

**Ontwikkeling van een praktijkgerichte beoordelingsmethode voor het
kwantificeren van de circulariteit van gebouwen:
Casus starterswoning House2Start**



Definitief

10 december 2020

Kader: KIEM.CIE.04.019

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	4
Nomenclatuur	5
1. Inleiding.....	6
1.1. Achtergrond	6
1.2. Doelstelling	8
1.3. Aanpak	8
2. Ontwikkeling van een berekeningsmethode	9
2.1. Bestaande methoden voor de circulariteitsprestatie van gebouwen	9
2.2. Berekeningsmethode	12
2.3. Benodigde data	15
3. Ontwikkeling van een digitale tool	16
3.1. Beschrijving van een raamwerk	16
3.2. Automatische toekenning van invoerparameters	16
4. Toepassing van de methode	20
4.1. Toepassing van de tool op House2Start	20
4.2. Geïntegreerde verbeteringen.....	20
4.3. Verbetering van gebouwcirculairiteit	22
5. Conclusie en aanbevelingen.....	23
5.1. Conclusie	23
5.2. Aanbevelingen	23
Referenties.....	24
Bijlagen.....	27
Bijlage A: Literatuuronderzoek naar input indicatoren	27
Bijlage B: Rapportage herontwerp House2Start.....	30

Voorwoord

Deze rapportage is geschreven in het kader van het KIEM-ce project: *Ontwikkeling van een praktijkgerichte beoordelingsmethode voor het kwantificeren van de circulariteit van gebouwen: Casus starterswoning House2Start*.

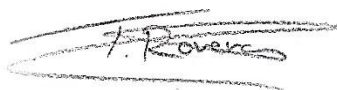
Met het oog op het voornemen van de Nederlandse overheid om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren, krijgt het thema circulariteit ook in de bouw steeds meer aandacht. Waar het voorheen vaak bij het uitspreken van ambities bleef, weten inmiddels steeds meer partijen in de bouw hieraan (prototypisch) een concrete invulling te geven.

Om het circulair bouwen in een stroomversnelling te brengen, is de ontwikkeling van een handzame, laagdrempelige methode om de circulariteit van gebouwen te meten en beoordelen van essentieel belang. Een dergelijke methode kan dan worden gebruikt om verschillende materiaal- en ontwerpkeuzes te toetsen, en de circulariteit van gebouw(concepten) te verhogen.

Saxion Hogeschool, House2Start, Primum en De Mors werken in dit project samen, waarbij de volgende stappen worden doorlopen:

- Ontwerp van een berekeningsmethode. Hierbij wordt expliciet aansluiting gezocht bij bestaande methoden en initiatieven. Zie Hoofdstuk 2 van onderhavige rapportage.
- Ontwerp van een digitale tool die de toepassing van de methode gebruiksvriendelijk maakt. Zie Hoofdstuk 3.
- Validatie van de methode en de tool, met als casus House2Start. Zie Hoofdstuk 4.

Enschede, 10 december 2020.



Ir. T.J.H. (Twan) Rovers PDEng

Dit project wordt uitgevoerd met behulp van de subsidieregeling KIEM-ce, van het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek SIA.



De volgende organisaties en personen hebben bijgedragen aan het project en de resulterende rapportage:

Saxion Hogeschool

Academie Business, Building & Technology (BBT)
Lectoraat Sustainable Building Technology (SBT)

Ir. T.J.H. (Twan) Rovers PDEng
Dr. Ir. C. (Christian) Struck



House2Start

Christiaan Kats



Primum

Peter van Leent



De Mors

Niek Brand



Samenvatting

In de transitie naar een circulaire economie is een belangrijke rol weggelegd voor de bouwsector. Vaak wordt de circulariteit van gebouwen echter nog slechts kwalitatief beoordeeld. Om het circulair bouwen in een stroomversnelling te brengen, is de ontwikkeling van een handzame, laagdrempelige methode om de circulariteit van gebouwen te meten en beoordelen van essentieel belang. Een dergelijke methode kan dan worden gebruikt om verschillende materiaal- en ontwerpkeuzes te toetsen.

Er zijn reeds enkele kwantitatieve methoden voor het meten van de circulariteitsprestatie van gebouwen beschikbaar. In het onderhavige onderzoek werden drie methoden beschouwd: de Circulariteits Prestatie Gebouw (CPG), de Building Circularity Indicator (BCI) en de kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw zoals deze wordt ontwikkeld door Platform CB'23. Waar de kernmethode momenteel de status van leidraad heeft, zal deze naar verwachting een meer normatief karakter krijgen in de toekomst.

Er werd een digitale tool ontwikkeld om de kernmethode voor het bepalen van gebouwcirculariteit van Platform CB'23 laagdrempelig toe te kunnen passen. Daartoe werd een database opgezet, welke de relevante parameters (volumieke massa, levensduur, input-, output- en milieu-impact parameters) omvat voor een selectie van veelgebruikte bouwmaterialen. Een gebruiker van de tool kan een lijst met materialen exporteren uit het gebouw informatie model en deze invoeren in de tool. Vervolgens worden deze gekoppeld aan de database, en worden de verschillende circulariteitsparameters automatisch berekend en gerapporteerd.

Ter verificatie van de berekeningsmethode en tool, werd deze toegepast op het case object House2Start. Op basis van de resultaten konden twee alternatieve constructies (begane grondvloer en wanden) geïnterpreteerd worden om de circulariteit van het case object te verbeteren. Uit de doorrekening van deze alternatieven blijkt dat de gebouwcirculariteit inderdaad verbetert. Op deze wijze is gedemonstreerd hoe deze tool gebruikt kan worden om de gebouwcirculariteit te bepalen, en om verbeteringen met betrekking tot de gebouwcirculariteit te inventariseren en kwantificeren.

Nomenclatuur

Hg	Percentage realistisch hergebruik van een (deel)object	[%]
Hx	Percentage hergebruikt van een totaal (deel)object	[%]
Me	Massa van een gedemonteerd samengesteld object e	[kg]
Mew	Massapercentage waarvoor energiewinning de meest realistische levenseindebehandeling is	[%]
Mhe	Massapercentage waarvoor hergebruik van een samengesteld object het meest realistisch is	[%]
Mi	Massa van (deel)object i	[kg]
Mni	Massapercentage aan primaire, duurzaam geproduceerde hernieuwbare grondstoffen in (deel)object i	[%]
Mre	Massapercentage waarvoor recycling van een samengesteld object het meest realistisch is	[%]
Ms,hi	Massapercentage aan hergebruikte grondstoffen in (deel)object i	[%]
Ms,ri	Massapercentage aan gerecyclede grondstoffen in (deel)object i	[%]
Msi	Massapercentage aan secundaire grondstoffen in (deel)object i	[%]
Mst	Massapercentage waarvoor stort de meest realistische levenseindebehandeling is	[%]
Mvi	Massapercentage aan primaire grondstoffen in (deel)object i	[%]
Nx	Percentage duurzaam geproduceerd hernieuwbaar van een totaal (deel)object	[%]
Re	Percentage materiaal naar energiewinning van een (deel)object	[%]
Rg	Percentage recycling van een (deel)object	[%]
Rs	Percentage materiaal naar stort van een (deel)object	[%]
Rx	Percentage gerecycled van een totaal (deel)object	[%]
Sx	Percentage secundair van een totaal (deel)object	[%]
VNx	Percentage niet-hernieuwbaar of niet-duurzaam geproduceerd hernieuwbaar van een totaal (deel)object	[%]
Vx	Percentage primair van een totaal (deel)object	[%]

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

In deze sectie wordt de achtergrond van het onderhavige onderzoek geschetst. In Sectie 1.1.1 worden de basisprincipes van de circulaire economie behandeld. Sectie 1.1.2 gaat specifiek in op circulair bouwen.

1.1.1. Circulaire economie

Huidige economieën kunnen grotendeels lineair worden beschouwd: uit gewonnen grondstoffen worden producten gemaakt die na het gebruik ervan worden verbrand of gestort. De consequenties daarvan zijn dat (eindige) grondstoffen in hoog tempo worden verbruikt en dat enorme afvalstromen ontstaan. Kortom, op de lange termijn is de lineaire economie onhoudbaar.

Een circulaire economie daarentegen, is herstellend van aard. In het bekende *Butterfly Diagram* van de Ellen MacArthur Foundation (zie Figuur 1.1), worden twee cycli onderscheiden. Biologische (organische) materialen zijn hernieuwbaar, en kunnen na gebruik weer worden opgenomen in het ecosysteem. Technische materialen, anderzijds, zijn niet hernieuwbaar. Het is daarom van belang deze materialen zo lang mogelijk hoogwaardig te gebruiken.

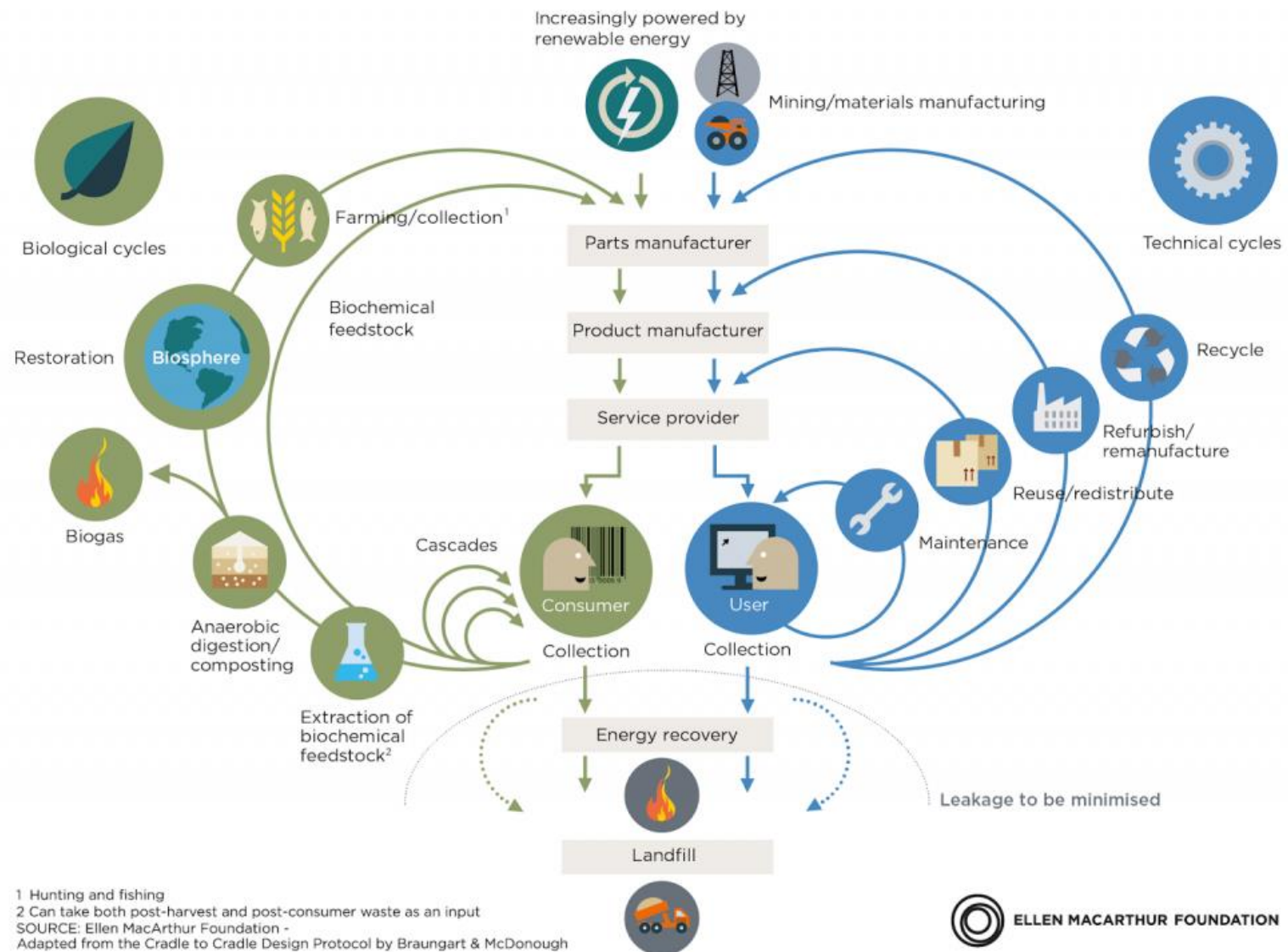
De Nederlandse overheid heeft het voornemen uitgesproken om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren (Rijksoverheid, 2016a).

1.1.2. Circulair bouwen

De bouw is wereldwijd de grootste gebruiker van grondstoffen en producent van afval (Iacovidou & Purnell, 2017; van den Berg, 2019). In Nederland is de bouwsector verantwoordelijk voor circa 50% van het grondstoffenverbruik en 40% van het afval (Rijksoverheid, 2016b). Anderzijds is bijna 38% van de gebruikte materialen in de bouwsector gerecycled (CBS, 2019b, 2019a). Daarbij moet wel worden opgemerkt dat veel van deze recycling laagwaardig is (de buitenste cirkel in de technische cyclus in Figuur 1.1). Het waardebehoud is groter in de binnenste cirkel(s) van de technische cyclus.

In de transitie naar een circulaire economie is dus een belangrijke rol weggelegd voor de bouwsector. Waar het voorheen vaak bij het uitspreken van ambities bleef, weten steeds meer partijen hieraan (prototypisch) een concrete invulling te geven. Vaak wordt de circulariteit van gebouwen echter nog slechts kwalitatief beoordeeld. Kwantitatieve methoden zijn nodig om de circulariteit van gebouwen te meten, beoordelen en te vergelijken, en kunnen concrete handvaten bieden om de circulariteit van gebouwen te verbeteren.

Er zijn reeds enkele kwantitatieve methoden voor het meten van de circulariteitsprestatie van gebouwen beschikbaar, zoals de Circulariteits Prestatie Gebouw (W/E Adviseurs, 2017), de Building Circularity



Figuur 1.1: Het Butterfly Diagram (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Indicator (Verberne, 2016) en de kernmethode van Platform CB'23 (2019). Deze methoden zijn onderhevig aan verschillende interpretaties van het begrip circulariteit. Met name in het geval van de BCI is de toepassing van de methode arbeidsintensief.

1.2. Doelstelling

Om het circulair bouwen in een stroomversnelling te brengen, is de ontwikkeling van een handzame, laagdrempelige methode om de circulariteit van gebouwen te meten en beoordelen van essentieel belang. Een dergelijke methode kan dan worden gebruikt om verschillende materiaal- en ontwerpkeuzes te toetsen.

1.3. Aanpak

Om de doelstelling te bereiken, worden stapsgewijs vier activiteiten doorlopen. De eerste twee activiteiten hebben betrekking op de ontwikkeling van een methode voor circulariteitsbepaling. Daarbij wordt expliciet aansluiting gezocht bij bestaande methoden en initiatieven, specifiek de kernmethode zoals deze wordt ontwikkeld door Platform CB'23.

I. De ontwikkeling van een berekeningsmethode.

Na een beschouwing van verschillende methodes voor circulariteitsprestatie bepaling, wordt in kaart gebracht welke indicatoren van belang zijn voor het meten van de circulariteit van gebouwen, en hoe hieruit de gebouwcirculairiteit berekend wordt.

II. De ontwikkeling van een handzame digitale tool.

Marktpartijen hebben behoefte aan een handzame, laagdrempelige methode voor circulariteitsbepaling. Daarom wordt een digitale applicatie voor de berekeningsmethode ontwikkeld.

Activiteiten III en IV hebben betrekking op validatie van (het gebruik van) de methode.

III. De toepassing van de methode op een case object.

Ter verificatie van de berekeningsmethode, wordt deze toegepast op een case object. Dit betreft House2Start (House2Start, 2018). Als gevolg van demografische ontwikkelingen, waaronder een doorzettende stijging van het aantal eenpersoonshuishoudens (CBS, 2018), wordt verwacht dat dergelijke woonconcepten in de toekomst meer toegepast zullen worden.

IV. Het verbeteren van het ontwerp.

De ontwikkelde methode wordt gebruikt om de circulariteit van het ontwerp van het case object (House2Start) te verbeteren.

2. Ontwikkeling van een berekeningsmethode

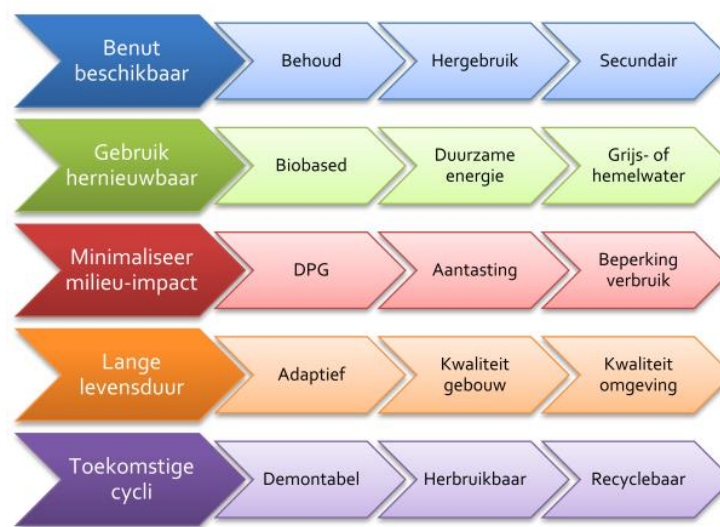
In dit hoofdstuk worden allereerst bestaande methoden voor de circulariteitsprestatie van gebouwen beschouwd (Sectie 2.1). Vervolgens wordt in kaart gebracht wat de relevante indicatoren zijn en hoe hieruit een gebouw circulariteit berekend wordt (Sectie 2.2). Tot slot wordt opgesomd welke data benodigd is om de berekeningen te kunnen maken, en welke voorwaarden daaraan verbonden zijn (Sectie 2.3).

2.1. Bestaande methoden voor de circulariteitsprestatie van gebouwen

Zoals vermeld in Sectie 1.2, zijn reeds enkele kwantitatieve methoden voor het meten van de circulariteitsprestatie van gebouwen beschikbaar. In deze sectie worden drie methoden beschouwd: de Circulariteits Prestatie Gebouw (CPG, Sectie 1.2.1), de Building Circularity Indicator (BCI, Sectie 1.2.2) en de kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw zoals deze wordt ontwikkeld door Platform CB'23 (Sectie 1.2.3).

2.1.1. Circulariteits Prestatie Gebouw

De Circulariteits Prestatie Gebouw (CPG) werd ontwikkeld door W/E adviseurs (2017). Hierbij worden vijf hoofdcategorieën onderscheiden, met in totaal vijftien subcategorieën. Zie Figuur 1.2. Deze methode kan worden gebruikt door gebruik te maken van de resultaten uit de Gemeentelijke Praktijk Richtlijn (GPR) Gebouwberekening. Daarbij kan op elk van de vijftien subcategorieën een score behaald worden tussen 1 en 10.



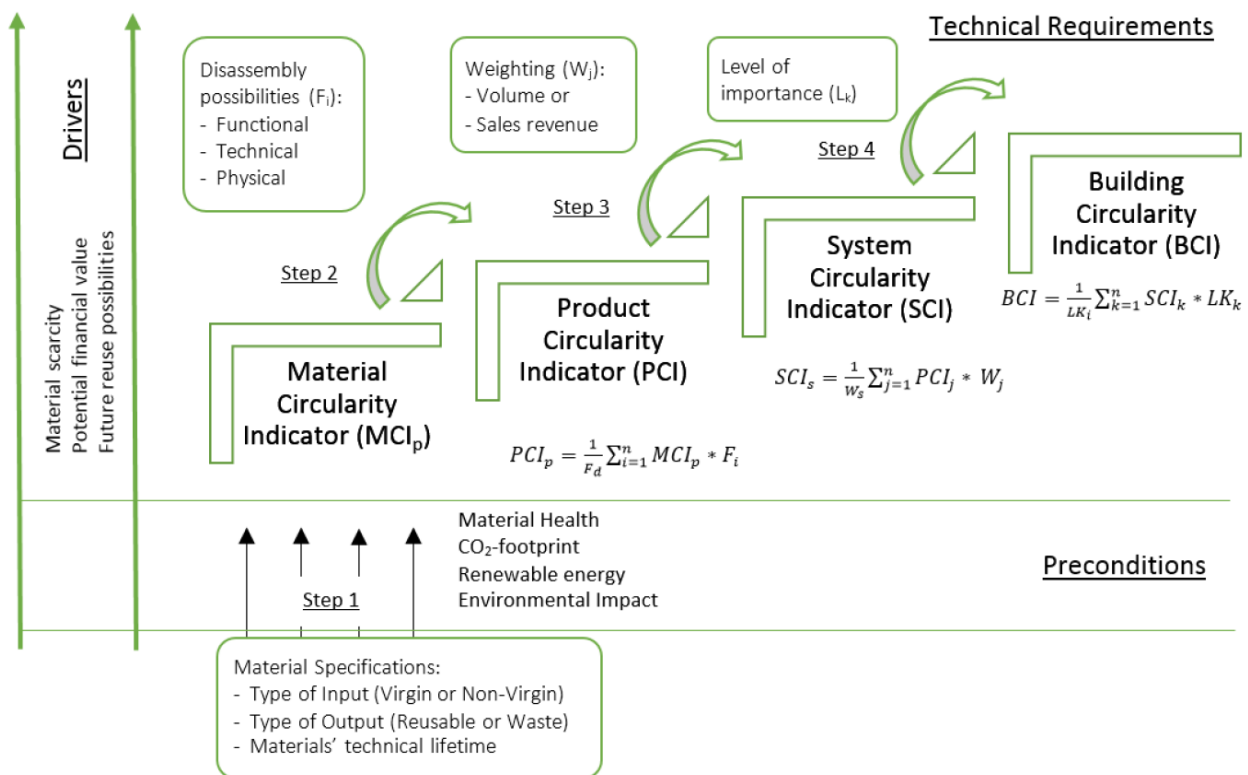
Figuur 1.2: Hoofd- en subcategorieën van de CPG

2.1.2. Building Circularity Indicator

De Building Circularity Indicator (BCI) van Verberne (2016) meet de mate waarin lineaire stromen zijn geminimaliseerd en circulaire stromen zijn gemaximaliseerd. Achtereenvolgens worden de Materiaal Circulariteit (MCI), de Product Circulariteit (PCI), de Systeem Circulariteit (SCI) en de Gebouw Circulariteit (BCI) bepaald. Zie Figuur 1.3.

Voor de MCI wordt gebruikgemaakt van de methode ontwikkeld door de Ellen MacArthur Foundation (2015), waarin – voor de technische cyclus – drie materiaaleigenschappen van belang zijn: de massa van primaire grondstoffen, het waarschijnlijke afvalscenario en de levensduur. Door de MCI uit te breiden met losmaakbaarheidsfactoren, wordt een PCI verkregen. Vervolgens worden alle producten gecategoriseerd in systemen (SCI). Door een weging aan elk van de systemen toe te kennen wordt tot slot de BCI bepaald (Braakman et al., 2019; Verberne, 2016).

De methode van Verberne (2016) is verder ontwikkeld en geoperationaliseerd door Alba Concepts (Alba Concepts, 2018). In deze methode is de SCI vervangen door een zogenaamde Element Circularity Index (ECI).



Figuur 1.3: Conceptueel beoordelingsmodel voor gebouwcirculariteit (Verberne, 2016, pp. 57)

2.1.3. Kernmethode

De kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw zoals deze wordt ontwikkeld door Platform CB'23 (2019), heeft sterke overeenkomsten met de MCI (Ellen MacArthur Foundation, 2015) en de BCI (Verberne, 2016).

Ook in deze methode zijn de hoeveelheden gebruikt materiaal (input) en hergebruik, recycling en afval (output) belangrijke parameters. Daarnaast speelt ook de invloed op milieukwaliteit een rol binnen deze methode. Opgemerkt wordt dat de kernmethode ten opzichte van de MCI ook rekening houdt met afval uit de levensfase productie, en niet alleen de technische maar ook de biologische kringloop beschouwd (Platform CB'23, 2019).

Platform CB'23 is door Rijkswaterstaat, het Rijksvastgoedbedrijf, De Bouwcampus en het Nederlands Normalisatie instituut geïnitieerd om samen met de bouwsector het proces te starten ten behoeve van afspraken voor een circulaire bouwsector. De in ontwikkeling zijnde methode heeft de status van leidraad.

2.1.4. Conclusies betreffende bestaande methoden voor circulariteitsprestatiebepaling

Uit eerder onderzoek uitgevoerd door studenten van Saxion Hogeschool (Hoekerswever et al., 2019) bleek reeds dat bij toepassing van de CPG en BCI op hetzelfde case object, verschillende resultaten worden verkregen.

De CPG beoordeelt onder andere hoe materialen worden benut, of er gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare grondstoffen, wat de milieu impact tijdens de gehele levenscyclus is, wat een bouwwerk toevoegt op lange termijn en hoezeer het gebouw toekomstgericht is. Hoewel er een duidelijke relatie van deze indicatoren met de principes van de circulaire economie en het *Butterfly Diagram* zoals genoemd in Sectie 1.1 is, moet worden vastgesteld dat de beoordeling in de vorm van de toekenning van een score van 1 tot 10 een belangrijke tekortkoming is.

De BCI anderzijds kent een meer objectieve benadering, waarin de massa van grondstoffen, de herbruikbaarheid en de levensduur ervan moet worden aangegeven. Deze methode kent, met name waar het gaat om materiaal circulariteit (MCI) en product circulariteit (PCI) een duidelijke relatie met de principes van de circulaire economie op een operationeel niveau. De BCI is daarin vergelijkbaar met de in ontwikkeling zijnde kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw.

Nog belangrijker is wellicht dat waar het gaat om de kernmethode, een op termijn geharmoniseerde methode wordt ontwikkeld op basis van breed toepasbare en gedragen uitgangspunten. Het grote aantal en de verscheidenheid van organisaties uit de bouw- en infrasector dat meewerkt aan de kernmethode (zie Platform CB'23, 2019) duidt op draagvlak in de sector. Waar de kernmethode momenteel de status van leidraad heeft, zal deze, al dan niet in aangepaste vorm, in de toekomst een meer normatief karakter krijgen. In het vervolg van het project en de onderhavige rapportage, wordt derhalve voortgeborduurd op de kernmethode.

2.2. Berekeningsmethode

In deze sectie wordt de kernmethode (Platform CB'23, 2019) behandeld. Vooralsnog worden drie hoofdindicatoren onderscheiden in de kernmethode: de hoeveelheid gebruikt materiaal (input, Sectie 2.2.1), de hoeveelheid vrijkomend materiaal na de levensduur van het (deel)object (output, Sectie 2.2.2) en de invloed op milieukwaliteit (Sectie 2.2.3). In Sectie 2.2.4 wordt behandeld wat de relatie tussen deze hoofdindicatoren is in het bepalen van de uiteindelijke gebouwccirculariteit.

2.2.1. Input

Het gebruikte materiaal voor een (deel)object, kan worden onderverdeeld in primair (*virgin*, Vx) materiaal en secundair materiaal (Sx). Zie Eq. 1 en Figuur 2.1.

$$Input [100\%] = Vx [\%] + Sx [\%] \quad \text{Eq. 1}$$

Waarin Vx en Sx worden berekend overeenkomstig Eq. 2 respectievelijk Eq. 3.

$$Vx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times Mvi [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 2}$$

Het primaire materiaal (Vx) kan worden onderverdeeld in duurzaam geproduceerd hernieuwbaar materiaal (Nx) en niet (duurzaam geproduceerd) hernieuwbaar materiaal (VNx):

$$Nx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times Mni [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 2.1}$$

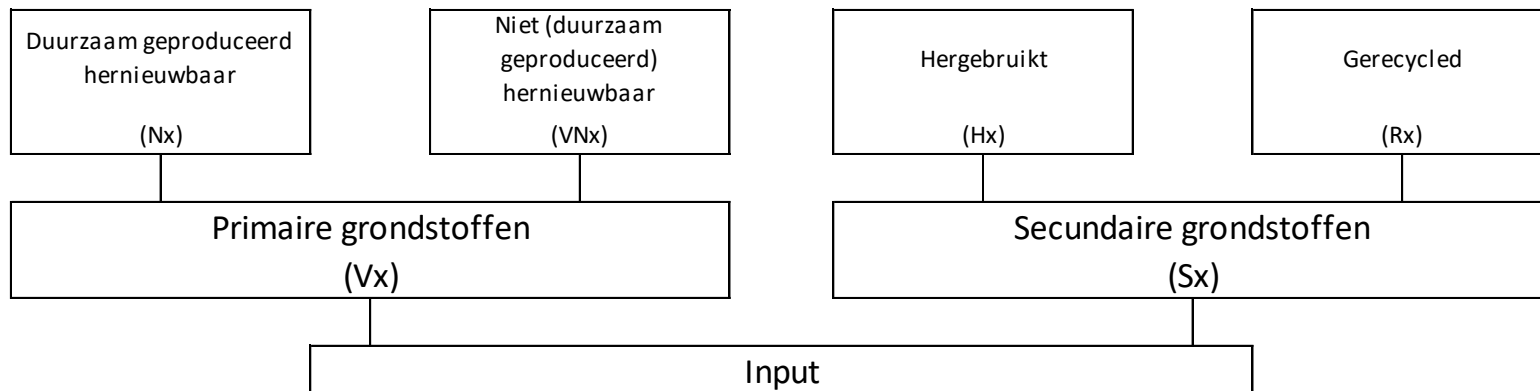
$$VNx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times (Mvi - Mni) [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Het secundaire materiaal (Sx) kan worden onderverdeeld in hergebruikt materiaal (Hx) en gerecycled materiaal (Rx):

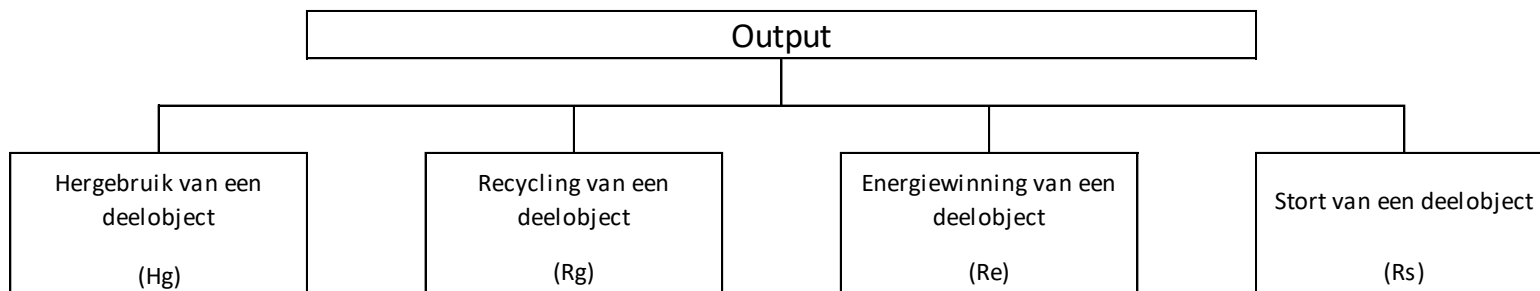
$$Sx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times Msi [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 3}$$

$$Hx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times Ms,hi [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 3.1}$$

$$Rx [\%] = \frac{\sum_i (Mi [kg] \times Ms,ri [\%])}{\sum_i Mi [kg]} \quad \text{Eq. 3.2}$$



Figuur 2.1: Berekeningsmethode Indicator hoeveelheid gebruikt materiaal (input)



Figuur 2.2: Berekeningsmethode Indicator hoeveelheid vrijkomend materiaal (output)

Voor de input wordt opgemerkt dat ook de schaarsheid van het gebruikte materiaal een belangrijke indicator is. Hiervoor is men echter nog niet tot een concrete invulling gekomen. Derhalve wordt deze indicator vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

2.2.2. Output

Het vrijkomende materiaal na de levensduur van een (deel)object, kan worden onderverdeeld in materiaal dat beschikbaar is voor een volgende cyclus (hergebruik (Hg) en recycling (Rg)) en verloren materiaal (energiewinning (Re) en stort (Rs)). Zie Eq. 4 en Figuur 2.2.

$$Output [100\%] = Hg [\%] + Rg [\%] + Re [\%] + Rs [\%] \quad \text{Eq. 4}$$

$$Hg [\%] = \frac{\sum_e (Me [kg] \times Mhe [\%])}{\sum_e Me [kg]} \quad \text{Eq. 4.1}$$

$$Rg [\%] = \frac{\sum_e (Me [kg] \times Mre [\%])}{\sum_e Me [kg]} \quad \text{Eq. 4.2}$$

$$Re [\%] = \frac{\sum_e (Me [kg] \times Mew [\%])}{\sum_e Me [kg]} \quad \text{Eq. 4.3}$$

$$Rs [\%] = \frac{\sum_e (Me [kg] \times Mst [\%])}{\sum_e Me [kg]} \quad \text{Eq. 4.4}$$

2.2.3. Invloed op milieukwaliteit

Voor de bepaling van de invloed op de milieukwaliteit, verwijst de kernmethode naar de bestaande Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en gww-werken (Stichting Bouwkwiteit, 2019). Hierbij dient de prestatie op de volgende elf milieu-impact categorieën te worden bepaald:

- | | |
|---|---|
| 1. Uitputting van abiotische grondstoffen | 7. Vermesting |
| 2. Uitputting van fossiele energiedragers | 8. Humaan-toxicologische effecten |
| 3. Klimaatverandering | 9. Ecotoxicologische effecten (zoetwater) |
| 4. Ozonlaagaantasting | 10. Ecotoxicologische effecten (zeewater) |
| 5. Fotochemische oxidantvorming | 11. Ecotoxicologische effecten (terrestrisch) |
| 6. Verzuring | |

Opgemerkt wordt dat deze methode reeds gebruikt wordt bij de bepaling van de MPG-score.

2.2.4. Bepaling van gebouwcirculairiteit

Waar het gaat om de hoeveelheid gebruikt materiaal (input, Sectie 2.2.1) en de hoeveelheid vrijkomend materiaal na de levensduur van het (deel)object (output, Sectie 2.2.2), worden overeenkomstig Eq. 1 – 4, alle materialen waaruit een gebouw bestaat (inclusief die van installaties) opgeteld.

In de leidraad die de kernmethode beschrijft wordt geen uitspraak gedaan omtrent de onderlinge verhoudingen tussen de drie hoofdindicatoren. Er is (vooralsnog) geen sprake van een weging tussen de (hoofd)indicatoren waarmee de gebouwcirculairiteit in een enkele parameter kan worden uitgedrukt. Middels een voorbeeld van een communicatieformat (Platform CB'23, 2019, p.20) wordt voor elke indicator (negen indicatoren voor input, vijf voor output en elf voor milieukwaliteit) de prestatie gerapporteerd.

2.3. Benodigde data

Voor het berekenen van de indicatoren, is de volgende informatie benodigd:

Voor de input en output berekeningen:

De gebruikte materialen in alle levensfasen (productie, gebruik, renovatie, sloop) van het gebouw. Hierbij is het dus van belang ook de levensduur van elk materiaal en het gebouw te kennen.

Voor elk materiaal:

- De massa van alle materialen in kg. Voor (deel)objecten i en e kunnen dan de M_i en M_e worden bepaald.
- De herkomst van elk materiaal (M_{vi} , M_{ni} , $M_{s,hi}$ en $M_{s,ri}$).
- De levensduur van elk materiaal.
- De waarschijnlijke levenseindebehandeling van elk materiaal (M_{he} , M_{re} , M_{ew} en M_{st}).

Voor de invloed op milieukwaliteit:

De milieu-impact van elk materiaal op de elf categorieën zoals genoemd in Sectie 2.2.3.

3. Ontwikkeling van een digitale tool

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van een digitale tool beschreven. Allereerst wordt een raamwerk geschetst in Sectie 3.1. In Sectie 3.2 wordt een methode voor de geautomatiseerde toekenning van de benodigde invoerparameters besproken.

3.1. Beschrijving van een raamwerk

Wanneer de circulariteit van een gebouw berekend wordt, is het allereerst van belang dat er een lijst van de toegepaste/toe te passen materialen beschikbaar is. Deze informatie wordt normaliter verkregen uit gebouw informatie modellen (BIM, zie Figuur 3.1). De massa van alle materialen (M_i , in kg) moet daarbij worden bepaald. Deze massa's kunnen ofwel direct uit het BIM model worden verkregen, of - indien enkel volumes beschikbaar zijn – door deze volumes te vermenigvuldigen met de volumieke massa van de relevante materialen.

Vervolgens dienen aan deze materialen input en output parameters gekoppeld te worden. Hierbij wordt de gehele levenscyclus van het gebouw beschouwd. Van input is vanzelfsprekend sprake bij de oprichting van het gebouw (bouw). Verder is er sprake van input voor de materialen die gedurende de levensduur van het gebouw vervangen moeten worden. Hiervoor geldt dat wanneer de levensduur van het materiaal kleiner is dan de levensduur van het gebouw, er sprake is van input gedurende renovatie(s). De verhouding tussen de levensduur van het gebouw en die van het materiaal geeft daarbij aan hoe vaak het materiaal vervangen moet worden (afronden naar boven, zie Eq. 5):

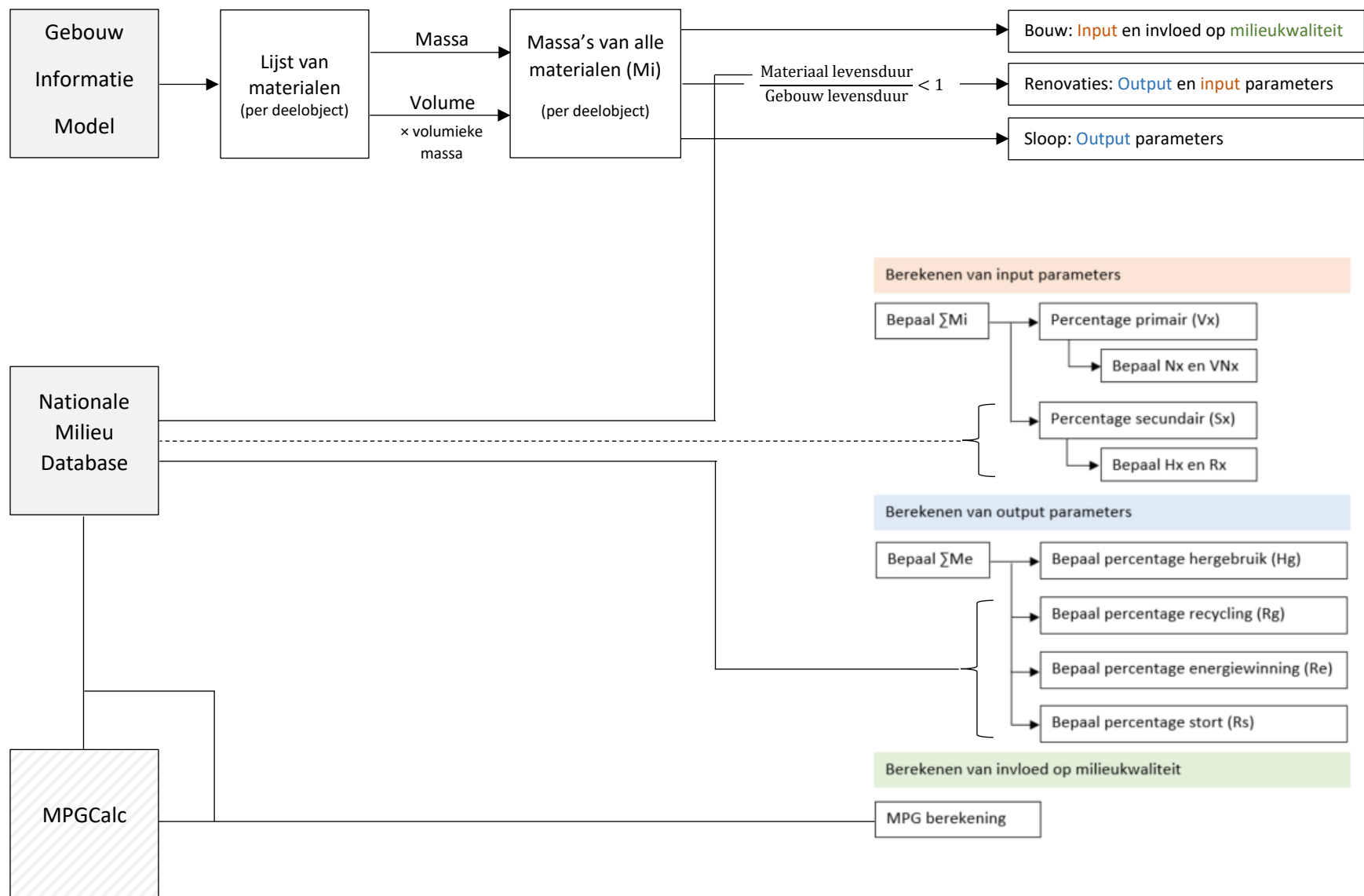
$$Aantal\ vervangingen = \left(\frac{gebouw\ levensduur}{materiaal\ levensduur} \right) - 1 \quad \text{Eq. 5}$$

Overeenkomstig het voorgaande is er niet alleen sprake van output van materialen (M_e) bij sloop of demontage van het gebouw, maar ook bij renovaties. Het aantal vervangingen wordt eveneens berekend overeenkomstig Eq. 5.

De invloed op de milieukwaliteit kan worden berekend middels de reeds beschikbare tool MPGCalc. Ter vereenvoudiging van de berekeningsprocedure voor de gebruiker, zal de MPG echter geïntegreerd worden in de tool.

3.2. Automatische toekenning van invoerparameters

Idealiter omvat een BIM model niet alleen de massa van alle toe te passen/toegepaste materialen, maar ook de herkomst, (waarschijnlijke) levenseindebehandeling en impact op de elf milieu-impact categorieën



Figuur 3.1: Raamwerk voor de bepaling van de circulariteit van gebouwen

van elk materiaal. Hoewel dit in de toekomst naar verwachting steeds vaker het geval zal zijn, wordt geconstateerd dat het gros van de huidige BIM modellen deze informatie nog ontberen.

Bij de ontwikkeling van een handzame tool, moet worden getracht de handmatige toekenning van herkomst, (waarschijnlijke) levenseindebehandeling en milieu-impact van elk materiaal, te vermijden. Dergelijke bewerkingen zijn immers (zeer) arbeidsintensief. Om het gebruik van de tool te vereenvoudigen, zullen de relevante parameters automatisch worden toegekend aan materialen. Hiervoor wordt een database opgezet.

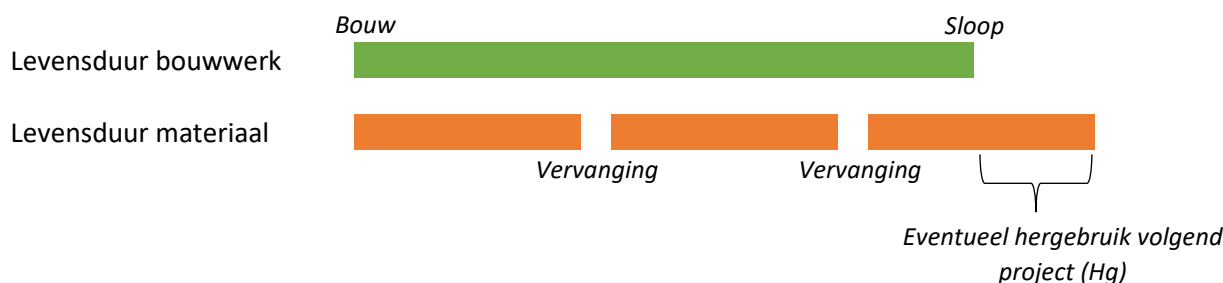
3.2.1. Opzetten van een database

Er wordt een database opgezet in MS Excel, waarbij de volgende parameters worden toegekend voor een selectie van achtenveertig materialen:

▪ Volumieke massa	[kg m ⁻³]
▪ Levensduur	[jaren]
▪ Input	
▪ Duurzaam geproduceerd hernieuwbaar (Nx)	[-]
▪ Niet (duurzaam geproduceerd) hernieuwbaar (VNx)	[-]
▪ Hergebruikt (Hx)	[-]
▪ Gerecycled (Rx)	[-]
▪ Output	
▪ Hergebruik van een deelobject (Hg)	[-]
▪ Recycling van een deelobject (Rg)	[-]
▪ Energiewinning van een deelobject (Re)	[-]
▪ Stort van een deelobject (Rs)	[-]
▪ Milieu-impact	
▪ Uitputting van abiotische grondstoffen	[kg SB-eq]
▪ Uitputting van fossiele energiedragers	[kg SB-eq]
▪ Klimaatverandering	[kg CO ₂ -eq]
▪ Ozonlaagaantasting	[kg CFC-11-eq]
▪ Fotochemische oxidantvorming	[kg C ₂ H ₄]
▪ Verzuring	[kg SO ₂ -eq]
▪ Vermesting	[kg (PO ₄) ₃ -eq]
▪ Humaan-toxicologische effecten	[1,4 DCB-eq]
▪ Ecotoxicologische effecten (zoetwater)	[1,4 DCB-eq]
▪ Ecotoxicologische effecten (zeewater)	[1,4 DCB-eq]
▪ Ecotoxicologische effecten (terrestrisch)	[1,4 DCB-eq]
▪ De milieukosten voor elke milieu-impact categorie	[€]

De getalswaarden voor levensduur en Nx, VNx en Rx worden ingevuld op basis van literatuuronderzoek (zie Bijlage A). Voor Hx is een standaard getalswaarde van nul opgenomen in de database, maar een gebruiker heeft de mogelijkheid deze factor handmatig aan te passen wanneer daar een aanleiding toe bestaat vanuit projectspecifieke bouw-, renovatie- en sloopplannen.

De materiaallevensduur, R_g , R_e , R_s en de milieu-impact zijn afkomstig uit de Nationale Milieu Database (NMD, 2019). Voor H_x is een standaard getalswaarde van nul opgenomen in de database, maar een gebruiker heeft de mogelijkheid deze factor handmatig aan te passen wanneer daar een aanleiding toe bestaat vanuit projectspecifieke bouw-, renovatie- en sloopplannen. Daarvan kan sprake zijn wanneer een materiaal een langere levensduur heeft dan (de resterende levensduur van) het bouwwerk. Zie Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Hergebruik (H_g)

3.2.2. Beschrijving van de berekeningsprocedure

De circulariteitsindicatoren kunnen worden berekend met behulp van de database. Daarvoor worden achtereenvolgens de volgende stappen doorlopen:

1. Allereerst wordt vanuit het gebouw informatie model van het specifieke project een lijst met materialen geëxporteerd. Vanzelfsprekend is het van belang dat deze materiaallijst compleet is. Daarbij is het van belang dat elk materiaal een omschrijving heeft en een volume (m^3). Uitzonderingen daarbij zijn zonnepanelen en –collectoren, welke een oppervlak (m^2) hebben, en leidingwerk, hetgeen een lengte (strekkende meter, m^1) heeft.
2. De tool koppelt de materialen uit het gebouw informatie model met die in de database op basis van de naamgeving (omschrijving) van het materiaal. De tool omvat een controleblad waarmee kan worden vastgesteld of alle materialen uit het gebouw informatie model op een juiste manier worden meegerekend.
3. De naam van het project, alsmede het bruto vloeroppervlak (bvo, m^2) en de levensduur van het bouwwerk (jaren) moeten worden ingevuld.

Omdat de hierboven beschreven database van algemene aard is en daarbij gebouw(beheer)specifieke karakteristieken negeert, bestaat de mogelijkheid om handmatige aanpassingen te doen in de input en output parameters.

3.2.3. Rapportage van resultaten

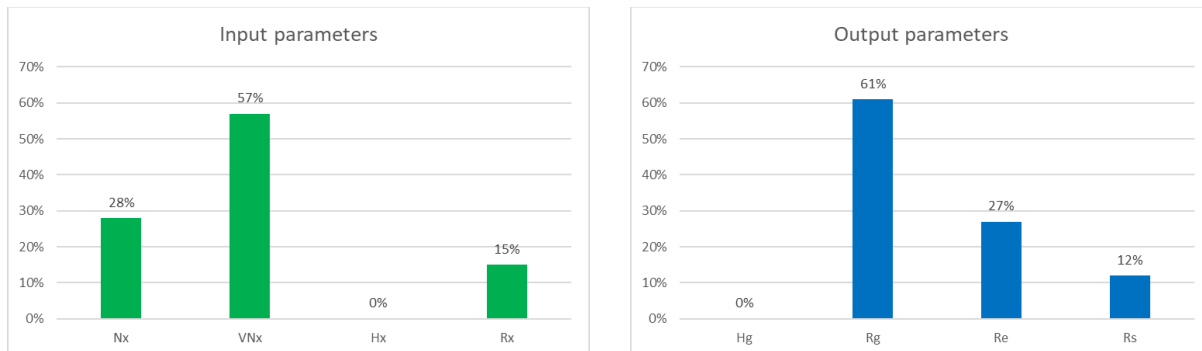
De tool voorziet in de mogelijkheid om automatisch een rapport te genereren, waarbij de input-, output- en milieu impact categorieën, alsmede de milieukosten van het bouwwerk, worden gevisualiseerd door middel van staafdiagrammen.

4. Toepassing van de methode

Ter verificatie van de berekeningsmethode en tool, wordt deze toegepast op het case object House2Start (Sectie 4.1). Op basis van de resultaten, worden gebouwonderdelen geïnventariseerd die verbeterd kunnen worden met betrekking tot circulariteit (Sectie 4.2). Tot slot wordt de tool opnieuw toegepast om de relatieve verbetering van de gebouwcirculariteit te kwantificeren (Sectie 4.3).

4.1. Toepassing van de tool op House2Start

Toepassing van de tool op casus House2Start levert de resultaten zoals opgenomen in Figuur 4.1, en schaduwkosten van €0,55 m⁻² BVO jaar⁻¹.



Figuur 4.1: In- en output resultaten House2Start

De input parameters beschouwende, leiden met name het gebruik van beton, staal en polyurethaan isolatie tot een hoog aandeel niet (duurzaam geproduceerd) hernieuwbaar materiaal (VNx, 57%). Het grootste aandeel van het materiaal dat vrijkomt bij renovaties en sloop (output) wordt gerecycled (Rg, 61%). 27% van het materiaal wordt gebruikt voor energiewinning (Re), hetgeen met name moet worden toegeschreven aan het gebruik van hout en houtachtige materialen.

4.2. Geïnterpreteerde verbeteringen

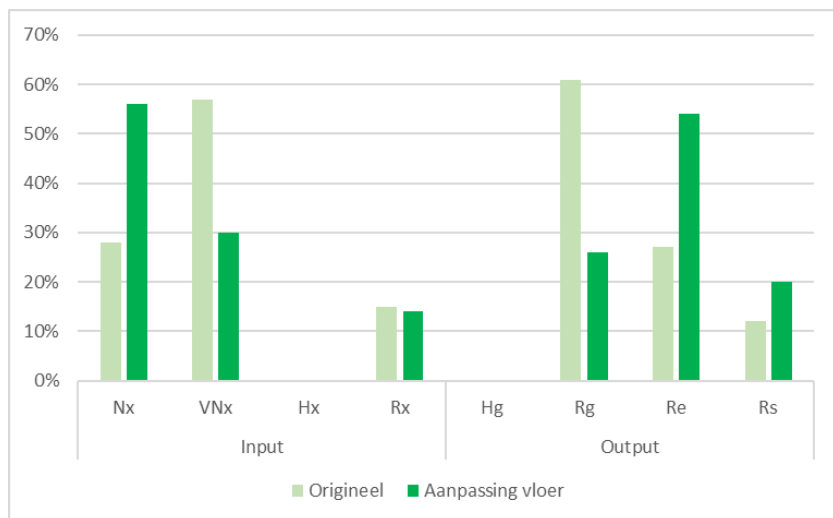
In deze sectie worden alternatieve constructies geïnventariseerd die de circulariteit van House2Start verbeteren.

4.2.1. Begane grondvloer

De begane grondvloer van het huidige ontwerp van House2Start bestaat uit beton, wapening, staal en EPS isolatie, en rust op schroefpalen. Omdat het gebruik van zowel beton als staal leidt tot een hoog aandeel VNx, wordt een houten alternatief voor de vloer uitgewerkt. Deze vloer bestaat uit een vuren ringbalk die op de schroefpalen rust. Tussen deze ringbalken bevindt zich een vuren balklaag. De vloer wordt tussen de balken geïsoleerd met houtvezelisolatie.

Door de keuze voor een houten begane grondvloer verandert de circulariteitsscore aanmerkelijk (zie Figuur 4.2). Het aandeel duurzaam geproduceerd hernieuwbaar (Nx) materiaal stijgt naar 56% vanwege het gebruik van vuren hout. Het aandeel VNx daalt naar 30%, omdat er minder beton, staal en EPS wordt gebruikt. Het aandeel gerecycled materiaal (Rx) daalt met één procentpunt.

In de output daalt het aandeel gerecycled materiaal (Rg) en stijgt het aandeel energiewinning (Re); waar beton grotendeels, weliswaar laagwaardig, gerecycled wordt, wordt hout veelal verbrand. Ook het aandeel gestort materiaal (Rs) stijgt. Dit is te verklaren door het feit dat het gewicht van het gebouw sterk afneemt omdat de nieuwe vloer minder zwaar is. In absolute zin (kg) daalt de hoeveelheid gestort materiaal.



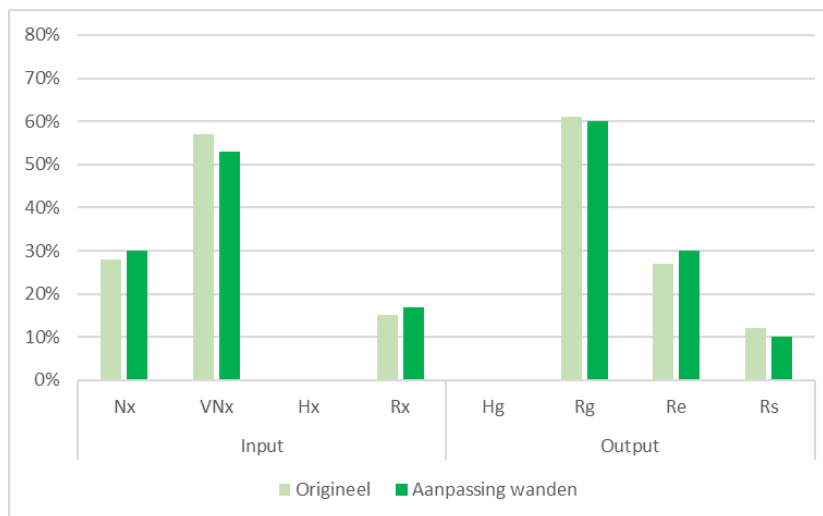
Figuur 4.2: Verschil in circulariteit door aanpassing begane grondvloer

4.2.2. Wanden

De wanden van het huidige ontwerp van House2Start bestaan uit constructief isolerende sandwichpanelen (zogenaamde SIP panelen), waarbij het isolatiemateriaal uit polyurethaan bestaat. Het gebruik van polyurethaan leidt tot een hoog aandeel niet (duurzaam geproduceerd) hernieuwbaar materiaal (VNx) en stort (Rs).

Het vervangen van de SIP panelen door houtskeletbouw elementen met houtvezelisolatie leidt tot een daling van het aandeel niet (duurzaam geproduceerd) hernieuwbaar materiaal (VNx). Zie Figuur 4.3. Het aandeel gerecycled materiaal (Rx) stijgt door het gebruik van houtvezelisolatie. In de output dalen het aandeel gerecycled (Rg) en gestort (Rs) materiaal, en stijgt het aandeel energiewinning (Re); waar

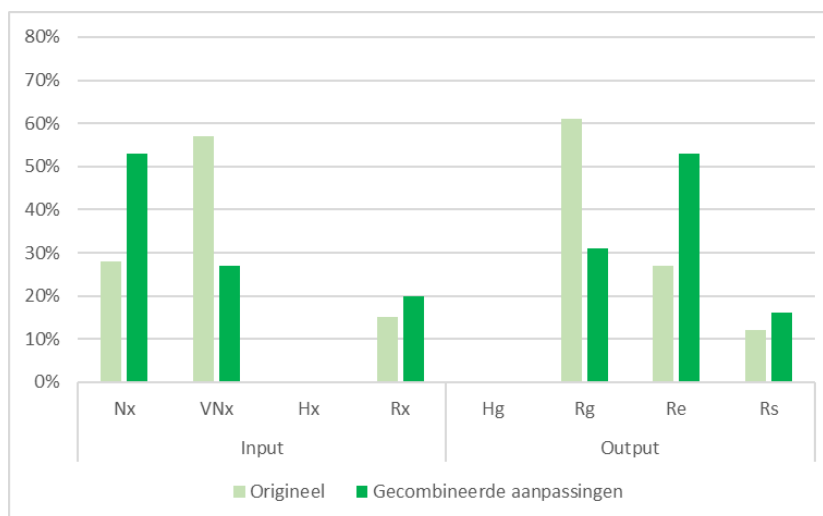
polyurethaan voor een klein aandeel (10%) wordt gerecycled en voor 85% wordt gestort, wordt houtvezelisolatie veelal verbrand.



Figuur 4.3: Verschil in circulariteit door aanpassing wanden

4.3. Verbetering van gebouwcirculairiteit

Wanneer het herontwerp van de begane grondvloer en de wanden gelijktijdig worden ingevoerd in de tool, worden de resultaten verkregen zoals opgenomen in Figuur 4.4. De schaduwkosten zijn daarbij gedaald van €0,55 naar €0,49 m⁻² BVO jaar⁻¹.



Figuur 4.4: Verschil in circulariteit door gecombineerde aanpassingen

Het in de tool gegenereerde rapport is opgenomen in Bijlage B.

5. Conclusie en aanbevelingen

In deze sectie worden de conclusie (Sectie 5.1) en aanbevelingen (Sectie 5.2) behandeld.

5.1. Conclusie

Om het circulair bouwen in een stroomversnelling te brengen, is de ontwikkeling van een handzame, laagdrempelige methode om de circulariteit van gebouwen te meten en beoordelen van essentieel belang. Een dergelijke methode kan dan worden gebruikt om verschillende materiaal- en ontwerpkeuzes te toetsen. In het onderhavige onderzoek werd een digitale tool ontwikkeld om de kernmethode voor het bepalen van gebouwcirculairiteit van Platform CB'23 laagdrempelig toe te kunnen passen.

Ter verificatie van de berekeningsmethode en tool, werd deze toegepast op het case object House2Start. Op basis van de resultaten konden twee alternatieve constructies (begane grondvloer en wanden) geïnventariseerd worden om de circulariteit van het case object te verbeteren. Uit de doorrekening van deze alternatieven blijkt dat de gebouwcirculairiteit inderdaad verbetert. Op deze wijze is gedemonstreerd hoe deze tool kan worden gebruikt om verbeteringen met betrekking tot de gebouwcirculairiteit te inventariseren en kwantificeren.

5.2. Aanbevelingen

Ter verdere verbetering van de tool, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Op dit moment wordt in de kernmethode geen onderscheid gemaakt tussen hoog- en laagwaardige recycling van materialen (Rg). Om dat wel te doen, zouden subindicatoren onder Rg kunnen worden geïntroduceerd.
- Het uitbreiden van de database met meer materialen, en deze regelmatig actualiseren. Een directe koppeling met de Nationale Milieu Database (NMD) is daarvoor wenselijk.
- Door het gebruik van product specifieke informatie uit levenscyclusanalyses (LCA's) kunnen specifiekere waarden voor bepaalde producten worden verkregen dan het geval is bij de generieke waarden uit de NMD. Zo worden producten waarin bewust wordt gekozen voor een hoger percentage hergebruikt of gerecycled materiaal, of inzet van duurzame energie in het productieproces, ook als zodanig herkend in de tool.
- Momenteel geschiedt de koppeling van de materialen uit het gebouw informatie model met die uit de database op basis van de naamgeving van het materiaal. Door gebruik te maken van unieke en gestandaardiseerde coderingen in zowel het gebouw informatie model als de database, zal de foutgevoeligheid van deze koppeling afnemen.

Referenties

- Alba Concepts. (2018). *Building Circularity Index*. <https://albaconcepts.nl/building-circularity-index/>
- Alurvs.nl (2020). Roestvast Staal Recycling. <https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/417/#:~:text=Ruim%2080%25%20van%20het%20afgedankte,groeien%20met%20een%20betere%20inzameling.>
- Betonhuis (2012-2017). Duurzaam bouwen met beton. *Duurzaamheidsverslag Betonhuis Betonmortel 2012-2017*.
- Biobasedbouwen.nl (2020). Cementgebonden houtvezelplaat – Cempanel.
- BNM (2020). Kalkzandsteen. *BNM Bouwmaterialen*; <https://www.bmn.nl/binnenmuur/kalkzandsteen>.
- BouwendNederland (2019). Handvat duurzaam materiaalgebruik voor bouw- en infrabedrijven. *Stimular De werkplaats voor duurzaam ondernemen*.
- Bouwenmetstaal.nl (2020). Recycling en hergebruik. <https://www.bouwenmetstaal.nl/themas/duurzaam/recycling-en-hergebruik/>.
- Braakman, L., de Graaf, R., & Bhochhibhoya, S. (2019). Circular Houses: Design principles for improving the circularity of family houses. *Conceptueel*, 4.
- Bruggen, R. v., & Zwaag, N. v. d. (2017). Knelpuntenanalyse houtrecycling. *Tauw Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*.
- CBS. (2018). *Huishoudensprognose 2018-2060: opmars eenpersoonshuishoudens zet door*.
- CBS. (2019a). *Materiaalstromen in Nederland: Materiaalmonitor 2014-2016*.
- CBS. (2019b). *Meeste afval en hergebruik materialen in bouwsector*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/45/meeste-afval-en-hergebruik-materialen-in-bouwsector>
- Chabot, L. (2010). Prestaties van isolatiematerialen in een spouwmuurconstructie beoordeling van de bruikbaarheid. *Eindhoven University of Technology*.
- Cobouw (2020). Recycling bitumen blijft uitdaging. https://www.omgevingindepraktijk.nl/themas/duurzaamheid/circulair-bouwen/142465?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.12420279.2042741044.1607264471-1081017925.1606402309.
- Corsten, M., Worrell, E., Duin, A. V., & Rouw, M. (2010). Saving materials: een verkenning van de potentiële bijdrage van duurzaam afval en recyclingbeleid aan broeikasgasemissiereductie in Nederland. *Copernicus instituut voor milieuwetenschappen & innovatie studies, Universiteit Utrecht*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Circular Economy System Diagram*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/infographic>

- European-aluminium.eu (2016). Aluminium recyclen. De weg naar een duurzame economie.
https://european-aluminium.eu/media/1030/20160224-ea_recycling-brochure-2015-nl-web.pdf.
- FSC (2020). Waarom FSC? <http://www.fsc.nl/nl-nl/fsc/waarom-fsc>.
- Fu, X., Ueland, S. M., & Olivetti, E. (2017). Econometric modeling of recycled copper supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 219-226.
- Gavriletea, M. D. (2017). Environmental impacts of sand exploitation. Analysis of sand market. *Sustainability*, 9, 1118.
- Gemax (2020). Meer hergebruik en recycling van afvalhout.
- Greenworks (2019-2020). Greenworks productieinformatieblad - Lafarge LaDura (extra harde, stootvaste gipskartonplaat). *Raab Karcher*.
- Hoekerswever, J., Rouhof, N., ter Weele, S., & Lonink, N. (2019). *The Circularity Assessment*.
- House2Start. (2018). *House2Start*. <https://www.house2start.nl/>
- Iacovidou, E., & Purnell, P. (2017). Sustainability in the Built Environment: a Typology System for Supporting Construction Components Reuse. *5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, June*, 1–3.
- Joost de Vree. (2020). triplex, multiplex.
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/triplex.shtml#:~:text=Triplex%2Fmultiplex%20bestaat%20uit%20drie,plaat%20stabiliteit%20en%20vermijdt%20kromtrekken>.
- Kern (2020). Isoleren in plaats van opstoken: Houtvezel voor energiebesparing.
<https://kennisinstituutkern.nl/houtvezelisolatie/>.
- Mawipex (2019). Is het mogelijk en milieuvriendelijk om EPDM te recyclen?
<https://mawipex.nl/blog/het-mogelijk-en-milieuvriendelijk-om-epdm-te-recycleren>.
- Naik, T. R., & Moriconi, G. (2005). Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction. In "International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete and Concrete Structures, Toronto, Ontario, October", pp. 5-7.
- NederlandSchoon (2020). Kunststoffen: afbreekbaarheid en hernieuwbare grondstoffen.
www.kenniswijzerzwerfafval.nl
- NMD. (2019). *Nationale Milieu Database*. <https://www.milieudatabase.nl/viewNMD/>
- Platform CB'23. (2019). *Leidraad Kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw - Werkafspraken voor een circulaire bouw - versie 1.0*.
- RecyclingNederland (2020). KNB Baksteenrecycling. <https://recyclingnederland.nl/bouw/knb-baksteenrecycling/>.
- Rijksoverheid. (2016a). *Nederland circulair in 2050. In het kort*.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/rapporten/2016/09/14/circulaire-economie>
- Rijksoverheid. (2016b). *Nederland circulair in 2050*.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/rapporten/2016/09/14/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050>

- Rockwool.nl (2020). Waarom Steenwol: circulariteit. <https://www.rockwool.nl/waarom-steenwol/circulariteit/#:~:text=Steenwol%20kan%20keer%20op%20keer, van%20nieuwe%20steenwol%20wordt%20verwerkt>.
- SERmagazine (2018). Duurzame natuursteensector nog niet zo 'natuurlijk'. <https://www.ser.nl/nl/publicaties/IMVO-natuursteen>.
- Smaniotto, A., Antunes, A., Filho, I. d. N., Venquiaruto, L. D., de Oliveira, D., Mossi, A., Di Luccio, M., Treichel, H., & Dallago, R. (2009). Qualitative lead extraction from recycled lead–acid batteries slag. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 1677-1680.
- Stichting Bouwkwiteit. (2019). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken (versie 3.0)*.
- Stybenex (2013). EPS: 100 procent recyclebaar, 100 procent duurzaam. *EPS natuurlijk - Vereniging van EPS fabrikanten*.
- Tweakers (2019). 'Zonnepanelen leiden tot afvalberg door slechte recycleerbaarheid'. <https://tweakers.net/nieuws/151800/zonnepanelen-leiden-tot-afvalberg-door-slechte-recycleerbaarheid.html>.
- van den Berg, M. (2019). *Managing Circular Building Projects* [University of Twente]. <https://doi.org/https://doi.org/10.3990/1.9789036547703>
- Verberne, J. J. H. (2016). *Building circularity indicators; an approach for measuring circularity of a building*. Eindhoven University of Technology.
- W/E Adviseurs. (2017). *Circulair met GPR meetbaar zonder extra moeite*. <https://www.w-e.nl/downloads/tools/circulair/Circulair-is-meetbaar-met-GPR.pdf>
- Wonen.nl (2020). Nowood biobased plaatmateriaal. <https://www.wonen.nl/verbouwen/gevel-buitenmuur/biobased-plaatmateriaal>.
- Zinkinfobenelux.com (2020). 100% Recyclebaar / Herbruikbaar. <https://www.zinkinfobenelux.com/100+recyclebaar+-herbruikbaar#:~:text=Recyclen%20van%20reststoffen&text=Zinkas%20en%20hardzink%20worden%20volledig, productie%20van%20zinkstof%20en%20zinkverbindingen>.

Bijlagen

Bijlage A: Literatuuronderzoek naar input indicatoren

Materiaal		Nx	Vnx	Rx	Bron
Steenachtig materiaal	Beton		0,9	0,1	(Betonhuis, 2012-2017)
	Cement		0,4	0,6	(Naik & Moriconi, 2005)
	Metselwerk		0,7	0,3	(RecyclingNederland, 2020)
	Kalkzandsteen		1		(BNM, 2020)
	Cellenbeton		0,9	0,1	(Betonhuis, 2012-2017)
	Prefab beton elementen		0,9	0,1	(Betonhuis, 2012-2017)
	Tegelwerk		0,7	0,3	(RecyclingNederland, 2020)
	Natuursteen		1		(SERmagazine, 2018)
	Zand		1		(Gavriletea, 2017)
Hout	Vuren (FSC)	1			(FSC, 2020)
	Eiken (FSC)	1			(FSC, 2020)
	Beuken (FSC)	1			(FSC, 2020)
	Meranti (FSC)	1			(FSC, 2020)
	Douglas (FSC)	1			(FSC, 2020)
Plaatmateriaal	Multiplex (FSC)	0,95	0,05		(Joost de Vree, 2020)
	Underlayment (FSC)	0,95	0,05		(Joost de Vree, 2020)
	Spaanplaat		0,15	0,85	(Gemax, 2020)
	MDF		0,15	0,85	(Gemax, 2020)
	Gipskartonplaat	0,86		0,14	(Greenworks, 2019-2020)
	OSB	0,47	0,06	0,47	(Bruggen & Zwaag, 2017)

	Cementgebondenplaat	0,27	0,23	0,5	(Biobasedbouwen.nl, 2020; Bruggen & Zwaag, 2017; Naik & Moriconi, 2005)
Isolatie	Isolatie steenwol		0,5	0,5	(Chabot, 2010; Rockwool.nl, 2020)
	Isolatie glaswol		0,3	0,7	(Chabot, 2010)
	Isolatie pir		1		(Chabot, 2010)
	Isolatie pur		1		(Chabot, 2010)
	Isolatie EPS		0,6	0,4	(Chabot, 2010; Stybenex, 2013)
	Isolatie houtvezel		0,05	0,95	(Kern, 2020)
Metalen	Staal		0,7	0,3	(Alurvs.nl, 2020; Bouwenmetstaal.nl, 2020)
	RVS		0,7	0,3	(Alurvs.nl, 2020; Bouwenmetstaal.nl, 2020)
	Aluminium		0,85	0,15	(European-aluminium.eu, 2016)
	Zink		0,6	0,4	(Zinkinfobenelux.com, 2020)
	Koper		0,7	0,3	(Fu et al., 2017)
	Lood		0,5	0,5	(Smaniotto et al., 2009)
	Wapening		0,7	0,3	(BouwendNederland, 2019)
Dakbedek.	Bitumen		0,7	0,3	(Cobouw, 2020)
	EPDM		0,4	0,6	(Mawipex, 2019)
	Keramische dakpannen		0,7	0,3	(RecyclingNederland, 2020)
	Glas		0,3	0,7	(Chabot, 2010)
	PV paneel [m2]		1		(Tweakers, 2019)
Leidingwerk	Polyetheen waterleiding		1		(CORSTEN et al., 2010; NederlandSchoon, 2020)
	Polyetheen gasleiding		1		(CORSTEN et al., 2010; NederlandSchoon, 2020)

	polypropeen 80mm		1		(CORSTEN et al., 2010)
	polypropeen 25mm		1		(CORSTEN et al., 2010)
	polyetheen 12mm		1		(CORSTEN et al., 2010; NederlandSchoon, 2020)
	polyvinylchloride 20mm		1		(CORSTEN et al., 2010)
Overig	PVC		1		(CORSTEN et al., 2010)
	Kunststof		1		(CORSTEN et al., 2010)
	SimoWood	0,6	0,4		(Wonen.nl, 2020)

Bijlage B: Rapportage herontwerp House2Start



Naam:	House2Start	
Locatie:	Deventer	
Datum:	8-12-2020	
Levenfase op moment van berekenen:	0	Jaar
Bruto vloeroppervlak	57	m ²
Levensduur bouwwerk	25	Jaar

Resultaten

