



BUILDING
CIRCULARITY
INDEX®

**EVERY MORNING CLOSER
TO A **SUSTAINABLE** WORLD**

Meetmethode Circulair vastgoed

Building Circularity Index

15 maart 2022
2022 Whitepaper V1.0

INHOUDSOPGAVE

01	INLEIDING	3
02	TOELICHTING BCI MEETMETHODE	4
02.01	Material Circularity Index (MCI)	6
02.01.01	Definities materiaalgebruik	7
02.02	Losmaakbaarheidsindex (LI)	8
02.03	Product Circularity Index (PCI)	11
02.03.01	Beperkingen en kansen	11
02.04	Element Circularity Index (ECI)	12
02.04.01	Beperkingen en kansen	13
02.05	Milieukosten Indicator (MKI)	14
02.06	Building Circularity Index (BCI)	15
02.06.01	Beperkingen en kansen	16
03	SCOPE BCI MEETMETHODE	17
03.01	Gebouwniveaus	17
03.02	Te beoordelen producten en elementen	17
03.02.01	PV-panelen	18
03.02.02	Renovatie/verbouw	18
04	REKENREGELS BCI MEETMETHODE	19
04.01	Material Circularity Index (MCI)	19
04.02	Losmaakbaarheidsindex (LI)	20
04.03	Product Circularity Index (PCI)	20
04.04	Element Circularity Index (ECI)	21
04.05	Building Circularity Index (BCI)	22
05	VERWIJZINGEN	23
06	BIJLAGE 1: OVEREENKOMST BCI, PLATFORM CB'23 EN HNN 0.3	24

01 INLEIDING

Deze whitepaper is een uitgave van BCI Gebouw en Alba Concepts en geeft inzicht in de rekenregels die samen de Building Circularity Index[®] (hierna: BCI) meetmethode vormen. Deze methode is ontstaan vanuit de behoefte om in een vroege ontwerpfase van vastgoedobjecten te sturen op het thema circulariteit. De BCI-meetmethode is ontwikkeld om de mate van circulariteit van vastgoedobjecten al in een vroege ontwerpfase te bepalen. Sinds 2016 heeft Alba Concepts, samen met de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), gewerkt aan deze methode. Deze doorontwikkeling heeft uiteindelijk geleid tot de lancering van BCI Gebouw in 2021. Dit is het meetinstrument waarmee gebruikers de circulaire potentie van vastgoedobjecten kunnen bepalen.

BCI Gebouw geeft invulling aan één van de kerndoelen van de transitieagenda Circulaire Bouweconomie: het meetbaar maken van circulariteit om bewustwording bij directbetrokkenen en de maatschappij te creëren. De ontwikkeling van de BCI loopt voor op de introductie van een geharmoniseerde meetmethode. Consensus op dit onderwerp is wenselijk. Onder andere om een bijdrage te leveren aan een geharmoniseerde meetmethode zijn nadrukkelijk ook de belemmeringen en kansen benoemt in deze whitepaper.

De BCI-meetmethode is ontwikkeld om in een vroeg stadium van het ontwerpproces te sturen op circulariteit. Daarom is de meetmethode beknopt en pragmatisch. In de BCI-meetmethode zijn de, volgens BCI Gebouw en Alba Concepts, essentiële aspecten van circulariteit opgenomen, namelijk: materiaalgebruik en losmaakbaarheid.

De meetmethode is gebaseerd op bestaande meetmethoden zoals de Material Circularity Indicator (Ellen MacArthur Foundation & ANSYS Granta, 2019), de Transformation Capacity (TC) (Durmisevic, 2006) en de MilieuPrestatie Gebouwen (Nationale Milieudatabase, 2020). Hiermee verenigt BCI Gebouw bestaande kennis over circulariteit in één meetmethode in plaats van een volledig nieuwe methode ontwikkelen. Niet geheel toevallig sluit de BCI-meetmethode dan ook zeer goed aan op de leidraad 'meten van circulariteit' (Platform CB'23, 2020)

02 TOELICHTING BCI MEETMETHODE

In de leidraad meten van circulariteit (Platform CB'23, 2020) zijn drie doelen van circulair bouwen benoemd, namelijk:

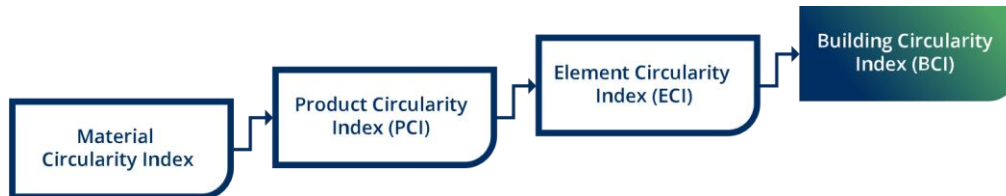
1. Beschermen van materiaalvoorraden;
2. Beschermen van het milieu;
3. Beschermen van bestaande waarde.

De BCI geeft invulling aan de circulaire aspecten 'materiaalgebruik' (doel 1; beschermen van materiaalvoorraden) en 'losmaakbaarheid' (doel 3; beschermen van bestaande waarde) door dit meetbaar te maken in een eenpuntsscore. Daarnaast integreert de BCI-meetmethode de bepalingmethode Milieuprestatie Bouwwerken (doel 2).



Figuur 1: Circulaire aspecten Building Circularity Index

De meetmethode is zoveel mogelijk gebaseerd op de visie dat hoogwaardig hergebruik resulteert in de hoogste mate van circulariteit, omdat hoogwaardige producten een hogere restwaarde en een laagste milieu-impact hebben. Bij een hergebruikt product of element zijn immers de minste verwerkingsprocessen benodigd die milieu-impact veroorzaken.

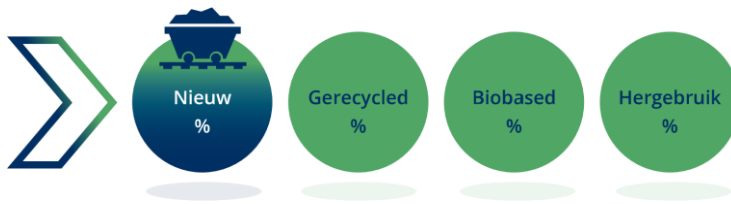


Figuur 2: Trapsgewijze bepalingsmethode BCI-score

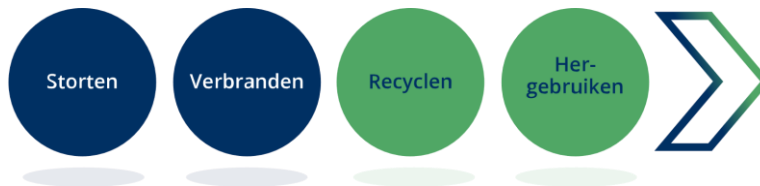
De BCI-score is een resultaat van het berekenen van de Material Circularity Index (MCI), de losmaakbaarheidsindex (LI), de Product Circularity Index (PCI), de Element Circularity Index (ECI) (indien van toepassing) en de milieu-impact (middels de MKI) van ieder product of element in het gebouw. Deze zijn allemaal afgewogen tot een eenpuntsscore voor circulariteit. Hiermee is het zowel een meetinstrument als een sturingsinstrument: De gebruiker stuurt op het ontwikkelen van een circulair gebouw door op product-, element- en gebouwniveau circulariteit te meten. Al deze aspecten zijn individueel toegelicht in de volgende hoofdstukken.

02.01 Material Circularity Index (MCI)

Het circulair aspect 'materiaalgebruik' is uitgedrukt in de Material Circularity Index. Deze methode is aangepast overgenomen uit de Material Circularity Indicator (Ellen MacArthur Foundation & ANSYS Granta, 2019). De MCI is bepaald door de verantwoorde herkomst van materialen, de gebruiksduur en het toekomstscenario van de materialen. Hoe hoger de MCI, hoe hoger de mate van circulariteit van het product op het aspect materiaalgebruik. De laagste MCI-score is 0,10 en de hoogste MCI-score is 1,00.



De verantwoorde herkomst van een product bestaat uit de fractie (massapercentage) nieuw materiaal (n), gerecycled materiaal (g), hergebruikt materiaal (hh) of biobased (b). Daarin is de fractie nieuw materiaal beschouwd als lineair en de fracties gerecycled, hergebruikt en biobased als circulair. Alle fracties wegen even zwaar mee. Gerecycled, hergebruikt en biobased materiaal scoort dus even goed. Daarnaast tellen alle fracties samen op tot 100%. De definities voor deze fracties zijn verder toegelicht in paragraaf 02.01.01.



Het toekomstscenario van materialen in een product is de fractie (massapercentage) dat bestemd is voor storten (s), verbranden (voor energierugwinning) (v), recyclen (r) of hergebruiken (ht). Daarin is de fractie storten en verbranden beschouwd als lineair en de fractie recyclen of hergebruiken als circulair. Alle circulaire fracties wegen even zwaar mee. Recyclen en hergebruiken scoren dus even goed. Daarnaast tellen alle fracties samen op tot 100%. De definities voor deze fracties zijn verder toegelicht in paragraaf 02.01.01.

In de MCI is onderscheid gemaakt tussen de technische levensduur en de werkelijke levensduur. De technische levensduur is gebaseerd op het industrieel gemiddelde van deze producten zoals bepaald in de levensduur van bouwproducten, methoden voor referentiewaarden (SBR, 2011). Als de werkelijke levensduur langer is dan de technische levensduur, is de MCI hoger en vice versa. Dit is gebaseerd op de (theoretische) benadering dat een product met een langere levensduur minder afval veroorzaakt per jaar. Deze benadering is verder toegelicht in de Material Circularity Indicator (Ellen MacArthur Foundation & ANSYS Granta, 2019).

De MCI wordt berekend middels een formule [1]. De lineaire fracties zijn bij elkaar opgeteld conform formule [2] en de utiliteitsfactor is bepaald volgens formule [3]. De MCI wijkt op een aantal punten af van de Material Circularity Indicator. (Ellen MacArthur Foundation & ANSYS Granta, 2019)

$$[1] \quad MCI = \max\left(0, \left(1 - LFI_p \cdot F(X_p)\right)\right)$$

$$[2] \quad LFI = \frac{n_p + s_p + v_p}{2}$$

$$[3] \quad F(X_p) = \frac{0,9}{l_w}$$

02.01.01 Definities materiaalgebruik

De herkomst en het toekomstscenario van producten worden op basis van massa bepaald conform de leidraad meten van circulariteit (Platform CB'23, 2020).

Herkomst van het product:

- Nieuw: materiaal dat geproduceerd is uit primaire grondstoffen.
- Hergebruikt: materiaal dat deel uitmaakt van een samengesteld bouwcomponent, -product of -element dat als geheel opnieuw wordt gebruikt voor dezelfde functie na een eerdere toepassing.
- Recycled: materiaal dat na gebruik een recyclingproces heeft ondergaan en nu opnieuw toegepast wordt in een bouwcomponent, -product of -element*.
- Biobased: materiaal afkomstig van levende organismen dat op een menselijke tijdschaal wordt geteeld, natuurlijk aangevuld of natuurlijk wordt gereinigd.

Toekomstscenario van het product:

- Storten: materiaal waarvan het afvoeren naar de stort de meest realistische levenseinde scenario is.
- Verbranden: materiaal waarvan verwerking in een verbrandingsoven voor energiewinning het meest realistische levenseinde scenario is.
- Recyclen: materiaal waarvan recycling van de materialen het meest realistische levenseinde scenario is.
- Hergebruiken: materiaal waarvan hergebruik van de bouwcomponenten, -producten of -elementen het meest realistische levenseinde scenario is.

*In deze definitie richten we ons nadrukkelijk op *post-consumer* recycklaat, niet te verwarren met de parameter *Use of secondary material* conform de NEN-EN 15804+A2. Dit afwijkende uitgangspunt wordt gehanteerd om hoogwaardige recyclingstrategieën maximaal te belonen. Het meetellen van snijverliezen in de productie- en bouw/installatiefase kan een vertekend beeld geven op het thema afvalreductie. Mogelijk stimuleert het gelijk waarderen van pre- en post-consumer recycklaat namelijk dat producenten van bouwmaterialen de snijverliezen opzettelijk verhogen om zo een hoger aandeel recycklaat kunnen opvoeren. Het recyclen van snijverliezen wordt daarmee beschouwd als een procesoptimalisatie die reeds is verdisconteerd in een MKI.

02.02 Losmaakbaarheidsindex (LI)

De losmaakbaarheid van een gebouw is de mate waarin objecten demontabel zijn op alle mogelijke gebouwniveaus, zonder afbreuk te doen aan de functie van het object (of omliggende objecten) om zo de bestaande waarde te beschermen. Losmaakbaarheid is een randvoorwaarde om circulair bouwen mogelijk te maken. Een onlosmaakbaar object kan niet geogst worden en daardoor ook niet worden (hoogwaardig) hergebruikt. De meetmethode voor de losmaakbaarheidsindex is in detail uitgewerkt in het rapport Circular buildings: Een meetmethodiek voor losmaakbaarheid V2.0. (Van Vliet, van Grinsven, & Teunizen, 2021)



Figuur 3: Losmaakbaarheidsfactoren

Van ieder product is de losmaakbaarheidsindex (LI) berekend door de losmaakbaarheidsfactoren 'Type Verbinding', 'Toegankelijkheid van de verbinding', 'Randopsluiting' en 'Doorkruisingen' te beoordelen. De losmaakbaarheidsindex representeert hoe losmaakbaar een product of element is. De laagste score is 0,10 (niet losmaakbaar) en de hoogste score is 1,00 (zeer gemakkelijk losmaakbaar). De scoringstabellen voor de losmaakbaarheidsindex zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1: Scoringstabel losmaakbaarheidsfactoren

Type verbinding (TV)	Toegankelijkheid van de verbinding (ToV)	Randopsluiting (RO)	Doorkruisingen (DK)
Droge verbinding (1,0).	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen (1,0).	Open – geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen (1,0).	Geen doorkruisingen – modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen (1,0).
Verbinding met toegevoegde elementen (0,8).	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken (0,8).	Overlapping – gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen (0,4).	Incidentele doorkruisingen van producten of elementen uit verschillende lagen (0,4).
Directe integrale verbinding (0,6).	Toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade (0,6).	Gesloten – volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen (0,1).	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen (0,1).
Zachte chemische verbinding (0,2).	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade (méér dan 20% van de waarde) (0,4).		
Harde chemische verbinding (0,1).	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten (0,1).		

De losmaakbaarheidsindex is geen binair getal maar een score tussen 0,10 en 1,00. Een product die goed losmaakbaar is, haalt niet altijd een score van 1,00 maar bijvoorbeeld tussen de 0,70 en 1,00. Een losmaakbaarheidsindex van 1,00 is niet altijd wenselijk of noodzakelijk om toch een zeer losmaakbaar gebouw te ontwikkelen.

Een gebouw bestaat uit verschillende onderdelen die enerzijds uit losse entiteiten bestaan en anderzijds op zichzelf al samengestelde producten zijn. In de meetmethode voor losmaakbaarheid is onderscheid gemaakt tussen vier verschillende type bouwproducten, namelijk:

- **Product:** Een onderdeel die op de bouwplaats aankomt en verder verwerkt wordt in een gebouw.
- **Element:** Een onderdeel bestaand uit meerdere producten die als één samengesteld geheel op de bouwplaats aankomt-
- **Afdichtingsmateriaal:** Een materiaal of product dat zorgt voor de afdichting tussen verschillende producten of elementen.
- **Bevestigingsmateriaal:** Een materiaal of product dat zorgt voor de (constructieve) verbinding tussen verschillende producten of elementen.

Het beoordelen van de losmaakbaarheid van afdichtings- of bevestigingsmateriaal valt niet binnen de scope van de BCI. De type verbinding in de meetmethode representeert het (constructieve) bevestigingsmateriaal. Indien een afdichtingsmateriaal leidt tot aantasting of schade aan een product is dit onderdeel van de beoordeling van de toegankelijkheid van de verbinding.

De losmaakbaarheidsindex (Lip) wordt berekend middels formule [3]. De losmaakbaarheidsindex van de connectie (Lic) formule [4] kwantificeert in hoeverre een product of element aan het einde van de gebouwlevensduur demontabel is. De losmaakbaarheidsindex van de connectie weerspiegelt dus de omgekeerde bouwvolgorde. De losmaakbaarheid van de samenstelling (Lis) formule [5] representeert hoe makkelijk een product tussentijds gedemonteerd kan worden bij bijvoorbeeld renovatie, verbouw, reparaties of vervangingen.

$$[4] \quad LIP = \frac{2}{\frac{1}{LIC} + \frac{1}{LIS}}$$

$$[5] \quad LIC = \frac{2}{\frac{1}{DKP} + \frac{1}{ROp}}$$

$$[6] \quad LIS = \frac{2}{\frac{1}{TVp} + \frac{1}{TOVp}}$$

02.03 Product Circularity Index (PCI)

De Material Circularity Index is een indicator van hoe circulair de grondstoffen zijn in een product. De losmaakbaarheidsindex is een indicator voor hoe demontabel een product is uit een gebouw. In de meetmethode van de BCI is de circulaire potentie van een product in een gebouw uitgedrukt met de Product Circularity Index. Dit is de circulariteitscore van een product waarin zowel het aspect materiaalgebruik als losmaakbaarheid in een eenpuntscore zijn vertaald.

Het aspect materiaalgebruik is even belangrijk als losmaakbaarheid. De laagste PCI-score is 0,10 en de hoogste PCI-score is 1,00. In de praktijk betekent dit dat een volledig circulair product zowel een volledig circulaire herkomst van materialen heeft (gerecycled, biobased of hergebruikt), een volledig circulair toekomstscenario heeft (recyclen of hergebruiken) en zeer gemakkelijk losmaakbaar is.

De PCI is het meetkundig gemiddelde van de aspecten materiaalgebruik en losmaakbaarheid formule [7]. Hierdoor zijn ze even belangrijk bij de bepaling van de PCI, maar als één van de twee factoren lager is, weegt dit zwaarder mee dan bij het rekenkundig gemiddelde. De rekenformule voor de PCI is proefondervindelijk bepaald door bestaande BCI-berekeningen te analyseren.

$$[7] \quad PCI = \sqrt{MCI * LI}$$

De visie waarop de meetmethode is gebaseerd, is dat in een circulaire economie hoogwaardig hergebruik van producten en elementen resulteert in de hoogste restwaarde en laagste milieu-impact. Daarom is de keuze gemaakt om losmaakbaarheid zo dominant in de meetmethode op te nemen. Losmaakbaarheid is immers een randvoorwaarde om producten hoogwaardig te hergebruiken.

02.03.01 Beperkingen en kansen

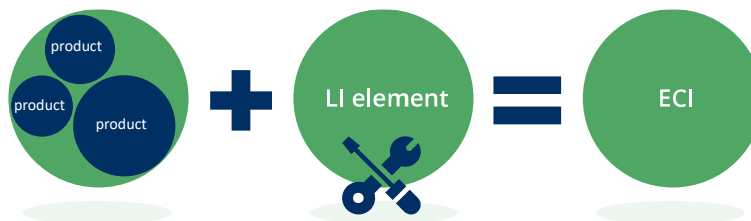
Er zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de keuze om de circulaire potentie van een product te bepalen door het gemiddelde van de MCI en de LI, namelijk:

1. Een losmaakbaar object is niet per definitie herbruikbaar. Er zijn meerdere aspecten die dit beïnvloeden zoals kwaliteit, technische conditie, (rest)waarde et cetera. Een betrouwbaardere meetmethode om de hergebruikpotentie van een object te bepalen is nog niet beschikbaar.
2. In het aspect materiaalgebruik is ook de herbruikbaarheid van het product als toekomstscenario opgenomen. In zekere zin is de losmaakbaarheidsindex een dubbele telling van de hergebruikpotentie.
3. Niet voor ieder product is (hoogwaardig) hergebruiken een realistisch toekomstscenario. Indien recyclen niet tot kwaliteitsverlies van grondstoffen leidt, kan dit ook een volledig circulair toekomstscenario zijn. In dat geval is de losmaakbaarheidsindex (wellicht) een onnodige straf op de circulaire potentie van een product.

02.04 Element Circularity Index (ECI)

De BCI is gebaseerd op de visie dat hoogwaardig hergebruik resulteert in de hoogste restwaarde en laagste milieu-impact. Uniek van de BCI is dat een gebouw niet alleen beschouwd wordt als een opeenstapeling van materialen, maar ook de verbindingen interpreteert en het gebouw als een systeem van diverse producten ziet door de integratie van de losmaakbaarheidsindex. Om dit nog verder te definiëren is ook onderscheid gemaakt tussen producten en elementen.

- **Product:** Een onderdeel die op de bouwplaats aankomt en verder verwerkt wordt in een gebouw.
- **Element:** Een onderdeel bestaand uit meerdere producten die als één samengesteld geheel op de bouwplaats aankomt.



Figuur 4: Element Circularity Index

Een element is dus een samengesteld product waarbij de losmaakbaarheid van de samenstelling bepalend is. Dat betekent dat een element kan bestaan uit meerdere producten, die ten opzichte van elkaar niet losmaakbaar zijn, maar als geheel wel. Het doel van de ECI is dat dit de circulaire potentie van een modulaair, demontabel en herbruikbaar samengesteld product representeert.

Een element bestaat uit een gemiddeld MCI van alle producten die onderdeel zijn van het desbetreffend element en de losmaakbaarheidsindex van het element formule [8]. De MKI is de weegfactor voor hoeveel een (deel)product meeweegt in de gemiddelde MCI van het element formule [9]. Zowel de technische als werkelijke levensduur is gelijkgesteld aan de levensduur van het product met de kortste levensduur formule [10]. De bepalingmethode voor de losmaakbaarheidsindex van een element is identiek aan de losmaakbaarheidsindex van een product formule [11].

$$[8] \quad MCI_e = \max\left(0, (1 - LFI_e * F(X_e))\right)$$

$$[9] \quad LFI_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^p MKI_p} \cdot \frac{((\sum_{i=1}^p MKI_p \cdot n_p) + (\sum_{i=1}^p MKI_p \cdot s_p) + (\sum_{i=1}^p MKI_p \cdot v_p))}{2}$$

$$[10] \quad F(X_e) = \frac{0,9}{\frac{\min(l_e)}{\min(l_w)}}$$

$$[11] \quad LI_e = \frac{2}{\frac{1}{LI_c} + \frac{1}{LI_s}}$$

02.04.01 Beperkingen en kansen

Er zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen bij het opstellen van een ECI, namelijk:

1. Producten die als individueel product goed herbruikbaar zijn, maar binnen een element onlosmaakbaar verbonden zijn met elkaar, zijn alleen als element herbruikbaar en niet als product. Dit is belemmerend voor het stimuleren van hergebruik op productniveau indien een element aan het einde van de levensduur niet herbruikbaar is.
2. De weegfactor voor de impact van de herkomst- en het toekomstscenario op de gemiddelde MCI van een element is de MKI. In de LCA-methode is de weegfactor meestal kilogram om de milieu-impact en herkomst- en toekomstscenario's af te wegen. Een optie om te overwegen is de massa van producten te hanteren als weegfactor voor de herkomst- en het toekomstscenario in een gemiddelde MCI van een element.
3. Indien een product een kortere levensduur heeft dan de overige producten, en deze onlosmaakbaar verbonden zijn binnen een element, dan heeft dit direct impact op de hergebruikpotentie van het element als geheel. Op dit moment heeft een element een gelijke technische en werkelijke levensduur waardoor dit niet meeweegt in de gemiddelde MCI van het element. Een optie om te overwegen is de technische levensduur gelijk te stellen aan de maximum technische levensduur van de (deel)producten en de werkelijke levensduur gelijk te stellen aan de minimum technische levensduur van de (deel)producten. Hierdoor krijgt een element bestaande uit producten met verschillende levensduren (mogelijk) een lagere gemiddelde MCI.

02.05 Milieukosten Indicator (MKI)

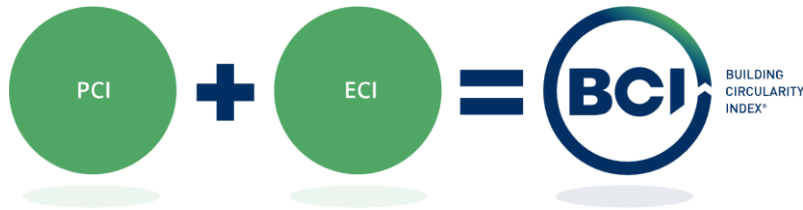
De drie doelen van circulair bouwen volgens CB'23 zijn:

1. Beschermen van materiaalvoorraden;
2. Beschermen van het milieu;
3. Beschermen van bestaande waarde.

Een product met een hoge MCI voldoet aan doel 1: beschermen van materiaalvoorraden. Een product met een hoge losmaakbaarheidsindex voldoet aan doel 3: Beschermen van bestaande waarde. Dit is samengevoegd in een PCI-score. In de MKI zijn elf milieu-impact categorieën gewogen tot een eenpuntsscore voor de milieu-impact van een bouwproduct. Producten met een lage MKI voldoen aan doel 2: Beschermen van het milieu. Een product met een MKI van (nagenoeg) nul is echter niet per definitie circulair. Het combineren van deze aspecten leidt tot een integrale waardering voor circulariteit.

De MKI is geïntegreerd in de BCI-meetmethode door de MKI als weegfactor te hanteren voor het optellen van alle producten tot een eenpuntsscore voor circulariteit van gebouwen. In de MKI is rekening gehouden met de hoeveelheden van het product in een gebouw en met het aantal productvervangingen. Dit betekent dat producten met een hoge milieu-impact zwaarder meewegen in de BCI-score dan producten met een lage impact. In de praktijk zijn dit vaak producten met een zeer hoge milieu-impact in het productieproces, producten waarvan de grootste hoeveelheid is toegepast en producten met een relatief korte levensduur en dus vaak vervangen worden.

02.06 Building Circularity Index (BCI)



Figuur 5: De Building Circularity Index

Alle producten in een gebouw zijn beoordeeld op de aspecten materiaalgebruik en losmaakbaarheid. Dit leidt tot een MCI-, LI-, PCI-, ECI- en MKI-score van ieder product of element. In de BCI-score zijn al deze producten samengevoegd tot een gewogen gemiddelde van alle PCI en ECI-scores. Hierbij is de weegfactor de MKI-score van het product. Dit leidt tot een eenpuntsscore voor circulariteit van een gebouw formule [12] Een PCI-score van 0,10 is de minimale score. Daarom ligt de BCI-score tussen 10% en 100%, waarbij 10% betekent volledig niet circulaire producten en 100% volledig circulair. In de praktijk is een 100% BCI-score (nog) niet haalbaar omdat nog niet voor ieder product in een gebouw een alternatief beschikbaar is die 100% circulair is op het aspect materiaalgebruik. En een losmaakbaarheidsindex van 100% is niet voor ieder product realistisch vanwege technische eisen.

$$[12] \quad BCI = \frac{1}{\sum_{i=1}^n MKI_n} \cdot \sum_{i=1}^n ((MKI_p * PCI_p) + \sum_{i=1}^p MKI_p * ECI_e)$$

De MKI is de weegfactor voor hoe zwaar producten meetellen in een BCI-berekening. Dat betekent dat alleen producten meegewogen zijn die wel in het gebouw zitten. Als binnen een project bewust een keuze is gemaakt om producten niet toe te passen, dan valt dit buiten scope van de BCI-score en leidt dit niet tot een verbetering van de BCI-score. De kernprincipes 'refuse' en 'reduce', oftewel verminderen van materiaalgebruik zijn dus ondervangen in een BCI-score. In principe zijn deze ontwerp strategieën al gewaardeerd in de MPG-meetmethode.

Het is ook mogelijk dat producten een zeer hoge milieu-impact hebben (MKI-score) en toch volledig circulair zijn. Bijvoorbeeld doordat het productieproces van het product zeer milieuonvriendelijk is. In dat geval is het belangrijk om af te wegen of de baten (een 100% circulair product) afwegen tegen de kosten (milieu-impact). Alle drie de kerndoelen van circulariteit, namelijk het beschermen van materiaalvoorraden, het beschermen van het milieu en het beschermen van bestaande waarde zijn van belang bij het meten van circulariteit.

De MPG-score is een eenpuntsscore voor de materiaalgebonden milieu-impact van een gebouw per vierkante meter bruto vloeroppervlak. Hoe lager deze score, hoe lager de milieu-impact is. De BCI en de MPG-meetmethoden versterken elkaar op de volgende manieren:

1. De circulaire ontwerp strategieën 'refuse' en 'reduce' zijn beloond in de MPG-score. Het verminderen van materiaalgebruik leidt immers tot een lagere totale milieu-impact.
2. Het is niet mogelijk is om de BCI-score te manipuleren door producten toe te passen met een hoge PCI, maar ook een hoge milieu-impact (MKI). In dat geval leidt het tot een hogere MPG, wat

onwenselijk is. Hoe strenger de grenswaarden voor de MPG-score, hoe beter de BCI-score een circulair gebouw representeert.

3. Het is mogelijk om integraal het meest circulaire gebouw te ontwikkelen, een gebouw met een zo hoog mogelijke BCI-score en zo laag mogelijke MPG-score. Er is nog geen formule ontwikkeld om de BCI- en MPG-score te integreren tot een eenpuntsscore. Dit is ook nog niet wenselijk in deze fase, omdat de MPG als wettelijke eis is opgenomen in het bouwbesluit en de BCI nog bovenwettelijk is.

02.06.01 Beperkingen en kansen

De BCI meetmethode is niet allesomvattend. Er zijn uiteraard meer circulaire aspecten dan alleen materiaalgebruik, milieu-impact en losmaakbaarheid. Deze aspecten zijn nog niet opgenomen in de BCI-meetmethode. Zowel in de leidraad meten van circulariteit (Platform CB'23, 2020) als Het Nieuwe Normaal (Cirkelstad, 2022) zijn diverse circulaire aspecten opgenomen. Deze zijn onafhankelijk van elkaar gerapporteerd. Hierdoor is het vaak lastig om afwegingen te maken tussen circulaire aspecten en al helemaal om de impact op gebouwniveau te bepalen. Het voordeel van de BCI-meetmethode is dat het circulariteit in een eenpuntsscore uitdrukt die voor een breed publiek toegankelijk en begrijpelijk is. De impact van een product is direct af te lezen op de totaalscore van het gebouw.

Tijdens de (door)ontwikkeling van de BCI-meetmethode zijn diverse weegfactoren gehanteerd om de PCI en ECI van producten af te wegen tot een eenpuntsscore voor de circulaire potentie van een gebouw. Namelijk volume (m³), massa (kg) en de Milieukosten Indicator (MKI). Deze zijn toegepast in verschillende versies van de BCI. Iedere weegfactor heeft in de praktijk zijn eigen voor- of nadelen:

1. Volume (m³): Materialen met veel volume en weinig materiaal (bijvoorbeeld isolatie) weegt zwaar mee indien de weegfactor volume is gehanteerd. Daarnaast is het zeer lastig om voor ieder product in het gebouw het daadwerkelijke volume te bepalen.
2. Massa (kg): De massa van een gebouw bestaat bij veel gebouwen voor 90% uit de constructie. Indien de weegfactor massa is gehanteerd, tellen alle andere producten buiten de constructie bijna niet mee;
3. Milieukosten Indicator (MKI): Producten met een hoge MKI score en hoge LI score, terwijl de hergebruikpotentie aan het eind van de levensduur relatief laag is, vertekenen de BCI score. Een welbekend voorbeeld hiervan is PV panelen. Daarnaast hebben circulaire producten vaak ook een lagere MKI, hierdoor wegen ze minder zwaar mee dan hun niet-circulaire variant.

03 SCOPE BCI MEETMETHODE

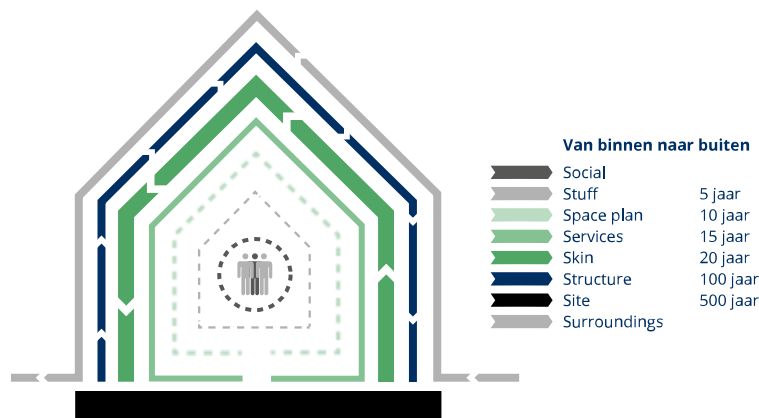
03.01 Gebouwniveaus

Gebouwen zijn een verzameling van complexe entiteiten, opgebouwd uit verschillende materialen, producten en, indien van toepassing, elementen die met elkaar zijn verbonden. Aan de hand van onderstaande definities zijn de verschillende niveaus in een gebouw gedifferentieerd:

- **Materiaal:** een natuurlijke of kunstmatig geproduceerde stof, bestemd om verwerkt te worden tot bruikbare producten.
- **Product:** Een onderdeel die op de bouwplaats aankomt en verder verwerkt wordt in een gebouw.
- **Element:** Een onderdeel bestaand uit meerdere producten die als één samengesteld geheel op de bouwplaats aankomt.

03.02 Te beoordelen producten en elementen

Alle producten in een gebouw zijn onderdeel van de beoordeling van de BCI, behalve producten onder de Laag van Brand 'Stuff' en 'Site'.



Figuur 6: Lagen van Brand (Brand, 1994)

BCI Gebouw hanteert minimaal een vergelijkbare toepassingsgebied zoals een MPG-berekening conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (Nationale Milieudatabase, 2020). In een BCI-berekening wordt in ieder geval elk bouwonderdeel in beschouwing genomen waaraan (overige) voorschriften van het Bouwbesluit zijn verbonden, bijvoorbeeld de voorschriften ten aanzien van constructieve- en brandveiligheid, gezondheid en energieprestatie.

Voorbeeld:

Hoewel de aanwezigheid van een cv-ketel, radiator of verlichtingselement volgens het Bouwbesluit niet vereist is, maar wel een onderdeel kan zijn van een installatie die is bedoeld om aan het voorschrift over de energieprestatie te voldoen, moet de circulariteit daarvan dus wel in de berekening worden meegenomen, denk daarbij ook aan:

- Tegelwerk (bouwbesluit: voorschrift waterdichtheid);
- (Vergunningsvrije) binnenwanden (bouwbesluit: constructie en/of brandveiligheidseisen).

03.02.01 PV-panelen

Vooralsnog vereist een MPG-berekening conform Bouwbesluit 2012 alleen de invoer van PV-panelen die nodig zijn om te voldoen aan BENG. In de scope van een BCI-berekening wijken wij af van dit standpunt, alle toegepaste producten binnen de genoemde bouwonderdelen moeten opgenomen worden. Voor gebouwen met een zeer groot oppervlakte PV panelen leidt dit mogelijk tot een verhoogde BCI-score. Daarom is het belangrijk om de BCI score te wegen ten opzichte van de MPG- en BENG score met alle PV-panelen.

03.02.02 Renovatie/verbouw

In principe is de meetmethode geschikt om ieder type vastgoed te beoordelen op de mate van circulariteit. Zowel nieuwbouw als renovatie/verbouw. De BCI is dus heel geschikt om af te wegen welke inkomende materialen in een renovatie of verbouwoopgave een positief effect hebben op de circulariteit.

In algemene zin is de circulaire impact van renovatie ook afhankelijk van de levensduur van de gehandhaafde materialen. Renovatie leidt bij voorkeur tot een verlengde levensduur. Door handhaving van bestaande materialen wordt er namelijk in een renovatie, ten opzichte van nieuwbouw, minder materiaal toegevoegd. Echter, de huidige methodiek voor het meten van circulariteit (Platform CB'23, 2020) beperkt zich tot slechts één levenscyclus van een gebouw. Pas wanneer meerdere levenscycli beschouwd worden, ontstaat daadwerkelijk inzicht in de positieve impact van een renovatie. De meetmethode volgt de uitgangspunten van CB'23. Kortom, handhaving van bouwproducten en -materialen leidt (nog) niet tot een positief effect op de BCI-score.

04 REKENREGELS BCI MEETMETHODE

04.01 Material Circularity Index (MCI)

De MCI van een product wordt berekend volgens de onderstaande formule:

$$MCI = \max\left(0, \left(1 - LFI_p * F(X_p)\right)\right)$$

Waarbij:

$$LFI = \frac{n_p + s_p + v_p}{2}$$

$$F(X_p) = \frac{0,9}{\frac{l_t}{l_w}}$$

<i>MCI</i>	Material Circularity Index
<i>n_p</i>	Herkomst van materialen, nieuw (%)
<i>s_p</i>	Toekomstscenario van materialen, storten (%)
<i>v_p</i>	Toekomstscenario van materialen, verbranden (%)
<i>LFI_p</i>	Linear Flow Index, het gedeelte materiaal met een lineair herkomstscenario of een lineair toekomstscenario
<i>F(X_p)</i>	Utiliteitsfactor over de technische en werkelijke levensduur van product (<i>p</i>)
<i>l_t</i>	Technische levensduur
<i>l_w</i>	Werkelijke levensduur

04.02 Losmaakbaarheidsindex (LI)

De LI van een product wordt berekend volgens de onderstaande formule:

$$LI_p = \frac{2}{\frac{1}{LIC} + \frac{1}{LIS}}$$

Waarbij:

$$LIC = \frac{2}{\frac{1}{DK_p} + \frac{1}{RO_p}}$$

$$LIS = \frac{2}{\frac{1}{TV_p} + \frac{1}{TOV_p}}$$

<i>LI</i>	Losmaakbaarheidsindex
<i>LIC</i>	Losmaakbaarheidsindex van de connectie
<i>LIS</i>	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling
<i>TV_p</i>	Type verbinding van product <i>p</i>
<i>TOV_p</i>	Toegankelijkheid verbinding van product <i>p</i>
<i>DK_p</i>	Doorkruisingen van product <i>p</i>
<i>RO_p</i>	Randopsluiting van product <i>p</i>

04.03 Product Circularity Index (PCI)

De PCI van een product wordt berekend volgens de onderstaande formule:

$$PCI = \sqrt{MCI * LI}$$

04.04 Element Circularity Index (ECI)

De ECI van een samengesteld element wordt berekend volgens de onderstaande formule:

$$ECI = \sqrt{MCI_e * LI_e}$$

Waarbij:

$$MCI_e = \max(0, (1 - LFI_e * F(X_e)))$$

$$LFI_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^p MKI_p} * \frac{((\sum_{i=1}^p MKI_p * n_p) + (\sum_{i=1}^p MKI_p * s_p) + (\sum_{i=1}^p MKI_p * v_p))}{2}$$

$$F(X_e) = \frac{0,9}{\frac{\min(l_t)}{\min(l_w)}}$$

$$LI_e = \frac{2}{\frac{1}{LIC} + \frac{1}{LIS}}$$

<i>ECI</i>	Element Circularity Index
$i = 1 \rightarrow p$	Alle deelproducten 1 tot en met p die onderdeel zijn van element e
<i>LFI_e</i>	Linear Flow Index, het gedeelte materiaal met een lineair herkomstscenario of een lineair toekomstscenario van element p
<i>MKI_p</i>	MKI van deelproduct p die onderdeel uitmaken van element e
$\min(l_t)$	De minimale technische levensduur van deelproducten 1 tot en met p die onderdeel zijn van element e
$\min(l_w)$	De minimale werkelijke levensduur van deelproducten 1 tot en met n die onderdeel zijn van element e
<i>LI_e</i>	Losmaakbaarheidsindex van element e

04.05 Building Circularity Index (BCI)

De BCI van een gebouw wordt berekend volgens de onderstaande formule:

$$BCI = \frac{1}{\sum_{i=1}^n MKI_n} \cdot \sum_{i=1}^n \left((MKI_p * PCI_p) + \sum_{i=1}^p MKI_p * ECI_e \right)$$

Waarbij:

BCI Building Circularity Index

$i = 1 \rightarrow n$ Alle producten en elementen die deel uitmaken van het gebouw

MKI_n Milieukosten Indicator (MKI) van producten en elementen n

MKI_p Milieukosten Indicator (MKI) van producten p

$\sum_{i=1}^p MKI_p$ Som van de Milieukosten Indicator van de deelproducten p die onderdeel uitmaken van element e

05 VERWIJZINGEN

- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Viking Press.
- Cirkelstad. (2022). *Het Nieuwe Normaal 0.3*.
- Durmisevic, E. (2006). *Transformable Building Structures*. Delft: Cedris M&CC.
- Ellen MacArthur Foundation & ANSYS Granta. (2019). *Circularity Indicators: An approach to Measuring Circularity*.
- Nationale Milieudatabase. (2020). *Bepalingsmethode Milieuprestatie bouwwerken*.
- Platform CB'23. (2020). *Leidraad meten van circulariteit*.
- SBR. (2011). *Levensduur van bouwproducten, methoden voor referentiewaarden*.
- Van Vliet, M., van Grinsven, J., & Teunizen, J. (2021). *Circular Buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0*.

06 BIJLAGE 1: OVEREENKOMST BCI, PLATFORM CB'23 EN HNN 0.3

Building Circularity Index	Platform CB '23 Leidraad meten van circulariteit 2.0	Cirkelstad Het Nieuwe Normaal 0.3
Overeenkomend		
Herkomst van materialen – nieuw <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid primair materiaal <i>(massapercentage en massa)</i>	Materiaalgebruik – nieuw <i>(massapercentage)</i>
Herkomst van materialen – gerecycled <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid secundair materiaal (uit recycling) <i>(massapercentage en massa)</i>	Materiaalgebruik – gerecycled <i>(massapercentage)</i>
Herkomst van materialen – hergebruikt <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid secundair materiaal (uit hergebruik) <i>(massapercentage en massa)</i>	Materiaalgebruik - hergebruikt <i>(massapercentage)</i>
Herkomst van materialen – biobased <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid primair materiaal (hernieuwbaar, duurzaam geproduceerd en hernieuwbaar, en niet-duurzaam geproduceerd en hernieuwbaar) <i>(massapercentage en massa)</i>	Materiaalgebruik – natuurlijk <i>(massapercentage)</i>
Toekomstscenario van materialen – storten <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid materiaal naar stort <i>(massapercentage en massa)</i>	Hergebruikpotentie – storten <i>(massapercentage)</i>
Toekomstscenario van materialen – verbranden <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid materiaal naar energiewinning <i>(massapercentage en massa)</i>	Hergebruikpotentie – verbranden <i>(massapercentage)</i>
Toekomstscenario van materialen – recyclen <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid materiaal voor recycling <i>(massapercentage en massa)</i>	Hergebruikpotentie – recycling <i>(massapercentage)</i>
Toekomstscenario van materialen – hergebruiken <i>(massapercentage)</i>	Hoeveelheid materiaal voor hergebruik <i>(massapercentage en massa)</i>	Hergebruikpotentie – hergebruiken <i>(massapercentage)</i>
Technische levensduur <i>(jaar)</i>	-	-
Werkelijke levensduur <i>(jaar)</i>	-	-
Losmaakbaarheid – type verbinding <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>	Rapportage adaptief vermogen <i>(kwalitatief)</i>	Losmaakbaarheid – type verbinding <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>

Building Circularity Index	Platform CB '23 Leidraad meten van circulariteit 2.0	Cirkelstad Het Nieuwe Normaal 0.3
Losmaakbaarheid – toegankelijkheid van de verbinding <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>	Rapportage adaptief vermogen <i>(kwalitatief)</i>	Losmaakbaarheid – toegankelijkheid van de verbinding <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>
Losmaakbaarheid – randopsluiting <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>	Rapportage adaptief vermogen <i>(kwalitatief)</i>	Losmaakbaarheid – randopsluiting <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>
Losmaakbaarheid – doorkruisingen <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>	Rapportage adaptief vermogen <i>(kwalitatief)</i>	Losmaakbaarheid – doorkruisingen <i>(Losmaakbaarheidsindex)</i>
Milieu-impact – Milieukosten Indicator <i>(€ en €/m2.BVO*jaar)</i>	Invloed op milieu <i>(€ en €/m2.BVO*jaar)</i>	Milieu-impact <i>(€/m2.BVO*jaar)</i>
Afwijkend		
-	Hoeveelheid fysiek schaars materiaal <i>(massapercentage en massa)</i>	-
-	Hoeveelheid gebruikte socio-economisch schaarse grondstoffen <i>(massapercentage en massa)</i>	-
-	Hoeveelheid gebruikte socio-economisch niet-schaarse grondstoffen <i>(massapercentage en massa)</i>	-
-	Input - technisch-functionele waarde <i>(percentage)</i>	-
-	Input - economische waarde <i>(percentage)</i>	-
-	Output - technisch-functionele waarde <i>Nader te bepalen</i>	-
-	Output - economische waarde <i>(percentage)</i>	-
-	Output - verloren technisch-functionele waarde <i>(percentage)</i>	-

Building Circularity Index	Platform CB '23 Leidraad meten van circulariteit 2.0	Cirkelstad Het Nieuwe Normaal 0.3
-	Output - verloren economische waarde <i>(percentage)</i>	-
-	-	Construction Stored Carbon <i>(ton CO2)</i>
-	-	Omgang restmateriaal (sloop) <i>(massapercentage)</i>
-	-	Omgang restmateriaal (bouw) <i>(massapercentage)</i>
-	Rapportage adaptief vermogen <i>(kwalitatief)</i>	Indelingsflexibiliteit <i>(WST06 %)</i>
-	-	Toxiciteit <i>(aantal certificaten)</i>