

Circulaire materialen als essentieel ingrediënt voor de energietransitie



TOPSECTOR ENERGIE

Empowering the new economy

In opdracht van MVI-E, Topsector Energie

EEN ONDERZOEK NAAR

Kansen en knelpunten voor een CO₂ neutraal renovatieconcept



Februari 2021

Auteurs:

Lisa van Welie

Sissy Verspeek

Met bijdragen van:

Wanda van Enst, Ivo Opstelten, Erica Rasch, Simon Verduijn en Marten Witkamp

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1: Inleiding en vraagstelling	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelgroep	1
1.3 Energietransitie versus Circulaire Transitie	2
1.4 Onderzoeksvraag	2
Hoofdstuk 2: Aanpak	3
2.1 Aanpak deelvraag A: CO ₂ -uitstoot van een woning	3
2.2 Aanpak deelvraag B: Kansrijke circulaire bouwmaterialen	4
2.3 Aanpak deelvraag C: Knelpunten bij toepassing	5
2.4 Aanpak deelvraag D: Oplossingsrichtingen	5
Hoofdstuk 3: Resultaten	6
3.1 Deelvraag A: CO ₂ -uitstoot van een woning	6
3.1.1 Belangrijkste bronnen CO ₂ -uitstoot bij renovatie	6
3.1.2 Vergelijking renovatiestrategieën	7
3.2 Deelvraag B: Kansrijke circulaire bouwmaterialen	8
3.3 Deelvraag C: Knelpunten bij toepassing	10
3.3.1 Normeringen worden opgesteld vanuit huidige belangen (institutioneel)	10
3.3.2 Een gebrek aan integraliteit tussen de MPG en BENG (institutioneel)	10
3.3.3 Er is te weinig data over de milieu-impact van producten (institutioneel)	11
3.3.4 Belangenverstrengeling in uitvoering levenscyclusanalyse maakt de uitkomst onbetrouwbaar (institutioneel)	12
3.3.5 Er zitten weeffouten in de MPG (institutioneel)	12
3.3.6 Er zitten weeffouten in de BENG (institutioneel)	13
3.3.7 Het normering- en certificeringssysteem vormt een barrière (institutioneel)	14
3.3.8 Beperkt aanbod van circulair ontworpen installaties (technisch)	15
3.3.9 Beperkte bewegingsvrijheid in bestaande bouw (technisch)	15
3.3.10 Toepassing van alternatieven zonder herontwerp leidt niet altijd tot meeste CO ₂ -reductie (technisch)	16
3.3.11 Zorgen over ruimtegebruik voor productie (technisch)	16
3.3.12 Circulaire materialen hebben onvoldoende schaalvoordeel (economisch)	17
3.3.13 De aanschafprijs is leidend - deel I (economisch)	17
3.3.14 De aanschafprijs is leidend - deel II (economisch)	17
3.3.15 Circulaire materialen worden gezien als risicofactor (sociaal/cultureel)	17
3.3.16 Imagoprobleem door verkeerde toepassing (sociaal/cultureel)	18

3.3.17 Circulariteit heeft geen prioriteit (sociaal/cultureel)	18
3.3.18 De markt verwacht “een gevel van baksteen” (sociaal/cultureel)	18
3.3.19 Bedrijven moeten zichzelf opnieuw uitvinden (sociaal/cultureel)	18
3.3.20 Het eindbeeld voor de circulaire transitie ontbreekt (kennis)	19
3.3.21 Door een gebrek aan consensus zijn partijen afwachtend (kennis)	19
3.3.22 Onbekendheid leidt tot extra barrières (kennis)	19
3.3.23 De ‘onvolwassen’ energietransitie is niet klaar voor de circulaire transitie (kennis)	20
3.4 Deelvraag D: Oplossingsrichtingen	20
3.4.1. Institutioneel	21
3.4.2. Technisch	21
3.4.3. Economisch	21
3.4.4. Sociaal en cultureel	22
3.4.5. Kennis	22
Hoofdstuk 4: Conclusies	23
Hoofdstuk 5: Aanbevelingen	25
Referenties en bronnen	26
Bijlage A: Overzicht deelnemers focusgroepen	28
Bijlage B: Overzicht van alle geïdentificeerde circulaire bouwmaterialen	29
Bijlage C: Overzicht kansrijke installatie-oplossingen	34

Hoofdstuk 1: Inleiding en vraagstelling

1.1. Aanleiding

Nederland moet volgens het Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2021a) in 2050 nagenoeg CO₂-neutraal zijn. In 2030 moeten alle sectoren al 49% minder CO₂ uitstoten t.o.v. 1990, wat mogelijk onder invloed van Brussels beleid nog verder aangescherpt wordt tot een vermindering van 55%. Om dat doel te bereiken moeten bijna alle 8 miljoen woningen in Nederland van een andere, CO₂-neutrale, energiebron worden voorzien. In veel gevallen, zo niet de meeste, zullen er flinke aanpassingen in de woning nodig zijn zodat de woning verwarmd kan worden met minder energie en een bron van lagere temperatuur, zoals een warmtepomp of lage temperatuur warmtenet. Er zijn naar verwachting immers onvoldoende bronnen die op een CO₂-neutrale wijze hoge temperatuur warmte leveren (Klimaatakkoord, 2018). Er moet met een tempo van 1.000 woningen per dag gerenoveerd worden, wil de deadline van 2050 gehaald worden. Dit lukt niet met de huidige manier van bouwen en de verwachting is daarom dat die renovatie van woningen op een industriële wijze gaat gebeuren.

Hiertoe worden steeds vaker herhaalbare 'renovatieconcepten' ontwikkeld. Dergelijke concepten zijn een samenhangend pakket van maatregelen die de energievraag van de woning verminderen en waarbij de resterende benodigde energie duurzaam opgewekt wordt. Veel van de inmiddels ontwikkelde en toegepaste renovatieconcepten lijken sterk op elkaar: de woning wordt geheel of gedeeltelijk 'ingepakt' in isolatiemateriaal en er worden nieuwe installaties toegevoegd voor warmteopwekking, ventilatie en zonne-energie. Later in dit rapport verwijzen we naar deze concepten als 'hoogwaardige renovatieconcepten'.

Een uitdaging is dat de productie van de gebruikte (isolatie)materialen en installaties op zichzelf óók significante hoeveelheden CO₂-uitstoot veroorzaakt (naast problemen als landschapsaantasting en verlies van biodiversiteit). Uiteraard moet zo goed mogelijk voorkomen worden dat, om toekomstige CO₂-uitstoot te verlagen, nu onmiddellijk veel CO₂ uitgestoten wordt. Daarbij moet minimaal geborgd worden dat de CO₂-uitstoot die vrijkomt bij de productie van materialen niet hoger is dan de verlaging die het realiseert in de gebruiksfase.

De toepassing van circulaire materialen biedt de mogelijkheid om deze CO₂-uitstoot in de productiefase te verlagen. In dit onderzoeksrapport verkennen we daarom de kansen die het gebruik van circulaire bouwmaterialen bieden voor het beperken van de CO₂-uitstoot van renovatieconcepten, en wat de barrières zijn die marktpartijen ervaren bij het benutten van deze kansen.

1.2 Doelgroep

Dit document is geschreven voor twee doelgroepen:

1. Beleidsmakers en -beïnvloeders die op zoek zijn naar handvatten om het gebruik van circulaire materialen te stimuleren bij renovatieconcepten in de woningmarkt
2. Marktpartijen die in de woningmarkt de CO₂-uitstoot van renovatieconcepten willen verminderen.

1.3 Energietransitie versus Circulaire Transitie

Naast het Klimaatakkoord bestaat ook een Grondstoffenakkoord, met een bijbehorende Transitieagenda en Uitvoeringsprogramma's (Rijksoverheid, 2021b). De bouw is één van de vijf sectoren waar in dit akkoord specifieke aandacht voor is, gezien haar dominante rol als het gaat om het gebruik van materialen. In deze beleidsdocumenten staat de doelstelling dat Nederland in 2050 een circulaire economie moet zijn, zonder afval en "waarbij alles draait op herbruikbare grondstoffen". Er is dus sprake van een energietransitie en een circulaire transitie die tegelijkertijd plaatsvinden en die elkaar ook beïnvloeden. Want waar de energietransitie zich richt op de reductie van directe emissies ('meten bij de schoorsteen'), komen door de ketenbenadering in de circulaire economie ook de indirecte emissies in beeld.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de circulaire transitie ook andere resultaten heeft dan het reduceren van CO₂-uitstoot. Daarom worden bijvoorbeeld in de levenscyclusanalyse (LCA) ook meer aspecten beoordeeld om een volledig beeld van de milieu-impact te vormen. De CO₂-opgave is echter de belangrijkste overlap tussen de transities en daarmee de invalshoek van dit onderzoek.

Ondanks dat beide transities parallel plaatsvinden, is er weinig tot geen overlap in gebruikte beleidsinstrumenten om de transities te stimuleren. Beide 'sporen' zijn als onafhankelijke paden georganiseerd met weinig prikkels tot samenwerking. Dat leidt ertoe dat binnen organisaties die te maken hebben met beide transities, zoals woningcorporaties en gemeenten, de realisatie van de twee ook onafhankelijk wordt uitgevoerd. Ondanks dat de synergie tussen de twee transities theoretisch bestaat, wordt die daarom nu niet gevonden.

1.4 Onderzoeksvraag

Het bovenstaande in acht nemende, staat de volgende onderzoeksvraag centraal:

Welke knelpunten ervaren partijen als zij circulaire bouwmaterialen willen toepassen om CO₂ te besparen tijdens de productie en toepassing van hoogwaardige renovatieconcepten?

Deelvragen hierbij zijn:

- A. Welke potentie heeft het renoveren met circulaire materialen om de CO₂-uitstoot van een woning te verlagen?
- B. Welke circulaire bouwmaterialen zijn nu of op korte termijn kansrijk om de CO₂-uitstoot van een hoogwaardig renovatieconcept te verlagen?
- C. Waarom passen (bouw)bedrijven deze circulaire bouwmaterialen (nog) niet toe? Welke 'knelpunten' komen ze tegen?
- D. Welke oplossingsrichtingen zouden bij kunnen dragen aan het wegnemen van de gevonden knelpunten?

Hoofdstuk 2: Aanpak

In dit onderzoek wordt met 'circulaire bouwmaterialen' en 'circulaire alternatieven' verwezen naar materialen die onderdeel zijn van een circulaire economie in plaats van een lineaire. In de meeste gevallen gaat het om het gebruik van materialen gemaakt van gewassen ("bio-based" of "hernieuwbaar") die aan het eind van de levensduur weer composteren of materialen die aan het eind van de levensduur met minimale bewerking en milieupact hergebruikt kunnen worden met minimaal tot geen verlies van kwaliteit.

Het gebruik van circulaire bouwmaterialen is maar één van de strategieën die ingezet kunnen worden vanuit de toolbox van de circulaire economie. Andere mogelijke strategieën zijn bijvoorbeeld: ontwerpen voor hergebruik, gebruik van reststromen of herontwerp van het renovatieconcept om de beoogde bouwprestaties te behalen met de inzet van minder materialen. Deze strategieën hebben allen potentie om de CO₂-uitstoot van een renovatieconcept te verlagen en zullen uiteindelijk gecombineerd moeten worden om tot een maximale CO₂-reductie te komen. Het onderzoek van Abma (2020) laat zien dat de inzet van hernieuwbare materialen een succesvolle strategie kan zijn om de CO₂-uitstoot van een renovatieconcept te verlagen. Gezien het beschikbare budget en de doorlooptijd van dit onderzoek is het niet realistisch bevonden om alle strategieën volledig te onderzoeken en daarom is een focus aangebracht op het gebruik van circulaire bouwmaterialen. Dit rapport beperkt zich daarbij tot de toegepaste materialen en installaties op gebouwniveau. De

energieoplossing buiten een gebouw, zoals de toepassing van een warmtenetten, vraagt ook om additioneel materiaalgebruik, denk aan een opwekkers, pompen en leidingen. Deze blijven in dit rapport buiten beschouwing.

De focus tijdens het onderzoek lag op deelvragen B en C. Voor het beantwoorden van deelvraag A is grotendeels gebruik gemaakt van een eerder onderzoek dat Abma (2020) in samenwerking met Stroomversnelling heeft uitgevoerd, aangevuld met enkele berekeningen. Voor het beantwoorden van deelvraag D was minder tijd gereserveerd dan benodigd om er diepgaand op in te kunnen gaan. Wel is daartoe een eerste aanzet gedaan.

2.1 Aanpak deelvraag A: CO₂-uitstoot van een woning

Om inzicht te krijgen in de initiële CO₂-uitstoot van een hoogwaardig renovatieconcept is gebruik gemaakt van de casus uit het onderzoek van Abma (2020). Dit concept gaat uit van een ambitieuze schilrenovatie ('inpakken van de woning') waardoor de energievraag van de woning sterk gereduceerd wordt, namelijk totdat het een warmtevraag heeft van minder dan 50 thermische kilowattuur per vierkante meter per jaar. Energieopwekking vindt plaats middels zonnepanelen (pv-panelen). Na inzage in de toegepaste materialen in dit concept heeft Abma een levenscyclusanalyse uitgevoerd over dit concept. Deze analyse laat de totale impact van het concept zien op de impactcategorie 'Global Warming Potential' (GWP)¹, uitgedrukt in CO₂-equivalenten.

Vervolgens heeft Abma drie circulaire strategieën gemodelleerd om de potentie voor CO₂-reductie van deze strategieën in kaart te brengen. De vergeleken strategieën zijn: het gebruik van 100%

¹ In een LCA-studie is de CO₂-uitstoot samengevat met andere emissies van broeikasgassen die potentiële invloed hebben op de opwarming van de aarde, onder GWP (Global Warming Potential), uitgedrukt in kg CO₂-eq/FU (Functional Unit).

hernieuwbare materialen (voor zover beschikbaar), het gebruik van 50% secundaire materialen (voor zover beschikbaar) en het inzetten van materialen voor hergebruik na 50 jaar.

Voor dit onderzoek is vervolgens op basis van de resultaten van Abma (2020) de CO₂-uitstoot over 50 jaar gebruik van de woning in kaart gebracht. Deze resultaten worden vergeleken met eenzelfde woning die in die periode niet wordt gerenoveerd om te kunnen beoordelen of de extra CO₂-uitstoot die gepaard gaat met een hoogwaardige renovatie opweegt tegen de besparing die wordt behaald tijdens het gebruik. Daarbij is het goed om te noemen dat veel voordelen van de toepassing van circulaire strategieën pas aan het licht komen als de vermeden milieu-impact door hergebruik in de tweede en derde levenscyclus wordt meegenomen. In dit onderzoek ligt de focus alleen op de eerste levenscyclus, waardoor deze voordelen niet terug te vinden zijn in de resultaten. Dit leidt dus tot een onderschatting van de CO₂-besparingen veroorzaakt door circulair te renoveren.

Bij de berekeningen (waarvan de resultaten terug te vinden zijn in 3.1.2) zijn de volgende aannames gebruikt:

- De gemiddelde CO₂-eq-uitstoot van aardgas is 1.884 kg / m³ (www.co2emissiefactoren.nl). Er is geen rekening gehouden met toenemende uitstoot door import van gas uit het buitenland.
- De gemiddelde CO₂-eq-uitstoot van elektriciteit is 0.1243 kg / kWh. Dit is berekend op basis van de uitstoot in 2018 (CBS, 2019) van 0.56 kg / kWh en de doelstellingen voor 2030 (75% hernieuwbaar) en 2050 (100% hernieuwbaar), uitgaande van lineaire afname tussen twee jaartallen met harde doelstellingen.
- Er is geen CO₂-uitstoot toegekend aan het uitwisselen van elektriciteit met het net, noch aan het verschil tussen energielevering in de zomer en energieafname in de winter. Dit leidt tot een onderschatting van de CO₂-uitstoot van de gerenoveerde woningen.
- In de woning waar niet wordt gerenoveerd worden in de betreffende 50 jaar geen bouwkundige maatregelen getroffen, zoals bijvoorbeeld de vervanging van kozijnen of dakpannen. Dit leidt tot een onderschatting van de CO₂-uitstoot van de woning waar niet wordt ingegrepen.
- De CO₂-uitstoot veroorzaakt door de productie en plaatsing van een cv-ketel was onbekend. Die is geschat op basis van tabel 1 (zie 3.1.1) en de totale uitstoot voor alle installaties uit Abma (2020). De schatting kwam uit op 250 kg CO₂-eq per vervanging.

2.2 Aanpak deelvraag B: Kansrijke circulaire bouwmaterialen

Ook voor het beantwoorden van deelvraag B is het renovatieconcept uit het onderzoek van Abma (2020) als uitgangspunt genomen. De componenten in dit concept met bijbehorende prestaties zijn onder elkaar gezet en aangevuld met veel voorkomende bouwmaterialen en producten. Dit overzicht is door een expert van Stroomversnelling in hoogwaardige renovatieconcepten getoetst.

De resulterende lijst is vervolgens besproken in een focusgroep met inhoudelijk deskundigen, om te komen tot circulaire alternatieven per bouwdeel en installatiecategorie. In deze focusgroep zaten acht partijen, deels specialisten in diverse vormen van duurzaam bouwen, deels fabrikanten van bouwdeelen die veel worden toegepast bij renovatieconcepten. Zie bijlage A voor een overzicht van de deelnemers van de focusgroep.

De focusgroep heeft ons geattendeerd op nieuwe materialen die binnenkort op de markt worden verwacht. Deze zijn niet opgenomen in dit onderzoek, omdat de focus ligt op wat vandaag al beschikbaar is. Omdat niet voor alle componenten alternatieven zijn gevonden die gemaakt zijn van andere (bio-based) materialen is er ook gekeken naar oplossingen die interessant zijn vanuit het perspectief 'minder materialen' of 'herbruikbaarheid en mogelijkheden voor recycling'.

De alternatieven die door deze focusgroep werden genoemd, zijn naderhand door de auteurs op basis van expertise en ervaring aangevuld en beoordeeld op impact op de prestatie-eisen energie en comfort, potentie voor CO₂-reductie, beschikbaarheid op de markt en de mate waarin een product kansrijk is om op korte termijn grootschalig toegepast te worden.

2.3 Aanpak deelvraag C: Knelpunten bij toepassing

Voor deelvraag C is een tweede focusgroep samengesteld, deels overlappend met de eerste focusgroep (zie bijlage A voor een overzicht van de deelnemers). De deelnemers zijn allemaal actief bij de realisatie van renovatieconcepten en werken op verschillende manieren aan het verlagen van de CO₂-uitstoot die wordt veroorzaakt door materiaalgebruik in renovatieconcepten.

De focusgroep is gevraagd naar de problemen die zij in de praktijk ervaren bij het toepassen van circulaire materialen. In eerste instantie is hierbij onderscheid gemaakt tussen technische en institutionele knelpunten, aangezien die twee soorten knelpunten zijn geïdentificeerd in het onderzoek van Abma (2020). In de vraagstelling aan de focusgroep zijn de woorden 'technisch' en 'institutioneel' daarbij ook gebruikt. Op basis van de door de focusgroep genoemde barrières werden daarnaast nog drie aanvullende soorten knelpunten geïdentificeerd, namelijk economische, sociale/culturele en kennisgerelateerde. De knelpunten die zijn opgenomen in 3.3 zijn door minstens twee partijen benoemd, maar niet alle knelpunten worden door alle partijen aan tafel in dezelfde mate ervaren.

Omdat er vanuit wet- en regelgeving beperkt eisen worden gesteld bij renovatie, wordt er voor het in kaart brengen van institutionele knelpunten ook gekeken naar nieuwbouw. De verwachting is dat spanningsvelden die hier worden waargenomen in de loop van de jaren (en deels nu al) voelbaar zullen worden bij renovatie.

Door de auteurs zijn de genoemde knelpunten geverifieerd en waar nodig voorzien van aanvullend onderzoek, en tenslotte geclusterd op gelijksoortigheid.

2.4 Aanpak deelvraag D: Oplossingsrichtingen

De laatste deelvraag, D, is tegelijkertijd met deelvraag C beantwoord. Tijdens dezelfde bijeenkomsten met focusgroep 2 is gevraagd naar mogelijke oplossingsrichtingen. De auteurs hebben de gedane suggesties gekoppeld aan de eerder genoemde knelpunten en op basis van deskresearch aangevuld.

Hoofdstuk 3: Resultaten

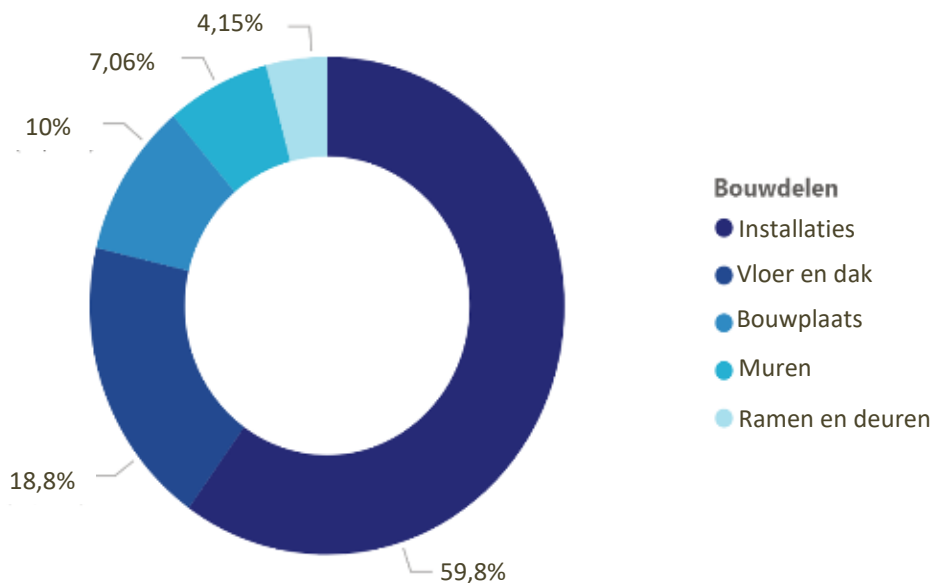
3.1 Deelvraag A: CO₂-uitstoot van een woning

Om inzicht te krijgen in de CO₂-impact over de gehele verwachte levensduur van een woning is in dit hoofdstuk de initiële CO₂-uitstoot van een hoogwaardige renovatie in kaart gebracht, waarna de koppeling wordt gemaakt met de besparing die de renovatie realiseert in de gebruiksfase.

3.1.1 Belangrijkste bronnen CO₂-uitstoot bij renovatie

Stroomversnelling heeft in 2020 de milieu-impact van een 'lineair' (dat wil zeggen, niet bewust circulair) hoogwaardig renovatieconcept in kaart gebracht. Op hoofdlijnen is een hoogwaardig renovatieconcept op te delen in de volgende componenten: vloeren (begane grond), gevels, daken, ramen, duurzame elektriciteitsopwekking, warmteopwekker, ventilatiesysteem en warmteafgiftesysteem.

Figuur 1 laat het aandeel van de componenten zien op de impact categorie GWP. Hieruit komt naar voren dat 10% van de impact wordt veroorzaakt door de bouwplaats², 30% door de bouwdelen en 60% door de installaties.



Figuur 1: GWP impact hoogwaardig renovatieconcept

Tabel 1 laat de indeling van het aandeel van de installaties zien (60%). Opmerkelijk daarbinnen is het hoge aandeel van zonnepanelen en het relatief kleine aandeel van de categorie HVAC. Deze laatste heeft namelijk grote impact op de reductie van de energievraag, terwijl zonnepanelen juist de opwekking van energie op een duurzamere manier realiseren.

² Door de standaardwaarden in de LCA kunnen de voordelen van geïndustrialiseerd bouwen niet mee worden genomen. Het is daarom de verwachting dat het daadwerkelijke aandeel van de bouwplaats in de praktijk lager uitvalt.

Tabel 1: Indeling GWP impact installaties

Soort	Type	Impact in %
Energieproductie Systemen	Zonnepanelen ³	79,3%
Verwarming, ventilatie en koeling (HVAC)	<ul style="list-style-type: none"> ● WTW unit ● Buffervat ● Lucht-water warmtepomp 	16,8%
Elektrificatie componenten en systemen	<ul style="list-style-type: none"> ● Omvormer ● Monitoring unit 	3,9%

Bij de verkenning van de potentie die verschillende circulaire strategieën hebben om deze impact te verlagen laat het onderzoek van Abma zien dat een combinatie van twee strategieën de meeste kans voor reductie biedt. De inzet van hernieuwbare materialen kan een besparing van 19% op de GWP impact van het renovatieconcept realiseren, 36% als er ook rekening wordt gehouden met een end-of-life-strategie⁴. Dit betekent dat de introductie van materialen met een lagere CO₂-uitstoot nu al de impact van een renovatieconcept kan verlagen en op de langere termijn CO₂-uitstoot vermeden kan worden door concepten zo te ontwerpen dat producten en materialen voor meerdere levenscycli ingezet kunnen worden.

3.1.2 Vergelijking renovatiestrategieën

De wetenschap dat het hoogwaardig renoveren van een woning op zichzelf verantwoordelijk is voor significante CO₂-uitstoot, doet de vraag rijzen of de door renovatie bespaarde CO₂ tijdens de gebruiksduur wel voldoende is om de extra veroorzaakte CO₂ tijdens de renovatie te compenseren? Voor dit onderzoek is het antwoord op deze vraag op een eenvoudige manier op een rij gezet.

Het uitgangspunt is de totale CO₂-eq-uitstoot (zie voetnoot 1) over een levensduur van 50 jaar van een rijwoning uit de jaren 60-70 met een gebruiksoppervlak van circa 140 m².

Op basis van dit uitgangspunt zijn er drie scenario's doorgerekend:

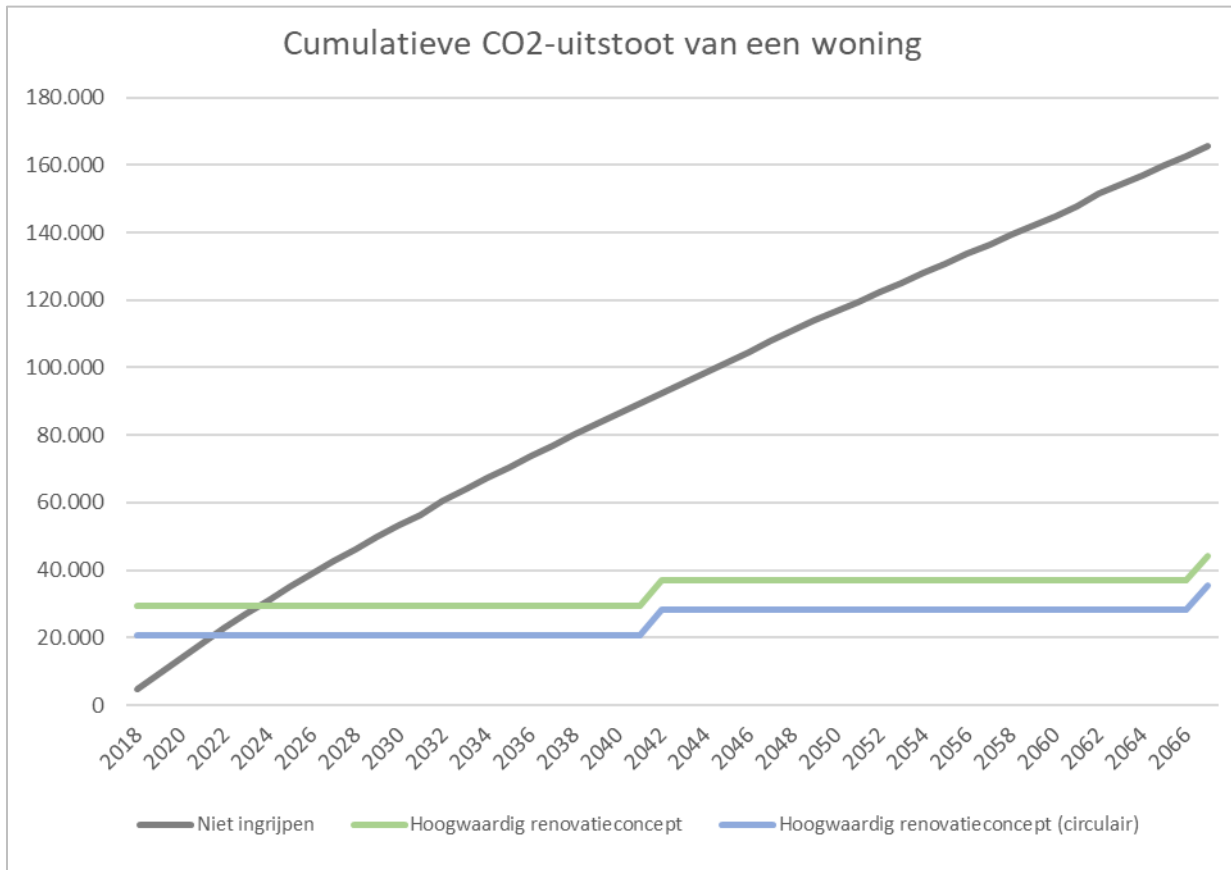
- Niet ingrijpen: de cv-ketel wordt elke 15 jaar vervangen. Het gemiddelde energiegebruik is 1500 m³ aardgas en 3500 kWh per jaar.
- 'Lineaire' hoogwaardige renovatie: gebruik van schilrenovatie en de installaties genoemd in tabel 1 waarbij de pv-panelen elke 25 jaar worden vervangen. De overige installaties worden elke 15 jaar vervangen. Het gemiddelde energiegebruik is 6000 kWh per jaar. Dit wordt tevens opgewekt door de pv-panelen op de woning.
- Circulaire hoogwaardige renovatie: gebruik van dezelfde installaties als in tabel 1, maar toepassing van zoveel mogelijk bio-based materialen voor de schilrenovatie. De energie die vrijkomt bij verbranding van materialen aan het eind van de levensduur, alsook eventuele

³ De beschikbare data in de Nationale Milieudatabase (NMD) voor zonnepanelen is zeer beperkt (zie 3.3.3). De verwachting is dat met het gebruik van specifieke merkgebonden data (in plaats van algemeen beschikbare) het werkelijke aandeel van zonnepanelen lager uitvalt. Hoofdstuk 3.3.3. laat bijvoorbeeld al een verschil van 60% zien bij het gebruik van merkgebonden data.

⁴ De huidige end-of-life strategie bij in de LCA methodiek voor hernieuwbare materialen is verbranding (zie ook 3.3.5.). In de benoemde 36% is de energiewinst van verbranding meegenomen. De winst van hergebruik zit hier dus niet in doordat deze mogelijkheid nog niet in de huidige LCA methodiek zit.

bespaarde energie door materialen na die 50 jaar her te gebruiken, is niet meegerekend. Dit resulteert in een overschatting van de CO₂-eq-uitstoot van het circulaire renovatieconcept.

De resulterende cumulatieve CO₂-eq-uitstoot van de woning in de drie scenario's is geschetst in figuur 2. Hieruit valt op te maken dat een gerenoveerde woning initieel meer CO₂-uitstoot veroorzaakt, maar dat dit na circa 5 (circulair) of 7 (lineair) jaar is 'terugverdiend' en begonnen wordt met het netto besparen op de CO₂-uitstoot. Over een periode van 50 jaar zou een hoogwaardig gerenoveerde woning circa 20-30% van een niet gerenoveerde woning moeten uitstoten, waarbij een woning die gerenoveerd is met circulaire materialen aan de onderkant van dit spectrum zit en een 'lineair' gerenoveerde woning aan de bovenkant.



Figuur 2: Cumulatieve CO₂-eq-uitstoot van een woning over 50 jaar.

In figuur 2 zit voor de tweede hoogwaardige renovatieconcepten elke 15 jaar ook een uitstoot sprongetje door de vervanging van een deel van de installaties. Dit sprongetje is echter zo klein dat het niet goed waarneembaar is.

3.2 Deelvraag B: Kansrijke circulaire bouwmaterialen

Op basis van de aanpak beschreven in 2.2 zijn voor alle bouwmaterialen alternatieven gevonden die de potentie hebben op schaal toegepast te worden. Hierbij zijn bio-based materialen het meest genoemd. In tabel 2 zijn de huidige meest kansrijke alternatieven toegelicht. Voor elk van deze alternatieven is

een kwalitatieve inschatting gemaakt van de potentie tot CO₂-reductie⁵, met daarbij een onderbouwing van deze inschatting. Het volledige overzicht is te vinden in bijlage B.

Tabel 2: Meest kansrijke oplossingen bouwdeelen

Bouwdeel	Subdeel	Circulair materiaal	Geschatte CO ₂ reductie	Onderbouwing
Vloer	Isolatie	(bij een voldoende droge kruipruimte) Bio-based vlokken in combinatie met dampremmend folie	Zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof
		(bij vochtige kruipruimte) Thermokussens van reflecterende folie met luchtkamers, bekend onder merknaam Tonzon	Matig	Weinig materiaal en lichtgewicht
	Vocht in kruipruimte	Goede ventilatie aanbrengen	Zeer goed	Weinig tot geen energieverbruik
Gevel	Constructie	DLT (lijmvrije CLT)	Uitermate goed	CO ₂ opslag, snelgroeiend en geen nevenproducten zoals lijm
		HSB of drukvaste houtvezelplaat	Zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof
		(Prefab elementen) hennepbeton of kalkhennep	Goed	CO ₂ opslag en afhankelijk van kalksoort relatief weinig energie voor winning en productie
	Plaat-materialen	Houten constructieplaat	Goed	CO ₂ opslag in grondstof en formaldehyde vrije lijm
	Isolatie	Houtvezel, cellulose en hennep	Zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof
	Gevel-afwerking	(Kalk)stuc	Matig tot goed	Afhankelijk van materiaal en energiebehoefte voor productie
Houten gevelafwerking		Goed tot zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof, verder afhankelijk van houtsoort en energiebehoefte voor productie	
Dak	Constructie	Prefab bio-based zelfdragende doosconstructie met hoge RC waarde (zonder dakbedekking)	Goed tot zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof
	Isolatie	Houtvezel, cellulose en hennep	Zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof
	Dak-bedekking	Alleen waterkerende dampopen folie en dan direct PV panelen	Zeer goed	Materiaalbesparing
Ramen	Glas	AGC glas: vacuüm glas	Goed	Besparing op grondstoffen tov tripple glas en energie voor productie
	Kozijn	HP kozijn van thermisch behandeld hout	Goed tot zeer goed	CO ₂ opslag in grondstof, naaldhout groeit snel

Voor de reductie van CO₂-uitstoot bij installaties is in bijlage C een aantal kansen toegelicht, bijvoorbeeld oplossingen die minder materialen bevatten dan andere installatie-oplossingen. Zo brengt het werken met buitengevelisolatie systemen als voordeel mee dat de ventilatiekanalen hier al in zijn verwerkt, waardoor deze niet apart geplaatst hoeven te worden en er dus in totaal minder materiaal nodig is. De gevonden alternatieven zijn een stap vooruit, maar lossen niet het probleem op dat gebruik wordt gemaakt van schaarse grondstoffen zoals metalen en vervuilende stoffen zoals koelmiddelen.

Om de CO₂-uitstoot door installaties verder te verminderen, is vervolgens gezocht naar oplossingen waarbij minder installaties nodig zijn. Het aandeel van de installaties hangt namelijk samen met de

⁵ Deze CO₂ reductie is gebaseerd op de besparing die wordt gerealiseerd in het produceren van het materialen ten opzichte van de toepassing van een momenteel gangbaar materiaal voor dezelfde functie.

warmtevraag. Hoe meer deze warmtevraag via de bouwdelen gereduceerd wordt, hoe makkelijker er met kleinere of minder installaties aan de warmtevraag kan worden voldaan. Gezien de impact van de installaties en de beschikbare oplossingen voor de bouwdelen lijkt dit daarom altijd een logische eerste stap.

Een lage warmtevraag kan de toepassing van zogenaamde 'low-tech' oplossingen mogelijk maken. De low-tech oplossingen die zijn geïdentificeerd tijdens dit onderzoek kunnen echter niet altijd voldoen aan de energetische eisen of wensen voor comfort. Natuurlijke ventilatie is hier een voorbeeld van. In het kader van materiaalgebruik is dit een aantrekkelijke oplossing, maar het heeft een grote impact op comfort (tocht) en de warmtevraag (waarmee eerdere besparingen dus teniet worden gedaan) en daarmee op de CO₂-uitstoot van de oplossing over de hele levenscyclus.

Afsluitend zijn er in de verkenning geen kansrijke alternatieven gevonden voor de categorie 'Energieproductie Systemen' die wel veruit de meeste impact heeft op het aandeel van installaties. Zeker voor de energieproductie op woningniveau blijven zonnepanelen voorlopig de meest geschikte en duurzame oplossing vanwege de CO₂-reductie die het in de gebruiksfase realiseert. Recent onderzoek laat zien dat er verschil is tussen type PV-technologie in CO₂-uitstoot per opgewekte kWh (Milousi, Souliotis, Arampatzis en Papaefthimiou, 2019). Daar kan als eerst een bewuste keuze in worden gemaakt. Daarnaast zijn er kansen voor reductie te vinden door zonnepanelen demontabel te maken zodat hergebruik en recycling mogelijk is, door een hogere opbrengst per m² te realiseren (want dan zijn er minder panelen nodig) en door te kiezen voor een ander soort materiaal (Holland Solar, 2020).

3.3 Deelvraag C: Knelpunten bij toepassing

Er zijn tal van knelpunten gevonden waar partijen mee te maken krijgen bij de toepassing van circulaire materialen. Hieronder staan deze knelpunten toegelicht.

3.3.1 Normeringen worden opgesteld vanuit huidige belangen (institutioneel)

De regels in de bouw worden grotendeels gemaakt door, of in samenspraak met, commissies samengesteld met vertegenwoordigers van belangenorganisaties en bedrijven uit het werkveld. De gevestigde orde is daarmee goed vertegenwoordigd in deze commissies. Nieuwkomers worden meestal niet uitgenodigd voor deze commissies en kunnen ook de tijd en geld die het kost om mee te praten over regels niet altijd opbrengen. De samenstelling van deze commissies leidt tot methodieken en regelgeving die het verlagen van de milieu-impact van de bouw bemoeilijken.

Recent zijn bijvoorbeeld, zoals onder andere te vinden in Cobouw (2021a, 2021b), vragen gezet bij de opzet van de nieuwe Stichting De Nationale Milieudatabase als opvolger van Stichting Bouwkwiteit (SBK). Voor Nederland worden de kenmerken van bouwmaterialen uit de LCA's verzameld in de Nationale MilieuDatabase (NMD), welke wordt beheert door de Stichting NMD. Partijen zoals de Dutch Green Building Council en opdrachtgevers van het Rijk geven aan dat deze niet onafhankelijk genoeg is: "De beheerorganisatie voor NMD en werking van milieuprestatieberekeningen mag niet in handen zijn van partijen met meer dan een aanzienlijk belang". Er is nu onder andere geen stem voor de borging van kwaliteit, de wetenschap en het milieu. Daardoor zijn er ook zorgen over de positie van hout en andere bio-based materialen binnen de NMD.

3.3.2 Een gebrek aan integraliteit tussen de MPG en BENG (institutioneel)

Voor bestaande bouw en dus renovatieconcepten bestaat weinig tot geen wetgeving betreffende de CO₂-uitstoot van een woning, noch tijdens de gebruiksfase, noch tijdens de renovatie. Met de

introductie van Standaard en Streefwaarden komen er wel richtlijnen voor energieprestaties in de gebruiksfase, maar dit zijn nog geen vereisten⁶. Om die reden is ook gekeken naar de situatie voor nieuwbouw, omdat die invloed heeft op de hele bouwmarkt en zodoende ook indirect op de bestaande bouw. Voor nieuwbouw bestaat wel wetgeving die ingaat op de CO₂-uitstoot van een woning:

- De MilieuPrestatie Gebouwen (MPG) stelt eisen aan de milieu-impact van materialen die in de woning gebruikt worden. De MPG is opgebouwd uit MKI-scores (milieukostenindicator)⁷ van de verschillende producten waarmee een gebouw is opgebouwd. De CO₂-uitstoot is één onderdeel van de milieukosten.
- BENG (Bijna EnergieNeutrale Gebouwen) stelt eisen aan de energieprestaties.

Beiden hebben onder meer tot doel om de CO₂-uitstoot van een woning te verlagen, maar doen dat in een andere fase van het bouwproces, respectievelijk tijdens de productie en tijdens de gebruiksfase. Dat deze fases onafhankelijk van elkaar beoordeeld worden op de CO₂-uitstoot is een probleem, want de eisen beïnvloeden elkaar wel. Wat goed is voor de MPG-score is niet altijd goed voor de BENG-score. Zo stuurt de MPG op de inzet van minder materialen terwijl de energieprestatie (meestal) verbetert als er een dikker isolatiepakket wordt toegepast.

Deze tegenstrijdigheid kan ertoe leiden dat er CO₂-inefficiënte keuzes gemaakt worden. Een concreet voorbeeld hiervan zijn de installaties die in het kader van de energietransitie worden toegepast. Deze zijn nodig om een woning fossielvrij te verwarmen en duurzame elektriciteit op te wekken, maar hebben een enorme impact op de MPG-score. Zonnepanelen beslaan zelfs het grootste deel van deze score. Zonnepanelen realiseren echter wel degelijk een reductie in de totale CO₂-uitstoot over de hele levensduur van de woning. Partijen die streng sturen op de MPG missen dit feit en maken suboptimale keuzes. Als er geen aandacht is voor de wisselwerking tussen de MPG en BENG kan de aanscherping van de MPG-eis door deze keuzes zelfs leiden tot een hogere CO₂-uitstoot in de gebruiksfase en daarmee uiteindelijk in de totale levenscyclus.

3.3.3 Er is te weinig data over de milieu-impact van producten (institutioneel)

Er zijn meerdere databases waar milieudata van producten wordt verzameld. Denk aan NIBE, OneClick en Ecochain. De Nationale Milieudatabase (NMD) is de enige database die op nationaal niveau officieel wordt erkend en is het meest uitgebreid, maar toch slechts beperkt gevuld met installaties en producten gemaakt van bio-based materialen.

Fabrikanten en leveranciers zijn zelf verantwoordelijk voor het uitvoeren van een levenscyclusanalyse (LCA) over hun product. Producenten van (vaak nieuwe) bio-based materialen en producten kunnen deze (forse) investering niet altijd opbrengen. Producenten van installaties blijken beperkt de noodzaak te voelen om te investeren in productgerichte milieudata (Cobouw, 2021b).

Eén van de redenen hiervan is dat de Nederlandse afzetmarkt door buitenlandse producenten niet als groot genoeg wordt gezien om te investeren in data die aansluit bij de Nederlandse context. Dit geldt zowel voor installaties als oplossingen voor de bouwdelen. De richtlijnen die in Nederland gebruikt worden voor de LCA komen grotendeels uit de Europese standaard, maar kennen ook een paar eigen invullingen. Daarnaast is de MPG een Nederlands instrument. In de NMD is het mogelijk data uit internationale databases over te nemen, maar doordat deze resultaten niet altijd zomaar om te zetten

⁶ In het Klimaatakkoord is afgesproken dat deze standaarden richting 2050 verplicht worden voor verhuurders.

⁷ Om de milieubelasting van een materiaal te bepalen, wordt een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd. De LCA resulteert in 19 indicatoren voor de milieubelasting van een product. De resultaten van 11 van deze indicatoren worden door middel van toegekende wegingsfactoren, omgezet tot één waarde: de milieukosten (MKI) per eenheid van het product (kg, m³, m², etc.).

zijn en er gebruik wordt gemaakt van default waardes (met een veiligheidsmarge van 30%) zijn deze resultaten niet altijd toepasbaar of geeft alsnog niet goed inzicht in de daadwerkelijke impact.

Omdat de NMD een basis is voor meerdere tools, zoals de MPG (en MKI) en DuboCalc, is dit een probleem. Bio-based materialen kunnen, als ze niet in de NMD zijn opgenomen, ook niet meegenomen worden in berekeningen, waarmee het voordeel van deze materialen niet altijd inzichtelijk is. Doordat er bovendien weinig installaties in de NMD staan, kan de milieu-impact van een renovatieconcept niet goed inzichtelijk worden gemaakt. Zo stonden er tot begin 2020 alleen zonnepanelen overgenomen uit de internationale database in de NMD (Milieudatabase, 2020). De introductie van merkgebonden zonnepanelen, waar dus geen default waardes zijn toegepast, laten zien dat de daadwerkelijke MKI score 60% lager kan zijn (Holland Solar, 2020).

Naast dat er op productniveau nog onvoldoende inzicht is in de milieu-impact, wordt ook nog niet de koppeling gemaakt met de besparing die deze maatregelen realiseren in de gebruiksfase. Oftewel, er is geen inzicht in welke keuzes over de hele levensloop het meeste CO₂ besparen.

3.3.4 Belangenverstrengeling in uitvoering levenscyclusanalyse maakt de uitkomst onbetrouwbaar (institutioneel)

Een producent is zelf verantwoordelijk voor het uitvoeren van een levenscyclusanalyse. Deze ‘slager-keurt-zijn-eigen-vlees’ procedure wekt weinig vertrouwen, omdat producenten belang hebben bij een positieve uitkomst. Voor het berekenen van een LCA wordt gebruik gemaakt van standaardwaarden⁸, waar alleen onderbouwd van afgeweken mag worden, maar er blijft speelruimte waardoor verschillende interpretaties en aannames gemaakt kunnen worden. Denk bijvoorbeeld aan de mate van onderhoud. De aanname kan zijn dat onderhoud niet nodig is terwijl dit in de praktijk kan afwijken. Zo kunnen twee personen die hetzelfde product berekenen met hetzelfde systeem toch tot een verschillend resultaat komen. Het is daarom belangrijk dat een onafhankelijke partij verantwoordelijk wordt voor de uitvoering en beoordeling van een LCA.

Het is in Nederland al zo dat voor de opname van een product in de NMD de LCA getoetst moet worden door een erkende onafhankelijke partij. Doordat niet alle gemaakte stappen voor de analyse volledig staan uitgewerkt in het LCA rapport kan een ‘ietwat rooskleurige’ aanname niet worden opgemerkt of als juist worden geïnterpreteerd. Daarmee is deze toets niet voldoende om te borgen dat de analyse volledig onafhankelijk wordt uitgevoerd.

3.3.5 Er zitten weeffouten in de MPG (institutioneel)

Er zijn een aantal inhoudelijke besluiten genomen over hoe de Milieuprestatie Gebouwen (MPG) tot stand komt die zorgen voor structurele barrières voor bio-based materialen:

- De MKI-score van een product (zie 3.3.6) geeft een vertekend beeld van de daadwerkelijke milieu-impact. Deze score is namelijk een abstractie van 11 van de 19 impact categorieën van de LCA en een schematische benadering van een product. Daarbij zijn de wegingsfactoren bepaald op basis van een niet-onafhankelijke commissie (zie 3.3.5), in plaats van een wetenschappelijke analyse. Daarnaast geeft het beeld dat door de MKI ontstaat niet genoeg houvast bij het sturen op CO₂-reductie van producten, omdat de CO₂-uitstoot slechts één onderdeel uitmaakt van één van de 19 impact categorieën.
- Bio-based materialen hebben CO₂ (biogene koolstof) opgeslagen in de vezels tijdens de groei. Bij de productie van bouwproducten komt een deel daarvan vrij, maar de meeste CO₂ blijft in

⁸ Denk aan een standaard geselecteerd transportmiddel of het default afvalscenario, maar ook de systeemgrenzen zijn via deze standaardwaarden bepaald.

het product opgeslagen. Het standaard 'verwerkingsscenario einde leven' van hout is in de MPG 'verbranding'. Dit heeft negatieve gevolgen op de totale milieu-impact score van hout omdat er vanuit wordt gegaan dat de opgeslagen CO₂ na 50 tot 75 jaar wordt losgelaten, terwijl houtproducten zich goed lenen voor hergebruik. Houten kozijnen kunnen bijvoorbeeld makkelijk gerepareerd worden, waardoor het merendeel van het product opnieuw kan worden ingezet. Daarna kan hout gerecycled worden voor het fabriceren van plaatmateriaal of isolatie. Verbranding van hout zou dan ook altijd de laatste optie moeten zijn, zodat de opgeslagen CO₂ decennia langer opgeslagen kan blijven.

- Door het standaard 'verwerkingsscenario einde leven' mag deze opgeslagen CO₂ in hout ook niet worden meegenomen in de MKI-score. De in het product opgeslagen CO₂ heeft echter een positief effect op de Global Warming Potential (GWP) indicator. In de oude bepalingmethode werd langdurige vastlegging van biogene koolstof daarom wel beloond, maar in de EN 15804-A2 kan dit niet meer. Bouwen met hout komt daardoor ongunstiger uit de MPG-berekeningen dan zou moeten (TNO, 2021). Inmiddels heeft een manifest van VORM dat oproept deze CO₂-opslag wel mee te rekenen (VORM, 2021) ook minister Ollongren bereikt. Zij heeft beloofd te verkennen hoe dit aangepast kan worden (Tweede Kamer, 2021).
- Incorrecte aannames in de LCA methodiek belasten natuurlijke materialen soms onnodig zwaar. Wie bijvoorbeeld naar de website van Milieu Centraal gaat en leest over verschillende isolatiematerialen ziet dat schapenwol door de hoge milieu-impact afgeraden wordt. En dit terwijl in 2007 schapenwol nog de beste milieuscore van alle isolatiematerialen had (NIBE, 2013). Er zijn twee misvattingen in de onderliggende LCA die leiden tot deze herclassificering. Ten eerste wordt schapenwol te zwaar belast, doordat de wol als hoofdproduct van de schapenhouderij wordt gezien. In Nederland is wol echter een afvalproduct van schapen die gehouden worden voor natuuronderhoud. Het alloceren van de milieu-impact van het houden van schapen aan één doel is daarbij niet realistisch. Schapen worden vaak niet 100% gehouden voor natuurbehoud óf vlees óf wolproductie. Ten tweede wordt er bij de behandeling die wordt toegepast om de wol te beschermen tegen aantasting door ongedierte vanuit gegaan dat dit gebeurt met pesticide. De wol wordt echter vaker geïoniseerd, wat een schonere behandelingsmethode is. Daarom wordt er gewerkt aan een nieuwe LCA voor schapenwol. Het probleem van onzorgvuldige LCA's speelt ook bij andere producten, zoals strobouw, cellulose en kurk.

3.3.6 Er zitten weeffouten in de BENG (institutioneel)

BENG stelt eisen aan het thermisch (zomer)comfort in de woning via het indicatiegetal 'TOjuli'. Uit een onderzoek van Nieman (2019) blijkt dat woningen met een lichte bouwconstructie (zoals hout) slechter scoren dan projecten met een thermisch zware constructie (zoals beton). Een woning met een lichte bouwconstructie warmt dus sneller op⁹.

Bij het bepalen van het thermisch comfort wordt gekeken naar de interne warmtecapaciteit. Daarbij wordt isolatiemateriaal niet meegerekend in de werkzame dikte, omdat de meeste isolatiematerialen geen hoge warmtecapaciteit hebben en zich achter de werkzame massa bevinden (Nieman, 2020). De warmteopslagcapaciteit van bio-based isolatiematerialen is echter groter en kan binnenkomende warmte beter vasthouden dan reguliere isolatiematerialen. Het combineren van een houtconstructie met bio-based isolatie (en een set van andere maatregelen) zou daarmee een beter resultaat kunnen leveren, maar dat kan nu niet rekenkundig worden aangetoond middels de achterliggende methodiek van TOjuli, te weten NTA 8800 bijlage B.

⁹ Overigens koelt een dergelijke woning ook weer sneller af, zodat de volgende ochtend met een lagere starttemperatuur wordt begonnen (Bouwwereld, 2020). Dit wordt momenteel ook niet meegenomen bij bepaling van de TOjuli.

Dat lichtere constructies nu slechter scoren, heeft tot gevolg dat in het afgelopen jaar verschillende houtbouwprojecten zijn stopgezet en dat er bij projecten toch is gekozen voor een zwaardere betonconstructie. MPG en BENG bijten elkaar hier dan ook concreet. Om meer inzicht te krijgen in de potentie van warmteopslag bij bio-based isolatiematerialen zal hier meer onderzoek naar moeten worden gedaan. Als deze warmteopslag bekend is kan dit worden vertaald naar de prestaties op aspecten als comfort en oververhitting.

3.3.7 Het normering- en certificeringssysteem vormt een barrière (institutioneel)

Bij markttoetreding moeten circulaire en bio-based materialen, net als andere materialen, gecertificeerd zijn op prestatiekenmerken. Dit geldt voor constructieve veiligheid, brand, gezondheid en ook milieu. Het huidige certificeringssysteem zorgt voor een instapdrempel voor nieuwe producten. Er zijn verschillende manieren waarop dat gebeurt:

- a) Beoordelingscriteria en testmethoden zijn niet geschikt om de eigenschappen van circulaire materialen te evalueren.

Beoordelingscriteria en testmethoden voor bijvoorbeeld de NEN of andere certificering zijn afgestemd op huidige producten. De prestaties van circulaire producten (waaronder bio-based producten) laten zich vaak anders meten, waarvoor aanvullende of aangepaste beoordelingscriteria nodig zijn. Op basis van de huidige criteria komen de voordelen van deze producten niet goed aan het licht. Twee voorbeelden hiervan zijn:

- **Brandveiligheid** - Onderdeel van de brandveiligheidstest is om te kijken of een vlam zich snel verspreidt over een materiaal. Bij bio-based materialen kan het zo zijn dat de vezeltjes die uitsteken boven het oppervlakte van een isolatiedeken zeer snel wegbranden waardoor het lijkt alsof het vuur zich snel verspreidt. Na deze eerste snelle vlammen dooft het vuur echter en verkoolt de oppervlakte, wat zorgt voor een natuurlijke brandvertrager en beschermlaag voor het onderliggende materiaal. Bij de brandveiligheidstest wordt eveneens gekeken naar de rookontwikkeling, maar niet naar de hoeveelheid schadelijke stoffen die vrijkomen. Bouwmaterialen gebaseerd op fossiele grondstoffen scoren vaak beter qua rookontwikkeling dan bio-based materialen, maar verspreiden wel meerdere giftige stoffen.
- **Gezondheid en comfort** - Specificaties in relatie tot gezondheid en comfort voor de verwerker en binnenluchtkwaliteit voor de bewoner spelen bij bestaande tests nauwelijks een rol. Dat bio-based materialen hier vaak goed op scoren komt daarom niet aan het licht en wordt dus ook niet 'gewaardeerd'.

- b) Eisen en normen voor nieuwe circulaire producten ontbreken

Met bepaalde NEN- en ISO-normen kunnen producenten de kwaliteit van hun product aantonen. Denk aan de NEN-normen voor betonconstructies. Deze normen ontbreken echter voor veel nieuwe circulaire producten, waardoor het vaak onduidelijk is aan welke kwaliteitseisen een product moet voldoen.

- c) Het is duur om gecertificeerd te worden

Toetsing aan diverse NEN-normen en het uitvoeren van levenscyclusanalyses (LCA's) vraagt om een hoge periodieke investering. Deze investeringen kunnen nieuwkomers niet altijd opbrengen. Deze toetsingen zijn desalniettemin nodig om producten op de markt te krijgen en te kunnen concurreren met de huidige gangbare producten.

3.3.8 Beperkt aanbod van circulair ontworpen installaties (technisch)

Installaties zorgen voor 60% van de impact van een hoogwaardig renovatieconcept (zie hoofdstuk 3.1). Van deze 60% is vervolgens bijna 80% afkomstig van de toepassing van zonnepanelen. Er zijn een aantal redenen waarom de milieu-impact van installaties hoog is. Allereerst zijn de meeste installaties opgebouwd uit materialen waarvan de grondstoffen schaars zijn en waarvan de productie of de verwerking (vrij) veel energie vraagt. Daarbij is de levensduur van een installatie relatief kort ten opzichte van de constructie van een woning. Installatievervanging tijdens de levensduur van de woning is dan ook noodzakelijk. Hergebruik en recycling kan de vraag naar de benodigde materialen verlagen, maar omdat ze daar niet voor zijn ontworpen is dit nu vaak geen optie.

De afgelopen jaren is door fabrikanten van installaties gefocust op het verbeteren van de energetische prestaties en betaalbaarheid van de systemen, om ze zo voor een grotere groep gebruikers interessant te maken. Voor de impact van de materialen die daarbij worden gebruikt is tot nu toe beperkt aandacht geweest. Om het langdurig goed functioneren van installaties te kunnen garanderen, worden daarnaast hoge eisen gesteld aan de gebruikte materialen, waardoor het vervangen van een dergelijk materiaal door een ander (circulair) materiaal uitdagend is.

Voor de installatiesoort HVAC gelden daarnaast twee additionele redenen waarom ontwikkelingen langzaam gaan:

- Hoewel het aanbod van installaties waarbij gelet is op het materiaalgebruik beperkt is, wordt ook niet altijd gekozen wordt voor de meest duurzame installatie die beschikbaar zijn, omdat installateurs en bouwers vaak afspraken hebben met bepaalde leveranciers. Hierdoor wordt er niet open gekeken naar wat daadwerkelijk de beste en meest duurzame oplossing is. Daarbij heeft de opleiding van de installateur ook effect op welk voorstel van de installatie-oplossing deze zal doen.
- Een ander element dat het lastig maakt om verbeteringen in bestaande installatie-oplossingen door te voeren is de manier van certificeren. Een producent moet een oplossing laten certificeren op prestatiekenmerken en zodra er een verbetering wordt doorgevoerd moet deze toets opnieuw gedaan worden. Dit kost geld en daarom kiezen producenten er vaak voor eerst de investering van de certificering eruit te halen voordat ze hun producten verder ontwikkelen.

3.3.9 Beperkte bewegingsvrijheid in bestaande bouw (technisch)

In de bestaande bouw is de bewegingsvrijheid voor het kiezen van materialen beperkt, omdat aangesloten moet worden op de bestaande constructie en het aanbod op de markt daar momenteel beperkt geschikt voor is. Hierdoor zijn de huidige gangbare materialen in de praktijk niet altijd te vervangen door circulaire materialen. Deze beperkingen gelden overigens beperkt bij het gebruik van voorzetwanden en buitengevelisolatiesystemen. De mogelijkheden zijn hierbij namelijk minder afhankelijk van de bestaande constructie. Hieronder staan twee situaties beschreven die deze beperkte bewegingsvrijheid illustreren.

- Low-tech oplossingen zijn niet altijd mogelijk: Het sturen op een oplossing met minder installaties ('low-tech') is in theorie een mogelijkheid om de milieu-impact te verlagen. Hiertoe wordt vaak een combinatie gemaakt van installatie-oplossingen met bouwkundige oplossingen. Er zijn diverse passiefhuis renovaties uitgevoerd die laten zien dat dit mogelijk is. Bouwkundige oplossingen zoals de oriëntatie van een woning om optimaal gebruik te maken van zoninval of slimme kanalisering om natuurlijke ventilatie zonder koudeval tot stand te

brengen zijn in de bestaande bouw echter niet altijd mogelijk. Er kunnen namelijk beperkt tot geen veranderingen gedaan worden aan de constructie en oriëntatie van de woning.

- Bio-based isolatiematerialen passen niet altijd: Een deel van de natuurlijke isolatiematerialen heeft een lagere Rd-waarde dan de huidige gangbare isolatiematerialen zoals PIR schuim. Om met deze materialen tot dezelfde energetische prestaties te komen is daarom vaak een dikker isolatiepakket nodig. In bestaande bouw kan dit een knelpunt opleveren, omdat daar niet altijd ruimte voor is in de constructie of opbouw. Aan de buitenkant moet er rekening worden gehouden met de erfgrans en aan de binnenkant moet er woonruimte worden ingeleverd. In dit laatste geval kan worden verkend of er gebruik kan worden gemaakt van 'niet praktische ruimte', zoals de ruimte van de radiatoren en vensterbanken, om zo het dikkere isolatiepakket kwijt te kunnen. Dit is echter geen alternatief voor oplossingen die gebruik maken van de bestaande radiatoren, die nu veelal worden toegepast om zo de renovatie betaalbaar te houden en impact van de renovatie op de bewoner te minimaliseren.

3.3.10 Toepassing van alternatieven zonder herontwerp leidt niet altijd tot meeste CO₂-reductie (technisch)

Bij de verduurzaming van een renovatieconcept wordt vaak gezocht naar alternatieve materialen en producten die in het bestaande ontwerp toegepast kunnen worden. Alhoewel dit een goede eerste stap is kan aandacht voor ander materiaalgebruik in combinatie met herontwerp van het concept meer CO₂ reduceren. Door gebruik te blijven maken van het bestaande ontwerp zullen sommige opties namelijk onnodig afvallen omdat ze net andere eigenschappen hebben dan het oorspronkelijk ingetekende materiaal. Het gaat daarbij niet alleen over de Rd-waarde, maar bijvoorbeeld ook over constructieve eigenschappen, manieren van bevestigen, thermische massa, akoestische eigenschappen, schimmelwerendheid, brandwerendheid, enzovoorts. Door herontwerp kunnen circulaire materialen beter worden toegepast én kan het totale materiaalgebruik geminimaliseerd worden.

3.3.11 Zorgen over ruimtegebruik voor productie (technisch)

In de bouw wordt momenteel flink gediscussieerd over de voor- en nadelen van 'bio-based' (circulair) bouwen versus mineraal (traditioneel) bouwen. Een onderdeel van deze discussie is de ruimte die nodig is voor het produceren van bio-based materialen. Want zonder voldoende ruimte voor productie kan onvoldoende schaal bereikt worden om bio-based materialen in te kunnen zetten voor de energietransitie en andere bouwtoepassingen.

Om inzicht te creëren in de potentie van opschaling in Nederland is onder het Klimaatakkoord een routekaart ontwikkeld voor 'een groter aanbod en betere benutting van biograndstoffen' (Klimaatakkoord, 2020). Deze routekaart laat zien dat op korte termijn zo'n 4 Mton (miljoen ton) en in 2030 zo'n 10 Mton droge stof extra biograndstoffen opgeleverd kan worden voor bijvoorbeeld bouwmaterialen, maar ook andere toepassing in Nederland die om biograndstoffen vragen. In de routekaart is niet alleen gekeken naar de potentie van gewassen die primair voor dit einddoel geteeld worden in landbouw en bosbeheer, maar ook naar reststromen als GFT afval en berm en natuurgrassen en het opdelen van biograndstoffen in nuttige componenten en moleculen. Onder andere bij de route van het gebruik van reststromen speelt het vraagstuk van eventuele concurrentie met ruimte voor het verbouwen van voedsel minder en deze route verdient daarom tenminste evenveel aandacht als grondstoffen die primair voor dit doeleinde worden geteeld.

Waar de routekaart verder nog geen antwoord op geeft is de hoeveelheid biograndstoffen dat geschikt en beschikbaar is voor de productie van bouwmaterialen. Om de industrie vertrouwen te geven in de

toekomstige beschikbaarheid is daarom een vertaling nodig van de hoeveelheid beschikbare biograndstoffen naar de benodigde grondstoffen voor de bouw om zowel de energietransitie als de nieuwbouwopgave tot 2050 te realiseren.

3.3.12 Circulaire materialen hebben onvoldoende schaalvoordeel (economisch)

Circulaire materialen ervaren nog niet de voordelen van schaal die reguliere materialen al hebben. Hierdoor zijn deze materialen op dit moment vaak nog duurder dan de huidige gangbare materialen die grootschalig worden toegepast. Beton is goedkoper dan hout en PUR-isolatie is goedkoper dan verschillende natuurlijke isolatiematerialen zoals vlas, hennep of cellulose. Alternatieven zijn vaak zelfs 10 tot 20 procent duurder (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020). De hogere prijs wordt ook veroorzaakt doordat aannemers de risico's van het gebruik van voor hen onbekend materiaal doorberekenen in de prijs.

Naast de hogere prijs wordt de beperkte beschikbaarheid door fabrikanten en bouwbedrijven ook genoemd als reden circulaire materialen (nog) niet in geïndustrialiseerde concepten toe te passen. Het risico dat die materialen, met name isolatiematerialen, niet in de benodigde getale geleverd kunnen worden wordt als te groot gezien.

3.3.13 De aanschafprijs is leidend - deel I (economisch)

De kostprijs bij aanschaf is momenteel het belangrijkste criterium dat in de meeste aanbestedingen en uitvragen gehanteerd wordt om een oplossing en/of marktpartij te kiezen. Omdat circulaire materialen vaak duurder zijn in aanschaf dan gangbare materialen worden deze niet gekozen. Circulaire materialen kunnen echter voordelen bieden op het gebied van de CO₂-uitstoot (en andere milieueffecten), gezondheid, comfort en andere prestatiekenmerken. Sturing op deze waarden mist bij de focus op kostprijs en is momenteel dus ook geen onderdeel bij de bepaling van de economische waarde van producten en materialen. Dit geeft onvoldoende prijsprikkels om te kiezen voor gezondere materialen of efficiënter met grondstoffen om te gaan. Producten die meer schadelijk zijn voor het milieu komen er prijstechnisch op deze manier beter van af dan eigenlijk zou moeten.

3.3.14 De aanschafprijs is leidend - deel II (economisch)

Circulaire materialen zijn, om verschillende redenen, bij aanschaf nog duurder dan de huidige gangbare materialen. Als men echter kijkt naar de toepassing van het materiaal in het renovatieconcept kunnen de kosten en opbrengsten van bepaalde circulaire materialen toch even goed of zelfs beter uitvallen dan reguliere materialen. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van geprefabriceerde houtelementen versus traditionele betonbouw. In aanschaf kunnen de houtelementen duurder zijn, maar het kan middels moderne productieprocessen exact op maat gemaakt worden ('prefab'). Door deze precisie, het feit dat er minder arbeid nodig is en doordat installaties zo beter geïntegreerd kunnen worden in de constructie, vallen de faalkosten later in het proces lager uit. Dit kan nderaan de streep leiden tot een besparing.

3.3.15 Circulaire materialen worden gezien als risicofactor (sociaal/cultureel)

De bouw is een risicomijdende sector. Dit komt onder andere door de manier waarop aanbestedingen zijn georganiseerd, waarbij de nadruk ligt op het afdekken van risico's. De bouwende partij is verantwoordelijk voor de afgesproken prestaties en het financieel risico van het niet halen van deze afspraken. Het starten met gebruik van relatief onbekende materialen, met nog niet altijd bewezen

prestaties, leidt bij een fabrikant of bouwbedrijf tot de inschatting dat extra risico's worden aangegaan. De materialen die nu standaard worden toegepast zijn bekend en de ervaring ermee is groot. Dit leidt niet alleen tot twijfel over de toepassing van nieuwe circulaire materialen en producten, maar soms zelfs tot actieve weerstand.

3.3.16 Imagoprobleem door verkeerde toepassing (sociaal/cultureel)

Circulaire producten hebben vaak een net iets andere gebruiksaanwijzing dan het vergelijkbare gangbare product. Hierdoor komt het voor dat door verkeerde toepassing problemen als vocht, schimmel of brandgevaar ontstaan. Zo zijn er voorbeelden waar de toepassing van bio-based isolatiemateriaal dat voldoet aan de brandveiligheidseisen toch leidt tot brandgevaar doordat het verkeerd is aangebracht. Dit soort voorbeelden kunnen leiden tot een imagoprobleem, terwijl dat niet altijd terecht is. Dergelijke problemen kunnen voorkomen worden door het introduceren van een standaard detaillering die gebruikt moet worden bij toepassing van het product.

3.3.17 Circulariteit heeft geen prioriteit (sociaal/cultureel)

Circulariteit wordt tot op heden slechts incidenteel geprioriteerd in aanbestedingen en uitvragen. Dat betekent dat het óf niet genoemd wordt óf het een lagere prioritering krijgt dan aspecten als prijs en energie. Daar waar circulariteit expliciet benoemd en geprioriteerd wordt is er vaak nog sprake van een pilot. Deze prioritering van energie boven circulariteit door woningcorporaties en gemeenten heeft ook te maken met dat waar de landelijke overheid focus op legt. Zo zijn er op regionaal niveau wel verplichtingen tot planvorming voor de energietransitie, denk aan de Transitievisie Warmte, maar niet voor de circulaire transitie. Door uitvragende partijen wordt daardoor meer noodzaak gevoeld om stappen te zetten op de energietransitie dan op de circulaire transitie.

3.3.18 De markt verwacht “een gevel van baksteen” (sociaal/cultureel)

Hoe wordt de CO₂-uitstoot van een gevel nu al verlaagd?

Op prefab gevelelementen wordt een dun laagje steenstrips aangebracht, wat veel minder materiaal bevat dan normale bakstenen. Deze strips worden op 60 graden gebakken, terwijl een normale baksteen 1000 graden nodig heeft. Hierdoor is de CO₂-uitstoot van de productie van een minerale steenstrip 80% minder dan die van een gevel met conventionele opbouw (Bouwtotaal, 2020).

Oprachtgevers en welstandscommissies zorgen voor esthetische beperkingen bij het toepassen van circulaire materialen. Zo wordt er nog steeds gevraagd om gevelafwerkingen met metselwerk, steenstrips of een keramische oplossing, terwijl er materialen met een lagere CO₂-uitstoot voorhanden zijn, zoals stucwerk, hout of bio-composiet. Gevelafwerking is daarnaast een toevoeging die puur wordt gedaan vanwege esthetische meerwaarde. Daarom is het hier relevant de vraag te stellen of deze toevoeging überhaupt nodig is of dat op een andere manier aan de esthetische behoefte kan worden voldaan, bijvoorbeeld door materialen met een isolerende of constructieve functie een mooie uitstraling te geven zodat de toevoeging van extra materiaal niet nodig is.

3.3.19 Bedrijven moeten zichzelf opnieuw uitvinden (sociaal/cultureel)

Het sluiten van kringlopen vraagt, naast natuurlijke materialen, herbruikbare producten en demontabele ontwerpen, ook om een circulaire keten. In deze keten zijn verantwoordelijkheden en rollen anders verdeeld dan in de lineaire keten. De sloper is bijvoorbeeld niet alleen meer leverancier van een destructieve dienst, maar ook kennispartner over demontage en hergebruik van producten en

elementen. De ontwerper en architect denken niet langer alleen meer na over functie en esthetiek, maar ontwerpen ook met volgende levenscycli in gedachte. Partijen in de bouwketen zijn op zoek naar hoe zij hier zelf invulling aan kunnen geven. Dit vraagt bijvoorbeeld om nieuwe kennis, nieuwe bedrijfsmodellen en nieuwe software.

Naast het heruitvinden van de individuele rollen is het voor het sluiten van de kringlopen belangrijk dat de gehele keten circulair wordt ingericht. Zowel in de focusgroep als in het onderzoek van Abma (2020) wordt het gebrek aan toewijding van ketenpartners voor het circulair inrichten van de keten genoemd als knelpunt.

3.3.20 Het eindbeeld voor de circulaire transitie ontbreekt (kennis)

Anders dan bij de energietransitie (“CO₂-neutraal”) heeft de circulaire transitie nog geen duidelijk eindbeeld. De focus in de circulaire transitie ligt op het verlagen van de milieu-impact en het primair grondstofgebruik, maar men is het nog niet eens over wat daarvoor nodig is en wanneer het goed genoeg is. Moet er bijvoorbeeld een focus liggen op producten die lang meegaan en meerdere levenscycli ingezet kunnen worden of draagt de grootschalige inzet van hernieuwbare (bio-based) materialen meer bij? Ook is onduidelijk wanneer het doel bereikt is. Helemaal geen input van minerale grondstoffen lijkt niet realistisch, evenals een maatschappij waar volstrekt geen afval meer is, maar wat dan wel? Het gevolg hiervan is dat het lastig is om een vertaling te maken naar kwantitatieve doelen en concrete routekaarten.

3.3.21 Door een gebrek aan consensus zijn partijen afwachtend (kennis)

Nederland kent geen afgesproken definitie en meetmethode voor een circulair gebouw. Uitvragende partijen stellen daarom andere criteria voor circulaire oplossingen en vragen het daardoor net iets anders uit. Dat maakt het lastig om kennis in de markt te bundelen en op basis daarvan op te schalen, omdat het wiel telkens opnieuw uitgevonden moet worden.

Door het ontbreken van een duidelijke definitie kunnen partijen ook claimen circulair te werken of circulaire producten aan te bieden terwijl slechts enkele aspecten van circulariteit zijn meegenomen. Zo suggereert de een op basis van een levenscyclusanalyse (LCA) dat hout het meest duurzame alternatief is, terwijl andere partijen met gebruik van dezelfde methode concluderen dat beton tenminste even duurzaam is. Door het gebrek aan consensus over wat circulair is blijft de discussie doormodderen over “wat gedaan moet worden” en komt de sector nauwelijks toe aan “hoe het te bereiken is”.

3.3.22 Onbekendheid leidt tot extra barrières (kennis)

Er is niet veel bekend bij marktpartijen over circulaire materialen, welke eigenschappen deze materialen hebben en hoe ze toe te passen zijn. Dit geldt voor bijvoorbeeld architecten, leveranciers, bouwende partijen, maar ook opdrachtgevers zoals een woningcorporatie. Daardoor wordt vaak voor ‘de bekende weg’ gekozen.

In de focusgroep is daarnaast concreet de groep van ambtenaren genoemd die de producten en totaalconcepten controleren. Zij weten niet altijd hoe deze alternatieven te beoordelen, omdat ze er niet bekend mee zijn. Zij moeten dus elke keer overtuigd worden dat producten aan bepaalde eisen voldoen. Dit kost extra tijd en geld in vergelijking met de beoordeling van meer gangbare producten.

3.3.23 De ‘onvolwassen’ energietransitie is niet klaar voor de circulaire transitie (kennis)

Leveranciers en bouwende partijen ervaren verschillende uitdagingen bij het ontwikkelen en vermarkten van hoogwaardige renovatieconcepten (Abma, 2020). Omdat de realisatie van deze projecten al een uitdaging is zien partijen het niet altijd zitten om daar een extra opgave aan te koppelen, in dit geval de circulaire transitie. Beide transities zijn namelijk los van elkaar al een enorme uitdaging en kennis over hoe deze wellicht relatief eenvoudig te koppelen zijn is nog niet voldoende ontwikkeld. Dit komt onder andere doordat er nog maar weinig ervaring is opgedaan met het combineren van energie- en circulaire maatregelen in hoogwaardige renovatieconcepten.

Verschillende marktpartijen zien daarnaast het risico dat het stellen van extra eisen aan renovatieconcepten de energietransitie voortijdig uit de markt prijst waardoor gekozen wordt voor lagere ambities in plaats van de beoogde hoge ambitie van én energietransitie én een circulaire transitie.

3.4 Deelvraag D: Oplossingsrichtingen

De focus van dit onderzoek ligt op het in kaart brengen van beschikbare circulaire materialen die ingezet kunnen worden in renovatieconcepten (deelvraag B) en het identificeren van de redenen waarom partijen deze in de praktijk niet of nauwelijks toepassen (deelvraag C). Bij het beantwoorden van deze vragen zijn er door de bij het onderzoek betrokken partijen ook veel suggesties gedaan over hoe het gebruik van circulaire materialen bevorderd kan worden. Vanuit transitieperspectief gaat het om het structureel verhelpen of ‘oplossen’ van de geïdentificeerde knelpunten, zodat de groeiende markt van circulaire materialen en producten volwassen kan worden en serieus kan beginnen te concurreren met de huidige gangbare materialen die gebaseerd zijn op minerale of fossiele grondstoffen. De opsomming van knelpunten in paragraaf 3.3 zou dan ook gezien kunnen worden als een actieagenda voor een transitieprogramma gericht op de circulaire economie.

Niet alle betrokken partijen staan bij alle oplossingsrichtingen aan de lat. In tabel 3 staan de actoren weergegeven die op basis van ons onderzoek een rol kunnen spelen bij het uitwerken van een oplossingsrichting.

Tabel 3: Betrokken actoren bij oplossingsrichtingen

	Institutioneel	Technisch	Economisch	Cultureel & sociaal	Kennis-ontwikkeling
Het Rijk	x		x		x
Ondernemingen (producenten en uitvoerders)		x	x	x	
Opdrachtgevers		x	x	x	
Kennis en onderzoeksinstituten		x	x		x
Opleidingsinstituten					x
Eindgebruikers				x	

3.4.1. Institutioneel

Om een gelijk speelveld te creëren voor alle bouwmaterialen is het belangrijk dat nieuwkomers op de markt (o.a. producenten van bio-based materialen) en de wetenschap betrokken worden bij de commissies die gaan over het maken van nieuwe normen, eisen en rekenregels.

Het is daarnaast belangrijk dat er gewerkt wordt aan wetgeving die het mogelijk maakt om integraal te scoren op CO₂-uitstoot. Dat betekent dat de MPG en BENG (bij renovatie Standaard en Streefwaarden) communicerende vaten moeten worden. Daarbij past een levenscyclus benadering waar gekeken wordt naar de gehele CO₂-uitstoot (productie- en gebruiksfase), zodat op basis hiervan keuzes gemaakt kunnen worden. Een onafhankelijk en gedragen circulair prestatiekader voor bouwproducten helpt bij het inzichtelijk maken van hoe producten en materialen scoren over de gehele levensduur. Daarbij moeten de circulaire prestaties even goed inzichtelijk zijn als de productprestaties zoals de isolatiewaarde. Hierbij moet wel geborgd worden dat normen zo eenvoudig mogelijk zijn en dit geen papieren tijgers worden die veel (adviseurs)rekenwerk veroorzaken.

Producenten moeten gestimuleerd worden om meer inzicht te geven in de milieu-impact van hun producten. Een verplichting zou hierbij kunnen helpen. Dat kan gepaard gaan met financiële ondersteuning voor startende ondernemingen die deze investeringen niet altijd kunnen doen, maar wel flexibeler zijn om nieuwe circulaire producten op de markt te brengen. Ook is het belangrijk dat onafhankelijke partijen deze analyses uitvoeren zodat de betrouwbaarheid van de data geborgd wordt.

3.4.2. Technisch

Het is belangrijk dat producenten CO₂-neutrale alternatieven voor installaties gaan ontwikkelen en hierin hun rol, die zij vanuit het Klimaatakkoord hebben gekregen, oppakken. Het toepassen van andere materialen is daarbij essentieel, maar door hoge eisen vaak nog lastig. Op korte termijn kunnen stappen gezet worden door installaties zo te ontwerpen dat ze na 15 tot 25 jaar gerecycled kunnen worden. Bij bijvoorbeeld ventilatiesystemen en warmtepompen hoeft na 15 jaar niet alles vervangen te worden, alleen de printplaat, motor (bij ventilatie) en compressor (bij warmtepomp). Als deze systemen demontabel ontworpen worden dan kunnen alleen deze elementen vervangen worden en de overige onderdelen in gebruik blijven. Daarvoor moet dan wel een incentive worden ontwikkeld zodat het voor producenten niet alleen als meerwerk wordt gezien.

Opdrachtgevers en bouwende partijen kunnen de ontwikkeling van deze alternatieven versnellen door hiernaar te (blijven) vragen, ruimte en budget hiervoor te laten in aanbestedingen en installatiebedrijven tijdig in het bouwproces te betrekken. Op deze manier kunnen deze laatstgenoemden in een vroeg stadium meedenken over oplossingen en aangeven wat zij nodig hebben om deze te realiseren.

3.4.3. Economisch

Economische knelpunten kunnen (deels) opgelost worden door wet- en regelgeving. Zo kunnen dwingende kaders ervoor zorgen dat een hoge kostprijs niet langer meer een reden is om geen stappen te zetten. Een voorbeeld van zo'n dwingend kader wordt uitgewerkt in Frankrijk. Daar ligt een voorstel om vanaf 2022 een verplichting in te stellen dat minstens 50% van de overheidsgebouwen wordt gebouwd met bio-based materialen. Dit kan een enorme boost geven aan de opschaling van bio-based materialen zodat deze ook beter beschikbaar en betaalbaar worden voor de woningmarkt. Minister Ollongren heeft inmiddels aangegeven te gaan verkennen wat de mogelijkheden zijn om ook in Nederland een dergelijke norm te introduceren (Rijksoverheid, 2021c).

Een andere route waarmee een substantiële marktvraag gecreëerd kan worden is door industriële bouwers te koppelen aan producenten van bio-based materialen. Zij kunnen op den duur relatief

constant bio-based materialen afnemen, wat voor de producenten de mogelijkheid biedt om in lange termijn opschaling van het productieproces te investeren.

Het doorrekenen van de verborgen milieukosten in een product maakt de kostprijs daarnaast eerlijker. Een vorm hiervan die al vaker is verkend is het beprijzen van CO₂-uitstoot tijdens de hele levenscyclus, inclusief productie, transport en gebruik. Zo zijn materialen en producten met een lagere CO₂-uitstoot niet alleen beter te verantwoorden in het kader van de milieu-impact, maar ook economisch de meest verantwoorde keuze.

3.4.4. Sociaal en cultureel

Opdrachtgevers kunnen nu al stappen zetten door circulariteit te scoren in aanbestedingen en op zoek te gaan naar wat binnen de bestaande kaders mogelijk is. De manier waarop de vraag aan de markt gesteld wordt is er hier een van. Uitvragen op functionele eisen kan ervoor zorgen dat er geen onbewuste belemmeringen in de uitvraag staan die het bemoeilijken om circulaire oplossingen toe te passen. Bouwende partijen kunnen zelf ook het gesprek aangaan met de opdrachtgever om ruimte te zoeken voor circulaire maatregelen. Zijn er bijvoorbeeld maatregelen die terugverdiend kunnen worden binnen de levensloop van de woning, maar vragen om een andere benadering dan focus op kostprijs? Of zijn er maatregelen die kosten besparen, maar effect hebben op aspecten als esthetiek?

Verder is de ervaring dat bewoners positief staan tegenover het gebruik van natuurlijke materialen. De eindgebruiker is nu echter beperkt onderdeel van het afwegingskader bij projecten van woningcorporaties en gemeenten. Het hier vroegtijdig bij betrekken geeft een andere impuls voor het gebruik van circulaire materialen.

Een simpele stap om weerstand weg te nemen bij zowel uitvoerende als uitvragende partijen is door hun ervaring op te laten doen met circulaire materialen. Vaak komt de weerstand ook door de onbekendheid. Het gebruik van natuurlijk isolatiemateriaal is bijvoorbeeld gebruiksvriendelijker voor degene die dit moet plaatsen. Het levert namelijk geen huidirritatie op. Zodra deze voordelen ervaren worden neemt het enthousiasme voor de producten toe.

3.4.5. Kennis

Er is nog veel werk te verzetten om de bekendheid van circulaire materialen te vergroten. Het is hierbij belangrijk te beginnen bij partijen die keuzes maken over welke materialen toegepast worden zoals architecten, producenten en bouwende partijen. Voor geleerde lessen en voorbeeldprojecten kan gekeken worden naar landen als Duitsland en Oostenrijk. Waar in Nederland bijvoorbeeld hout nog beperkt wordt toegepast is in deze landen al veel ervaring opgedaan en wordt hout al meer gezien als gangbaar bouwproduct. Kennisinstituten kunnen een rol spelen door deze kennis overdraagbaar te maken naar de Nederlandse context.

Een breed gedragen kennisprogramma voor bio-based bouwen kan ook een rol spelen bij het vergroten van kennis over circulaire alternatieven. In een dergelijk programma werken kennisinstituten samen met het Rijk aan het oplossen van meerdere knelpunten. Denk aan het ontwikkelen van kennis die nu nog ontbreekt, bijvoorbeeld over isoleren met schelpen. Andere manieren waarop zo'n programma knelpunten kan oplossen is door het verbreden van kennis over brandveiligheid van natuurlijke isolatiematerialen en duidelijkheid geven over aannames in de LCA methodiek voor materialen als schapenwol en stro.

Daarnaast is het belangrijk dat circulair ontwerpen en bouwen wordt opgenomen in programma's van MBO, HBO en WO opleidingen.

Hoofdstuk 4: Conclusies

Hoogwaardig renoveren is, ondanks de initiële CO₂-uitstoot voor productie van materialen, over de levensloop gezien altijd een slimme keuze. Want waar een gerenoveerde woning door de renovatie initieel meer CO₂-uitstoot veroorzaakt, wordt deze na circa 5 (circulair) of 7 (lineair) jaar ‘terugverdiend’. Om deze initiële CO₂-uitstoot zoveel mogelijk te minimaliseren (zonder effect op CO₂-uitstoot in levenscyclus) zijn voor de bouwdelen van een hoogwaardig renovatieconcept verschillende circulaire materialen beschikbaar. Voor de installaties zijn deze circulaire alternatieven er slechts beperkt. Dat betekent dat er alternatieven ontwikkeld moeten worden om de initiële uitstoot richting nul te brengen.

Bij de verkenning van de redenen dat de alternatieven die er wel zijn nog niet breed worden toegepast zijn 23 knelpunten geïdentificeerd. De breedte en diversiteit van de knelpunten laat zien dat er nog veel moet gebeuren voor circulaire alternatieven kunnen concurreren met traditionele bouw.

Institutionele knelpunten zijn in dit onderzoek veruit het vaakst genoemd als drempel om maatregelen uit de energie- en circulaire transitie te koppelen. Wetgeving en normeringen ondersteunen de keuze voor circulaire materialen niet. Daarmee wordt een ongelijk speelveld gecreëerd ten opzichte van reguliere materialen. Dit zien we terug in de LCA, MPG, BENG en normering en certificeringseisen.

De GWP impact van een hoogwaardig renovatieconcept komt voor 60% van de installaties. Omdat bijna 80% van deze impact van installaties wordt veroorzaakt door de toepassing van zonnepanelen is het belangrijk dat hier een initiële focus op komt te liggen. Allereerst door de daadwerkelijke impact van verschillende soorten zonnepanelen inzichtelijk te maken en op te nemen in de NMD en vervolgens door, op basis van deze ‘daadwerkelijke impact’, mogelijkheden voor reductie uit te werken en te realiseren.

De economische knelpunten laten zien dat circulaire materialen duurder zijn dan gangbare materialen door gebrek aan schaal, het niet meenemen van milieukosten en focus op de kostprijs. Dit leidt bij zowel uitvragende als uitvoerende partijen tot de perceptie “*stapelning van eisen leidt tot een stapelning van kosten*”. Om concepten betaalbaar te houden wordt het nemen van energemaatregelen daarom geprioriteerd boven het nemen van circulaire maatregelen.

De culturele en sociale knelpunten zijn benoemd als aparte categorie, maar hebben ook invloed op de keuzes onderliggend aan de andere knelpunten. Een voorbeeld hiervan is het risicomijdend gedrag in de bouw dat ervoor zorgt dat het gebruik van circulaire alternatieven, die vaak nieuw en onbekend zijn, niet geprioriteerd wordt boven het gebruik van bewezen en bekende materialen. Zelfs als dit niet leidt tot extra kosten.

Bij de kennisgerelateerde knelpunten is een belangrijke conclusie dat er nog veel moet gebeuren om het kennisniveau over circulaire alternatieven in de markt te vergroten. Ook wordt de koppeling van de nog ‘onvolwassen’ energietransitie met de circulaire transitie als moeilijk gezien, omdat zowel de circulaire transitie als de energietransitie nog in ontwikkeling is.

De knelpunten staan niet los van elkaar. Dat betekent dat oplossingen positief effect kunnen hebben op meerdere knelpunten. Een voorbeeld hiervan zijn institutionele oplossingen die ook deels de economische knelpunten oplossen. Twee andere relaties die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen zijn:

- Het ontwikkelen van kennis en ervaring kan het oplossen van de technische knelpunten ondersteunen. Denk aan producenten die kennis ontwikkelen over welke materialen als alternatief kunnen worden ingezet in installaties, installateurs die kennis opdoen over duurzaamheid van installaties en bouwende partijen die kennis opdoen over hoe circulaire materialen toegepast kunnen worden in renovatieconcepten zonder dat het de energieprestaties negatief beïnvloedt of de kostprijs verhoogt.
- Financiële instrumenten kunnen stimuleren dat er op korte termijn kennis ontwikkeld wordt over de milieu-impact van materialen en producten. Met financiële ondersteuning kunnen kleinere bio-based of anderszins innovatie circulaire producenten bijvoorbeeld LCA's uitvoeren zodat de NMD database verder gevuld wordt en met subsidie kunnen er voorbeelden gecreëerd worden waarmee ervaring wordt opgedaan met het combineren van energie- en circulaire maatregelen.

Inzicht in hoe de knelpunten elkaar beïnvloeden biedt houvast bij het uitwerken van een routekaart. Dit geeft namelijk inzicht in de kern van het probleem en welke oplossingen het meest effectief zijn. In dit onderzoek zijn deze relaties niet voldoende onderzocht om een volledig beeld te kunnen geven. Daarvoor is een goede systeembenadering nodig. Dit wordt gezien als belangrijke vervolgstap in een volgend onderzoek.

Hoofdstuk 5: Aanbevelingen

Op basis van de resultaten uit hoofdstuk 3 is er een aantal aanbevelingen hoe de toepassing van circulaire maatregelen in de energietransitie op grote schaal gestimuleerd kan worden.

Om de institutionele knelpunten op te lossen en de transitie te versnellen moet de stap gemaakt worden van incrementele verbetering naar nieuwe spelregels die het 'denken in kringlopen' ondersteunen

- Maak wetgeving die circulair werken ondersteunt en beloont, bijvoorbeeld door aanpassing van de LCA, MPG en BENG.
- Houd het niet bij de focus op ambities en doelstellingen, maar specificeer de speelruimte waarbinnen de circulaire transitie gerealiseerd kan worden én maak de voortgang naar het einddoel meetbaar.
- Verlaag de instapdrempel voor nieuwe circulaire producten door het aanpassen en aanvullen van de beoordelingscriteria en testmethoden zodat de prestaties van circulaire materialen beter getoetst kunnen worden. Financiële ondersteuning voor certificeren en de uitvoering van een LCA kan de instapdrempel voor nieuwe (circulaire) producten op de markt verder verlagen.

De overige knelpunten laten zien dat alleen andere spelregels niet genoeg zijn om de energie- en circulaire transitie te versnellen

- Er moet marktvaart gecreëerd worden zodat alternatieven opgeschaald kunnen worden en de kostprijs daalt. Een dwingend kader is hierbij het meest effectief, maar stappen kunnen daarvoor al gezet worden door grote afnemers van bouwmaterialen, zoals de industriële bouwers, te koppelen aan partijen die bio-based materialen produceren en aanbieden.
- De hele keten moet kennis en ervaring opdoen en gewend raken aan de nieuwe circulaire manier van werken. Het is daarom belangrijk dat partijen stappen blijven zetten die nu al binnen de bestaande spelregels mogelijk zijn zodat zij hun rol en verantwoordelijkheid helder krijgen en samen de circulaire keten vorm kunnen geven.

Voor een volgend onderzoek raden we aan:

- Verder te verkennen hoe de relaties tussen de knelpunten er precies uitzien. Op basis van de relaties kunnen drukpunten in het systeem geïdentificeerd worden. Deze drukpunten laten zien welke oplossingen de meeste impact hebben en hoe daarmee versnelling van de transitie gerealiseerd kan worden.
- Bestaand onderzoek over circulair en bio-based bouwen te bundelen. Er gebeurt veel op dit thema en voordat er nieuw onderzoek wordt gestart raden we daarom aan bestaande onderzoeken en resultaten te bundelen en beschikbaar te stellen zodat op basis hiervan nieuwe inzichten en kennislacunes geïdentificeerd kunnen worden.

Referenties en bronnen

- Rijksoverheid (2021a). Wat is het Klimaatakkoord?
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>
- Klimaatakkoord (2018). “Vraag en aanbod duurzame warmte en duurzame gassen”
<https://www.klimaatakkoord.nl/binaries/klimaatakkoord/documenten/publicaties/2019/01/08/achtergrondnotitie-gebouwde-omgeving-duurzame-warmte-en-duurzame-gassen/Gebouwde+omgeving+-+Vraag+en+aanbod+duurzame+warmte+en+duurzame+gassen.pdf>
- Rijksoverheid (2021b). Nederland circulair in 2050:
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>
- Abma (2020). The potential of coupling the circular economy and energy transition in the built environment: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/400724>
- CBS (2019). Rendement en CO2-emissie elektriciteitsproductie 2018: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2020/08/rendement-en-co2-emissie-elektriciteitproductie-2018>
- Milousi, Souliotis, Arampatzis en Papaefthimiou (2019). Evaluating the Environmental Performance of Solar Energy Systems Through a Combined Life Cycle Assessment and Cost Analysis:
https://www.google.com/url?q=https://www.google.com/url?sa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3D%26esrc%3Ds%26source%3Dweb%26cd%3D%26ved%3D2ahUKewiu1_OyrILvAhVNVhoKHc2LBIMQFjADegQIDBAD%26url%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.mdpi.com%252F2071-1050%252F11%252F9%252F2539%252Fpdf%26usg%3DAOvVaw1IMPZMZxb4V3Tws2pk_RUy&sa=D&source=editors&ust=1614176269224000&usg=AOvVaw1vwlrZIUra9-4GkiELDRD5
- Holland Solar (2020). Zonnepanelen en milieuprestatie: <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2020/11/03-ZonnepanelenMilieuprestatie.pdf>
- Cobouw (2021a). *De achterkamertjes van duurzaam bouwen: ‘Het lijken de rokerige jaren tachtig wel’*: <https://www.cobouw.nl/duurzaamheid/nieuws/2021/02/de-achterkamertjes-van-duurzaam-bouwen-het-lijken-de-rokerige-jaren-tachtig-wel-101292673>
- Cobouw (2021b). *Machtsstrijd achter schermen over cruciale Milieudatabase*:
<https://www.cobouw.nl/duurzaamheid/nieuws/2021/01/forse-kritiek-op-nieuwe-opzet-milieudatabase-duurzame-bouwers-hebben-geen-stem-101292269>
- Milieudatabase (2020). *Categorie 1 kaarten voor PV-panelen in NMB*:
<https://milieudatabase.nl/categorie-1-kaarten-voor-pv-panelen-in-de-nmd/>
- TNO (2020). ‘Een verkenning van het potentieel van CO2-opslag bij houtbouw’.
- VORM (2021). *Manifest: Een eerlijk speelveld voor een duurzamer Nederland*:
<https://vorm.nl/nieuws/manifest-een-eerlijk-speelveld-voor-een-duurzamer-nederland>
- Tweede Kamer (2021). Aanhangsel van de Handelingen: nr. 1528

NIBE (2013). De milieukost van bouwmaterialen:

https://www.nibe.org/assets/images/content/user/files/De%20milieukost%20van%20bouwmaterialen_Koevoet.pdf

Nieman (2019). Consequenties definitieve BENG-eisen en TOjuli. <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2019/10/Rapport-consequenties-BENG-eisen-TOjuli-Nieman-RI-en-Lente-akkoord.pdf>

[akkoord.pdf](https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2019/10/Rapport-consequenties-BENG-eisen-TOjuli-Nieman-RI-en-Lente-akkoord.pdf)

Bouwwereld (2020). *Houtbouw en thermisch comfort*:

<https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/houtbouw-en-thermisch-comfort/>

Nieman (2020). *Reacties houtbouw en thermisch comfort*:

<https://www.nieman.nl/publicatie/reacties-houtbouw-en-thermisch-comfort/>

Klimaatakkoord (2020). Routekaart Nationale Biograndstoffen

<https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2020/06/29/routekaart-nationale-biograndstoffen>

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2020). 'Ruimte voor bio-based bouwen. Een strategische verkenning':

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/11/02/rapport-ruimte-voor-bio-based-bouwen-strategische-verkenning>

Bouwtotaal (2020). *Minerale steenstrips besparen gewicht en ruimte*:

<https://www.bouwtotaal.nl/2020/03/minerale-steenstrips-besparen-gewicht-en-ruimte/#:~:text=Minerale%20steenstrips%20worden%20gedroogd%20op,in%20transport%20gerelateerde%20CO2%20Duitstoot>

Rijksoverheid (2021c). Beantwoording Kamervragen over het bericht Bouwen met hout. Dat is niet duurzaam zegt de norm:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/02/17/beantwoording-kamervragen-over-het-bericht-bouwen-met-hout-dat-is-niet-duurzaam-zegt-de-norm>

Bijlage A: Overzicht deelnemers focusgroepen

Naam	Soort organisatie	Focusgroep 1	Focusgroep 2
Rc Panels BV	Leverancier		x
STO Isoned BV	Ontwikkelaar gevelisolatiesystemen		x
Bouwbedrijf Kreeft BV	Bouwbedrijf		x
WEBO	Leverancier		x
Bouwgroep Dijkstra Draisma	Bouwbedrijf		x
Agrodome	Adviesbureau bio-based bouwen	x	x
Platform M3 architecten	Architect bio-based en circulair bouwen	x	x
TNO	Kennisinstelling	x	x
MVI-E, Topsector Energie	Innovatieprogramma Topsector energie	x	x
Narravita architecten	Architect bio-based en circulair bouwen	x	
Van Oldeboom	Leverancier hout en bio-based producten	x	
Dura Vermeer	Bouwbedrijf	x	
Brink Climate Systems	Fabrikant	X	
DGMR	Ingenieursbureau	x	x
Active House Nederland	Netwerkgorganisatie	x	x

Bijlage B: Overzicht van alle geïdentificeerde circulaire bouwmaterialen

In de onderstaande tabel staan alle alternatieven die zijn genoemd tijdens dit onderzoek. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de alternatieven voor bouwdeelen en installaties. Bij de bouwdeelen wordt een inschatting gegeven van de potentiële CO₂-reductie. De geschatte CO₂ reductie is gebaseerd op de besparing die wordt gerealiseerd in het produceren van het materiaal en/of product ten opzichte van de toepassing van een momenteel gangbaar materiaal voor dezelfde functie. Bij de installaties is naast een algemene onderbouwing geen inschatting van de CO₂-reductie per product gegeven in verband met een tekort aan data waardoor geen goede inschatting gemaakt kon worden.

Onderbouwing geschat CO₂ voordeel bouwdeelen

- Opslag CO₂ in grondstof
- Gemaakt van gerecycled materiaal
- Natuurproduct waardoor beperkte hoeveelheid energie nodig is voor bewerking
- Lichtgewicht producten (gereduceerde impact op bijvoorbeeld transport)
- Materiaal besparing door slanke opbouw of optimalisatie van productie

Onderbouwing geschat voordeel geïdentificeerde installaties

- Besparing van materialen door bijvoorbeeld één systeem met meerdere functies of oplossingen die geen buizen nodig hebben
- Alternatief systeem met (aanvullend) gunstig effect op energieverbruik
- Minder materialen nodig voor product en afwerking
- Passieve systemen waar minder tot geen energie nodig is in de gebruiksfase

Bouwdeel	Subdeel	Alternatief materiaal of product	Geschatte CO ₂ reductie
Vloer	Constructie (indien vervanging vloer)	Renovatie vloer: stalen liggers met isolatie en houten vloerplaten	Matig
		Droog systeem balken en broodjes.	Matig
	Isolatie	Schuimbeton	Vrij goed
		Thermokussens, reflecterende folie met luchtkamers	Onduidelijk
		Cellulose (mits kruipruimte goed bereikbaar is)	Goed
		Geëxpandeerde kurk	Goed
	igv Vochtige kruipruimte	Geëxpandeerde kleikorrels	Matig
		Schelpen	Goed
		Goede ventilatie aanbrengen	Zeer goed
		Betere drainage (meer structurele aanpak)	Matig tot zeer goed.
		Lavakorrels	Matig
Gevel	Constructie	DLT (lijmvrije CLT)	Zeer goed
		HSB en of drukvaste houtvezelplaat	Zeer goed
		HSB elementen	Goed tot zeer goed
		Hennepbeton, kalkhennep	Goed

	Plaatmaterialen	Leemplaten ipv gipsplaten	Goed
		Gipsvezelplaat ipv gipskarton	Goed
		Constructief plaatmateriaal van plantenvezels	Goed
		Constructieve houtvezelplaat	Goed
		Prefab elementen met hennep isolatie	Goed
		Luchtzuiverende gipsplaten, leemstuc, kalkstuc	Matig tot goed
		PCM in plaatmateriaal voor extra thermische massa, icm HSB	Goed
		ESB 15 mm aan binnenzijde houtvezelplaat aan buitenzijde	Goed
	Isolatie	Binnenisolatie met hennepblokken (kalkhennep)	Goed
		Lisdodde	Goed
		Vlas	Goed
		Synthetische silicaatgel	Goed
		Iso stuc blokken	Onduidelijk
		Kalkhennep	Goed
		Stro (prefab)	Goed
		Houtvezel	Zeer goed
		Cellulose	Zeer goed
		Hennep	Zeer goed
	Spouwisolatie	Synthetische silicaatgel	Goed
		Bio-based EPS korrels	Goed
		Pas een constructie toe waarin geen spouw nodig is	N.v.t. (advies)
		Spouw is er niet voor niets, dus niet isoleren, tenzij uitgebreid onderzocht: schone spouw maar ook hygrothermisch onderzoek metselsteen en voegen	N.v.t. (advies)
		Bij stenen muur kun je geen spouwmuur vullen	N.v.t. (advies)
	Gevelafwerking	Leien	Matig
		Schelpenstuc	Goed
		Minerale steenstrip (bv beton of keramisch)	Matig
		Zwart hout (geblakerd)	Matig
		Ouderwetse Hollandse klei bakstenen met leemmortel	Matig
		Kurk (geëxpandeerd)	Zeer goed
		Bamboe	Goed
		Houten gevelafwerking (thermisch, verzuurd, robinia, etc)	Zeer goed
		(Klak)stuc	Matig

Dak, hellend	Constructie	Vlas dakelementen	Goed tot zeer goed
		Kalkhennep	Goed
		CLT met houtvezelisolatie platen icm dakpannen	Zeer goed
		Dakelementen met bio-based isolatie	Goed tot zeer goed
		Prefab bio-based zelfdragende doosconstructie met hoge Rd waarde	Goed tot zeer goed
		Voorkeur hergebruik bestaande constructie (sporen- of gordingkap)	Zeer goed
	Isolatie	Vlas	Goed
		Textiel isolatie	Goed
		Platen van synthetische silicaatgel	Goed
		Inblaas-stro	Zeer goed
		Houtvezel	Zeer goed
		Cellulose	Zeer goed
		Hennep	Zeer goed
	Dakbedekking	Riet	Goed
		EPDM met groendak	Goed
		Houten shingels of shakes (WRC, Abies, Robinia, Lariks, Eiken)	Zeer goed
		Alleen waterkerende dampopen folie en dan direct PV panelen	Zeer goed
		Hybride dak houtvezel icm kurk of foamglas	Goed tot zeer goed
		Circulair bitumen	Matig
		Zo licht mogelijk: zink of staal	Matig tot goed
Betonpan		Matig	
Dak, plat dak	Isolatie	Geen platte daken, tenminste minimaal afschot tbv afwatering	N.v.t. (advies)
		Foamglas	Goed
		Bio-based EPS platen	Goed
	Dakbedekking	EPDM	Matig
		Bio-based bitumen	Onduidelijk
Ramen	Glas	AGC glas (vacuüm glas)	Goed
		Ademend raam	Goed
	Kozijn	Geen kozijn (glas direct in wand opnemen)	Zeer goed
		HP kozijn van thermisch behandeld hout	Goed tot zeer goed
		Combinatie houten kozijn (robinia-naaldhout)	Zeer goed
		Hout met alu buitenafwerking	Goed

		Hout met zuur behandeld	Goed tot zeer goed
		Passiefhuiskozijn	Goed tot zeer goed
		Kunststof	Matig
		Non-virgin materiaal: Kunststof/aluminium	Matig tot goed

Energie-opwekking		Waterstof brandstofcel (op korte termijn niet realistisch)
		Diverse systemen voor opslag energie
		PVT systemen samen met thuisbatterij
		PV-panelen in combinatie met hybride opwekkingsysteem
Ventilatie		WTW met mixing fans
		Decentrale WTW, geïntegreerd in de wand
		Zonne-schoorsteen
		Natuurlijke of decentrale ventilatie (let op hoge energievraag)
		Prefab gevels met daarin de ventilatiekanalen opgenomen
		Gebalanceerde ventilatie met WTW
		Systeem C4C: natuurlijke toevoer via winddrukgerregelde roosters, vraaggestuurde afzuiging per ruimte
		Centrale toevoer, decentrale afvoer in elke ruimte (scheelt een set buizen, beter comfort (o.a. geluid en tocht))
		Voor de zomer nachtventilatie door voorziening in dak (dakraam)
Verwarming	Warmteopwekker	Lucht uitgevoerd als combinatie van ruimteverwarming en ventilatie
		Infrarood verwarming
		Oppervlaktewater als warmtewisselaar (beperkte lokale mogelijkheden)
		Vloerverwarming en koeling in 1 systeem
		Lucht/water warmtepomp incl gebruik afgezogen ventilatielucht
		Water-water warmtepomp
		Bodem warmtepomp i.v.m. "gratis" koeling
	Afgiftesysteem	Wandverwarming, stralingswarmte
		LTV radiatoren
		Lage vraag, kleiner afgiftesysteem, c.q. indien mogelijk werken met bestaande systeem. Lage temperatuur bronverwarming (anno 2050 voor alle woningen noodzakelijk)
		Capillaire watergedragen vloer, wand, plafond verwarming > dunne "haarvaten" die mee gestuukt kunnen worden
		Convactor
		Lucht i.p.v. water: mogelijkheid combi ventilatie en verwarming

		Vloerverwarming voor houten vloeren (let op opbouw hoogte)
Warm tapwater	Type warmte-opwekker	Doorstroomverwarmer voor de handwasbakken (elektrisch)
		Lage temperatuur legionella preventie van warm tap water (zoals in ziekenhuizen met bv UV), scheelt CO ₂ bij bereiding
		Wtw voor douche
		Boiler in combinatie met zonnecollector
		Lucht-water warmtepomp incl gebruik afgezogen ventilatielucht temperatuur in buffervat op 60 graden brengen op het moment dat PV opwek maximaal is (rond middaguur) om eigen opwek van energie optimaal te benutten
		Scheiding tapwater (60 graden) en verwarming (40 graden)
		Zonneboiler

Bijlage C: Overzicht kansrijke installatie-oplossingen

De onderstaande tabel geeft de meest kansrijke installatie-oplossingen weer die in dit onderzoek zijn benoemd. Naast een circulair alternatief per subdeel wordt ook onderbouwd wat dit alternatief interessant maakt.

Onderbouwing geschat CO₂ voordeel installaties

- Besparing van materialen door bijvoorbeeld één systeem met meerdere functies of oplossingen die geen buizen nodig hebben
- Alternatief systeem met (aanvullend) gunstig effect op energieverbruik
- Minder materialen nodig voor product en afwerking
- Passieve systemen waar minder tot geen energie nodig is in de gebruiksfase

Bouwdeel	Subdeel	Meer circulaire installatieopties	Onderbouwing
Energie-opwekking		Copper Indium Selenide (CIS) zonnepanelen	In vergelijking met andere type panelen: <ul style="list-style-type: none"> • Geen cadmium of lood toegepast • Minder energie benodigd in productie • Produceren relatief meer bij lagere zon-intensiteit Aandacht voor recyclebaarheid belangrijk (verschilt weer per merk)
Ventilatie		WTW met Mixing fans	Materiaalbesparing, geen buizen nodig
		Decentrale WTW, geïntegreerd in de wand	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaalbesparing, weinig tot geen buizen nodig • Kleine units, ook minder materiaal
		Centrale toevoer, decentrale afvoer in elke ruimte (scheelt een set buizen, beter comfort (o.a. geluid en tocht))	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaal besparing, door minder leidingen • Heeft een positief effect op een lager energiegebruik in de gebruiksfase
		Voor in de zomer nachtventilatie door voorziening in dak	Passief systeem , of minimale stroom bij automatisch systeem
Verwarming	Opwek	Water-water WP	<ul style="list-style-type: none"> • 1 systeem voor verwarmen en koelen, materiaal besparing • Werkt het beste samen met vloer of wandverwarming • Aandachtspunt: omgang onderdelen bron, einde levensfase
		Bodem warmtepomp i.v.m. "gratis" koeling.	
	Afgifte-systeem	Hoe lager de vraag, hoe kleiner het afgiftesysteem, c.q. hoe beter met het bestaande systeem gewerkt kan worden (scheelt nieuw materiaal) bij lage temperatuur bronverwarming (anno 2050 voor alle woningen noodzakelijk)	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaal besparing op het afgiftesysteem is wel mogelijk • Aandachtspunt: Warmtapwater-vraag is bepalend voor de grootte van het systeem
		Capillaire watergedragen vloer, wand, plafond verwarming > dunne "haarvaten" die mee gestuukt kunnen worden	<ul style="list-style-type: none"> • Werkt met nog lagere temperatuur, energiebesparend in de gebruiksfase • Besparing op materiaal, door een dunner systeem en uitvoering met lichtere materialen is mogelijk, tov gewone vloerverwarming (nat systeem) • Ook toe te passen voor warmteterugwinning in capillair verwarmingssysteem ipv balansventilatie (materiaal besparing), werkt op afroep dus minder vaak aan (energiebesparend)

Warm tapwater	Type warmte-opwekker	Doorstroomverwarmer voor de handwasbakken (elektrisch)	Productie warm water zeer lokaal, minder leidingverlies
		Lage temperatuur legionella preventie van warm tap water (zoals in ziekenhuizen met bv UV), scheelt CO ₂ bij bereiding	Minder energie nodig voor verwarmen

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht

Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht

T +31 (0) 88 042 42 42

F +31 (0) 88 602 90 23

E klantcontact@rvo.nl

www.rvo.nl

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | April 2021

Publicatienummer: RVO-074-2021/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.