Wat doet FSC?* Opgeroepen op mei 18, 2016, van FSC: <http://www.fsc.nl/nl-nl/fsc/wat-doet-fsc>
- Goselink, E., Holle, M. en Sitte, H. (2013) *LCA in productontwikkeling*. Enschede: z.u.
- Green Deal. (2015). *Green Deal aanpak*. Opgeroepen op juni 14, 2016 van Green Deal: <http://www.greendeals.nl/green-deal-aanpak/>
- Groene grondstoffen. (2013). *Groen bouwen met hernieuwbare grondstoffen*. Opgeroepen op januari 25, 2016, van Wageningen UR: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Groen%20bouwen.pdf>
- Grote Boel Parkwijk. (2016). *Project Parkwijk De Grote Boel*. Opgeroepen op juni 10, 2015 van Green Building for All: <http://www.groteboelparkwijk.nl/parkwijk/gb4all/>
- Horizon 2020. (2015). *What is Horizon 2020?* Opgeroepen op februari 29, 2016, van European Commission: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>
- Huis vol energie. (2015). *Vrijstaande woning in Almere*. Opgeroepen op juni 29, 2016 van Huis vol energie: <https://huisvolenergie.nl/woning/vrijstaande-woning-2014-almere>
- IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014, synthesis report*. Opgeroepen op januari 26, 2016, van IPCC: <http://ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Joustra, D. J., Loorbach, D., Schoolderman, H., Van den Dungen, P., Van den Beukel, J.-W., Van Eijk, F., & Van Raak, R. (2014). *OPAi Ondernemen in een circulaire economie*. Amsterdam: One Planet Architecture institute.
- Keurhout. (2013). *Labelgebruik*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van Keurhout: <http://www.keurhout.nl/content/labelgebruik>
- Leesten is TOP. (2013). *GZB Waterrandwoningen*. Opgeroepen op januari 11, 2016, van Leesten is TOP: http://www.leestenistop.nl/cms_media/gzb-waterrandwoningen-1e-fase.pdf
- Living project homes. (2016). *Containerbouw*. Opgeroepen op mei 16, 2016, van Living project homes: <http://www.livingprojecthomes.com/containerbouw/>
- Milieudatabase. (z.d.). *Milieuprestatie en rijksbeleid*. Opgeroepen op juni 13, 2016 van Stichting bouwkwaliteit: <https://www.milieudatabase.nl/>
- Ministerie van VROM. (2010). *Dossier Duurzaam Bouwen en Verbouwen, overzicht strategieën*. Opgeroepen op februari 8, 2016, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brochures/2010/06/01/informatieblad-strategieen-duurzaam-bouwen/informatieblad-strategieen-duurzaam-bouwen.pdf>
- MVO Nederland. (2012). *Circulaire economie dossier*. Opgeroepen op januari 25, 2016, van MVO Nederland:

<http://mvonederland.nl/circulaire-economie-dossier>

- MVO Nederland. (2013). *Persbericht: Green Deal 'Nederland hotspot voor circulaire economie' van start*. Opgeroepen op juni 1, 2016, van MVO Nederland:
http://www.mvonederland.nl/sites/default/files/persbericht_green_deal_nederland_hotspot_circulaire_economie_2.pdf
- MVO Nederland. (2015). *Nut en noodzaak*. Opgeroepen op juni 29, 2016 van MVO Nederland:
<http://mvonederland.nl/grondstoffen/nut-en-noodzaak>
- NIBE; Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie. (2016). *Omschrijving methode milieuclassificaties bouwprojecten*. Opgeroepen op februari 29, 2016, van NIBE:
<http://www.nibe.info/nl/methode>
- NIBE; Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie. (2011a). *Onze missie*. Opgeroepen op april 20, 2016, van NIBE:
<http://nibe.org/nl/over-nibe/onze-missie>
- NIBE; Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie. (2011b). *Onze partners*. Opgeroepen op april 20, 2016, van NIBE:
<http://nibe.org/nl/over-nibe/onze-partners>
- ORGA-architect. (2015). *Houten woonhuis te Eemnes*. Opgeroepen op juni 10, 2016 van ORGA-architect:
<http://www.orga-architect.nl/project/houten-woonhuis/>
- ORGA bouw. (2015). *Over ORGA bouw*. Opgeroepen op mei 12, 2016, van ORGA bouw:
<http://www.orga-bouw.nl/over-orga-bouw/>
- PEFC Nederland. (2012). *Wat is PEFC*. Opgeroepen op mei 18, 2016, van PEFC Nederland:
<http://www.pefcnederland.nl/output/wat-is-pefc>
- Port of Amsterdam. (z.d.). *Biobased & circulaire economie*. Opgeroepen op januari 25, 2016 van Port of Amsterdam:
<http://www.portofamsterdam.nl/Ned/On-with-energy/Biobased-ampamp-circulaire-economie.html>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2013). *Bijlage MJA3; onderscheid primair – secundair energieverbruik*. Opgeroepen op maart 9, 2016, van Agentschap NL; Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie:
http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Bijlage_MJA3_hoofdstuk_3B_Protocol_Monitoring_methodiek.pdf
- Rijksoverheid. (2014). *Duurzame economie*. Opgeroepen op juni 2, 2016, van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie>
- Rijksoverheid. (2016). *Energielabel woning*. Opgeroepen op juni 9, 2016 van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/energielabel-woningen-en-gebouwen/inhoud/energielabel-woning>
- Rijksoverheid. (z.d.). *Bouwbesluit 2012*. Opgeroepen op juni 13, 2016 van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/inhoud/bouwbesluit-2012>
- RIVM. (2013). *Wat is fijnstof; dossier*. Opgeroepen op februari 15, 2016, van Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu:
http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Uitgaven/Milieu_Leefomgeving/Dossier_Fijn_stof
- SBRCURnet. (2015a). *Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken*. Opgeroepen op juni 13, 2016 van Stichting bouwkwaliteit:

<https://www.milieudatabase.nl/imgcms/brochure-bepalingsmethode-milieuprestatie-feb-2015.pdf>

- SBRCURnet. (2015b). *Hergebruik van bouwmaterialen op elementniveau*. Opgeroepen op februari 12, 2016, van SBRCURnet:
<http://www.sbrcurnet.nl/blogs/hergebruik-van-bouwmaterialen-op-elementniveau>
- Schuurman, M., Van Assen, E., Padding, T., & Braam, G. (2013). *Green deal circulair inkopen* (MVO Nederland, Pianoo, Circle Economy, NEVI). Z.u.
- Schreven, P. (2016, mei 11). Biobased bouwen en labels/keurmerken. (S. de Wit, Interviewer).
- SER. (2014). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Opgeroepen op februari 29, 2016, van: SER:
<http://www.energieakkoord.nl/energieakkoord.aspx>
- Segregation. (2012). *How can a green building save you money*. Opgeroepen op maart 7, 2016, van Segregation holding:
<http://www.segregationholding.com/blog/how-can-green-buildings-save-you-money/>
- Solidworks Sustainability. (z.d.). *Life Cycle Assessment*. Opgeroepen op maart 2, 2016, van Solidworks
<http://www.solidworks.com/sustainability/sustainable-design-guide/ch4-life-cycle-assessment.htm>
- Soutwest Environmental. (z.d.). *Life Cycle Assessment*. Opgeroepen op maart 7, 2016, van SWEL:
http://www.southwest-environmental.co.uk/further%20info/life_cycle_assessment/life_cycle_assessment_consultants.html
- Topsectoren.nl. (2013). *Bedrijvenbeleid en Nederlandse topsectoren*. Opgeroepen op maart 2, 2016, van Topsectoren.nl:
<http://www.topsectoren.nl/over-topsectoren>
- Trouw. (2011). *Bouwwereld zal voorgoed door de crisis veranderen*. Opgeroepen op februari 12, 2016, van Trouw:
<http://www.trouw.nl/tr/nl/4324/Nieuws/article/detail/1848999/2011/01/24/rsquo-Bouwwereld-zal-voorgoed-door-crisis-veranderen-rsquo.dhtml>
- Turntoo. (2016). *Lineaire economie*. Opgeroepen op juni 3, 2018, van Turntoo:
<http://turntoo.com/nl/bouwen-met-een-toekomst/>
- Twist, B. v. (2016, mei 15). Containerbouw. (S. de Wit, Interviewer).
- VN Constructeurs. (2013). *Duurzaam construeren met materialen*. Opgeroepen op juni 15, 2016 van VN Constructeurs:
<http://www.vnconstructeurs.nl/Upload/Documenten/20140423%20Reader%20Duurzaamheid%20construeren%20met%20materialen.pdf>
- Wit, J. d. (2016). *Het concept Clean Tech house, toegepast in Zutphen* [Notitie].
- Zadelhoff, A. v. (2016, mei 9). Circulaire economie en de Clickbrick. (S. de Wit, Interviewer).

Bijlagendocument

Behorend bij de scriptie "Milieuwinst in de bouwsector"

Bijlage 1 Trefwoordenlijst

Biobased bouwen: Biobased bouwen maakt gebruik van hernieuwbare grondstoffen die van biologische oorsprong zijn. Dit zijn grondstoffen uit gewassen die door fotosynthese CO₂ uit de lucht vastleggen.

Bouwconceptvariantentabel: Is een overzicht van drie bouwconceptvarianten. Bouwconceptvariant één heeft als uitgangspunt CO₂-reductie behalen met bouwmaterialen die qua esthetische waarde weinig afwijken van het bouwconcept van Clean Tech House 1.0/Waterrandwoningen. Bouwconceptvariant twee heeft als uitgangspunt de technische kringloop van circulaire economie (afgebakend tot demontabel bouwen). Bouwconceptvariant drie heeft als uitgangspunt de biologische kringloop van circulaire economie (afgebakend tot biobased bouwen). Voor elk bouwconceptvariant zijn de consequenties voor het milieu en de bouwers in kaart gebracht.

Bouwsector: Een bedrijfstak dat zich bezighoudt met het produceren van woningen en andere bouwwerken zoals kantoorpanden, ziekenhuizen en scholen. Tot de bouwsector behoren onder andere aannemers/bouwbedrijven, installateurs, sloopbedrijven en bedrijven in de grond-, weg-, en waterbouw.

Carbon footprint: Een vergelijkingsinstrument (milieumaat) voor de uitstoot van CO₂. Bij het bouwen van woningen wordt veel materiaal en materieel ingezet die CO₂ uitstoten of hebben uitgestoten gedurende de winning, productie, verwerking en het gebruik ervan. Door de carbon footprint op projectniveau inzichtelijk te maken kunnen veel besparingen worden gerealiseerd in de bouwsector.

Circulaire economie: Circulaire economie streeft naar een economie waarin materiaalstromen efficiënt worden gerecycled, die volledig draait op basis van hernieuwbare grondstoffen en een economie zonder negatief effect op menselijk leven of het ecosysteem. Circulaire economie onderscheidt twee kringlopen, de technische en de biologische. Door de kringlopen te sluiten wordt hergebruik en recycle van producten en grondstoffen gemaximaliseerd en worden de (ecologische en economische) waarden zoveel mogelijk behouden.

Circulair bouwen: Bij circulair bouwen moet rekening worden gehouden met de twee kringlopen die de circulaire economie onderscheidt (zie trefwoord circulaire economie). De bouwmaterialen die worden toegepast moeten aan het einde van de levensduur van de woning kunnen worden opgenomen in de natuur of moeten demontabel zijn. Demontabele bouwmaterialen moeten met zo min mogelijk energie kunnen worden ingezet bij een ander project.

CO₂: Het eindproduct van volledige verbranding van bijvoorbeeld fossiele brandstoffen. CO₂ is een klein molecuul en is onder normale omstandigheden altijd een gas. Dit gas wordt ook wel broeikasgas genoemd. Meer broeikasgas in de atmosfeer zorgt voor een versterkt broeikaseffect: de atmosfeer houdt daardoor meer warmte vast. Oftewel: de gemiddelde temperatuur op aarde stijgt.

CO₂-reductie: Het terugdringen van de CO₂-uitstoot. In dit onderzoek wordt CO₂-reductie als volgt ingevuld: het toepassen van bouwmaterialen die tijdens de winning, productie en verwerking minder CO₂ hebben uitgestoten dan een regulier bouw materiaal. Indien dit niet mogelijk was is er gekozen voor materialen met een korte transportafstand om zo CO₂ te kunnen besparen. Maar ook het toepassen van circulaire bouwmaterialen leidt tot een CO₂-reductie.

Consequenties: De voor- en nadelen van de bouwmaterialen die genoemd zijn in de bouwconceptvarianten voor het milieu en de bouwers.

Demontabel bouwen: Het toepassen van bouwmaterialen/componenten die zonder veel handelingen gedemonteerd kunnen worden en opnieuw kunnen worden ingezet bij een volgend gebouw/project.

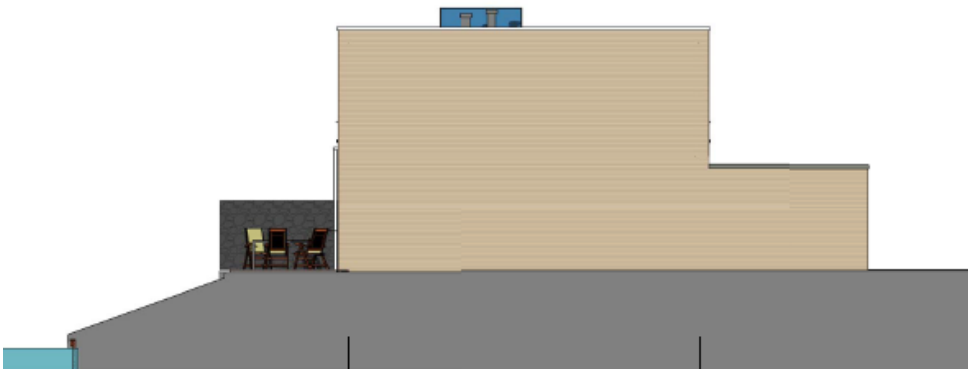
Milieuwinst: Het minimaliseren van de milieubelasting door het toepassen van duurzamere bouwmaterialen. De milieuwinst in dit onderzoek uit zich in het toepassen van bouwmaterialen met een lage carbon footprint, het minimaliseren van bouwafval en het tegengaan van grondstofschaarste door het toepassen van circulaire bouwmaterialen.

Bijlage 2. Ontwerptekeningen Clean Tech House

Voorgevel (Oost)



Linker zijgevel (Zuid)



Achtergevel (West)



Rechter zijgevel (Noord)



Bijlage 3. Partners Clean Tech House project

De volgende organisaties (MKB-bedrijven) nemen deel aan het Clean Tech House project:

Organisatie	Rol
Attika Architecten	Ontwerp van de Clean Tech woningen en de bouwregie.
Aannemersbedrijf Peters b.v.	Realisatie van de Clean Tech woningen en bouwkundig advies.
Christiaans aannemersbedrijf	Realisatie van de Clean Tech woningen en bouwkundig advies.
TK Architectuur en bouwmanagement	Constructeur.
Installect Installatie advies	Installatie ontwerp.
Klimenai installatietechniek	Realisatie van woning installaties inclusief klimaatinstallaties.
Hello Niles	Ontwerp woningbesturingssysteem.
Transcarbo	Leverancier en ontwikkelaar van intelligente deuren en kozijn.
Co-education	Innovatie op het gebied van de voorziening van elektriciteit in de Clean Tech woningen.
Viridi Production BV	Ontwikkelen van PVT-panelen.
Clean Tech Center Zutphen	Het ontwikkelen van Clean Tech concepten met Clean Tech House als concrete toepassing.

Belangen deelnemende organisaties

De deelnemende organisaties hebben allen een ambitie met betrekking tot een duurzame toekomst en een duurzame en schonere bouwsector. De ambities van het Clean Tech House project sluiten hier nauw op aan. De partners hebben uiteraard ook diverse belangen waardoor zij mee willen werken aan het project. Zo spelen zij op deze wijze in op de maatschappelijke trends, kunnen zij kennis op doen over energiezuinig en milieuvriendelijk bouwen en vergroten en verbeteren zij hun marktkansen op dit gebied.

De volgende kennisinstellingen nemen deel aan het Clean Tech House project:

Kennisinstelling	Rol
Saxion (lectoraten: Duurzame energievoorzieningen, Industrial Design, Ambient Intelligence, International Water Technology, Innovatieve technologie in de bouw, Ethiek en Technologie)	Projectmanagement, (mede)ontwerp van innovatieve installaties, onderzoek naar het gedrag van de bewoners, installaties en regeltechniek, onderzoek naar het toepassen van circulaire bouwmaterialen, rapportage en het inzetten van studenten voor onderzoeken.
ROC Aventus	Inzet studenten van de opleidingen bouwkunde en installatietechniek op mbo-niveau.
Technische Universiteit Eindhoven (TUE)	Ondersteuning bij het ontwikkelen van een intelligent woning besturingssysteem en innovaties op het gebied van intelligente apparaten.

Bijlage 4. Bouwconcept Waterrandwoningen/Clean Tech House 1.0

Deze bijlage betreft het bouwconcept van de waterrandwoningen/Clean Tech House 1.0. Er is een selectie weergegeven waarbij de installaties, hang- en sluitwerk, sanitair en de plafond-, wand- en vloerafwerking zijn weggelaten. Dit is op deze wijze geselecteerd omdat het geen onderdeel uitmaakt van dit onderzoek gezien de beperkte onderzoeksperiode.

Fundering

Aan de hand van de resultaten van de uitgevoerde sonderingen/het uitgevoerde terreinonderzoek wordt het navolgende funderingssysteem toegepast: Fundering op palen.

Korte omschrijving met toegepaste materialen, één en ander conform het advies van de constructeur en/of in overleg met bouw- en woningtoezicht: Betonpalen en gewapende betonbalken. De kruipruimte wordt geventileerd door middel van 6 roosters in de voor-, achter- en zijgevels.

Gevels en wanden

Voor de diverse constructieonderdelen worden de volgende materialen toegepast:

- | | |
|----------------------------|---|
| • Buitengevels | Baksteen, genuanceerde handvorm steen in de kleurstelling tussen bruin en geel volgens opgaaf architect |
| • Binnenspouwbladen | Kalkzandsteen lijmelementen |
| • Dragend binnenmetselwerk | Kalkzandsteen |
| • Woningscheidende wanden | Kalkzandsteen lijmelementen |
| • Lichte scheidingswanden | Gipsblokken |

Voor de isolatie van de gevels ($R_c \geq 4,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) wordt hoog rendement PIR-hardschuim isolatieplaat toegepast.

Het voegwerk van de buitengevels wordt in een nader te bepalen kleur uitgevoerd.

In het buitengevelmetselwerk wordt voldoende aantal open stootvoegen aangebracht ten behoeve van ventilatie en/of afwatering. De volgende binnenmuren worden gedilateerd: kalkzandsteen lijmelementen. Deze dilatatievoegen worden afgewerkt met een zogenaamd wapeningsgaas in het stucwerk.

Vloeren

- | | |
|-----------------------------|---|
| • De begane grondvloer | Geïsoleerde kanaalplaatvloer ($R_c \geq 5,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) |
| • De eerste verdiepingvloer | Kanaalplaatvloer |
| • De dakvloer | Kanaalplaatvloer |
| • Vloer bergruimte/garage | Geïsoleerde kanaalplaatvloer |

Voor de toegang tot de kruipruimte wordt in de hal een sparing gemaakt in de begane grondvloer. Deze sparing wordt afgedekt met een kierdicht geïsoleerd kruipluik, voorzien van een luikoog.

Daken

Het dak van de woning wordt opgebouwd als een kanaalplaatvloer welke aan de bovenzijde wordt voorzien van een gesmeerde afschotvloer. Deze afschotvloer wordt geïsoleerd middels een EPS-isolatie systeem en afgewerkt met A.P.P. gemodificeerde bitumineuze dakbedekking.

Het dak van de berging wordt opgebouwd als een vuren balklaag bekleed met spaanplaat V313, welke aan de bovenzijde afgewerkt wordt met bovenzijde voorzien van A.P.P. gemodificeerde bitumineuze dakbedekking.

- Dakbedekking Bitumineuze dakbedekking

Indien een platdakconstructie wordt toegepast, heeft deze constructie een minimaal afschot van 15 mm per m1. Tevens wordt de constructie voorzien van de noodzakelijke ventilatieopeningen.

Kozijnen

De gevel kozijnen van de woning worden uitgevoerd als 'later te plaatsen' kozijnen. Een en ander wordt uitgevoerd in aluminium, voorzien van een polyamide thermische onderbreker.

De gevel kozijnen van de buitenberging en de voordeur van woning worden uitgevoerd als traditioneel in de bouwfase geplaatste hardhouten kozijnen.

- | | |
|------------------|--|
| • Buitenkozijnen | Aluminium |
| • Voordeur | Hardhout |
| • Bergingdeur | Okumé plaatdeur |
| • Binnenkozijnen | Stalen fabrieksmatig afgelakte nastel kozijnen |
| • Binnendeuren | Fabrieksmatig afgelakte opdekdeuren, deurhoogte 231.5 cm |

Trappen

Voor de toegang van de eerste verdieping wordt een dichte trap geplaatst.

Materiaalomschrijving van:

- | | |
|--------------------------|---|
| • Eerste verdiepingstrap | Vurenhout |
| • Trappleuning/-hekken | Meranti trappleuning en spijlen hekwerk |

Goten en hemelwaterafvoeren

De hemelwaterafvoeren worden aangesloten op het oppervlaktewater. Materiaalomschrijving van hemelwaterafvoeren: pvc-kleur grijs.

Bijlage 5. Aanvulling onderzoeksmethodiek

Vergelijking (CO₂) berekeningsmethode en een LCA-tool

Om de milieu-effecten van de geselecteerde bouwmaterialen in kaart te brengen is gebruik gemaakt van een LCA-tool en een berekeningsmethode. In onderstaande twee tabellen worden de tool en de berekeningsmethode toegelicht. Hierdoor worden de verschillen en overeenkomsten van de gebruikte onderzoeksmethoden inzichtelijk gemaakt.

TWIN-model van het NIBE	
Soort	Milieuclassificatiemethode / LCA-tool (database)
Te raadplegen via	http://www.nibe.info
Kosten	Gratis. Om toegang te krijgen tot de database moet een account worden aangemaakt.
Materiaalkeuze	De materialen komen uit de zeer uitgebreide database. De database wordt maandelijks geüpdatet zodat de database altijd recent is.
Doelgroep	Studenten, bouwbedrijven en aannemers.
Leercurve	Enige kennis van bouwmaterialen is handig. Alle aspecten worden nader toegelicht indien gewenst.
Database	Stichting Bouwkwiteit (SBK) database, aangevuld met de Nationale Milieudatabase en kennis van de LCA-methodiek CML-2 en de methode van Muller-Wenk.
Compatibiliteit andere software	Geen software vereist. Alles is toegankelijk via internet.
Presentatie resultaten	De resultaten worden weergegeven op de website. Bij het aanklikken van een bouw materiaal worden milieucriteria als emissies, landgebruik, uitputting en diverse hinder toegelicht. Ook worden de producteigenschappen beschreven en wordt er ingegaan op opvallende milieueigenschappen.

Project Carbon Calculator (PCC)	
Soort	Methode
Download	http://www.bamco2desk.nl/pcc
Kosten	Gratis. Het zip-bestand (download) is enkel te verkrijgen door contact op te nemen via de website. In uw mailbox ontvangt u dan een zip-bestand met hierin de PCC-tool.
Materiaalkeuze	De materialen welke zijn opgenomen in de Acces Database zijn niet heel uitgebreid. Dit betreft de meest voorkomen bouwmaterialen. Materialen kunnen zelf wel worden toegevoegd in het programma alleen moet je zelf achter de emissies komen en invoeren.
Doelgroep	Studenten, bouwbedrijven en aannemers.
Leercurve	Basiskennis van het Officeprogramma Acces Database is vereist. Er zit een handleiding bij welke duidelijk aangeeft hoe je gegevens moet invoeren.
Database	Opgesteld door BAM CO ₂ -desk, toevoegingen kunnen door ketenpartners worden doorgegeven. Deze worden dan getoetst en zo nodig doorgevoerd.
Compatibiliteit andere software	Het programma betreft een Microsoft Office Acces-bestand. Deze is te openen met het Officeprogramma Acces.
Presentatie resultaten	De resultaten worden weergegeven in het Officeprogramma Acces. Er kan een keuze worden gemaakt om dit als rapportage af te drukken, dit betreft een samenvatting van alles wat is ingevuld. Er wordt een overzicht van het geselecteerde materiaal weergegeven + het aantal CO ₂ -uitstoot voor en na een reductiemaatregel.

Bijlage 6. Verslaglegging interviews

Om diepgaande informatie te winnen is een aantal interviews afgenomen. Vooraf zijn organisaties/personen geselecteerd met wie een interview zou moeten plaatsvinden. Gezien de periode van het afstudeeronderzoek en de drukke agenda's hebben niet alle interview plaats kunnen vinden. Interviews die niet konden doorgaan zijn de interviews met Douwe Jan Joustra, directeur van ICE Amsterdam en Hans Olthaar, algemeen directeur van GB4ALL. GB4ALL is een referentienieuwbouwproject te Nijmegen. De bouwmaterialen zijn 100% recyclebaar. Op 16 april was een informatiedag voor het project GB4ALL georganiseerd. Tijdens deze dag is wel informatie verkregen maar er heeft geen interview plaatsgevonden.

Ter voorbereiding van de interviews is er een interviewprotocol opgesteld. Per interview werd het protocol aangepast aan de persoon die geïnterviewd werd. Voorafgaand heeft er vooronderzoek naar de desbetreffende persoon en organisatie plaatsgevonden.

Interviewprotocol

1. Opening en uitleg opbouw interview
 - introductie onderzoek
2. Introductie interviewer
 - functie
 - ervaring over de onderwerpen (CO₂-reductie, circulaire economie in de bouwsector/ bouwmaterialen)
3. Introductie geïnterviewde
 - functie
 - ervaring over de onderwerpen (CO₂-reductie, circulaire economie in de bouwsector/ bouwmaterialen)
4. Onderwerpen
 - CO₂-reductie
 - circulaire economie
 - de bouwsector/ bouwmaterialen
 - producten en concepten organisatie
5. Afronding
 - bedanken voor de tijd die de geïnterviewde heeft genomen voor het interview en voor de kennis gedeelde kennis.

De volgende interviews hebben plaatsgevonden:

Interview	Onderwerp	Geïnterviewde
1A	Visie en missie is op het gebied van circulaire bouwmaterialen en hoe zij tegenover de certificaten en labels staan.	Arie van Zadelhoff, commercieel directeur van Daas Baksteen.
1B	Visie en missie is op het gebied van CO ₂ -reductie, circulaire en biobased bouwmaterialen en hoe zij tegenover de certificaten en labels staan.	Jörg Blass van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE).
2A	Visie en missie over circulaire economie en de aanleiding van het concept containerbouw.	Benjamin van Twist, eigenaar van Living project homes.
3A	(Het bouwen met) Biobased bouwmaterialen	Patrick Schreven, directeur ORGA bouw.

Alle uitwerkingen zijn geaccrediteerd door de geïnterviewde personen en zijn weergegeven vanaf de volgende pagina.

Interview 1A Daas Baksteen

Geïnterviewde: Arie van Zadelhoff

Datum: 9 mei 2016

Introductie

Daas Baksteen is een bedrijf dat al sinds 1890 gevel- en straatstenen produceert. Daas Baksteen heeft drie fabrieken waar de gevel- en straatstenen worden geproduceerd; De Nijverheid en De Volharding in Zeddam en De Vliet in Winterswijk. Daas Baksteen heeft een uitgebreid assortiment bakstenen en elke creatieve oplossing is mogelijk. Veel aandacht wordt besteed aan de behoefte en wensen van de markt, hiervoor wordt veel gecommuniceerd met onder andere architecten. Het aanbod beperkt zich niet alleen tot een basisselectie maar de klant kan ook een eigen mix samenstellen. Om de klant een beeld te geven hoe de mix eruit komt te zien heeft Daas Baksteen de texturengenerator ontwikkeld. Dit is een online tool om een beeld te krijgen hoe de mix van gevelstenen eruit komt te zien. Naast de selectie van bakstenen kan er ook een keuze worden gemaakt in voegkleuren, voegtypen en metselverbanden. Daas Baksteen staat voor kwaliteit en innovatie en heeft duurzaamheid en ecologische waarde hoog in het vaandel. Zo is er een product ontwikkeld, de ClickBrick, conform de Cradle tot Cradle principes (Daas Baksteen, z.d.).

Arie van Zadelhoff (commercieel directeur) van Daas Baksteen is geïnterviewd om meer kennis te winnen omtrent de visie en missie op het gebied van CO₂-reductie, het gebruik van circulaire en biobased bouwmaterialen en certificaten en labels die een duurzame/milieuvriendelijke bouwsector bevorderen. Ook is meer informatie gewonnen over de ClickBrick. Dit is een baksteen welke demontabel is en conform de principes van circulaire economie is ontworpen.

Visie en missie omtrent circulaire economie in de bouwsector

Daas Baksteen maakt onderscheidende straatstenen, gevelstenen en gevelsystemen met gezonde materialen en een duurzaam karakter. Alle producten zijn Cradle to Cradle gecertificeerd en staan in dienst van de circulaire economie. Indien er producten worden gevraagd die niet aan deze kernwaarden voldoen zal Daas Baksteen ook bedanken voor de opdracht.

De noodzaak van milieuwinst in de bouwsector

In het verleden heeft Daas Baksteen grond- en hulpstoffen toegepast die slechts nog beperkt voorradig zijn. Deze praktijkvoorbeelden leren een bedrijf hoe kwetsbaar je bent en bovenal wat je verantwoordelijkheden zijn naar de toekomst van de aarde. Dit heeft bij Daas Baksteen geleid naar nieuwe inzichten en doelen. De grond- en hulpstoffen die momenteel worden toegepast zijn voorradig en er wordt gebruik gemaakt van hergebruikt en gerecycled materiaal. Daarnaast zijn alle producten van Daas Baksteen voorzien van een Cradle to Cradle keurmerk zoals eerder is vermeld.

Bevorderen van milieuwinst in de bouwsector

De keurmerken en labels die bij Daas Baksteen bekend zijn, zijn DUBOkeur, Cradle to Cradle en Greenworks. DUBOkeur is een keurmerk dat toegekend wordt aan producten, grondstoffen, installaties en woningen. Deze groepen worden beoordeeld door het analyseren van LCA's en worden daarna geplaatst in een klasse. Klasse 1 staat voor beste keus (meest milieuvriendelijk en klasse 7 staat voor onaanvaardbare keuze. Het Cradle to Cradle keurmerk wordt toegekend aan producten welke voldoen aan eisen op het gebied van milieuvriendelijk-intelligent ontwerpen. De drie leidende basisregels van zijn; afval is voedsel; zon is de energiebron en respect voor diversiteit. Dit keurmerk kent vijf varianten (Basis, Brons, Zilver, Goud en Platinum). Waarbij platinum de hoogste eisen stelt aan een product, het proces en bedrijf. Greenworks is een label dat wordt toegekend aan duurzame bouwmaterialen. Dit label geeft door middel van een score (Greenworksscore) de milieubelasting van een product weer.

De ClickBrick

De aanleiding van de ClickBrick was dat het Daas Baksteen instaat stelt gevels te leveren die naadloos passen in Flexibele bouw (demotabel). Stenen kunnen mee verhuizen met het project, of onzichtbaar een aanpassing realiseren naar een andere functie. De ClickBrick is een keramisch product bestaande uit klei en verschalingsmaterialen. De kleur van de stenen bepaald wordt bepaald door de afkomst van de klei. Variërend uit lokale klei op 1 km afstand van de fabriek tot een handelsklei op maximaal 60 km afstand rondom de fabriek.

Voor- en nadelen van woningen welke met de ClickBrick worden uitgevoerd

Woningen welke worden uitgevoerd met de ClickBrick hebben een aantal voordelen. Zo is de Clickbrick volledig demontabel, is te huren of leasen, geen witte uitslag op de gevel, niet weersafhankelijk in de applicatie, geen cement of lijm nodig en de steen blijft een hele lange tijd mooi in uitstraling. Enkele nadelen van de ClickBrick zijn dat de stenen bijzonder maatvast zijn en daarom vragen om een intensieve voorbereiding van de tekentafel tot aan de uitvoering. Daarnaast laten de ClickBrick stenen zich moeilijk aanpassen op de bouwplaats en kunnen er vrijwel geen aanpassingen meer worden gedaan.

Interview 1B Het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie

Geïnterviewde: Jörg Blass

Datum: 19 april 2016

Introductie

Het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE) draagt al meer dan 25 jaar bij aan een milieuvriendelijke bebouwde omgeving. De expertise van het NIBE uit zich in innovatie adviezen, onderzoeken, ontwerpen op het gebied van duurzaam bouwen, beleid en materiaalkeuze. Het NIBE wil nationaal en internationaal koploper zijn in techniek, wetenschap en milieubewust en gezond bouwen. De missie van het NIBE is het leveren van een bijdrage aan een vreedzame, gezonde, veilige, duurzame samenleving (NIBE, 2011a). Om deze missie na te streven wordt er nauw samengewerkt met diverse partners. De partners van het NIBE bestaan onder andere uit Dutch Green Building Council, MVO Nederland en Duurzaam gebouwd (NIBE, 2011b).

Enkele projecten die het NIBE heeft uitgevoerd zijn onderzoeken naar het reduceren van de milieu-effecten door product- en procesoptimalisatie, circulariteit, levenscyclusanalyses en harmonisatie van rekentools (borgen en vergelijken van de resultaten bij de berekeningen van de milieu-effecten). Dit is echter maar een kleine selectie van de onderzoeken die het NIBE heeft uitgevoerd.

Jörg Blass (commercieel directeur) van het NIBE is geïnterviewd om meer kennis te winnen omtrent de visie en missie op het gebied van CO₂-reductie, het gebruik van circulaire en biobased bouwmaterialen en certificaten en labels die een duurzame/milieuvriendelijke bouwsector bevorderen.

De noodzaak van milieuwinst in de bouwsector

Op dit moment is het NIBE bezig om het energievraagstuk op te lossen door energieneutraal bouwen te adviseren en te stimuleren. Als de energieneutrale woning standaard is, wordt het overgrote deel van de resterende milieubelasting door bouwmaterialen veroorzaakt. Voor het NIBE ligt op dat gebied een uitdaging voor de komende periode. De noodzaak voor milieuwinst in de bouwsector wordt om die reden ook urgenter. De focus ligt momenteel nog op energieneutraliteit maar op materiaalgebied kan er misschien wel een grotere milieuwinst behaald worden.

Wet- en regelgeving op materiaalgebied

De verwachting is dat op materiaalgebied een drempel (schaduwkosten) vastgelegd wordt, vergelijkbaar met de EPC op energiegebied. Deze drempel wordt dan successieveloos verlaagd om het gebruik van duurzame materialen te stimuleren. Sinds 2013 is het verplicht om bij een omgevingsvergunningsaanvraag een materiaalprestatieberekening gebouw (MPG) in te dienen. Daarmee kan de duurzaamheid van de materiaalkeuze onderbouwd worden. Aan het MPG hangen ook wel wat problemen. Eén daarvan is dat de gemeente dit nog niet handhaaft. Een gevolg hiervan is dat de aanbestedende diensten het doel (toepassen van duurzame bouwmaterialen) uit het oog verliezen.

“Er zou een Europese regeling moeten komen dat de duurzaamheid van bouwmaterialen een verplicht onderdeel van bouwvergunningen in alle landen wordt. De EU kan hier echter alleen een kader schetsen, de individuele landen moeten hieraan invulling geven”.

Bevorderen van milieuwinst in de bouwsector

Voor het bevorderen van milieuwinst in de bouwsector zijn er certificaten/keurmerken en labels ontwikkeld. De certificaten/keurmerken en labels die bekend zijn bij het NIBE zijn het DUBOkeur bouwmaterialen en Cradle to Cradle. De milieuclassificatie is door het NIBE ontwikkeld en brengt per bouw materiaal de milieu-effecten en schaduwkosten in kaart. Daarmee kunnen bouwmaterialen in een bepaalde toepassing milieutechnisch met elkaar vergeleken worden. Alleen zeer milieuvriendelijke materialen komen in aanmerking voor een DUBOkeur.

Voor- en nadelen van woningen welke milieuvriendelijk worden uitgevoerd

De voordelen van milieuvriendelijke woningen zijn dat deze woningen beter te verkopen zijn, duurzame bouwmaterialen zorgen voor een gezonder binnenklimaat en een duurzame materiaalkeuze vraagt vaak ook minder onderhoud. Maar ook aan milieuvriendelijke woningen hangen een aantal nadelen, zo moet de architect meer moeite doen om duurzame materialen per toepassing te vinden en eventueel het ontwerp hierop afstemmen en aannemers hebben niet altijd voldoende ervaring met duurzame bouwmaterialen en willen liever met standaardoplossingen werken. En wat natuurlijk ook niet onbelangrijk is, is dat duurzame bouwmaterialen niet altijd de goedkoopste materialen zijn (veelal duurder). De meerkosten hebben vaak geen terugverdientijd, dit zit anders bij energiematregelen welke dat wel hebben.

Interview 2A Living project homes

Geïnterviewde: Benjamin van Twist

Datum: 15 mei 2016

Introductie

Living project homes is een jong en dynamisch bedrijf dat zich bezighoudt met het realiseren van duurzame, energiezuinige woningen, recreatiewoningen, noodwoningen, autonome woningen, autonome systemen en woningprojecten. Dit doen zij door af te wijken van de traditionele bouwwijzen en gebruik te maken van duurzame materialen om het milieu minimaal te belasten. Dit kan zijn in opdracht van particulieren, gemeenten, woningbouwcorporaties of institutionele beleggers. De woningen bestaan uit modulaire delen gecombineerd met staalbouw, die voor een groot gedeelte al in de fabriek worden geassembleerd (Living project homes, 2016).

Benjamin van Twist, eigenaar Living project homes, is geïnterviewd om meer kennis te winnen omtrent de visie en missie op het gebied van circulaire economie in de bouwsector. Ook is meer informatie gewonnen over het concept "containerbouw".

Visie en missie omtrent circulaire economie in de bouwsector

Living project homes probeert zoveel mogelijk gerecycled materiaal te gebruiken, dit is helaas nog simpelweg niet altijd mogelijk. Als dit niet mogelijk is proberen zij een duurzaam alternatief te gebruiken. Het is niet altijd mogelijk om veel duurzame producten te gebruiken omdat onze producten altijd klant specifiek zijn en de klant is koning. Een voorbeeld hiervan is een klant die zijn wanden netjes glad afgewerkt en geschilderd wilt hebben, hiervoor moeten wij als ondergrond gipsplaten gebruiken, gips is geen duurzaam product.

De noodzaak van milieuwinst in de bouwsector

Benjamin van Twist vindt circulaire economie in de bouw- en vastgoedsector noodzakelijk, tot in zekere zin. Op het moment dat het (nog) niet mogelijk is, gaat het gewoon niet. Is er wel een mogelijkheid om circulaire economie te implementeren dan zal iedere ondernemer hiervoor moeten kiezen. Het implementeren van circulaire economie gaat niet zomaar zonder slag of stoten. Over het algemeen (met enige uitzonderingen) zijn de producten en materialen welke voldoen aan de principes van circulaire economie duurder dan traditionele materialen. De regering zou hier (meer) op moeten insprijken met subsidies of dergelijke.

Het concept "containerbouw"

De aanleiding voor het concept "containerbouw" was het ontwikkelen van duurzamere en voordelige woningen ten opzichte van de traditionele bouw in Nederland. Voor containerbouw wordt gebruik gemaakt van zeecontainers. Afhankelijk van het type modelwoning moeten de zeecontainers een aantal aanpassingen ondergaan. Een kleine woning van een enkele container kan soms zonder aanpassingen dienen als woning. Echter op het moment dat er meerdere containers gebruikt moeten worden of er ramen of deuren in de zijken moeten worden aangebracht moeten de containers worden aangepast. De containers moeten worden verstevigd en waar nodig open worden gesneden.

Voor- en nadelen containerwoning

Een voordeel van een containerwoning is dat de woningen in de fabriek worden gefabriceerd, waardoor er binnen een aantal dagen een woning op de bouwplaats kan worden afgeleverd. Door gebruik te maken van zeecontainers, laten wij op een innovatieve manier zien gebruik te kunnen maken van producten met een andere functie. Living project homes verscheept containerwoningen wereldwijd. Een aantal modellen kunnen zelf 100% turnkey worden verscheept. Dit houdt in dat de woningen helemaal klaar is en alleen maar neer gezet hoeft te worden (op een fundering).

Naast de voordelen hebben de containerwoningen ook nadelen. Zo moet er rekening gehouden worden met bepaalde afmetingen van de zeecontainer. Er is een mogelijkheid hiervan af te wijken echter neemt dit hoge(re) kosten met zich mee. Een ander nadeel (of voordeel) kan zijn dat door de eisen die worden gesteld in het bouwbesluit voor nieuwbouw de zeecontainer niet meer zichtbaar is. Zo stelt het bouwbesluit dat de buitenzijde van de containers moeten worden geïsoleerd. Hierdoor is de container niet zichtbaar.

Toekomst van containerbouw

Aan Benjamin van Twist is gevraagd of Living project homes toekomst ziet in containerbouw als eengezinswoning of vrijstaande woning waarbij meerdere container zowel verticaal als horizontaal aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Benjamin gaf aan hier zeer zeker toekomst in te zien. Momenteel liggen er diverse ontwerpen van een architect klaar en is Living project homes in de aanloopfase van diverse projecten. Dit zijn echter altijd langdurige trajecten die niet binnen een aantal weken gerealiseerd kunnen worden. Hier spelen namelijk wat aandachtspunten/mogelijke problemen een rol. Een daarvan is dat ambtenaren en woningbouwcorporaties "vastgeroest" zijn in de traditionele bouwwijze van Nederland waarin iedere woning of gebouw moet bestaan uit beton en (metsel)stenen.

Interview 3A ORGA bouw

Geïnterviewde: Patrick Schreven

Datum: 11 mei 2016

Introductie

ORGA bouw heeft als doel het anders te doen dan andere bouwbedrijven. Zij streven ernaar zo groen mogelijk te bouwen maar wel op een moderne manier. Duurzaam -, ecologisch - en biobased bouwen is voor ORGA bouw vanzelfsprekend want dat is immers de toekomst. Als bouwer spelen zij hierin een belangrijke rol door mee te denken tijdens het hele bouwtraject (ORGA bouw, 2015).

Patrick Schreven, directeur van ORGA bouw, is geïnterviewd om meer kennis te winnen omtrent biobased bouwen, mogelijke problemen op het gebied van wet- en regelgeving, certificaten en labels en de voor- en nadelen van woningen welke biobased zijn uitgevoerd.

De noodzaak van milieuwinst in de bouwsector

ORGA bouw ziet het toepassen van biobased bouwmaterialen als noodzakelijk om de volgende redenen. Biobased bouwmaterialen zijn de oplossing voor een aantal problemen die zich wereldwijd voordoen. Denk hierbij aan dreigende grondstoffen tekorten en een toename van CO₂ in de lucht. Een voorbeeld van de dreigende grondstoffen is dat veel bouwmaterialen gebaseerd zijn op aardolie. Aardolie is een grondstof dat eindig is. Door het toepassen van biobased bouwmaterialen wordt hier al een winst behaald. Biobased bouwmaterialen zijn hergroeibaar en daardoor (onbeperkt) voorradig. Biobased bouwmaterialen hoeven niet veel processen te ondergaan om toegepast te kunnen worden. Hierbij wordt dan een winst behaald op CO₂-reductie.

Mogelijke problemen bij het toepassen van biobased bouwmaterialen

Bij verschillende beoordelingsmethoden welke duurzaamheid prestaties meten, worden toegepaste materialen beoordeeld op basis van LCA's (levenscyclusanalyses). De meetmethode die gebruikt wordt om LCA's te bepalen zijn verouderd en daardoor scoren biobased materialen onterecht slechter dan traditionele bouwmaterialen. Dit komt onder andere omdat biobased bouwmaterialen veel landgebruik in bezit nemen. Dit is een beoordelingscriterium welke onderdeel uitmaakt van een LCA.

Bevorderen van milieuwinst in de bouwsector

Bij ORGA bouw zijn de volgende keurmerken en labels bekend welke aan biobased bouwmaterialen kunnen worden toegekend en welke het toepassen van biobased materialen bevorderen in de bouwsector; BREEAM, Leed, nature plus, DUBOkeur, FSC, PEFC, Keurhout, Cradle to Cradle en EU ecolabel. Uit onderzoek is gebleken dat consumenten meer willen betalen voor materialen en producten waaraan een keurmerk of label gekoppeld is. Daaruit kan geconcludeerd worden dat keurmerken en labels zeker milieuwinst bevorderen in de bouwsector.

Voor- en nadelen van woningen welke biobased worden uitgevoerd

Biobased materialen welke worden toegepast bij woningen hebben een positief effect op het volgende: de gezondheid van de bewoners, het leefklimaat van de woning, energiezuinigheid en door een combinatie met een dampopen gevelsysteem zorgt dit voor een optimale dampregulatie. Een nadeel van biobased bouwen is dat er nog veel vooroordelen zijn over. Dit heeft met cultuur te maken. In Nederland zijn we gewend dat een woning is voorzien van stenen. Woningen die hout als gevelbeplating hebben, behoren vaak tot een specifieke doelgroep. Daarnaast is nog niet (geheel) mogelijk om een woning 100% biobased uit te voeren, en de vraag is of je dat wel moet willen. Door biobased materialen te combineren met materialen welke niet biobased zijn kan een grotere winst behaald worden.

Bijlage 7. Achtergrondinformatie bouwmaterialen

Bouwmaterialen met een lage CO₂ footprint

Referentieproject Zero Carbon Building, Hong Kong

De ZCB is het eerste CO₂-vrije gebouw in Hong Kong. De doelstellingen die voor het ZRB zijn opgesteld bestonden uit het streven naar een hoge kwaliteit met een minimale belasting van het milieu. Het behoud van hulpbronnen en grondstoffen stond voor dit project hoog in het vaandel. De oriëntatie van het gebouw, natuurlijke materialen, zonwering en natuurlijke ventilatie stonden centraal in het ontwerp. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van milieuvriendelijke materialen om de milieubelasting zo laag mogelijk te houden. Het gebouw is voorzien van grote raampartijen om de kracht van de zon optimaal te kunnen benutten. De raampartijen zijn voorzien van een zonwering waardoor het binnenklimaat altijd behaaglijk is. Afval dat is vrijgekomen tijdens de realisatie is zoveel mogelijk verwerkt binnen het project. Zo is het bouwpuin verwerkt in opstaande randen/muurtjes rondom de bermen in de tuin. De tuin is zo ingericht dat deze zoveel mogelijk CO₂ kan opnemen. Om dit te bereiken is zoveel mogelijk beplanting toegepast. De straatstenen zijn eco-stenen en vangen luchtverontreinigende stoffen op door middel van een coating. CO₂ is ook bespaard door transportroutes zo kort mogelijk te houden. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van regionale producten en materialen (Archdaily, 2012).



Installaties

Door minder energie te verbruiken wordt er bespaard op CO₂-uitstoot. Om dit te realiseren zijn er diverse installaties in het gebouw geplaatst. Zo is bijna het hele dak van het gebouw voorzien van PV-panelen en wordt er gebruikt gemaakt van aardwarmte om het gebouw te verwarmen. De installaties zorgen voor een energiebesparing van 25 procent, ten opzichte van een vergelijkbaar regulier gebouw. Door middel van de installaties in combinatie met de ligging en het ontwerp produceert het gebouw meer energie dan deze verbruikt. De prestaties van het gebouw worden allemaal gemonitord met een op maat ontwikkelde BEPAD (Gebouw Environmental Performance Assessment Dashboard) systeem. Alle (milieu)prestaties van het gebouw worden bewaakt door het BMS (Building Management System) met behulp van meer dan 2800 sensoren in het gebouw (Archdaily, 2012).

Referentieproject woonhuis te Almere



In Noorderplassen West, Almere is een bijzondere woning gerealiseerd. In samenwerking met ontwerper Bart Guldemon en opdrachtgevers heeft Sixways BV een bijzonder woonhuis ontwikkeld. Een combinatie van het unieke ontwerp met zeer innovatief gebruik van onder andere warmtewisselaars die met de heipalen mee geslagen zijn, warmte opslag, 20 zonnepanelen en zonnecollectoren op het dak, 10 PV-panelen op de veranda die bestaan uit PV-buisjes waardoor het licht in de veranda valt en in de zomer tevens werkt als zonweringen. Daarnaast is er gebruik gemaakt van 30cm isolatie in de wanden en heeft de woning een berekende negatieve EPC-waarde: -/- 0,25. Het hele huis wordt verlicht met LED-verlichting. De kern van het huis bestaat uit betonnen vloeren en wanden, met een 8 meter hoge schoorsteen als basis. Het beton heeft een groot accumulerend vermogen, waardoor de temperatuur in het huis vrijwel constant is. De buitenkant van het huis is bekleed met gebrand lariks, wat door verbranding verduurzaamd is en daardoor schimmel en bacterie werend is geworden. Door het hoge rendement van de woning is het mogelijk om qua energielevering en bezuiniging op gebruik van warmte en water zó weinig te verbruiken, dat de woning

voldoende opbrengt om het gebruik (inclusief alle apparatuur) en vastrecht te kunnen betalen (Huis vol energie, 2015).

Bouw en isolatie

Dakisolatie, dakisolatie binnenkant, gevelisolatie, wandisolatie binnen, wandisolatie buiten vloerisolatie, kruipruimte/kelderisolatie, isolerende beglazing, HR++-glas, isolerende kozijnen, passieve zonwering en kierdichting (Huis vol energie, 2015).

Installaties

Warmtepomp met bodembron, zonneboiler, warmtedistributie, wandverwarming, vloerverwarming, warmtewisselaar douche, zonnepanelen, balansventilatie met wtw, actieve zonwering en domotica (Huis vol energie, 2015).

Circulair – technische kringloop (demontabel)

Referentieproject "Parkwijk De Grote Boel te Nijmegen"

De woningen in Parkwijk de Grote Boel worden gerealiseerd door Reuvers Bouw en Ontwikkeling. De woningen worden ontwikkeld met het oog op comfortabele, snelle, energie producerende, modulair aanpasbare en 100% recyclebare woningen. De bouwonderdelen worden in de fabriek voorbereid en kant en klaar in hoge kwaliteit aangeleverd. Zo wordt er bespaard op materiaal, bouwtijd en dus op kosten én wordt er meer rekening gehouden met het milieu (Grote Boel Parkwijk, 2016).



Modulair/100% recyclebaar

Omdat de woning modulair wordt ontwikkeld, kan deze schadevrij uitgebreid en veranderd worden. Binnen een dag kan de hele indeling van het huis veranderd worden naar nieuwe woonwensen. Denk aan een extra ruimte op de eerste verdieping, een uitbouw aan de tuin of een dakkapel. Uiteraard gebeurt dit met de beste kwalitatieve materialen (Grote Boel Parkwijk, 2016).

Energie(rekening)

Bij de woningen in Parkwijk kunnen de bewoners zelf kiezen hoeveel energie ze willen besparen en hoe hoog de maandrekening wordt. De standaardwoning wordt uitgevoerd in EPC 0,4, de standaard voor energielabel A++. Er kan daarnaast gekozen worden uit verschillende energieniveaus: van besparend tot energieneutraal. De duurzame energie kan dan zelfs gebruikt worden voor bijvoorbeeld je elektrische auto of e-bike (Grote Boel Parkwijk, 2016).

Lego-bouw/containerbouw

Volgens Henk Janssen (H. Janssen, persoonlijke communicatie, 3 mei 2016) kan een grote milieuwinst behaald worden met demontabel bouwen. Demontabel bouwen heeft veel overeenkomsten met het zogeheten lego-bouw. Lego-bouw bestaat uit verschillende units die aan elkaar gekoppeld en afgekoppeld kunnen worden. Denk hierbij aan een unit woonkamer en een unit keuken et cetera. Lego-bouw heeft als uitgangspunt dat een woning per levensfase aangepast kan worden. Zo heeft een jong gezin meer kamers (units) nodig dan een ouder echtpaar. De units kunnen dan afgekoppeld worden en opnieuw worden ingezet bij een ander project. De milieuwinst wordt behaald doordat niet alle bouwmaterialen van elkaar gedemonteerd hoeven te worden maar de hele unit opnieuw kan worden ingezet. In Nederland is dit concept nog niet echt geïmplementeerd. Duitsland loopt op dit gebied voor. Met deze insteek is contact opgenomen met Benjamin van Twist van Living Project Homes. Living Project Homes bouwen zeecontainers om naar duurzame en energiezuinige woningen, recreatiewoningen en noodwoningen. De zeecontainers worden aan de binnenzijde aangepast aan de eisen en wensen van de klant. De buitenzijde van de zeecontainer kan worden afgewerkt maar de uitstraling van een zeecontainer is wel zichtbaar. Het interview met Benjamin van Twist is opgenomen in bijlage 6 (interview 2A).

De concepten lego-bouw en containerbouw zijn niet toegepast op het Clean Tech House project. De reden hiervoor is dat uit moest worden gegaan van een basisontwerp. Het toepassen van lego-bouw of

containerbouw zou dusdanig afwijken dat het niet binnen de richtlijnen van het project zou vallen. Deze concepten leveren echter wel veel milieuwinst op en zijn daarom opgenomen in het onderzoek.

Circulair – biologische kringloop (biobased)

Referentieproject “Houten woonhuis te Eemnes”

Met een groene omgeving en opdrachtgevers die ecologisch dachten waren in Eemnes de randvoorwaarden aanwezig voor een modern ecologische woning van hout. De vorm is geïnspireerd door de voormalige woonboerderij die zich op de locatie bevond. Kenmerkend is het dak van Plato Wood dat zich over de woning vouwt en in de loop van tijd op natuurlijke wijze vergrijsd is. Het ruime dakoverstek is niet alleen een uitdagende ingreep maar vormt ook een vaste zonwering tegen overvloedige zonnewarmte in de zomermaanden (ORGA-architect, 2015).



Het woonhuis heeft een constructie van volhouten inlands Douglas spanten. Als een deken eromheen is vervolgens de houtskeletbouw geplaatst, geïsoleerd met houtvezelisolatie. Voor de onderzijde van het plafond is gebruik gemaakt van vuren planken met een whitewash afwerking die verticaal de richting van de spanten volgen. Het Plato Wood op dak en gevels is veredeld via kook- en bakprocessen zonder chemische toevoegingen (ORGA-architect, 2015).

Vergelijking van de bouwmaterialen op de aangegeven criteria en met de vermelde tool

Voor het inzichtelijk maken van de milieu-effecten van de bouwmaterialen is gebruikt gemaakt van twee tools/methoden. De uitkomsten van de milieu-effecten kwamen niet altijd overeen. In onderstaande tabellen is per bouwconceptvariant aangegeven welke tool/methode is toegepast en of er verschillen zaten in de uitkomsten.

Schaduwkosten

In onderstaande tabellen worden schaduwkosten weergegeven. In paragraaf 2.5 is de definitie hiervan toegelicht. Onderstaande alinea's geven verdiepende achtergrondinformatie weer.

De schaduwprijs van een emissie wordt bepaald door de kosten van de laatste nog net noodzakelijke maatregel om een emissiedoelstelling te halen, de zogeheten marginale kosten. Deze schaduwprijs weerspiegelt de kosten die de maatschappij er voor over heeft het betreffende milieudoel te bewerkstelligen (NIBE,2016).

Weging milieu-effecten

Voor de berekeningsmethode van het NIBE geldt het volgende. De basisprofielen bestaan uit milieueffecten per kg. De producten bestaan vervolgens uit een eenheid (bijv. een m²), een levensduur en een bepaalde hoeveelheid materialen. Aan de hand van de combinatie van basisprofielen en productkaarten kan de milieubelasting bepaald worden van een product (NIBE,2016).

Milieu-effect	Milieukosten
global warming	€ 0,05 / kg CO2 eq.
ozone layer depletion	€ 30 / kg CFC-11 eq.
human toxicity	€ 0,09 / kg 1,4-DB eq.
aquatic tox. fresh water	€ 0,03 / kg 1,4-DB eq.
terrestrial toxicit	€ 0,06 / kg 1,4-DB eq.
photochemical oxidation	€ 2 / kg C2H4 eq.
acidification	€ 4 / kg SO2 eq.
eutrophication	€ 9 / kg PO4-3- eq.
exhaus biotic	€ 0,042202 / mbp
exhaus abiotic	€ 0,16 / kg Sb eq.
exhaus Energy	€ 0,16 / kg Sb eq.
Eco99 EQ Landuse	€ 0,20482 / PDF*m2yr
malodorous air	€ 0,0000000233 / OTV m3

Roadnoise	€ 321,946 / DALY
hinder geluid	€ 0,00000149 / mbp
hinder licht	€ 0,024005 / mbp
hinder calamite	€ 0,024005 / mbp

De vergelijking tussen de uitkomsten van de berekeningsmethode van het NIBE en de Project Carbon Calculator trof enkele voorbereiding of was vaak niet mogelijk omdat de materialen niet waren opgenomen in de database. Bij de berekeningsmethode van het NIBE stond de eenheid erbij waarop het milieu-effect is berekend. Bij de Project Carbon Calculator was dit niet het geval. In die methode is de emissie berekend per 1000kg (ton) van het materiaal. De uitkomst van de Project Carbon Calculator moest worden omgerekend naar eenzelfde eenheid als de uitkomst van het NIBE om een vergelijking te kunnen maken.

Bouwconceptvariant 1: CO₂-reductie

Element	Opgenomen in bouwconcept	Uitkomst TWIN-model NIBE	Uitkomst Project Carbon Calculator (PCC)	Aanvullende informatie
Fundering	Fundering op palen met houten balken (vuren)	2,27 kg CO ₂ eq	Niet bekend/opgenomen in database	-
Buitengevels	De Clickbrick	Niet bekend	Clickbrick niet bekend. Voor 1 m ² zijn ca. 76 bakstenen (127,50 kg)	TWIN-model: De 'normale' baksteen zorgt voor 3,85 kg CO ₂ eq (1m ²). PCC: De 'normale' baksteen zorgt voor 3,80 kg CO ₂ eq (1m ²). Bij de productie van de Clickbrick wordt minder energie verbruikt/CO ₂ -uitgestoten ten opzichte van de baksteen en de Clickbrick kan hergebruikt worden.
Binnenspouwbladen	Houtwolcement	Niet bekend	Niet bekend	Houtwolcement bestaat uit een combinatie van hout en portlandcement. Het hout dat nodig is voor de productie van de elementen is afkomstig uit duurzaam beheerde FSC gecertificeerde bossen.
Dragende wanden	Houtwolcement	Niet bekend	Niet bekend	
Woningscheidende wanden	Houtwolcement	Niet bekend	Niet bekend	
Lichte scheidingswanden	Houtskeletbouw (vuren)	1,65 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	Naast het lagere CO ₂ -uitstoot ten opzichte van houtwolcement scoort houtskeletbouw (vuren) hoog in de milieuklasse. Voor een lichte scheidingswand kan daarom gekozen worden voor een minder milieubelastende element/materiaal (Biobased bouwen, 2015).
Isolatie (wanden)	Houtvezel (Homatherm)	1,93 kg CO ₂ eq	Niet bekend	Homatherm bestaat voor ca. 85 - 95% uit gedroogde en samengeperste houtvezels. Homatherm bezit het Natureplus certificaat en is FSC- en PEFC-gecertificeerd (Biobased bouwen, 2015).
Isolatie (dak)	Houtvezel (Homatherm)	1,93 kg CO ₂ eq	Niet bekend	
Begane grondvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat	1,69 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	Bij de productie van een OBS vloerplaat wordt ten opzichte van

Eerste verdiepingsvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat	1,69 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	een Lenotec vloerplaat minder CO ₂ uitgestoten.
Dakvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat	1,69 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Dakbedekking	OSB plaatmateriaal, bitumen dakbedekking (Cradle to Cradle)	OSB: 1.29 kg CO ₂ eq Bitumen: niet bekend	OSB: Niet betrouwbaar Bitumen: Niet bekend	De bitumen van van Venrooy is een vrij nieuw materiaal. Deze is in de twee databases niet opgenomen. Materiaal is 100% recyclebaar en door het her te gebruiken levert dit een CO ₂ -besparing op.
Kozijnen (buiten)	Merbau (FSC)	0,82 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	Bij de Project Carbon Calculator is enkel houtsoorten opgenomen. Hieronder vallen alle soorten hout. Dit is geen betrouwbare uitkomst omdat er wel degelijk verschil zit in verschillende soorten hout. De uitkomst is daarom niet opgenomen.
Kozijnen (binnen)	Vuren	1,40 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Deuren (buiten)	Merbau (FSC)	0,82 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Deuren (binnen)	MDF (FSC)	1,82 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Eerste verdiepingstrap	Vuren	3,65 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Trapleuningen-/hekken	Meranti (FSC)	1,55 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	
Goten en hemelwaterafvoeren	Meranti (FSC)	1,62 kg CO ₂ eq	Niet betrouwbaar	

Bouwconceptvariant 2: Circulair – technische kringloop

Element	Opgenomen in bouwconcept	Uitkomst TWIN-model NIBE	Aanvullende informatie
Fundering	Betonpalen met prefab gewapende fundatie balken	Milieuklasse 1c en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €399.39
Buitengevels	Lariks gevelbeplating	Milieuklasse 3a en is daarmee milieutechnisch een aanvaardbare keuze.	NIBE schaduwkosten: €3,90
Binnenspouwbladen	HIB-systeem (vuren hout, isolatie, bouwsysteem)	Niet bekend	Het HIB-systeem bestaat uit prefab houten bouwstenen. De houten bouwstenen worden aan elkaar geklikt/geschoven zonder lijm, specie et cetera. De bouwstenen worden gemaakt van vuren hout. Bij het TWIN-model zijn overige vuren elementen zijn beoordeeld met milieuklasse 1 en 2.
Dragende wanden	HIB-systeem (vuren hout, isolatie, bouwsysteem)	Niet bekend	
Woningscheidende wanden	HIB-systeem (vuren hout, isolatie, bouwsysteem)	Niet bekend	
Lichte scheidingswanden	HIB-systeem (vuren hout, isolatie, bouwsysteem)	Niet bekend	
Isolatie (wanden)	Kingspan Kooltherm (resol hardschuim)	Milieuklasse 2b en is daarmee milieutechnisch een goede keuze	NIBE schaduwkosten: €1.97 Isolatie beschikt over de volgende keurmerken: CE-markering, KOMO, DUBO, milieukeur
Isolatie (dak)	Kingspan Kooltherm (resol hardschuim)	Milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €3,11
Begane grondvloer	Houten kanaalplaatvloer	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €4.82
Eerste verdiepingsvloer	Houten kanaalplaatvloer	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €5,45 (dikkere vloer t.o.v. BG)

Dakvloer	Houten kanaalplaatvloer	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €5,45
Dakbedekking	OSB plaatmateriaal met Polyisobutyleen (PIB) dakbedekking	OSB: Milieuklasse 3c en is daarmee milieutechnisch een aanvaardbare keuze. PIB: niet bekend	OSB: NIBE schaduwkosten: €3,46 PIB: Niet bekend bij NIBE. PIB is 100% recyclebaar en heeft een milieu- (EPD) en KOMO-verklaring.
Kozijnen (buiten)	Kunststof	Niet bekend	NIBE schaduwkosten: niet bekend
Kozijnen (binnen)	Vuren	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €0,26
Deuren (buiten)	Kunststof	Niet bekend	NIBE schaduwkosten: niet bekend
Deuren (binnen)	MDF (FSC)	Milieuklasse 1c en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €3,31
Eerste verdiepingstrap	Vuren	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €10,62
Trapleuningen-/hekken	Meranti (FSC)	Milieuklasse 3b en is daarmee milieutechnisch een aanvaardbare keuze.	NIBE schaduwkosten: €7,97
Goten en hemelwaterafvoeren	Lariks (PEFC en FSC keurmerk)	Milieuklasse 3a en is daarmee milieutechnisch een aanvaardbare keuze.	NIBE schaduwkosten: €3,90

Bouwconceptvariant 3: Circulair – biologische kringloop

Element	Opgenomen in bouwconcept	Uitkomst TWIN-model NIBE	Aanvullende informatie
Fundering	Fundering op palen met houten balken (vuren)	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: € 298,21
Buitengevels	Plato Wood (Fraké)	Niet bekend	NIBE schaduwkosten: Niet bekend
Binnenspouwbladen	Houtskeletbouw (vuren)	Milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,85
Dragende wanden	Houtskeletbouw (vuren)	Milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,85
Woningscheidende wanden	Houtskelet (vuren)	Milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,85
Lichte scheidingswanden	Houtskeletbouw (vuren)	Milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,85
Isolatie (wanden)	Houtvezel (Homatherm)	Milieuklasse 2c en is daarmee milieutechnisch een goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €2,22
Isolatie (dak)	Houtvezel (Homatherm)	Milieuklasse 2c en is daarmee milieutechnisch een goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €2,22
Begane grondvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,73
Eerste verdiepingvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,73
Dakvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaat.	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €1,73
Dakbedekking	Lenotec plaatmateriaal, vegetatie afwerking	Lenotec: Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze. Vegetatie: niet bekend	Lenotec: NIBE schaduwkosten: €1,36 Vegetatie afwerking: niet bekend

Kozijnen (buiten)	Merbau (FSC)	Milieuklasse 2b en is daarmee milieutechnisch een goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €2.36
Kozijnen (binnen)	Vuren	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €0,26
Deuren (buiten)	Merbau (FSC)	Milieuklasse 2b en is daarmee milieutechnisch een goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €9,88
Deuren (binnen)	MDF (FSC)	Milieuklasse 1c en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze.	NIBE schaduwkosten: €3,31
Eerste verdiepingstrap	Vuren	Milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze.	NIBE schaduwkosten: €10,62
Trapleuningen-/hekken	Meranti (FSC)	Milieuklasse 3b en is daarmee milieutechnisch een aanvaardbare keuze.	NIBE schaduwkosten: €7.97
Goten en hemelwaterafvoeren	Plato Wood (Fraké)	Niet bekend	NIBE schaduwkosten: Niet bekend

Bijlage 8A. Beoordelings-/toetsingscriterium bouwmaterialen

Toelichting criteria (toetsingskader)

De materiaaleigenschappen als sterkte en isolatiewaarde waren het beginpunt van de selectie van de bouwmaterialen. Na deze selectie zijn de bouwmaterialen getoetst op de volgende criteria:

Verkrijgbaarheid	Zijn de materialen gemakkelijk te verkrijgen?
Verwerkbaarheid	Kan opgeleid bouwpersoneel het bouw materiaal plaatsen of is daar een gespecialiseerd bedrijf voor nodig?
Aanpasbaarheid	Kunnen de materialen gemakkelijk gedemonteerd worden (bijvoorbeeld bij een verbouwing of bij het slopen in de toekomst)?
Kosten	Wat zijn de kosten van het materiaal? Zijn deze lager of hoger dan het materiaal dat wordt toegepast bij Clean Tech House 1.0? Clean Tech House 2.0 moet betaalbaar blijven. *Een marge van 20% t.o.v. CTH 1.0 is aangehouden.
Milieubelasting grondstoffen	Worden er schaarse grondstoffen toegepast? Worden processen uitgevoerd met nadelige gevolgen voor het milieu gedurende de winning en productie? Hoe groot zijn deze gevolgen?
Esthetische waarde t.o.v. CTH1.0 (enkel bij bouwconceptvariant 1)	Wat is de uitstraling van het bouw materiaal? Komt deze (zoveel mogelijk) overeen met het bouw materiaal dat in CTH 1.0 wordt toegepast?

** Uit onderzoek naar diverse circulaire bouwprojecten is gebleken dat de bouwkosten van een circulaire woning 20% hoger liggen dan een woning met reguliere bouwmaterialen.*

Toetsingscriterium

Bij het selecteren van bouwmaterialen is gekeken naar bovenstaande criteria. Er zijn bouwmaterialen geselecteerd die niet voldoen aan alle criteriapunten. Hiervoor is een afweging gemaakt, welke per verschillend is. Bij bouwconceptvariant 1 is een extra criteriumpunt opgenomen, namelijk de esthetische waarde van het bouw materiaal. Dit bouwconcept mag namelijk esthetisch zo min mogelijk afwijken van het bouwconcept van Clean Tech House 1.0. Bij de bouwconceptvarianten 2 en 3 is de esthetische waarde niet meegenomen omdat deze varianten vrij ingevuld mochten worden. Overige criteriapunten zijn gelijk maar wegen per bouwconceptvariant anders. Onderstaand is een criterium weergegeven die de weging van de criteriapunten laat zien.

Bouwconceptvariant 1 Uitgangpunt: CO₂-reductie 1. Esthetische waarde t.o.v. CTH1.0 2. Milieubelasting grondstoffen (winning, productie en verwerking) 3. Verkrijgbaarheid 4. Verwerkbaarheid 5. Aanpasbaarheid 6. Kosten	Bouwconceptvariant 2 Uitgangpunt: Circulair – technische kringloop 1. Aanpasbaarheid 2. Milieubelasting grondstoffen (winning, productie en verwerking) 3. Verkrijgbaarheid 4. Verwerkbaarheid 5. Kosten	Bouwconceptvariant 3 Uitgangpunt: Circulair – biologische kringloop 1. Milieubelasting grondstoffen (winning, productie en verwerking) 2. Aanpasbaarheid 3. Verkrijgbaarheid 4. Verwerkbaarheid 5. Kosten
--	--	---

Toetsing bouwconceptvarianten

In hoofdstuk 7 “Conclusie en aanbevelingen” wordt antwoord gegeven op de probleemstelling (welke variant levert de meeste milieuwinst op?). Ook hiervoor is een afweging gemaakt. Omdat het drie bouwconceptvarianten betreft met verschillende uitgangspunten, was het afwegen en vergelijken enigszins lastig. Hierover zijn ook enkele gesprekken gevoerd met de betrokken partijen. Deze gesprekken gingen voornamelijk over hen belangen, visies en bijdragen aan het project. In hoofdstuk 7 wordt beargumenteerd welke bouwconceptvariant de meeste milieuwinst oplevert.

Bijlage 8B. Bouwconceptvariantentabel

Vanaf de volgende pagina is de bouwconceptvariantentabel opgenomen. In de bouwconceptvariantentabel zijn de volgende drie bouwconcepten opgenomen:

- Bouwconcept 1 - CO₂-reductie
- Bouwconcept 2 – Technische kringloop van circulaire economie (demontabel bouwen)
- Bouwconcept 3 – Biologische kringloop van circulaire economie (biobased bouwen)

Bouwconceptvariantentabel

Variant 1: CO ₂ -reductie					
Bouwmateriaal		Milieu-impact	Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu		
Element	Materiaal		Voordelen		Nadelen
Fundering			Fundering		
	Fundering op palen met houten balken (vuren), (Regge Hout B.V. te Goor)	2,27 CO ₂ /kg	- meest ecologische keuze voor type woning en ondergrond - funderingswijze is bij bouwers bekend - snelle bouwtijd - het heien van de palen kan voor hinder zorgen, zowel voor het milieu als omwonende	- fundering heeft hoge schaduwkosten - kans op schade door bouwactiviteiten in de omgeving	
Gevels en wanden			Gevels en wanden		
Buitengevels	De Clickbrick van Daas Baksteen te Zeddam	Niet bekend	- voldoet aan de Cradle to Cradle principes - besparing van CO ₂ doordat de bouwstenen hergebruikt kunnen worden. Produceren van nieuwe bouwstenen is minder snel nodig - keuze uit veel kleuren stenen en voegen	- Slechts 1 leverancier in Nederland - duurder dan reguliere bouwstenen - het verwerken van de Clickbrick t.o.v. een baksteen is anders. De bouwers moeten worden ingelicht hoe ze de Clickbrick moeten verwerken/bevestigen	
Binnenspouwbladen	Houtwolcement van REESE projects te Barneveld	Niet bekend	- het hout dat nodig is voor de productie van de elementen is afkomstig uit duurzaam beheerde FSC-/PEFC-gecertificeerde bossen	- lastiger te verkrijgen dan prefab HSB of prefab beton gevelelementen - duurder dan prefab HSB of prefab beton gevelelementen	
Dragend binnenmetselwerk	Houtwolcement van REESE projects te Barneveld	Niet bekend	- licht van gewicht - hoge brandwerendheid en warmteopslagcoëfficiënt	- De prefab gevelwandelementen worden geproduceerd in een standaard afmeting van 6.00m x 2.60/2.80m, waarna eventuele smallere wandelementen uit de standaard elementen worden gezaagd	
Woningscheidende wanden	Houtwolcement van REESE projects te Barneveld	Niet bekend	- voldoet aan de Cradle to Cradle principes		
Lichte scheidingswanden	Houtskeletbouw (vuren). Materialen te koop bij meerdere bouwmarkten.	1,65 CO ₂ /kg	- houtskeletbouw (HSB) goedkoper is dan traditionele bouw - milieuvriendelijk houtsoort (FSC keurmerk) - snelle bouwtijd	- t.o.v. houtwolcement heeft hout een slechtere akoestische werking - vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout	
Isolatie	Houtvezel (Homatherm) van Oldenboom te Doetinchem	1,93 CO ₂ /kg	- het materiaal is inzetbaar als thermische isolatie op vrijwel alle ondergronden - de platen zijn makkelijk op maat te maken - bestaat voor ca. 85 - 95% uit gedroogde en samengeperste houtvezels	- op de bouwplaats dienen de platen te worden afgedekt en droog te worden opgeslagen om de isolatiewaarde te behouden	
Vloeren			Vloeren		
Begane grondvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat. Te koop bij meerdere bouwmarkten.	1,69 CO ₂ /kg	Balkvloer - goedkoper dan een betonvloer - milieuvriendelijk houtsoort (FSC keurmerk) - licht van gewicht	Balkvloer - t.o.v. beton (kanaalplaat) heeft hout een slechtere akoestische werking - vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout	
Eerste verdiepingsvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat. Te koop bij meerdere bouwmarkten.	1,69 CO ₂ /kg	OSB vloerplaat - t.o.v. de Lenotec vloerplaat is bij de productie van de OSB vloerplaat minder CO ₂ uitgestoten	OSB vloerplaat - duurder dan "standaard" underlayment dat vaak wordt toegepast	
Dakvloer	Vuren balkvloer, OSB vloerplaat. Te koop bij meerdere bouwmarkten.	1,69 CO ₂ /kg	- licht van gewicht - makkelijk te verwerken	- wordt niet in elementen geleverd, vergt meer tijd op de bouwplaats	
Dak			Dak		
Isolatie	Houtvezel (Homatherm) van Oldenboom te Doetinchem	1,93 CO ₂ /kg	- het materiaal is inzetbaar als thermische isolatie op vrijwel alle ondergronden - de platen zijn makkelijk op maat te maken - bestaat voor ca. 85 - 95% uit gedroogde en samengeperste houtvezels	- op de bouwplaats dienen de platen te worden afgedekt en droog te worden opgeslagen om de isolatiewaarde te behouden	
Dakbedekking	OSB plaatmateriaal. Te koop bij meerdere bouwmarkten. Bitumen dakbedekking (C2C) van van Venrooy te Almere en Hogeveen	OSB: 1,29 CO ₂ /kg Bitumen: niet bekend	OSB plaatmateriaal - prijs is ongeveer gelijk met underlayment wat vaak wordt toegepast bij reguliere bouw - goede thermische kwaliteit en brandwerend Bitumen (Cradle to Cradle) - 100% recyclebaar - lange levensduur	OSB plaatmateriaal - geen (milieu)keurmerk aan toegekend - OSB platen zijn hydropisch. Dit betekent dat ze vocht opnemen. Bij transport en opslag moeten de platen goed worden afgedekt. Bitumen (Cradle to Cradle) - kosten hoger dan reguliere bitumen - verkrijgbaarheid lastiger dan reguliere bitumen	

Variant 1: CO ₂ -reductie				
Bouwmateriaal		Milieu-impact	Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal		Voordelen	Nadelen
Kozijnen			Kozijnen	
Buitenkozijnen	Merbau (FSC)	0,82 CO ₂ /kg	- FSC-keurmerk	- hebben meer onderhoud nodig dan aluminium kozijnen/deuren. Niet direct een nadeel voor de bouwers wel voor de bewoners.
Buitendeuren	Merbau (FSC)	0,82 CO ₂ /kg	- gemakkelijk te verkrijgen	
Binnenkozijnen	Vuren	1,40 CO ₂ /kg	- lagere aanschafkosten dan kunststof/aluminium	
Binnendeuren	MDF (FSC)	1,82 CO ₂ /kg		
Trappen			Trappen	
Eerste verdiepingstrap	Vuren	3,65 CO ₂ /kg	- FSC-keurmerk	- onderhoud van het hout. Niet direct voor de bouwers tenzij het afgelakt afgeleverd dient te worden.
Trapleuningen/-hekken	Meranti (FSC)	1,55 CO ₂ /kg	- gemakkelijk te verkrijgen	
Goten en hemelwaterafvoeren			Goten en hemelwaterafvoeren	
	Meranti (FSC)	1,62 CO ₂ /kg	- FSC-keurmerk - gemakkelijk te verkrijgen	- onderhoud/afwerking van het hout - maatwerk nodig - verkrijgbaarheid is beperkt omdat de meeste goten in aluminium, kunststof of zink worden uitgevoerd - kosten zijn hoger doordat er maatwerk aan te pas komt

Bouwconceptvariantentabel

Variant 2: Circulair - Technische kringloop			
Bouwmateriaal		Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal	Voordelen	Nadelen
Fundering		Fundering	
	Betonpalen met prefab gewapende fundatie balken	- meest ecologische keuze voor type woning en ondergrond - funderingswijze is bij bouwers bekend - snelle bouwtijd - het heien van de palen kan voor hinder zorgen, zowel voor het milieu als de omwonende	- fundering heeft hoge schaduwkosten - kans op schade door bouwactiviteiten in de omgeving
Gevels en wanden		Gevels en wanden	
Buitengevels	Lariks gevelbeplating	- PEFC en FSC keurmerk - duurzaam en milieuvriendelijk - gemakkelijk te verwerken	- vergt meer onderhoud dan bouwstenen. Niet direct een nadeel voor de bouwers tenzij de lariks planken nog moeten worden afgewerkt. - houten gevelbekleding is afhankelijk van het houtsoort 15-20% duurder dan bakstenen
Binnenspouwbladen	HIB-systeem (vuren hout)	- HIB goedkoper is dan traditionele bouw milieuvriendelijk houtsoort (FSC keurmerk) - houten bouwstenen worden prefab afgeleverd - snelle bouwtijd - gemakkelijk te demonteren en opnieuw in te zetten bij een volgend project	- hout neemt snel warmte op; goed ventilatiesysteem is noodzakelijk - t.o.v. baksteen heeft hout een slechtere akoestische werking - vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout
Dragend binnenmetselwerk	HIB-systeem (vuren hout)		
Woningscheidende wanden	HIB-systeem (vuren hout)		
Lichte scheidingswanden	HIB-systeem (vuren hout)		
Isolatie	Kingspan Kooltherm (resol hardschuim)	- milieuvriendelijk isolatiemateriaal - snel te verwerken - licht van gewicht	- kosten zijn hoger dan reguliere isolatiematerialen als glas- en steenwol
Vloeren		Vloeren	
Begane grondvloer	Houten kanaalplaatvloer	- licht van gewicht	- vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout - t.o.v. beton (kanaalplaat) heeft hout een slechtere akoestische werking
Eerste verdiepingvloer	Houten kanaalplaatvloer	- goede verkrijgbaarheid - gemakkelijk te demonteren en opnieuw in te zetten bij een volgend project	
Dakvloer	Houten kanaalplaatvloer		
Dak		Dak	
Isolatie	Kingspan Kooltherm (resol hardschuim)	- milieuvriendelijk isolatiemateriaal - snel te verwerken - licht van gewicht	- kosten zijn hoger dan reguliere isolatiematerialen als glas- en steenwol
Dakbedekking	OSB plaatmateriaal met Polyisobutyleen (PIB) dakbedekking	OSB: - prijs is ongeveer gelijk met underlayment wat vaak wordt toegepast bij reguliere bouw - goede thermische kwaliteit en brandwerend PIB: - lange levensduur - 100% recyclebaar - voorzien van Milieuproductverklaring (EPD) - snel te verwerken	OSB: - geen (milieu)keurmerk aan toegekend - OSB platen zijn hydropisch. Dit betekend dat ze vocht opnemen. Bij transport en opslag moeten de platen goed worden afgedekt. PIB: - kosten zijn hoger dan bitumen dakbedekking - alleen in zwart en grijs te verkrijgen
Kozijnen		Kozijnen	
Buitenkozijnen	Kunststof (Cradle to Cradle)	- voldoet aan de Cradle to Cradle principes - onderhoudsvriendelijk	- geeft een moderne uitstraling, niet altijd toepasbaar bij ieder project - meer/hogere milieu-effecten dan hout. Bij hergebruik of recycle wordt dit gecompenseerd
Buitendeuren	Kunststof (Cradle to Cradle)	- veel aanbod - gemakkelijk te verwerken/plaatsen	
Binnenkozijnen	Vuren	- FSC-keurmerk	- hebben meer onderhoud nodig dan aluminium kozijnen/deuren. Niet direct een nadeel voor de bouwers wel voor de bewoners.
Binnendeuren	MDF (FSC)	- gemakkelijk te verkrijgen - lagere aanschafkosten dan kunststof/aluminium	
Trappen		Trappen	
Eerste verdiepingstrap	Vuren	- FSC-keurmerk	- onderhoud van het hout. Niet direct voor de bouwers tenzij het afgelakt afgeleverd dient te worden.
Trapleuningen/-hekken	Meranti (FSC)	- gemakkelijk te verkrijgen	
Goten en hemelwaterafvoeren		Goten en hemelwaterafvoeren	
	Lariks	- PEFC en FSC keurmerk - duurzaam en milieuvriendelijk - gemakkelijk te verwerken	- onderhoud/afwerking van het hout - maatwerk nodig - verkrijgbaarheid is beperkt omdat de meeste goten in aluminium, kunststof of zink worden uitgevoerd - kosten zijn hoger doordat er maatwerk aan te pas komt

Bouwconceptvariantentabel

Variant 3: Circulair - Biologische kringloop			
Bouwmateriaal		Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal	Voordelen	Nadelen
Fundering		Fundering	
	Fundering op palen met houten balken (vuren)	- meest ecologische keuze voor type woning en ondergrond - funderingswijze is bij bouwers bekend - snelle realisatietijd - het heien van de palen kan voor hinder zorgen, zowel voor het milieu als de omwonende	- fundering heeft hoge schaduwkosten - kans op schade door bouwactiviteiten in de omgeving
Gevels en wanden			
Buitengevels	Plato Wood afwerking, type Fraké	- verantwoordelijke winning - (hout) neemt CO₂ op - goede thermische isolator - gemakkelijk te verwerken	- wordt (standaard) afgewerkt met een niet biologisch afbreekbaar product - vergt meer onderhoud dan bouwstenen. Niet direct een nadeel voor de bouwers tenzij de larijs planken nog moeten worden afgewerkt. - houten gevelbekleding is afhankelijk van het houtsoort 15-20% duurder dan bakstenen
Binnenspouwbladen	Houtskelet (vuren)	- houtskeletbouw (HSB) goedkoper is dan traditionele bouw - milieuvriendelijk houtsoort (FSC keurmerk) - snelle bouwtijd	- hout neemt snel warmte op; goed ventilatiesysteem is noodzakelijk - t.o.v. baksteen heeft hout een slechtere akoestische werking - vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout
Dragend wanden	Houtskelet (vuren)		
Woningscheidende wanden	Houtskelet (vuren)		
Lichte scheidingswanden	Houtskelet (vuren)		
Isolatie	Houtvezel van Homatherm	- het materiaal is inzetbaar als thermische isolatie op vrijwel alle ondergronden - de platen zijn makkelijk op maat te maken met - bestaat voor ca. 85 - 95% uit gedroogde en samengeperste houtvezels	- in het werk dienen de platen te worden afgedekt en droog te worden opgeslagen om de isolatiewaarde te behouden
Vloeren		Vloeren	
Begane grondvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten	Balkvloer - goedkoper is dan een betonvloer - milieuvriendelijk houtsoort (FSC keurmerk) - licht van gewicht Lenotec vloerplaat - bestaat uit het kruislings verlijmen van vurenhouten lamellen	Balkvloer - t.o.v. beton (kanaalplaat) heeft hout een slechtere akoestische werking - vocht en schimmel krijgen sneller de kans bij hout Lenotec vloerplaat - duurder dan "standaard" underlayment dat vaak wordt toegepast - op maat gemaakte elementen kunnen op de bouwplaats moeilijk worden aangepast
Eerste verdiepingvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten	- te leveren in kant en klare elementen	
Dakvloer	Vuren balkvloer, Lenotec vloerplaten	- licht van gewicht - de lijm voor het verlijmen van de vuren lemellen is duurzaam/milieuvriendelijk	
Dak		Dak	
Isolatie	Houtvezel Homatherm	- het materiaal is inzetbaar als thermische isolatie op vrijwel alle ondergronden - de platen zijn makkelijk op maat te maken - bestaat voor ca. 85 - 95% uit gedroogde en samengeperste houtvezels	- in het werk dienen de platen te worden afgedekt en droog te worden opgeslagen om de isolatiewaarde te behouden
Dakbedekking	Lenotec + vegetatie afwerking	Lenotec vloerplaat - bestaat uit het kruislings verlijmen van vurenhouten lamellen - de lijm voor het verlijmen van de vuren lemellen is duurzaam/milieuvriendelijk Vegetatie afwerking - goede isolatie voor warmte/koelte en geluid - wateropname - verbetering luchtkwaliteit	Lenotec vloerplaat - duurder dan "standaard" underlayment dat vaak wordt toegepast Vegetatie afwerking - afhankelijk van de aanleg kunnen eventuele lekkages moeilijker op te sporen zijn. - bij onvakkundige aanleg bestaat het risico dat de dakbedekking wordt beschadigd door plantenwortels, met mogelijke lekkage als gevolg
Kozijnen		Kozijnen	
Buitenkozijnen	Hardhout Meranti FSC	Houtsoorten - FSC-keurmerk - zijn gemakkelijk te verkrijgen bij diverse (Nederlandse) leveranciers - MDF is samengeperst afvalhout en maakt optimaal gebruik van afvalstromen Kozijnen en deuren: - het plaatsen van de kozijnen kan worden uitgevoerd door de leverancier of het bouwplaats personeel - veel aanbod - worden zowel afgewerkt als onafgewerkt geleverd. Hierbij kan zelf de biobased keuze worden uitgevoerd.	Houtsoorten - hebben meer onderhoud nodig dan aluminium kozijnen. Niet direct een nadeel voor de bouwers wel voor de bewoners. - kosten liggen hoger dan aluminium kozijnen - MDF is samengeperst afvalhout van verschillende houtsoorten. Er worden extra processen gestart om MDF te kunnen produceren. Hierbij wordt meer water en energie gebruikt dan overige houtsoorten
Buitendeuren	Hardhout (Merbau FSC)		
Binnenkozijnen	Hout (vuren)		
Binnendeuren	Opdekteur MDF (FSC)		

Variant 3: Circulair - Biologische kringloop			
Bouw materiaal		Consequenties materiaal voor de bouwers en het milieu	
Element	Materiaal	Voordelen	Nadelen
Trappen		Trappen	
Eerste verdiepingstrap	Vuren	- FSC-keurmerk - gemakkelijk te verkrijgen	- onderhoud van het hout. Niet direct voor de bouwers tenzij het afgelakt afgeleverd dient te worden.
Trapleuningen/-hekken	Meranti FSC		
Goten en hemelwaterafvoeren		Goten en hemelwaterafvoeren	
	Plato Wood - Fraké	- duurzaam en milieuvriendelijk - gemakkelijk te verwerken	- maatwerk nodig - verkrijgbaarheid is beperkt omdat de meeste goten in aluminium, kunststof of zink worden uitgevoerd - kosten zijn hoger doordat er maatwerk aan te pas komt