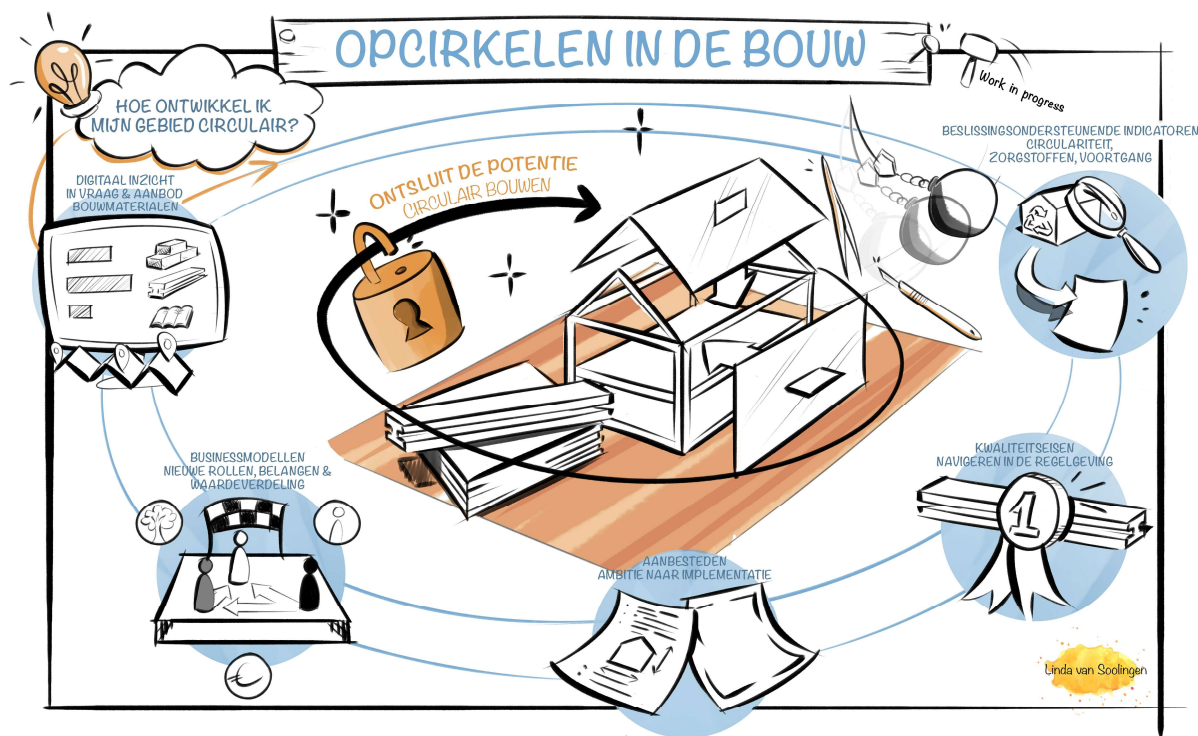


Opcirkelen in de bouw, deelrapport

Indicatoren voor circulariteit in de Bouw

Michiel van Kuppevelt (RIVM), Pieter Stoutjesdijk (TUD)



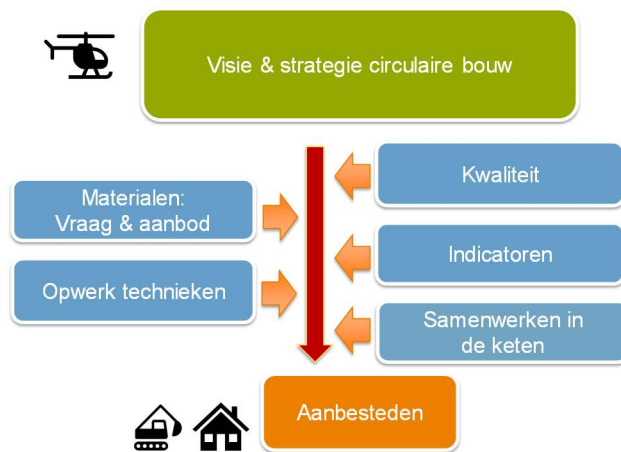
Opcirkelen in de Bouw

In de periode 2018-2020 heeft een gezelschap van in totaal 19 bedrijven en instituten in het kader van de Nationale Wetenschapsagenda gewerkt aan het project “Opcirkelen in de Bouw.”

Doelstelling van het project was:

- Een tastbare bijdrage leveren aan opschaling van circulariteit in de bouw;
- Met focus op het optimaal inzetten van secundaire bouwmaterialen uit bestaande bouw
- En een reductie van de uitstoot van broeikasgassen gerelateerd aan het gebruik van bouwmaterialen.

Dit rapport gaat in op een van de vijf deelonderwerpen en wel de **indicatoren** om de circulaire inspanningen meetbaar te maken. Indicatoren (o.a. losmaakbaarheid) zijn nodig om alternatieven te kunnen vergelijken op mate van circulariteit.



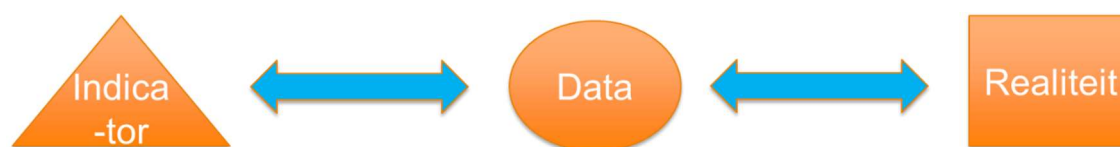
Inhoud

| | |
|--|----|
| Inleiding..... | 4 |
| R-ladder..... | 6 |
| Losmaakbaarheid..... | 7 |
| Risicovolle stoffen in een circulaire economie | 8 |
| Indicatoren..... | 9 |
| Circulaire scenario's | 9 |
| Bevindingen circulariteitsindicatoren..... | 12 |
| CB' 23 meetmethode..... | 15 |
| CB'23 meetmethode bevindingen | 16 |
| Material Circularity Indicator – Ellen MacArthur Foundation & Madaster | 17 |
| Madaster MCI bevindingen..... | 17 |
| Safe & Sustainable Material Loops (SSML) | 19 |
| SSML bevindingen..... | 20 |
| Terugkoppeling R-ladder..... | 22 |
| Losmaakbaarheid..... | 23 |
| Zeer Zorgwekkende Stoffen..... | 26 |
| Building Holland | 28 |
| Discussie ZZS | 28 |
| Aanbevelingen | 30 |

Inleiding

Het doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van kennis die bijdraagt aan het circulair maken van de bouw. De focus ligt op de renovatie-opgave in de bestaande bouw (woningen en kantoren). Hierbij wordt specifiek ingezoomd op circulaire toepassingen voor gevels ('skins') van het gebouw. Dit is ook een belangrijk onderdeel voor de energietransitie, denk bijvoorbeeld aan het isoleren van huizen.

"Door meten tot weten" is de bekende uitspraak van de natuurkundige Heike Kamerlingh Onnes¹. Dit geeft het belang aan van informatievoorziening- en verwerking om tot de juiste inzichten te komen. Voor het meten van circulariteit is dit werkpakket opgezet; welke indicatoren zeggen iets over de circulariteit van een renovatieproject? Goede indicatoren zijn nodig om de wenselijkheid, haalbaarheid en voortgang van circulaire oplossingsrichtingen in te kunnen schatten. Zoals in Figuur 1 te zien is, is het voor goede berekeningen belangrijk de juiste data te hebben, op het juiste detailniveau. Deze data ontbreekt nog weleens. Het is daarom belangrijk om goed te blijven kijken naar 'het grote plaatje' van circulariteit, en je niet blind te staren op het perfectioneren van een bepaalde indicator. Een indicator is daarnaast ook altijd een simplificatie van de werkelijkheid.



Figuur 1: De relatie van realiteit, data, en indicatoren. De juiste data is belangrijk voor een realistische indicator.

Een literatuurstudie naar indicatoren levert een veelvoud aan circulariteitsindicatoren op. Daarnaast wordt aan indicatoren voor circulariteit op verschillende manieren en in verschillende sectoren al volop gewerkt, bijvoorbeeld bij het PBL², door de EllenMacArthur Foundation³, in de wetenschappelijke literatuur⁴, en door het platform Circulair Bouwen 2023⁵ (CB'23).

Daarnaast is circulariteit een complex begrip, en levert de definitie ook binnen de bouw nog discussie op⁶.

Tot nu toe zijn veel van de beschouwingen vooral theoretisch van aard, of beperken zich tot het meetbaar maken van recycling-stromen. Met het meetbaar maken van een inzet op bijvoorbeeld levensduurverlenging en slim circulair (her-)ontwerp is nog weinig ervaring opgedaan.

Om een inzicht te geven in circulariteit is in dit project gekozen voor indicatoren *circulariteit van materiaalstromen*. Dit geeft geen uitsluitel of het ook de meest *duurzame* optie is. Dat is een complex samenspel van een integrale afweging waarbij circulariteit, of materiaalwinst door circulariteit, een rol speelt. Circulariteit gaat in eerste instantie over materiaalwinst; het zo lang mogelijk in de keten houden op een zo hoogwaardige manier van materialen en producten.

¹ https://nl.wikipedia.org/wiki/Heike_Kamerlingh_Onnes

² <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-circulaire-economie-wat-we-willen-weten-en-kunnen-meten-2970.pdf>

³ https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf

⁴ https://www.researchgate.net/publication/328098307_A_taxonomy_of_circular_economy_indicators

⁵ <https://platformcb23.nl/>

⁶ <https://www.bouwendnederland.nl/actueel/onderwerpen-a-z/circulair-bouwen>

Uiteraard zijn circulariteit en duurzaamheid met elkaar verbonden, maar voor een overzichtelijke weergave is het belangrijk ze los te koppelen en apart te bekijken. Deze strategie is ook naar voren gekomen bij het project CB' 23⁷. Duurzaamheidsindicatoren, zoals die horen bij de levenscyclus analyse (LCA) die bij de milieuprestatie voor gebouwen (MPG) naar voren komen staan, voor de duidelijkheid, los van de hier gebruikte circulariteitsindicatoren.

In dit werk willen we een stap maken in het meer inzichtelijk krijgen van circulaire strategieën. Zoals gezegd gaan we hier geen nieuwe indicatoren voor bedenken, maar gebruiken we bestaande indicatoren en worden die toegepast op de renovatie van een woonwijk. De methodiek voor circulariteit van verschillende modellen is toegepast op materiaalgegevens van verschillende circulaire strategieën, voor de renovatie van een standaard Nederlandse woonwijk. Dit is een oefening om meer inzicht in de modellen te krijgen, en te kijken of dit vertaald kan worden naar praktische uitgangspunten voor beleid en strategie voor het circulair ontwikkelen van renovatie projecten.

7

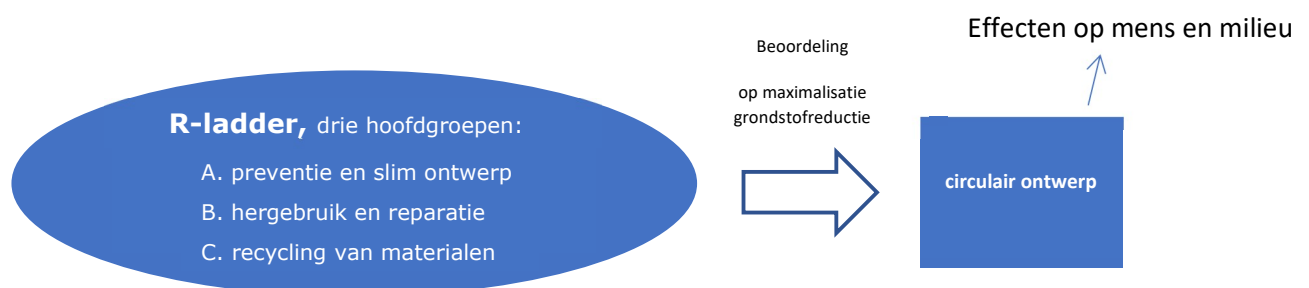
https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Meten_van_circulariteit_Voorbeeld_Communicatieformat_Versie_1.0.xlsx

R-ladder

Het terugdringen van het verbruiken van grondstoffen staat centraal in een circulaire economie. Elke bewerking van grondstoffen gaat gepaard met emissies naar het milieu. Door minder grondstoffen te gebruiken nemen de milieu-emissies over het algemeen af (e.g. CO₂). Bijkomend voordeel van gereduceerd grondstoffenverbruik, en daarmee ook de vraag naar nieuwe grondstoffen, is dat de leveringszekerheid toeneemt.

De bouw is een belangrijke gebruiker van grondstoffen. De Rijksoverheid heeft derhalve zowel circulaire doelen als klimaatdoelen voor de bouw (bijv. in het Klimaatakkoord). Gebouwen worden steeds energiezuiniger, maar om ze volledig klimaatneutraal te krijgen zal over de gehele levenscyclus de emissie van CO₂ (-equivalenten) moeten verminderen. Circulair bouwen draagt bij aan dat doel.

Vanuit de milieukunde is een ruwe vuistregel beschikbaar voor het sturen op maximale grondstofbesparing in productketens, de zogenaamde R-ladder⁸. Het principe daarvan is weergegeven in Figuur 2.



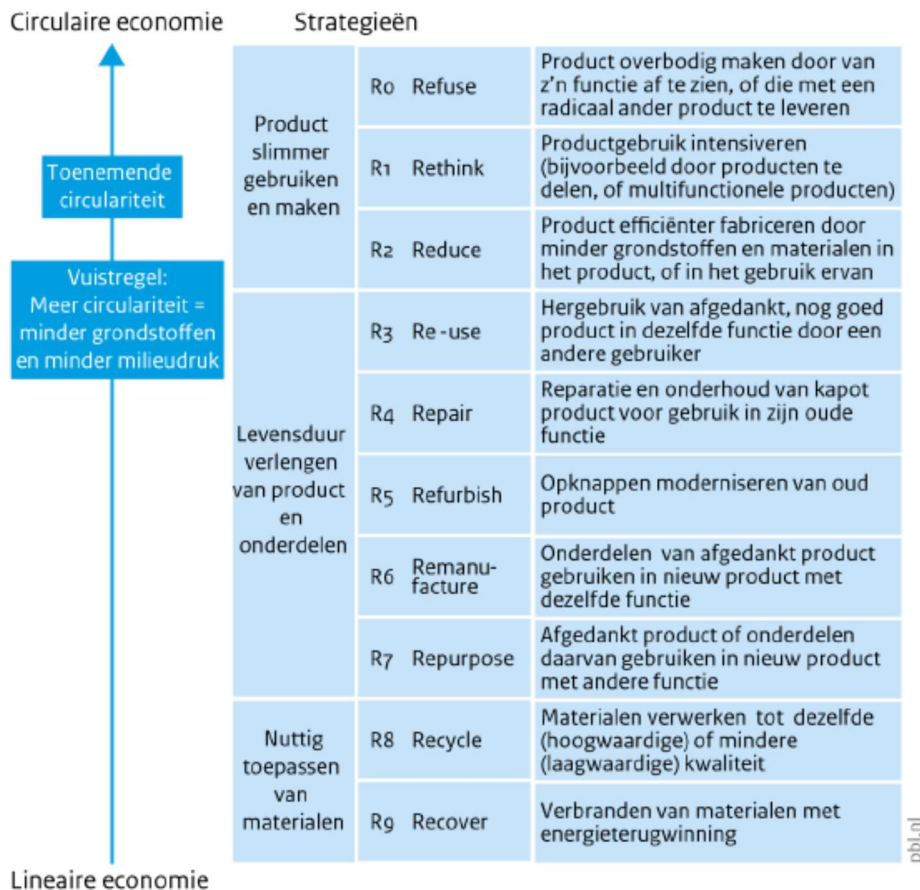
Figuur 2: Het principe van de R-ladder

Het uitgangspunt hierbij is dat het goed is om bij afvalverwerking de nuttige materialen te recyclen – in plaats van te verbranden of storten. Beter nog is het om producten of onderdelen (zoals kozijnen uit een woning) opnieuw te gebruiken. Het beste is het echter om 'aan de voorkant' zo veel mogelijk aan preventie en efficiencyverbetering te doen. Dit kan door af te zien van functionaliteit, bijvoorbeeld het kleiner ontwerpen van woningen en/of door producten slim te ontwerpen en gebruiken. Dat kan bijvoorbeeld door gedeelde was- en droogvoorzieningen in een flat. Deze drie hoofdcategorieën uit de R-ladder zijn verder uitgewerkt in **Error! Reference source not found.** In discussies en rapportages over ontwikkelingen in de circulaire economie wordt 'hoger op de ladder' nogal eens gelijk gesteld aan het 'meer circulair' maken van ketens – hoewel strikt genomen diverse preventie- en efficiencymaatregelen niet gaan over het sluiten van kringlopen, maar juist wel direct grondstoffenwinst opleveren. Een ander punt is dat in diverse studies het aantal treden van deze R-ladder wat uiteen loopt. In dit rapport werken we met wat we de R10-ladder noemen, weergegeven in Figuur 3.

⁸ Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. en A. Hanemaaijer (2016), *Circulaire economie: innovatie meten in de keten*, Den Haag/Utrecht: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)/Universiteit Utrecht.

RLI (2015), *Circulaire Economie. Van wens naar uitvoering*. Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.

Cramer (2014), Cramer, J. (2014), *Milieu. Elementaire Deeltjes: 16*, Amsterdam: Amsterdam University Press.



Bron: RLI 2015; bewerking PBL

Figuur 3: Weergave van de R-ladder, waarbij de vuistregel is dat circulariteitstrategieën die hoger op de ladder staan minder materiaal nodig hebben. En daarbij dus een lagere milieudruk. Bron: PBL

De koppeling tussen circulariteit en de R-ladder is echter niet altijd eenduidig en kan op punten nader gespecificeerd worden. Zo zijn er voor sommige producten verschillende methodes voor recycling, welke scoort dan beter? Met verschillende methoden is geprobeerd om de circulaire inzichten daarvan te vergelijken met de treden op de R-ladder. Hierdoor kunnen verschillende circulaire scenario's beter met elkaar vergeleken worden.

Losmaakbaarheid

Voor het realiseren van circulaire bouw is losmaakbaarheid van componenten belangrijk. Het begrip en de meetbaarheid van losmaakbaarheid zijn nog volop in ontwikkeling. Naar indicatoren over losmaakbaarheid is onderzoek gedaan door de vakgroep Building Product Innovation van de TUDelft. Hiervoor zijn uit de literatuur negen indicatoren geïdentificeerd: *Accessibility, Design Simplicity, Documentation, Durability, Future Potential, Physic Handling, Safety, Separability* en *Standardization*.

Deze negen indicatoren hebben verschillende aspecten, en deze zijn vervolgens gescoord voor verschillende circulaire renovatiescenario's van de gevel: een referentiescenario, een betere versie en een geoptimaliseerde versie voor losmaakbaarheid. Hierover wordt verderop in deze notitie dieper ingegaan.

Risicovolle stoffen in een circulaire economie

De transitie naar een circulaire economie heeft baat bij het gebruik van schone en veilige materialen. Schadelijke stoffen willen we immers niet hergebruiken, maar juist waar mogelijk verwijderen uit onze samenleving. De EU werkt hiervoor als onderdeel van de Green Deal⁹ aan een *Strategy for a non-toxic environment*, met als ambitie toxische stoffen uit te faseren¹⁰. De Nederlandse regering ondersteunt dit beleid. Begin 2018 publiceerde de Europese Commissie¹¹ het beleid over de tenuitvoerlegging van het pakket circulaire economie: opties om te werken aan het snijvlak van chemicaliën-, product- en afvalwetgeving. Daarin wordt ook benadrukt dat er nog weinig bekend is over wat waar in zit, een probleem om tot gerichte oplossingen te komen. Ook de World Health Organization en de Nederlandse Gezondheidsraad zetten het vraagstuk van de zorgwekkende stoffen in een circulaire economie op de agenda¹².

Op dit moment is onduidelijk in hoeverre circulair beleid en non-toxic beleid met elkaar door één deur kunnen. Uitfasering van zorgwekkende stoffen betekent, op termijn, mits goed uitgevoerd: schonere producten, schonere ketens en daarmee uiteindelijk ook schoner afval. Allemaal behoeften voor een circulaire economie. Dit is echter niet van vandaag op morgen geregeld. Wanneer een specifieke stof verboden (uitgefaseerd) wordt, gaat de industrie op zoek naar een alternatieve stof met vergelijkbare eigenschappen die (nog) niet verboden is, terwijl niet automatisch gegarandeerd is dat het alternatief veilig is voor mens en milieu. Ook spelen importstromen van buiten de EU een rol, in combinatie met hiaten in de registratie van de stoffen aanwezig in producten. Bovendien is er, met name bij sloopafval uit de bouw, een erfenis van zorgwekkende stoffen uit een verder verleden, toen regelgeving minder streng was.

Hoe om te gaan met zorgstoffen en circulariteit is verderop in deze notitie aangegeven.

9 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_nl

10 http://ec.europa.eu/environment/chemicals/non-toxic/index_en.htm

11 [https://www.eumonitor.nl/9353000/1/j4nvke1fm2yd1u0_j9vvik7m1c3gyxp/vkl2na5lcqz6/v=s7z/f=/com\(2018\)32_en.pdf](https://www.eumonitor.nl/9353000/1/j4nvke1fm2yd1u0_j9vvik7m1c3gyxp/vkl2na5lcqz6/v=s7z/f=/com(2018)32_en.pdf)

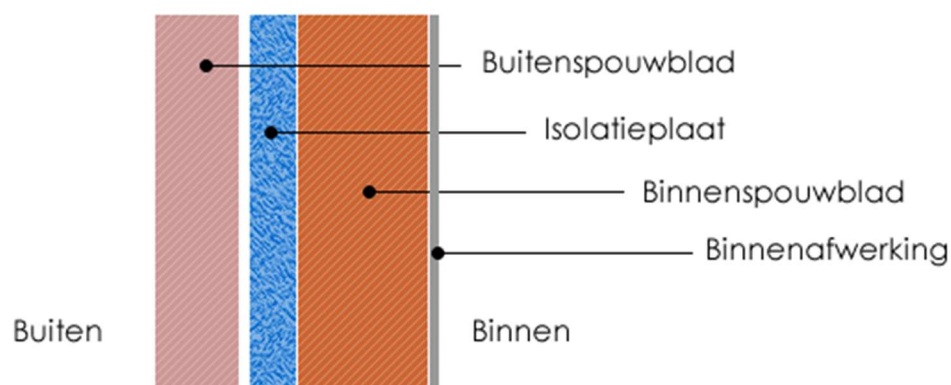
12 WHO: Circular economy and health: opportunities and risks (2018). Gezondheidsraad: Gevaarlijke stoffen in een circulaire economie Aan: de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat Nr. 2018/10, Den Haag 15 mei 2018

Indicatoren

Voor dit onderzoek is de methodiek voor circulariteit van verschillende modellen toegepast op gegevens over verschillende strategieën voor circulaire renovatie. Dit levert inzicht op in de achtergrond van de modellen. Dit is een oefening om meer inzicht te krijgen in het meten van circulariteit. Daarnaast wordt er gekeken of er een vertaalslag kan worden gemaakt naar handvatten voor beleid/ circulair ontwikkelen van renovatie projecten.

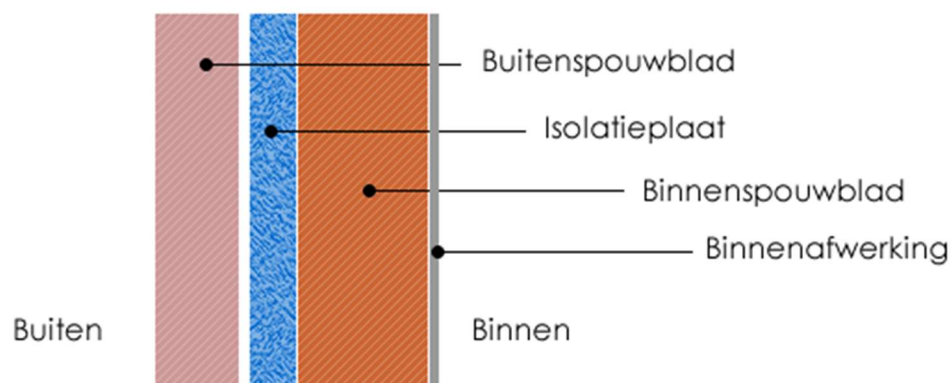
Circulaire scenario's

Voor het indicatorenonderzoek is er gebruik gemaakt van data ontwikkeld door TNO. Het zogeheten BOBmodel geeft inzicht in materiaalstromen bij renovatie van typisch Nederlandse woonwijken. Hiervan zijn de scenario's gebruikt voor de renovatie van een traditionele gevel, zoals beschreven in



Figuur 4. De materialen van deze gevel zijn:

- Buitenspouwblad: metselwerk / baksteen
- Houten kozijnen (vuren), ramen en deur
- Dubbel glas HR
- (Bij renovatie wordt EPS (geëxpandeerde polystyreen) als isolatiemateriaal nieuw aangebracht)



Figuur 4: Traditionele gevel, bestaande uit een binnenste- en buitenste spouwblad, houten kozijnen en glas. (Figuur van: <https://www.buitenmuurisoleren.be>)

Voor het renoveren van deze gevel zijn vijf scenario's bepaald, in oplopende volgorde van meer en/of hoogwaardiger materiaal hergebruik, gebaseerd op de R-ladder. De onderstaande scenario's zijn verder uitgesplitst per materiaaltipe voor wat er vrijkomt

uit de woning (oud) en nodig is voor renovatie (nieuw) in de tabellen 1 t/m 5. Tevens is aangegeven met welk type afvalverwerking rekening is genomen.

- Scenario A0: referentiescenario → zie Tabel 1
- Scenario A1a : goed, o.a. steenstrips → Tabel 2
- Scenario A1b: goed, o.a. geopolymer → Tabel 3
- Scenario A2: best, o.a. hergebruik grote steenelementen → Tabel 4
- Scenario A3: superbest, realistisch gezien binnen (op afzienbare termijn) beschikbare opwerktechnieken. → Tabel 5

Het gebruikte hout is vurenhout, en tevens wordt wij elke scenario het isolatiemateriaal EPS (228 kg) toegevoegd bij de renovatie. Het EPS is niet in berekeningen meegenomen omdat dit alleen nieuw materiaal is, waarvan de verwerking nog onduidelijk is.

Tabel 1: circulair renovatiescenario A0 (referentie)

| <i>Scenario A0 (referentiescenario)</i> | Oud (materiaal), (kg) | Nieuw (materiaal), (kg) | Verwerking (R-ladder), (massa%) |
|---|------------------------------|--------------------------------|--|
| Buitenspouwblad | Baksteen, 7614 | Steenstrips, 1523 | Recycling onder de weg (R9) (100%) |
| Kozijn | Hout, 10 | Hout, 10 | Thermische recycling (verbranding met energierecuperatie) (R10) (100%) |
| Glas | Dubbelglas, 522 | Triple glas, 696 | Glasrecycling naar flessenglas of glaswol (R9) (100%) |

Tabel 2: circulair renovatiescenario A1a-goed

| <i>Scenario A1a-goed</i> | Oud materiaal, (kg) | Nieuw materiaal, (kg) | Verwerking (R-ladder), (massa%) |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|
| Buitenspouwblad | Baksteen, 7614 | Steenstrips o.b.v. stonecycling, 1523 | Baksteenrecycling, stonecycling (R9) (100%) |
| Kozijn | Hout, 10 | Hout, 2 | Hergebruik hout voor maken nieuwe kozijnen (R7) (80%) Thermische recycling (verbranding met energierecuperatie) (R10) (20%) |
| Glas | Dubbelglas, 522 | Triple glas, 696 | Glasrecycling naar flessenglas of glaswol (R9) (100%) |

Tabel 3: circulair renovatiescenario A1b-goed

| <i>Scenario A1b-goed</i> | Oud (materiaal), (kg) | Nieuw (materiaal), (kg) | Verwerking (R-ladder), (massa%) |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| Buitenspouwblad | Baksteen, 7614 | Steenstrips o.b.v. | Baksteenrecycling geopolymer baksteen (R9) (100%) |

| | | | |
|---------------|--------------------|----------------------|---|
| | | geopolymeer, 1523 | |
| Kozijn | Hout, 10 | Hout, 2 | Hergebruik hout voor maken nieuwe kozijnen (R7) (80%) Thermische recycling (verbranding met energierecuperatie) (R10) (20%) |
| Glas | Dubbelglas, 522 | Triple glas, 696 | Glasrecycling naar flessenglas of glaswol (R9) (100%) |

Tabel 4: circulair renovatiescenario A2-best

| <i>Scenario A2-best</i> | Oud (materiaal), (kg) | Nieuw (materiaal), (kg) | Verwerking (R-ladder), (massa%) |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Buitenspouwblad | Baksteen, 7614 | Baksteen 30% steenstrips, 457 | Hergebruik als grote elementen (R4) (70%) recycling onder weg (R9) (30%) |
| Kozijn | Hout, 10 | Hout, 2 | Hergebruik hout voor maken nieuwe kozijnen (R7) (80%) Thermische recycling (verbranding met energierecuperatie) (R10) (20%) |
| Glas | Dubbelglas, 522 | Triple glas, 696 | Glasrecycling naar flessenglas of glaswol (R9) (80%) Hergebruik in laagwaardige functie (bijv. schuur) (R4) (20%) |

Tabel 5: circulair renovatiescenario A3-superbest

| <i>Scenario A3- superbest</i> | Oud (materiaal), (kg) | Nieuw (materiaal), (kg) | Verwerking (R-ladder), (massa%) |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Buitenspouwblad | Geen sloop, 7614 | 0 | Geen (gevel laten staan) |
| Kozijn | Hout, 10 | Hout, 2 | Hergebruik hout voor maken nieuwe kozijnen (R7) (80%) Thermische recycling (verbranding met energierecuperatie) (R10) (20%) |

| | | | |
|-------------|-----------------|------------------|--|
| Glas | Dubbelglas, 522 | Triple glas, 696 | Glasrecycling naar flessenglas of glaswol (R9) (80%) Hergebruik in laagwaardige functie (bijv. schuur) (R4) (20%) |
|-------------|-----------------|------------------|--|

Zoals te zien in de tabellen 1 t/m 5 zijn voor deze scenario's de materialen opgesplitst (baksteen, hout, glas) en van daaruit zijn opwerking/verwerkingstechnieken toegepast. De verschillen per scenario zijn de verschillende opwerktechnieken, waarbij deze zijn gekoppeld aan de R-ladder. Bijvoorbeeld het hergebruiken van hout afkomstig van de kozijnen voor het maken van nieuwe kozijnen. Dit is een betere optie dan het thermische recycling (verbranding) met energierecuperatie (A0, referentie scenario). Of steen als steenstrips in plaats van storten onder de weg. Of bijvoorbeeld geen sloop van de buitenste gevel, maar laten staan. De scenario's zijn realistisch, dat wil zeggen dat bij bijvoorbeeld het beste scenario nog steeds nieuw glas nodig om aan de huidige eisen van beglazing van woningen te voldoen. Er wordt wel geanticipeerd op technieken die nu nog niet volledig op de markt beschikbaar zijn maar waarvan dat wel binnen afzienbare tijd verwacht wordt.

Het gaat bij de berekeningen met de data niet om de exacte uitkomsten. Interessanter voor het onderzoek is inzicht in het tot stand komen van de uitkomsten van verschillende indicatoren met de bovenstaande data. De focus ligt op welke algemene lessen op het gebied van meten van circulariteitsindicatoren er geleerd kunnen worden. Hierbij duiken we niet tot in de diepte, maar zoeken we naar de algemene tendens.

Bevindingen circulariteitsindicatoren

De uitwerking van de drie toegepaste modellen om circulariteit uit te rekenen staan in de hierop volgende hoofdstukken weergegeven, met een aantal opmerkingen bij elke methode. Hier volgen de algemene bevindingen van het bepalen van een circulariteitsindicator:

- Er is momenteel **geen eenduidige circulariteitsindicator** en/of methode voor het circulair renoveren gevonden.
 - Voor klimaatimpact kan er bijvoorbeeld teruggerekend worden naar CO₂-equivalenten. Bij circulariteit is dat niet het geval.
 - Er is momenteel een 'mengelmoes' aan indicatoren. Op diverse abstractieniveaus en via verschillende strategieën. Dit maakt de indicatoren onduidelijk en vatbaar voor een onjuiste interpretatie.
 - Verschillen per domein, sommige sectoren vergen een specifieke aanpak of unieke nuances. Dit bemoeilijkt een generieke indicator voor alle materiaalstromen.
 - Maatwerk is nodig per materiaalstroom. Het uitsplitsen van materiaalstromen tot mono-stromen is noodzakelijk om tot een goede berekening te komen (al kan dat in de praktijk niet altijd haalbaar zijn). Sommige modellen komen op 1 circulariteitscore uit. Bij aggregatie van stromen spelen vooral twee zaken:
 - 'Appels en peren' optellen. Een kilogram steen hergebruiken heeft een andere impact dan een kilogram edelmetaal hergebruiken. Een wegingsfactor is moeilijk te bepalen.
 - Zeer verschillende massa's van materiaalstromen zorgen voor scheve verhoudingen. Bij de renovatiescenario's heeft het baksteen

veruit de grootste massa. Als alleen naar geaggregeerde data gekeken wordt maakt het weinig verschil wat er met het hout of glas gebeurt. Terwijl die stromen wel relevantie milieu-impact hebben.

- **Indicatoren** die wel wat zeggen over materiaal-gebruik/verbruik, en daarmee in meer of mindere mate over circulariteit zijn er wel. Deze zijn vrij logisch maar belangrijk om nu goed in kaart te hebben. Om toch grof te kunnen sturen op circulariteit zijn de volgende 5 indicatoren goed om mee te nemen (in deze fase van de transitie, zie bijvoorbeeld ook de keuze van CB'23¹³):
 - Massa% primaire grondstof;
 - hoeveel en welke van de benodigde grondstoffen zijn van primaire oorsprong ('virgin materials'). Sturen op minimalisatie.
 - Massa% secundaire grondstof;
 - hoeveel en welke van de benodigde grondstoffen zijn van secundaire oorsprong (hergebruikt/gerecycled). Sturen op maximalisatie.
 - Massa% naar stort;
 - Hoeveel en welke materialen worden gestort tijdens het (renovatie)proces. Sturen op minimalisatie.
 - Losmaakbaarheid van nieuw geplaatste onderdelen;
 - Sturen op losmaakbaarheids-strategieën voor nieuw geplaatste onderdelen.
 - Aanwezigheid materiaalpaspoort.
 - Vastleggen van de gebruikte materialen, inclusief eventuele zorgwekkende stoffen. Bijvoorbeeld via het format van CB'23.

Hierbij dient wel rekening gehouden te worden dat uit het onderdeel Vraag & Aanbod van dit onderzoek blijkt dat er niet genoeg secundair materiaal voor de bouw vrijkomt om aan alle vraag te voldoen. Er zal dus ook in de (nabije) toekomst veelal een bepaald percentage primaire grondstof nodig zijn.

- Hoge kwaliteit en de juiste gedetailleerdheid van de **data** is essentieel (zie ook Figuur 1). Op dit moment ontbreekt het daar vaak aan. Het is daarom belangrijk om logisch en kritisch te blijven denken. Het gevaar is om de spreekwoordelijke spijkers op laag water te gaan zoeken en daardoor het grotere plaatje van de keten uit het oog te verliezen. Het advies is om eerst te focussen op grote materiaalstromen die goed te traceren zijn en te kijken wat er daar voor een materiaalwinst behaald kan worden. Het totaal opsplitsen naar steeds kleinere stromen is uiteindelijk noodzakelijk, maar in deze fase van de transitie wellicht nog niet de meest effectieve invulling.
- Taalgebruik en definities zijn er belangrijk. Hergebruik is anders dan recycling bijvoorbeeld. En bij de ene methode is recycling onder de weg van steen (R9) wel meegenomen, bij een andere niet. Definitieverschillen bemoeilijken het goed kunnen vergelijken van circulaire strategieën. Het lexicon van CB'23 kan helpen om een gemeenschappelijk taal te spreken¹⁴.
- Er is kennis nodig van materialen nodig over de gehele keten en levensduur. Dit is vaak niet voorhanden en moet dus ingeschat worden. Het is bijvoorbeeld niet altijd duidelijk wat de recycling/hergebruik mogelijkheden van een materiaal in de toekomst zijn. Bijvoorbeeld bij steenstrips. Dit maakt de resultaten minder realistisch. Daarnaast scoort levensduurverlening goed voor de circulariteitsscores, maar is het onduidelijk hoe lang een component 'maximaal' mee kan gaan.

¹³ <https://platformcb23.nl/>

¹⁴ <https://platformcb23.nl/downloads>

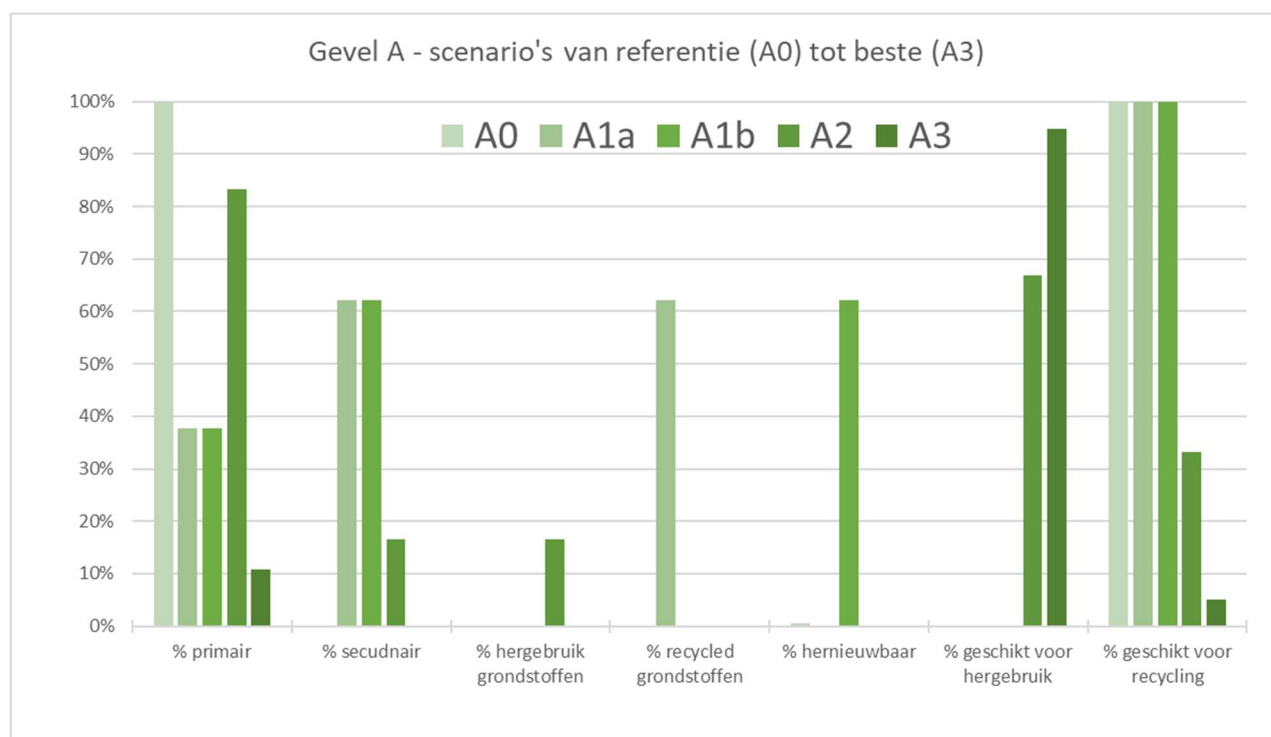
CB' 23 meetmethode

De leidraad Kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw (versie 1.0) is voor dit onderzoek gebruikt. Deze leidraad is ontwikkeld door Platform CB'23 en op hun site te vinden¹⁵. CB'23 is een breed gedragen initiatief met belanghebbenden uit de brede bouwsector dat onder andere een uniforme meetmethode voor circulariteit in de bouw ontwikkelt. Dit is een gestaag proces, dat pas recent begonnen is. Kijk voor de meest actuele ontwikkelingen op de website van CB'23 (<https://platformcb23.nl/>).

De toegepaste methodiek van CB'23 betreft acht circulariteitsindicatoren:

| | |
|------|---|
| 1.1. | Hoeveelheid gebruikt primair materiaal |
| 1.2 | Hoeveelheid gebruikt secundair materiaal |
| 1.2a | Hoeveelheid secundair materiaal uit hergebruik |
| 1.2b | Hoeveelheid secundair materiaal uit grondstoffen |
| 1.3a | Hoeveelheid gebruikt duurzaam geproduceerd hernieuwbaar materiaal |
| 1.3b | Hoeveelheid gebruikt niet-hernieuwbaar of niet-duurzaam geproduceerd hernieuwbaar materiaal |
| 2.1 | Hoeveelheid materiaal naar hergebruik |
| 2.2 | Hoeveelheid materiaal naar recycling |

Figuur 5 geeft de berekening weer voor de verschillende scenario's van de renovatie van de traditionele gevel A.



Figuur 5: Berekende waarden voor de acht indicatoren uit het CB'23 model voor de renovatie van gevel A

¹⁵ <https://platformcb23.nl/downloads>

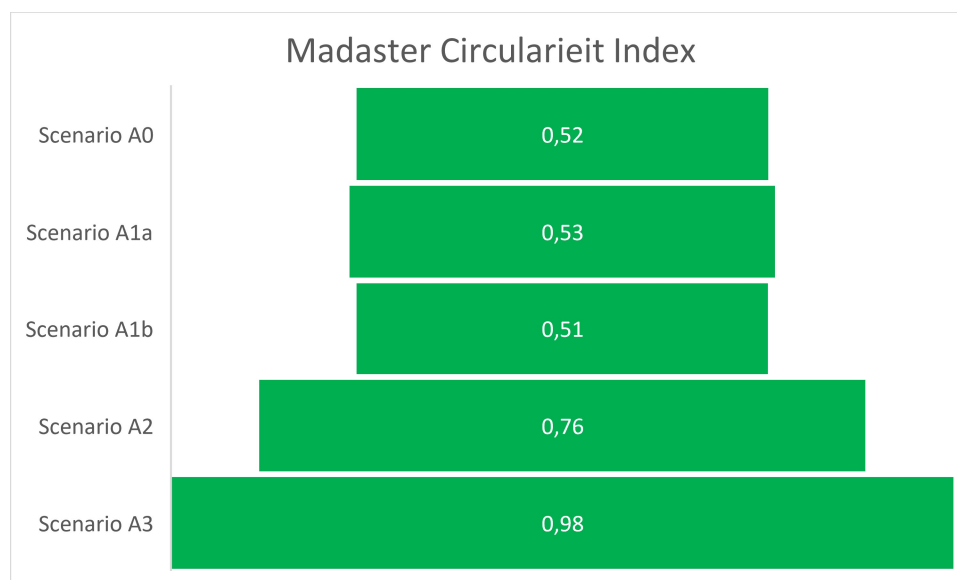
CB'23 meetmethode bevindingen

- Geen eenduidige circulariteits-score. Maar losse, minimalistische indicatoren.
- De uitkomsten sluiten logisch aan bij de input, maar zijn in eerste opslag niet heel duidelijk.
- Deze methode levert acht verschillende indicatoren aan. Dit levert niet direct een heel duidelijk overzicht op. Indicatoren zijn heel 'basic'.
- Getallen staan heel dicht tegen de data, daardoor is het makkelijk de data te verzamelen, over de uitkomst valt wat moeilijker te oordelen.
- Het is niet zo relevant om te kijken naar specifieke materialen en die in de berekening op te nemen.
- Opdelen in specifieke materiaalstromen is belangrijk, om oorzaken en nuances te vinden. Een kleine stroom is misschien niet direct zichtbaar bij het totaal, of erg miniem aanwezig, maar kan wel een belangrijk materiaal zijn. Het volume zegt niet alles over de waarde (economische, sociaal, etc.) van een product.
- Voor een duidelijk resultaat kan het goed zijn om per project bijvoorbeeld 2 of 3 van de meest relevante indicatoren weer te geven.
- Het heeft voor het algehele overzicht toegevoegde waarde om de circulaire scenario's ook te koppelen aan een R-waarde. Dat geeft overzicht. De stelregel daarbij is handig maar blijft vuistregel (hoger op ladder is beter).

Material Circularity Indicator – Ellen MacArthur Foundation & Madaster

De Ellen MacArthur Foundation is een van de eerste organisaties die is begonnen met het nadenken van circulariteit. Om circulariteit te meten is de Material Circularity Indicator (MCI) ontwikkeld¹⁶. Dit is een allesomvattende circulaire score voor een product, en volgt uit een vrij gecompliceerde berekening. Deze methode is echter beperkt toepasbaar voor bouw-gerelateerde circulariteitsbepaling, onder andere omdat biologische materialen (hout) niet worden meegenomen. Madaster heeft een kleine aanpassing gedaan aan de MCI om tot een circulariteitsindicator te komen die biologische cycli wel meeneemt¹⁷ en daarbij geschikter is voor de bouw. Deze methode is hier gebruikt, en is opgebouwd uit drie onderdelen: De Constructiefase, Gebruiksfase en Einde levensduurfase. Elke fase heeft krijgt een eigen score en uiteindelijk wordt dat geaggregeerd naar een score voor circulariteit tussen de 0 (volledig lineair) tot 1 (volledig circulair).

Figuur 6 laat het resultaat zien van de berekening voor scenario A.



Figuur 6: Berekende waarden voor de Madaster MCI-scores voor de renovatie van gevel A

Madaster MCI-bevindingen

- Scoreverloop van A0 naar A2 en A3 ziet er goed uit. De A0, A1a en A1b hebben marginale verschillen.
- Hoogwaardigheid van recycling zit niet in de MCI.
- Werkt met massapercentages; bijvoorbeeld kwaliteit van materiaal of schaarste (van bijvoorbeeld *critical raw materials*) zit er niet in.
- Omdat steen de grootste massa heeft van het geheel hangt de score vooral af van wat er met het steen gebeurt. Stonecycling, geopolymeer, etc.
- Hout is 100% hernieuwbaar, dus de rekenterm Frr binnen de methode krijgt waarde 1 voor houten elementen, waardoor een negatief getal ontstaat als er ook maar iets van recycling van dat houten onderdeel bij zit. Dus dan is uitsplitsen van alle materialen geen goed idee. Want dat geeft een vertekend resultaat wegens negatieve uitkomst van Frr door de recycling van hout. Maar in de andere gevallen is het uitsplitsen wel weer nodig.

¹⁶ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circulytics-measuring-circularity>

¹⁷ https://docs.madaster.com/files/Toelichting_Madaster_Circulariteit_Indicator_v1.0_nl.pdf

- Potentiele levensduur t.o.v. industriegemiddelde levensduur heeft veel impact. Hoe stel je dit vast voor iets dat in de toekomst langer mee moet gaan?
- Lastig in te schatten wat de score precies betekent. Hoeveel beter is een score van 0.1 ten opzichte van een score van 0.2?

Safe & Sustainable Material Loops (SSML)

De SSML is ontwikkeld door het RIVM in opdracht van het Ministerie van IenW, bedoelt voor de afweging van circulariteit van een materiaalkringloop voor nieuw gebruik, gericht op afvalstromen voor specifieke toepassingen¹⁸.

In eerste opzet is dit model gelimiteerd tot circulaire strategieën gebaseerd op recovery, recycling en hergebruik opties op materiaal niveau. Levensduurverlenging of slim ontwerp zitten er (nog) niet in. Het model geeft inzicht in de toevoeging van de toepassing in de transitie naar een circulaire economie in termen van materiaal conservatie. Recycling gaat om het aandeel materiaal wat weer in (minstens) een gelijkwaardige toepassing gebruikt kan worden bij dit model.

De opzet van de methode is trapsgewijs ('tiered approach'):

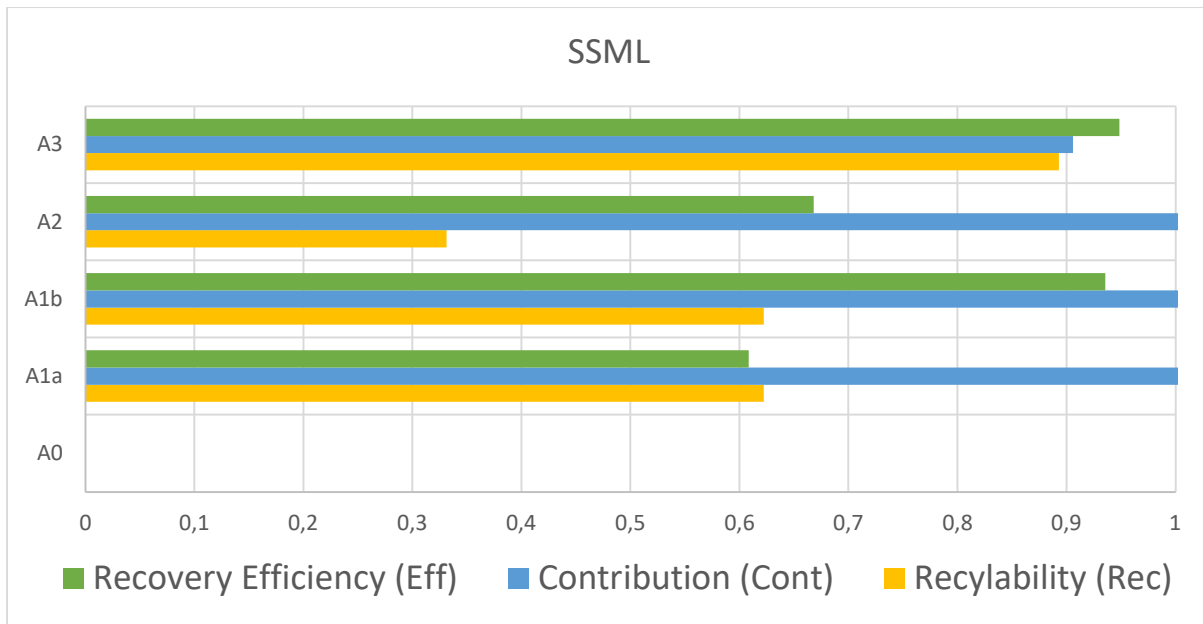
1. Tier 0: Is de Circulariteitsmodule toepasbaar?
2. Tier 1: kwalitatieve schatting van circulair potentieel gebaseerd op CRM (EU-list of Critical Raw Materials¹⁹) en een check van de toevoer van de materiaal (afval)stroom
3. Tier 2: kwantitatieve beoordeling in hoeverre materiaal circulair is, gebaseerd op 3 indicatoren: *recovery efficiency*, *contribution*, *recyclability*
4. Tier 3: bij noodzaak voor meer detail bij afweging, ga naar specifieke afwegingstools voor specifieke materiaalstromen/toepassingen

De circulaire strategieën weergegeven in Tabel 1 t/m 5 voor gevel A zijn toegepast op tier 2. De totstandkoming van de indicatoren uit het SSML-model is gedaan op basis van het vergelijken van een uitgebreid aantal andere indicatoren (pag. 38 SSML).

Dit zou een initiële schatting moeten opleveren van de hoeveelheid gewonnen circulariteit per 'beter' scenario. Kort gezegd gaat de *Recovery Efficiency* over hoe efficiënt het materiaal uit de oude gevel gehaald kan worden (zijn hier bijvoorbeeld allerlei andere materialen voor nodig?). De *Contribution* is hier vertaald als het aantal nieuwe gevels dat gemaakt kan worden met materiaal dat vrijkomt uit de oude gevel. *Recyclability* omhelst de fractie grondstof die na gebruik weer geschikt is om opnieuw gerecycled te worden. Figuur 7 geeft de berekening weer voor de verschillende scenario's van de renovatie van gevel A.

¹⁸ <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0173.html>

¹⁹ https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en



Figuur 7: Berekende waarden voor de drie indicatoren uit het SSML-model voor de renovatie van gevel A

A3 is het beste scenario en scoort het hoogst *in totaal* van de drie indicatoren. A0 scoort het laagst (0), omdat daar geen materiaal hergebruikt wordt voor een nieuwe levenscyclus van een gevel. Materialen worden wel hergebruikt (bijv. baksteen voor wegfundering), maar niet hoogwaardig genoeg om mee te tellen in dit model. De waarde voor *Contribution* is voor scenario's A1a, A1b en A2 groter dan 1. Er kunnen meerdere nieuwe gevels gemaakt worden met steenstrips van de hoeveelheid steen die vrijkomt. Bij scenario A3 blijft de gevel staan, dus daar is de *Contribution* lager. Deze indicator geeft in dit geval dus eigenlijk geen nuttige informatie over de circulariteit. Op grotere schaal toegepast zegt de *Contribution* indicator wat over de hoeveelheid van het gerecycled materiaal in vergelijking met de markt. Scenario A2 scoort lager op Eff dan A1a en A1b wat opvallend is. De Eff is hoger voor A1a en A1b want de 'massa herwonnen grondstof' in het model is hoger (gaat niet om 'kwaliteit recycling maar om geheel') waardoor de score ook hoger uitvalt. Bij A2 is minder hergebruikt materiaal in gebouw.

Wat onduidelijk is voor deze berekening is wat de recycle-potentie is van de steenstrips²⁰. Verder is het onduidelijk wat de hoeveelheid en kwaliteit van de hulpstoffen is die voor het mogelijk maken van recycling nodig zijn.

SSML bevindingen

- Over het algemeen de verwachte trend dat scenario A3 het beste scoort. Het blijft wel per *losse* indicator goed kijken in hoeverre de informatie direct vertaalbaar is naar de meest circulaire oplossing, zie hierboven de uitlog over *Contribution*.
- Het SSML gaat uit van materiaalcyclus in zelfde functie, (maar kan natuurlijk ook in andere functie voor CE).
- SSML werkt het best voor een recyclingscenario.
- Kwaliteitsfactoren zijn lastig een inschatting van te geven bij beperkte data.
- Efficiëntie kan niet berekend worden wanneer er geen terugwinning is.
- Meer kennis van recycling/hergebruik-proces is nodig, voor de kwaliteitsfactoren en de hulpstoffen. Anders is er geen onderscheid te maken in de verschillende R-strategieën.

²⁰ https://www.sto.nl/webdocs/0000/SDB/N_00762-003_0001_NL_02_00.PDF & <https://www.stichtingkgs.nl/wp-content/uploads/2019/01/Rapportage-Nieman-inzake-vergelijk-minerale-strips-keramische-strips.pdf>

- Levensduurverlenging zit er niet in.
- Verschillende materiaalstromen zijn samengevoegd in het resultaat, maar voor berekeningen zijn deze soms apart juist nodig. Bijvoorbeeld voor verschillende recyclingopties. Het is dan lastig om alles weer samen te voegen.
- In scenario A0 is voor recycling onder de weg (baksteen) en flessenglas of glaswol (glazen ruiten). Omdat er echter van deze materialen niks terugkeert in een woning wordt dit niet meegeteld voor recovery hier (zie ook SSML 3.3.1; no increase in circularity).

Terugkoppeling R-ladder

Dit is ter inspiratie en illustratie. De huidige bevindingen zijn nog illustratief en dienen verder uitgewerkt te worden om van toegevoegde waarde te zijn.

In de beschreven renovatiescenario's is er een koppeling gemaakt met de R-ladder. Elke verwerkingstechniek van steen, hout en glas waaruit de renovatiescenario's zijn opgebouwd valt onder een R-trede. Hoe beter het scenario, hoe 'hoger op de R-ladder'. Over het algemeen leidt dit ook tot een betere score op circulariteit. Een verdere kwantificering van de R-ladder met scores uit de verschillende scenario's zou verder uitgewerkt kunnen worden zoals weergegeven in Figuur 8. In potentie is de circulaire strategie zoals kwalitatief beschreven in de R-ladder kwantitatief te maken. Dat levert antwoord op de vraag wat het circulariteitsverschil is tussen bijvoorbeeld gebruik voor eenzelfde functie via recycling, of hergebruik in een andere functie (zonder te hoeven recycleren). Om een goed beeld te vormen voor een gehele renovatie is dat nuttige informatie. Ter illustratie en inspiratie is dit hier weergegeven, echter zijn de huidige bevindingen nog te illustratief om dit van directe toegevoegde waarde te laten zijn.

| | Trede | % circulair |
|---|--|---|
| | R ₀ | |
| | R ₁ | |
| X | R ₂ | p% circulair op trede R ₂ |
| | ...R ₇ (scenario A1a – hout 80% hergebruikt 20% energierecuperatie) | 80% hout in R ₇ <ul style="list-style-type: none"> ○ CB23: <ul style="list-style-type: none"> ○ % secundair/% hergebruik is 80% ○ % niet hergebruik 20% ○ SSML <ul style="list-style-type: none"> ○ Contribution: 0,8352 ○ Recyclability: 0,2088 ○ Madaster MCI: <ul style="list-style-type: none"> ○ CI 0,53 |
| X | R ₈ | |
| | | q% circulair op trede R _{8-2A} , r% op R _{8-2B} |
| | | s% circulair op trede R _{0y} |
| | R ₉ | 20% hout in R ₉ |

Figuur 8: R-ladder ingevuld met kwantitatieve waarden van de verschillende modellen.

Losmaakbaarheid

Voor het werkpakket Indicatoren heeft vakgroep Building Product Innovation van de TU Delft onderzoek gedaan naar de indicator 'Losmaakbaarheid'. Het is een kritiek en vaak onderbelicht aspect binnen de circulaire economie. Tegelijk een uitdagende indicator omdat de consensus over en de meetbaarheid van Losmaakbaarheid nog volop in ontwikkeling zijn.

In het onderzoek is eerst gekeken naar beschikbare meetmethoden voor losmaakbaarheid, en wat we kunnen leren van methoden ontwikkeld in de jaren '80 om het gerelateerde begrip *Design for Assembly* (DFA) te kwantificeren. Uit deze studie blijkt dat er nog geen meetmethode bestaat voor Losmaakbaarheid voor bouwproducten en gebouwen die op objectieve wijze rekening houdt met de breedheid aan gerelateerde aspecten.

Vervolgens is aan de hand van wetenschappelijke literatuur een overzicht gemaakt van indicatoren en bijbehorende strategieën om losmaakbaarheid te optimaliseren. Uit een selectie van 25 meest geciteerde wetenschappelijke bronnen over het onderwerp zijn 105 verschillende strategieën verzameld om de losmaakbaarheid te optimaliseren, gegroepeerd in 9 indicatoren: Toegankelijkheid van onderdelen, Ontwerp eenvoud, Beschikbaarheid van Documentatie over Disassemblage, Optimaliseren van Toekomstige Potentie, Optimaliseren van Fysieke Handelingen van Disassemblage, Optimaliseren van Veiligheid van Disassemblage en Standaardisatie om Disassemblage te vereenvoudigen.

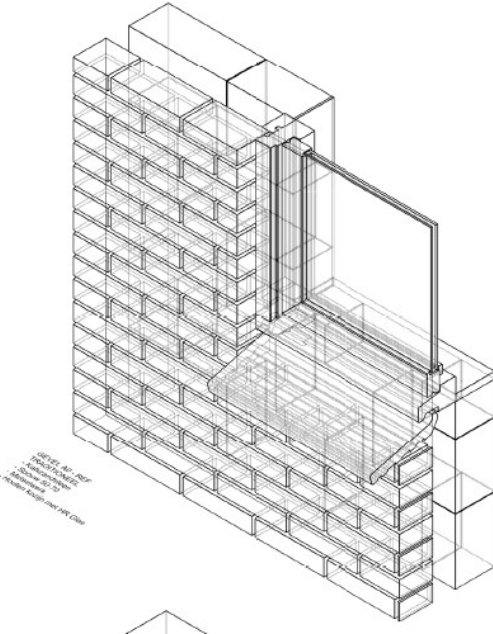
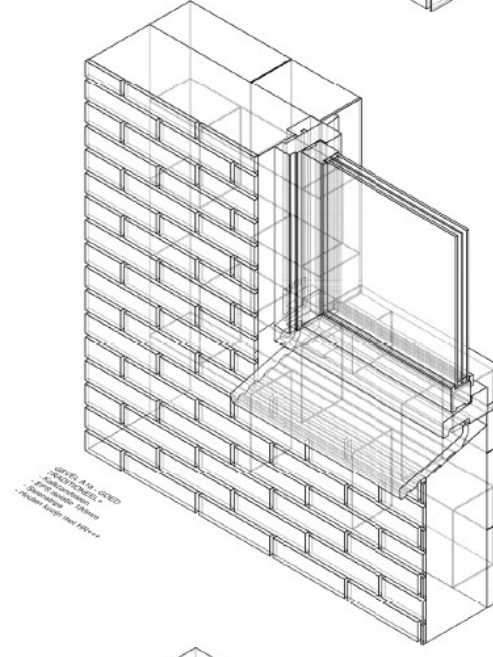
Met dit grote aantal strategieën is de complexiteit van het begrip overduidelijk aangetoond. Ook kunnen we aan de hand van de literatuurstudie concluderen dat er nog weinig consensus bestaat over het begrip: slechts 38% van de geopperde 168 strategieën bleek direct te overlappen met een strategie uit een andere bron.

Het overzicht van strategieën om losmaakbaarheid te verbeteren is toegepast op 3 gevelfragmenten, gerelateerd aan het NWA onderzoek 'Opcirkelen in de Bouw'. Bij de eerste casestudy – een veelgebruikte naoorlogse gemetselde geveloplossing (zie Tabel 4, scenario A0)– blijkt er logischerwijs sprake van flink veel verbeterpunten op gebied van losmaakbaarheid. In het kader van het NWA project is casestudy A1a ontwikkeld; een transformatie van casestudy A0 waarbij de energieprestatie is verbeterd vanuit circulair perspectief. Bij het genereren van deze transformatieoplossingen met minimale milieu impact blijkt voorbij gegaan te zijn aan 'losmaakbaarheid' binnen het bredere begrip circulariteit. Hoewel de energieprestatie van casestudy A1a sterk is verbeterd, en de milieu-impact van het vrijgekomen afval en de nieuw gebruikte materialen nauwkeurig zijn berekend, blijken veel losmaakbaarheidsstrategieën nog minder geïmplementeerd dan de niet-circulaire bestaande oplossing van casestudy A0. Deze conclusie maakt het grote belang van het objectief meetbaar maken van het begrip Losmaakbaarheid extra duidelijk. Een optimaal losmaakbare gevel is geschetst in Figuur 9, als het derde scenario (Ax)

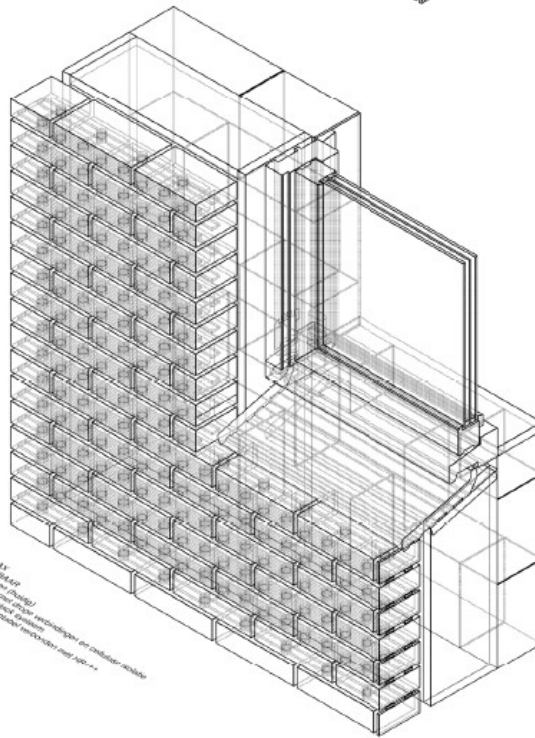
Het huidige overzicht van de negen Losmaakbaarheids-indicatoren blijkt al bruikbaar te zijn voor een diepgaande kwalitatieve analyse van de losmaakbaarheid van bestaande bouwproducten en producten in ontwikkeling. Via het invullen van een spreadsheet is met automatische kleuring van cellen in één oogopslag te zien welke specifieke losmaakbaarheids-strategieën bij een bestaande of in ontwikkeling zijnde oplossing volledig zijn geïmplementeerd en waar ruimte is voor verbetering. Hiermee is de losmaakbaarheid van bouwproducten op kwalitatieve wijze te beoordelen.

Het resultaat van dit onderzoek is weergegeven in Figuur 9. Dit is dus een resultaat van de relatieve totaalscore van de losmaakbaarheids-indicatoren *Accessibility*, *Design Simplicity*,

Documentation, Durability, Future Potential, Physic Handling, Safety, Separability en Standardization.

| Type/scenario Gevel | Schets van gevel | Losmaakbaarheids- score |
|--|---|----------------------------|
| <p>Gevel A0-Ref Traditioneel</p> <ul style="list-style-type: none"> - kalkzandsteen - spouw 50-70 - metselwerk - houten kozijn met HR glas |  | <p>214</p> |
| <p>Gevel A1a-Goed Traditioneel+</p> <ul style="list-style-type: none"> - kalkzandsteen - EPS isolatie 180 mm - verlijmde steenstrips - houten kozijn met HR+++ |  | <p>197</p> |

Gevel AX
 Losmaakbaar
 - kalkzandsteen
 - Gevelmodules met droge verbindingen en cellulose isolatie
 - bakstenen + Drystack systeem
 - houten kozijn, remontabel verbonden met HR+++



295

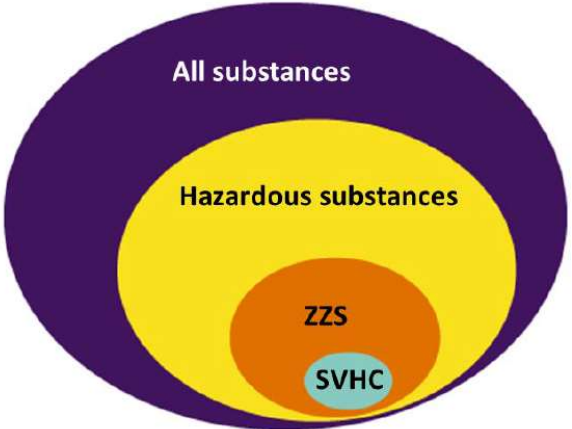
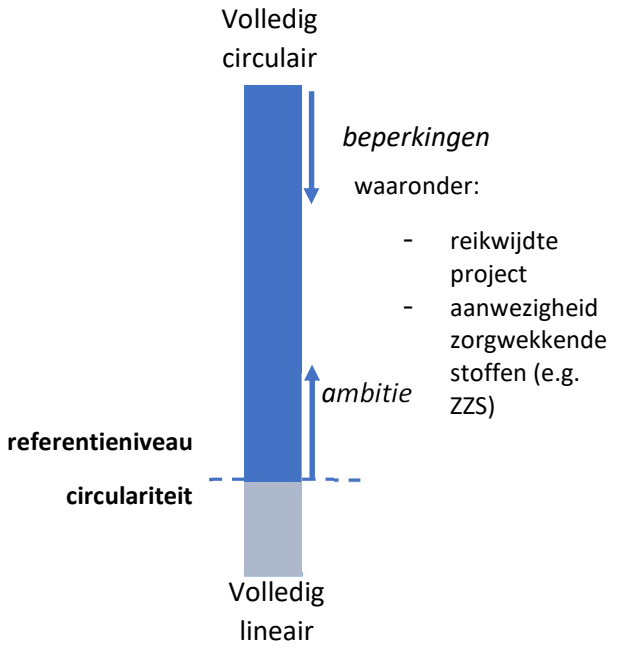
Figuur 9: Bevindingen Losmaakbaarheid voor drie scenario's. Het referentie-scenario scoort beter voor Losmaakbaarheid dan het 'meer duurzame' A1a scenario. Scenario AX is zo Losmaakbaar als mogelijk

Om tot een kwantitatieve meetmethode van het begrip losmaakbaarheid te komen zal in vervolgonderzoek aandacht moeten komen voor een selectie en consolidatie van de 105 gevonden strategieën en de objectieve kwantificatie hiervan.

Zeer Zorgwekkende Stoffen

In een goed functionerende circulaire economie zijn de materiaalstromen schoon en inzichtelijk. Op die manier worden materialen optimaal benut en afval geminimaliseerd. De risico's van schadelijke stoffen, voor zover die nog gebruikt worden, in (hergebruikte) materialen zijn dan verwaarloosbaar voor mens en milieu. Zo ver zijn we helaas nog niet. Bijvoorbeeld het gebruik van asbest of PFAS laat zien dat bepaalde (chemische) stoffen of materialen die we gebruiken negatieve gezondheidseffecten hebben op mens en milieu. In de bouw duren de materiaalcycli over het algemeen lang. Het is daarom belangrijk voor bijvoorbeeld woningcorporaties met een (zeer) langetermijnbeleid om goed op te letten dat de nu toegepaste materialen daadwerkelijk opnieuw kunnen worden ingezet in de (verre) toekomst. Schone en veilige materialen zijn daar een voorwaarde voor.

Stoffen waarvoor extra voorzichtigheid is geboden vanwege de eigenschappen (zoals het veroorzaken van kanker of schadelijkheid voor de voortplanting) zijn in Nederland geclassificeerd als Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS)²¹. Figuur 10 geeft de relatie van deze ZZS weer met overige chemische stoffen om ons heen. Figuur 11 laat een eventuele beperking van de aanwezigheid van ZZS op circulaire strategieën zien; voor het bereiken van een circulaire economie zijn dus 'schone' materialen nodig! Het is goed om te bedenken dat veel aspecten die gaan over het omgaan met ZZS zijn ook van toepassing op het gebruik van andere chemische stoffen, die geen zeer zorgwekkende gevareigenschappen hebben, maar wel tot risico's voor mens en milieu kunnen leiden.

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p><i>Figuur 10: Overzicht (niet op schaal) van ZZS ten opzichte van de rest van de (chemische) stoffen²².</i></p> | <p><i>Figuur 11: Keuzeruimte in circulair ontwerp. De aanwezigheid van zorgwekkende stoffen kan circulaire strategieën bemoeilijken.</i></p> |

²¹ <https://www.rivm.nl/nieuws/lijst-zeer-zorgwekkende-stoffen-beschikbaar>

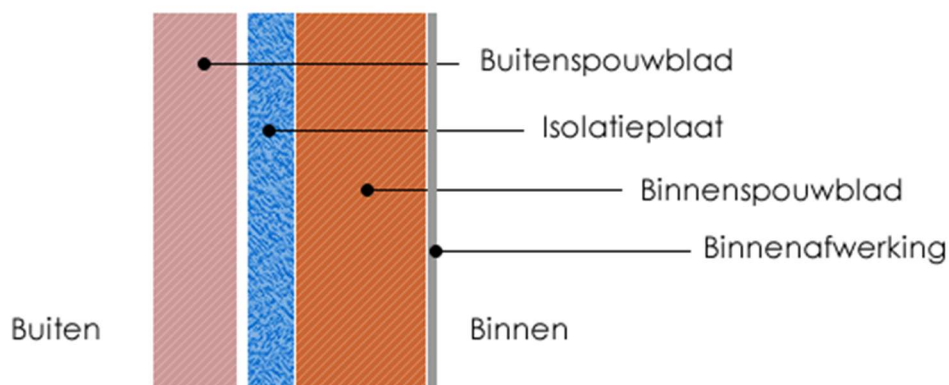
²² <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0071.pdf>

Het RIVM heeft recent een rapport over de omgang met ZZZ in een circulaire economie uitgebracht²³. Dit is gedaan als onderdeel van het beleidsprogramma Nederland Circulair 2050. Er is aangegeven wat de belangrijkste aandachtspunten zijn om verantwoord om te gaan met ZZZ in combinatie met het circulair maken van productketens. En daarnaast wat de mogelijke eerste stappen gericht op ZZZ zijn om deze transitie te monitoren. In dit rapport worden drie belangrijke uitdagingen geïdentificeerd. Uiteraard gelden deze uitdagingen ook voor het circulair maken van de bouw:

1. Beschikbaarheid van informatie in de keten over ZZZ
2. Uitbreiden van verantwoordelijkheid door de hele productketen
3. Veilig omgaan met ZZZ in een CE daar waar preventie niet mogelijk is

Risico's van stoffen ontstaan door een combinatie van de gevaareigenschappen van een stof en de blootstelling van mens en milieu aan die stof. Blootstelling kan bijvoorbeeld optreden tijdens productie, gebruik of na gebruik van producten. De precieze blootstelling aan een ZZZ (en daarmee het risico) is afhankelijk van de toepassing van de stof.

De aanwezigheid van ZZZ in een product maakt niet dat hergebruik onmogelijk wordt. De ZZZ kan bijvoorbeeld verwijderd worden uit een product waarna recycling of hergebruik mogelijk is. Een voorbeeld daarvan is bij EPS (geëxpandeerde polystyreen). EPS wordt toegepast als isolatie bij renovatie (zie ook



Figuur 4). Hierbij wordt van oud EPS de HBCD(D) verwijderd, een veelgebruikte brandvertrager waarvan het gebruik per augustus 2015 verboden is. Het verwijderen gebeurt door middel van solvolyse, een manier van chemische recycling. Zie de website van PSLoop²⁴ voor meer informatie over dit initiatief. Ook kan een ZZZ gedurende de gehele levensfase van een product vastzitten in de molecuulmatrix (immobilisatie), bijvoorbeeld in harde kunststoffen of beton. Meer informatie hierover is te vinden in het LandelijkAfvalbeheerPlan3²⁵.

Een stappenplan om af te wegen of afval veilig te recycelen is, is opgesteld door Zweers et al. (2018), in advies voor een handreiking met afwegingskader voor risicoanalyse ZZZ in afval²⁶. Het kader geschetst in figuur 2 van dit rapport geeft handelingsperspectief over hoe om te gaan met ZZZ bij recycling van materialen. Dit geldt ook voor materialen in de bouw, bijvoorbeeld het hierboven genoemde EPS. Ook hierover is meer informatie te vinden op de site van het LandelijkAfvalbeheerPlan3²⁷.

Om de risicoanalyse uit te kunnen voeren is het nodig om te weten welke, en in welke concentratie ZZZ aanwezig (kunnen) zijn. Een risicoanalyse moet worden uitgevoerd als

²³ <https://www.rivm.nl/publicaties/omgaan-met-zeer-zorgwekkende-stoffen-in-circulaire-economie>

²⁴ <https://polystyreneloop.eu/>

²⁵ lap3.nl

²⁶ <https://www.rivm.nl/publicaties/advies-voor-handreiking-met-afwegingskader-risicoanalyse-zzs-in-afval>

²⁷ https://lap3.nl/publish/pages/138144/rws_handreiking_risicoanalyse_zzs_in_afvalstoffen_versie_1_0_1.pdf

de concentratie aan ZZS in de te verwerken afvalstof de algemene concentratiegrens van 0,1% (g/g), ofwel 1.000 mg/kg overschrijdt (of de stof-specifieke lagere concentratiegrenswaarde van Tabel 17 van F.11.4 van LAP3 of de stof- en toepassings-specifieke concentratiegrenswaarden welke door de betreffende wetgevingskaders worden voorgeschreven (zie Tabel 1 van Zweers et al. 2018)). Hoe zo'n risicoanalyse eruit kan zien staat beschreven in het aangehaalde rapport. Naslagwerken waar voor de materiaal/afvalstromen die relevant zijn voor de bouw mogelijke ZZS staan vermeld zijn onder meer te vinden via werk van SGS Intron²⁸ en het RIVM²⁹. Hierin komen voornamelijk bewerkt hout (met bijv. biociden of vlamvertragers) en steen naar voren als materiaalstromen met kans op aanwezigheid van ZZS.

Building Holland

Tijdens het nationale bouwcongres Building Holland 2019 is er een sessie georganiseerd over zorgstoffen in bouwmaterialen. De intentie was vooral om dit (vaak onderbelichte) punt onder de aandacht te brengen. En om naast de bewustwording ook aandachtspunten van belanghebbenden en betrokkenen op te halen. Hier kwam een breed scala aan punten naar voren, zoals koppeling aan besluit bodemkwaliteit (uitloging stoffen), hergebruik i.p.v. recycling, immobilisatie en de 'EU boot' niet missen. Dit laat de breedte en complexiteit van de problematiek zien. Ook is er bijvoorbeeld een koppeling met de Europese Green Deal waarin het streven is geformuleerd om vervuiling tot nul terug te brengen voor een gifvrij milieu³⁰.

Al deze concepten uitwerken voor dit project gaat te ver. Maar voor partijen die hier rekening mee willen houden zijn hieronder een aantal uitgangspunten geformuleerd.

Discussie ZZS

In een circulaire economie is het gebruik van ZZS geminimaliseerd. Gezien het langetermijn karakter van de bouw is het belangrijk hier nu al mee te starten. Een aantal zaken, met een mogelijke indicator, waarmee een eerste aanzet gegeven kan worden zijn:

1. Beschikbaarheid van de informatie over ZZS in de keten
 - Zijn in de gebruikte materialen Zeer Zorgwekkende Stoffen aanwezig? Zo ja, welke (CAS-nummer) en in welke concentratie?
 - Dit kan bijvoorbeeld met een materialenpaspoort ondervangen worden.
 - Indicator: Aanduiding zorgwekkende stoffen / ZZS in materialenpaspoort.
2. Uitbreiden verantwoordelijkheid door de hele productieketen
 - Is er nagedacht over schone(re) en veilige(re) alternatieven voor het gebruik van materialen met ZZS?
 - Is er inzicht in de materiaalketen, welke bewerkingen aan het materiaal vinden waar plaats?
3. Veilig omgaan met ZZS in een CE daar waar preventie niet mogelijk is
 - Zijn materialen veilig in hergebruik ('Safe and circular in design')?
 - Als er ZZS inzitten is er een specifiek end-of-use scenario voor die materialen en producten?
 - Indicator: end-of-use scenario's voor materialen met ZZS

²⁸ <https://lap3.nl/achtergrond/documenten/gevaarlijk/>

²⁹ <https://www.rivm.nl/publicaties/substances-of-very-high-concern-and-transition-to-a-circular-economy-initial-inventory>.

³⁰ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en#documents

Aanbevelingen

Voor dit onderzoek is de methodiek voor circulariteit van verschillende modellen toegepast op data van verschillende circulaire renovatiescenario's. Dit is een oefening om meer inzicht in de modellen te krijgen, en te kijken of dit vertaald kan worden naar praktische uitgangspunten voor beleid en strategie voor het circulair ontwikkelen van renovatie projecten.

De verschillende methodes resulteren op basis van dezelfde data in uiteenlopende resultaten. Dit laat zien er voor circulariteit geen universele indicator of methode is. Voor broeikasgassen is dit er bijvoorbeeld wel: CO₂-equivalenten. Voor het meten van circulariteit zijn er vooralsnog verschillende methodes op verschillende abstractieniveaus, en is per project maatwerk vereist. Dit maakt het lastig om eenduidig scenario's met elkaar te vergelijken.

Er zijn dus tal van indicatoren voor circulariteit maar de meesten houden wel rekening met de *basics*. Bijvoorbeeld door te kijken hoeveel %primaire materiaal/grondstof er gebruikt wordt (% massa primaire grondstoffen), en hoeveel %secundair of snel hernieuwbare grondstoffen. Ook kan er gekeken worden naar hoeveel materiaal na de gebruiksfase gestort wordt en of (nieuwe) componenten makkelijk te hergebruiken en wat de losmaakbaarheid van de nieuwe componenten is. Naast materiele indicatoren kan ook gekeken worden naar bijvoorbeeld samenwerking in de keten, Spinners van cirkelstad, of er circulair aanbesteed wordt, en of er een materiaalpaspoort aanwezig is. Al met al zoals wijlen Johan Cruijff zou zeggen, 'da's logisch'!

Verder is er een grote afhankelijkheid van de kwaliteit van de data, en zijn er bij elke methode nog schattingen nodig. Bij methodes waarbij geaggregeerd wordt, zoals in een MCI (Madaster) en SSML score, zijn vaak meer aannames nodig omdat niet alle data beschikbaar is.

Kortom, er is nog geen eenduidige manier gevonden om circulariteit te meten. Maar er zijn al wel genoeg methoden die richting kunnen geven!