

CIRCULAR BUILDINGS

MEETMETHODEIK LOSMAAKBAARHEID

VERSIE 2.0



Dutch
Green Building
Council



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland





Colofon

Het rapport ‘Circular Buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0’ is onderdeel in een reeks publicaties met indicatoren voor circulariteit, die binnen het DGBC-programma Circulariteit concreet worden uitgewerkt.

Het uitwerken van de indicatoren volgt op het in 2018 gepubliceerde rapport ‘A Framework for Circular Buildings: Indicators for possible inclusion in BREEAM’. Dit rapport beschrijft een nieuw strategisch framework dat duidelijk maakt aan welke voorwaarden een circulair gebouw kan voldoen. Daarbij is onderzocht welke circulaire indicatoren aan duurzaamheidskeurmerk BREEAM-NL kunnen worden toegevoegd om een circulair gebouw beter meetbaar te maken.

De meetmethodiek Losmaakbaarheid is ontwikkeld en getoetst door een consortium van Alba Concepts, Dutch Green Building Council, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en W/E Adviseurs in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie.

Auteurs

Mike van Vliet, Alba Concepts

Jip van Grinsven, Alba Concepts

Jim Teunissen, Alba Concepts

Uitgevoerd door:



Dutch
Green Building
Council



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



Het DGBC-programma Circulariteit wordt ondersteund door:



ABN AMRO



ASSA ABLOY



ROCKWOOL



Vrijwaring

Uitgever en auteurs verklaren dat deze uitgave op zorgvuldige wijze en naar beste weten is samengesteld. Evenwel kunnen uitgever en auteurs op geen enkele wijze instaan voor de juistheid of volledigheid van de informatie. Uitgever en auteurs aanvaarden dan ook geen enkele aansprakelijkheid voor schade, van welke aard dan ook.

Publicatiedatum

Mei 2021



VOORWOORD

Losmaakbaarheid ontwikkelt zich tot één van de sleutels in de circulaire bouweconomie, naast begrippen als adaptiviteit, toxiciteit, waardeontwikkeling en milieu-kostenindicatie. Losmaakbaarheid kan de sleutel zijn om dat wat vast zit vrij te laten komen voor (her)gebruik, liefst zo hoogwaardig mogelijk. Daarmee heeft losmaakbaarheid geen zelfstandige waarde, maar is afhankelijk van het verleden -wat is er precies op welke wijze vastgemaakt-, en de toekomst, - wat kun je ermee als het materiaal vrijkomt -?

Het Transitieteam voor de Circulaire Bouweconomie hanteert bij de invulling van haar agenda de reeks Signalering > Onderzoek > Instrumentontwikkeling > Praktijkproeven > Evaluatie > Signalering #2. Bij de tweede keer signalering luidt de vraag: stoppen, nog een rondje of overgaan tot implementeren? Bij die implementatie kan ervoor gekozen worden om daarbij een wettelijk traject in te slaan. Het onderwerp losmaakbaarheid maakt op dit moment een tweede ronde door. Daarin worden de resultaten en ervaringen uit de eerste ronde gebruikt, om tot een verbeterd instrument te komen. Dit kan dan straks weer in de praktijk worden getest.

Losmaakbaarheid 2.0 is tot stand gekomen dankzij een intensieve samenwerking tussen Alba Concepts, W/E adviseurs en de DGBC. Het resultaat is direct toepasbaar in zowel BREEAM-NL als in GPR gebouw. Daarmee is meteen een brug geslagen naar de volgende ontwikkelstap: het toetsen in de praktijk. Gelet op het belang en de urgentie van meer circulair bouwen is uw begrip, oordeel en gebruik van het grootste belang. Uw bevindingen zijn welkom bij het Transitieteam voor de Circulaire Bouweconomie.

Hans Korbee
Programma adviseur RVO

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING	5
01 HET BELANG VAN LOSMAAKBAARHEID IN EEN CIRCULAIRE BOUWECONOMIE	6
01.01 Definitie van losmaakbaarheid	7
01.02 Losmaakbaarheid voor hergebruik van producten	7
01.03 Losmaakbaarheid voor gebouwflexibiliteit	7
01.04 Losmaakbaarheid bij beheer- en onderhoud	7
02 TOEPASSINGSGEBIED VAN DE MEETMETHODE	8
03 SCOPE VAN DE MEETMETHODE	9
03.01 Gebouwniveaus	9
03.02 Te beoordelen producten en elementen	10
03.03 Verbouw en renovatie	10
04 DE MEETMETHODE	11
04.01 Type verbindingen (TV)	13
04.02 Toegankelijkheid van de verbinding (ToV)	14
04.03 Losmaakbaarheidsindex van de connectie (Llc)	15
04.04 Doorkruisingen (DK)	15
04.05 Randopsluiting (RO)	16
04.06 Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (LIs)	17
04.07 Losmaakbaarheidsindex van het product of element	17
04.08 Losmaakbaarheidsindex van de Lagen van Brand	18
04.09 Losmaakbaarheidsindex van het gebouw	19
05 DISCUSSIE EN VERVOLG	20
06 REFERENTIES	21
BIJLAGE 1: TOTSTANDKOMING VAN DE FORMULE VOOR LOSMAAKBAARHEID	23
BIJLAGE 2: PILOTPROJECTEN TOETSING MEETMETHODE LOSMAAKBAARHEID	24

INLEIDING

Dit onderzoek is in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, uitgevoerd door Alba Concepts in samenwerking met W/E Adviseurs en Dutch Green Building Council. Doel van deze herziene versie van het rapport “circular buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid” is de introductie van een uniforme meetmethode voor losmaakbaarheid in de bouw.

In het eerste rapport van september 2019 is de fundatie voor de meetmethode opgesteld, waarna de markt uitgedaagd is om de meetmethode toe te passen in de praktijk. In het eerste rapport is voor vijf gerealiseerde pilotprojecten de losmaakbaarheidsindex berekend. De resultaten zijn geanalyseerd op het gebied van uitvoerbaarheid, gehanteerde definities, losmaakbaarheidsfactoren, werking van de meetmethodiek en overige aspecten. Hiermee is er feedback verzameld en zijn aanbevelingen geformuleerd.

Naast de feedback vanuit de pilotprojecten is in november 2020 een openbare oproep gedaan aan de markt om feedback op de meetmethode te geven. Beide vormen van feedback zijn geanalyseerd, met als resultaat diverse inzichten om de meetmethode voor losmaakbaarheid te verbeteren. Daar waar nodig wordt deze ook verduidelijkt. Dit rapport beschrijft de herziene versie van de meetmethode voor losmaakbaarheid.

In deze meetmethode zijn de definities, randvoorwaarden en uitgangspunten voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex uitgelegd. De scope van de meetmethode is aangepast. Er wordt nu volledig aangesloten op de meetmethode voor de Milieuprestatie Gebouwen (MPG). De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van het product is gewijzigd, waardoor je lage scores voortaan slechts beperkt kunt compenseren door hoge scores. Als extra, inzichtgevende, tussenstap wordt de losmaakbaarheidsindex per laag van Brand opgesteld. Dit heeft geen consequenties voor de formule voor de losmaakbaarheidsindex van een gebouw.

Losmaakbaarheid is op zichzelf geen indicatie van circulariteit. De praktijkervaring leert dat losmaakbaarheid aan de basis staat van diverse circulaire bouwprincipes. Denk aan hoogwaardig hergebruik van bouwproducten, adaptief bouwen, circulair beheer- en onderhoud en het mogelijk

toepassen van circulaire verdienmodellen. Je moet de meetmethode altijd in relatie tot andere circulaire principes toepassen.

Dit rapport beschrijft de kernmeetmethode voor losmaakbaarheid en hoe je dit moet beoordelen. Het is opgesteld om het aspect losmaakbaarheid te integreren in bestaande duurzaamheidsinstrumenten BREEAM-NL en GPR Gebouw. Dit rapport onderkent diverse toepassingsgebieden voor de meetmethode, maar beperkt zich tot de integratie van losmaakbaarheid in bestaande duurzaamheidsinstrumenten. De samenwerking tussen Alba Concepts, DGBC en W/E Adviseurs zorgt ervoor dat de diverse duurzaamheidsinstrumenten dit aspect van circulariteit op een uniforme wijze meetbaar maken.

De herziene versie van de meetmethode is een nieuw startpunt voor de sector om kennis en ervaring op te doen met losmaakbaar bouwen. Ook bij het opstellen van dit rapport zijn nieuwe discussiepunten en aanbevelingen voor vervolgonderzoek aan het licht gekomen. Deze zijn opgenomen in het laatste hoofdstuk. Wij doen een oproep om praktijkervaring met elkaar te delen en zo praktijk en theorie over losmaakbaar bouwen nog verder te stimuleren.

01 HET BELANG VAN LOSMAAKBAARHEID IN EEN CIRCULAIRE BOUWECONOMIE

Op dit moment is de wereldconomie gebaseerd op een lineair model. Dit gaat uit van het principe: ‘take-make-waste’ (grondstoffen delven, omvormen tot producten, consumeren en uiteindelijk vernietigen).

Deze lineaire economie resulteert in de volgende problemen:

- Afvalgeneratie door storten, waardoor (schaarse) grondstoffen permanent kwijt zijn;
- CO₂ uitstoot door verbranding en de noodzaak van fabricatie voor vervangende producten;
- Uitputting van de aarde.

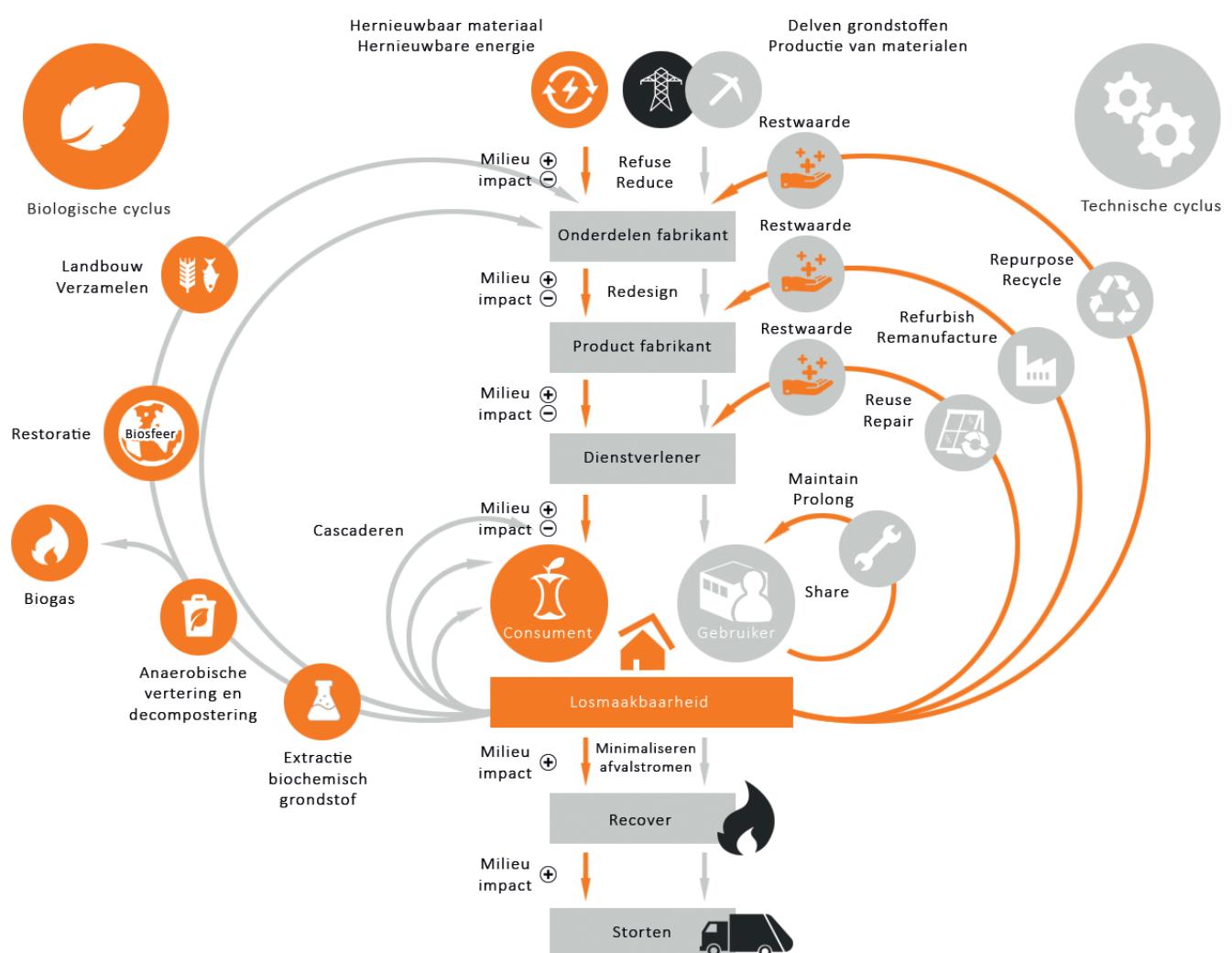
Een transitie naar een circulaire economie is dan ook noodzakelijk om de toekomst van de planeet veilig te stellen.

De circulaire economie beschouwt producten aan het eind van hun levensduur niet als afval, maar als bron van grondstoffen die je opnieuw kunt gebruiken.

De circulaire economie bestaat uit drie hoofdonderdelen.

Het economisch model, de biologische cyclus en de technische cyclus (zie figuur 1). Materialen en producten worden na hun gebruik teruggebracht middels één van deze cycli. Dit voorkomt het storten of de verbranding van materialen en producten en stimuleert hergebruik.

Figuur 1 is een representatie van het circulaire economie model. Om de twee cycli te activeren moeten wij materialen collecteren. Dit is niet vanzelfsprekend omdat een gebouw een vast object is, bestaand uit een hoeveelheid aan verschillende producten en materialen die aan elkaar vastzitten.



Figuur 1: **Losmaakbaarheid als basis voor een circulaire economie.** Aangepast overgenomen uit *Towards the Circular Economy* door Ellen MacArthur Foundation, 2012.

01.01 Definitie van losmaakbaarheid

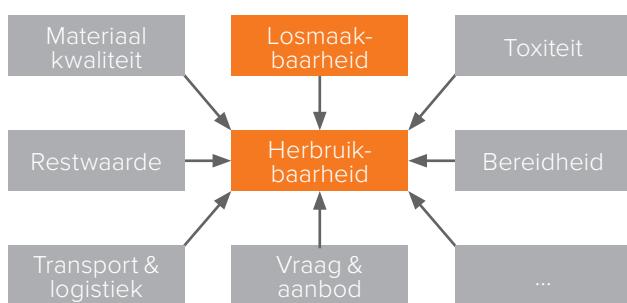
Gebouwen zijn een verzameling van complexe entiteiten, opgebouwd uit verschillende materialen, producten en elementen die met elkaar zijn verbonden. De mate waarin deze verbindingen verbroken kunnen worden, zodat een object de functie kan behouden en hoogwaardig hergebruik realiseerbaar is, bepaalt de mate (graad) van losmaakbaarheid.

“De losmaakbaarheid van een gebouw is de mate waarin objecten demontabel zijn op alle schaalniveaus, zonder afbreuk te doen aan de functie van het object of omliggende objecten om zo de bestaande waarde te beschermen.”

Hierin zijn objecten alle materialen, producten, elementen, etc., onafhankelijk van een gedefinieerd schaalniveau.

01.02 Losmaakbaarheid voor hergebruik van producten

In relatie tot een gebouw, dienen wij producten te oogsten. Zijn producten onlosmakelijk met elkaar verbonden, dan kun je ze niet oogsten, waardoor slopen de enige optie is. Hoe meer een gebouw losmaakbaar is, hoe gemakkelijker het is om producten te oogsten en des te vanzelfsprekender dit is. Daarom ligt losmaakbaarheid ten grondslag aan het mogelijk maken van een circulaire bouweconomie (figuur 1). Hieruit blijkt dus dat losmaakbaarheid geen doel is, maar een middel om hergebruik mogelijk te maken.



Figuur 2: Losmaakbaarheid als factor voor herbruikbaarheid

uit Disassembling the steps towards Building Circularity door van Vliet, M., 2018, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven

Om hoogwaardig hergebruik uit te drukken hanteren wij het 10-R model. Dit benadrukt het doel om producten zoveel mogelijk in oorspronkelijke staat te hergebruiken, met een lager energieverbruik tot gevolg. De laatste stap is om producten te recycelen tot grondstof voor een nieuw

product. Een hogere losmaakbaarheid leidt tot een gunstiger toekomstscenario.



Figuur 3: 10-R model. Aangepast overgenomen uit ‘Strategische Verkenning: ‘Op weg naar Cirkelregio Utrecht’ door Cramer, J., 2015

01.03 Losmaakbaarheid voor gebouwflexibiliteit

Een gebouw en de producten in een gebouw hebben een zeer lange levensduur. Het rapport Gebouwen met Toekomstwaarde! hanteert de volgende definitie voor gebouwflexibiliteit:

“Het adaptief vermogen van een gebouw omvat alle eigenschappen, die mogelijk maken dat het gebouw op een duurzame en economisch rendabele wijze zijn functionaliteit behoudt gedurende zijn technische levensduur, bij veranderende behoeften en omstandigheden.”

Een gebouw dat gedurende zijn gehele levensduur wordt gebruikt door verschillende typen gebruikers en zo in een maatschappelijke behoefte voorziet, is duurzaam en toekomstbestendig. Ontwikkel je een gebouw losmaakbaar, dan kun je gemakkelijker (deel) objecten vervangen bij veranderende behoeften en omstandigheden. Enerzijds heeft losmaakbaarheid invloed op de herbruikbaarheid van de uitkomende producten (zoals beschreven in 01.02). Anderzijds waarborgt dit de toekomstbestendigheid van het gebouw door adaptief vermogen.

01.04 Losmaakbaarheid bij beheer- en onderhoud

Een gebouw wordt tijdens de levensduur onderhouden om de kwaliteit van de toegepaste producten – en daarmee het gebouw – te waarborgen. Losmaakbare producten zijn gemakkelijker te onderhouden, waardoor onderhoudskosten dalen. Dit heeft een positief effect op de exploitatiekosten van een bouwwerk.

02 TOEPASSINGSGEBIED VAN DE MEETMETHODE

Losmaakbaarheid is een *randvoorwaarde* om circulair bouwen mogelijk te maken. Een onlosmaakbaar object kun je niet oogsten en daardoor ook niet hergebruiken. Maar losmaakbaarheid is niet het enige aspect dat van belang is voor circulair bouwen: een losmaakbaar object wordt niet per definitie hergebruikt, en losmaakbare gebouwen worden niet altijd getransformeerd. De meetmethode die we in deze publicatie beschrijven, is ontwikkeld om de losmaakbaarheid van objecten te kwantificeren. Het is dus geen meetmethode voor circulariteit, hierbij spelen meerdere aspecten een rol.

Wij identificeren verschillende toepassingsgebieden voor de meetmethode voor losmaakbaarheid:

- De meetmethode als ontwerptool om losmaakbare aansluitingen te ontwikkelen;
- De meetmethode als onderdeel van een materialenpaspoort, waarmee je informatie over demontabele objecten borgt;
- De meetmethode waarmee je producten en productontwikkeling toetst op losmaakbaarheid;
- De meetmethode waarmee je het aspect losmaakbaarheid toetst in duurzaamheidsinstrumenten.

Dit rapport helpt om losmaakbaarheid op een uniforme manier te integreren in bestaande duurzaamheidsinstrumenten BREEAM-NL en GPR Gebouw.

“Wij stimuleren en moedigen het gebruik van de meetmethode in de andere toepassingsgebieden aan, maar dit ligt (vooral nog) buiten de scope van dit rapport. Wij gaan in dit rapport niet in op de consequenties van het gebruik van de meetmethode voor andere doeleinden.”





03 SCOPE VAN DE MEETMETHODE

Wil je de meetmethode integreren in bestaande duurzaamheidsinstrumenten, dan moet de losmaakbaarheidsindex een benchmark zijn waarmee je bepaalt hoe losmaakbaar een gebouw in zijn totaliteit is.

Daarom zijn de volgende uitgangspunten opgesteld voor het toepassen van de meetmethode:

- De losmaakbaarheidsindex weerspiegelt alle toegepaste producten in een gebouw;
- De losmaakbaarheidsindex kun je toepassen voor alle gebouwfuncties;
- De losmaakbaarheidsindex kun je toepassen voor nieuwbouw, verbouw en renovatieprojecten;
- De losmaakbaarheidsindex kun je toetsen tijdens of na het ontwerpproces;
- De losmaakbaarheidsindex kun je beoordelen na de realisatie van het gebouw.

03.01 Gebouwniveaus

Een gebouw bestaat uit verschillende onderdelen: losse entiteiten en op zichzelfstaande complexe systemen.

Denk hierbij aan het verschil tussen een baksteen en een compleet installatiesysteem. Dit heeft invloed op hoe je losmaakbaarheid beoordeelt in een gebouw.

1. **Product:** Een onderdeel dat op de bouwplaats aankomt en verder verwerkt wordt in een gebouw.

2. **Element:** Een onderdeel dat bestaat uit meerdere producten, die als één samengesteld geheel op de bouwplaats aankomen.
3. **Afdichtingsmateriaal:** Een materiaal of product dat zorgt voor de afdichting tussen verschillende producten of elementen.
4. **Bevestigingsmateriaal:** Een materiaal of product dat zorgt voor de (constructieve) verbinding tussen verschillende producten of elementen.

“Dit betekent dat je de losmaakbaarheidsindex beoordeelt van een onderdeel zoals dit op de bouwplaats aankomt en verwerkt wordt. Bestaat een onderdeel uit meerdere (geprefabriceerde) producten, bijvoorbeeld een HSB-element inclusief kozijn, dan kun je dit als één element beschouwen.”

Je bepaalt de losmaakbaarheidsindex van alle producten en elementen in een gebouw, en niet van de afdichtings- of bevestigingsmaterialen in een gebouw. Waarbij bevestigingsmaterialen overigens wel onderdeel uitmaken van

de meetmethode. Vanaf dit punt in het rapport refereren wij naar producten of elementen, in plaats van objecten.

"Het is mogelijk dat een beoordelaar de losmaakbaarheidsindex afwijkend of gedetailleerder beoordeelt dan voorgeschreven. Dit valt buiten de scope van het toepassingsgebied duurzaamheidsinstrumenten."

03.02 Te beoordelen producten en elementen

De meetmethode Milieuprestatie Gebouwen (MPG) is direct gekoppeld aan de meetmethode voor losmaakbaarheid, en wel op de volgende manier:

- Om de losmaakbaarheidsindex van een gebouw te bepalen moet je elk product of element in een gebouw identificeren. Dit moet ook al gebeuren voor het bepalen van de MPG;
- De Milieukosten Indicator (MKI) van een product is de weegfactor om de losmaakbaarheidsindex van een gebouw te bepalen.

De beoordelaar van de losmaakbaarheidsindex dient van ieder product of element in een gebouw, zoals in de "as-built" situatie gerealiseerd is, een losmaakbaarheidsindex te bepalen. Hiervoor mag de beoordelaar de materialenstaat uit een MPG-berekening hanteren, zolang dit representatief is voor hoe de producten toegepast zijn in een gebouw.

Wordt hetzelfde product of element op verschillende manieren uitgevoerd, dan moet de beoordelaar onderscheid maken voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex. Bijvoorbeeld als je een kozijn op verschillende manieren in een gevel plaatst. Hanteer dan als beoordelaar de volgende vuistregel:

De beoordeling van een product moet representatief zijn voor alle producten in het gebouw, waarbij enkele uitzonderingen toegelaten zijn. De beoordeling van de losmaakbaarheidsindex moet representatief zijn voor minimaal 95% van de hoeveelheid producten of elementen.

De losmaakbaarheidsindex is niet relevant voor alle producten in een gebouw. Voor de afbakening van de te beoordelen elementen passen wij de 'Layers of Brand' toe. De 'Layers of Brand' onderscheidt diverse gebouwlagen met een specifieke functie.



Figuur 4: **Losmaakbaarheid binnen de Layers of Brand.**

Aangepast overgenomen uit 'How building learn' door Brand, S., 1994.

De lagen 'Structure', 'Skin', 'Services' en 'Space plan' vallen onder de te beoordelen producten en elementen in een gebouw. 'Site' en 'Stuff' vallen hierdoor buiten de beoordeling. In de meetmethode is onderscheid gemaakt tussen de producten uit verschillende Layers of Brand.

"Een van de kenmerken van de Layers of Brand is dat producten afwijkende levensduren hebben. Constructieve producten (producten onder de laag 'Structure') blijven meestal de gehele levensduur van een gebouw behouden, terwijl de afwerking meerdere malen wordt vervangen. Producten met kortere levensduur dan die van het gebouw waarin ze toegepast worden, zijn extra interessant om losmaakbaar uit te voeren."

03.03 Verbouw en renovatie

De bouw kent onder andere nieuwbouw en bestaande bouw. Het bepalen van losmaakbaarheid is mogelijk voor zowel bestaande als nieuwe producten in een gebouw. Dit rapport schrijft geen afbakening voor bij de opname van producten bij de beoordeling van de losmaakbaarheidsindex van verbouw- of renovatieprojecten. Het is de verantwoordelijkheid van de duurzaamheidsinstrumenten om duidelijk aan te geven welke producten binnen de scope van de beoordeling vallen.

04 DE MEETMETHODE

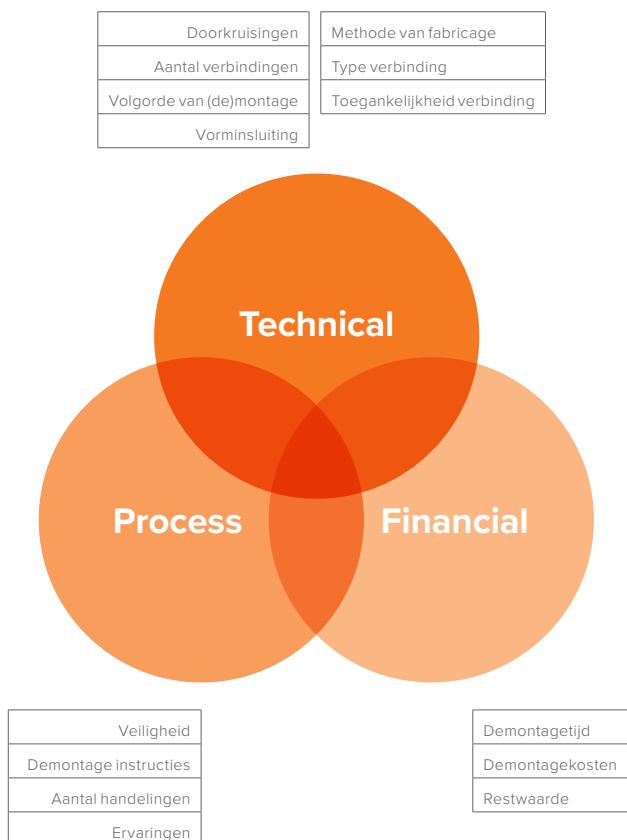
Een meetmethode voor losmaakbaarheid moet een indicatie geven hoe losmaakbaar een gebouw en de producten in dit gebouw zijn. Het ontwerp van gebouwen heeft de meeste invloed op losmaakbaarheid. Het ontwikkelen van een circulair gebouw moet je waarborgen op procesmatig en financieel gebied. Wij maken in dit rapport onderscheid tussen technische, procesmatige en financiële losmaakbaarheidsaspecten (zie figuur 5).

Technische aspecten: het ontwerp bepaalt of producten en/of elementen fysiek te demonteren zijn;

Procesmatige aspecten: tijdens het ontwerp- en bouwproces van gebouwen kun je het proces sturen aan de hand van deze aspecten, zodat je losmaakbaarheid aan het einde van de levensduur waarborgt;

Financiële aspecten: de financiële haalbaarheid van zowel de ontwikkeling van een losmaakbaar gebouw, als de uitvoering van de demontage aan het einde van de levensduur, beïnvloedt de keuze voor demontage in plaats van sloop. Dit betekent dat de waarde van een product of element groter moet zijn dan de demontagekosten.

Dit rapport focust op het bepalen van de technische losmaakbaarheid. Hoe producten en/of elementen fysiek te demonteren zijn.



Figuur 5: **Overzicht losmaakbaarheidsaspecten** overgenomen uit Disassembling the steps towards Building Circularity door van Vliet, M., 2018, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

In totaal zijn 25 factoren geïdentificeerd, onderverdeeld in technische, financiële en procesmatige aspecten. Alle factoren hebben invloed op hoe losmaakbaar een object is. Dit is teruggebracht naar de 14 meest belangrijke factoren, waarvan 7 technisch van aard zijn. Dit is in lijn met de resultaten van een onderzoek waarin de meest belangrijke factoren zijn geïdentificeerd met een enquête met in totaal 122 respondenten.

De losmaakbaarheidsindex van de connectie (Llc) represeneert de mogelijkheid om een product of element aan het einde van de gebouwlevensduur te demonteren. De losmaakbaarheidsindex van de connectie weerspiegelt dus de omgekeerde bouwvolgorde. De volgende factoren zijn onderdeel van de losmaakbaarheidsindex van de verbinding:

- Type verbinding;
- Toegankelijkheid van de verbinding.

Voor type verbinding geldt de "dragende verbinding" als maatgevende verbinding. Voor de toegankelijkheid van de verbinding geldt de demontagevolgorde, die meestal gelijk is aan de omgekeerde bouwvolgorde.

De losmaakbaarheid van de samenstelling represeneert hoe makkelijk een product tussentijds gedemonteerd kan worden. Bijvoorbeeld bij renovatie en verbouw of bij reparaties en vervangingen, als een product onvoorzien toch uit de bestaande situatie gedemonteerd moet worden. De factoren doorkruisingen en randopsluiting moet je dus beoordelen in de situatie waarbij omliggende producten of elementen behouden blijven. De volgende factoren zijn onderdeel van de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling:

- Doorkruisingen;
- Randopsluiting.

Ieder product of element binnen de scope van de meetmethode (hoofdstuk 03) krijgt een losmaakbaarheidsindex (Ll). Dit gebeurt op basis van de losmaakbaarheidsindex van de connectie (Llc) en de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (Lls). Dit is een totaalscore en represeneert hoe losmaakbaar een product of element in een gebouw is.

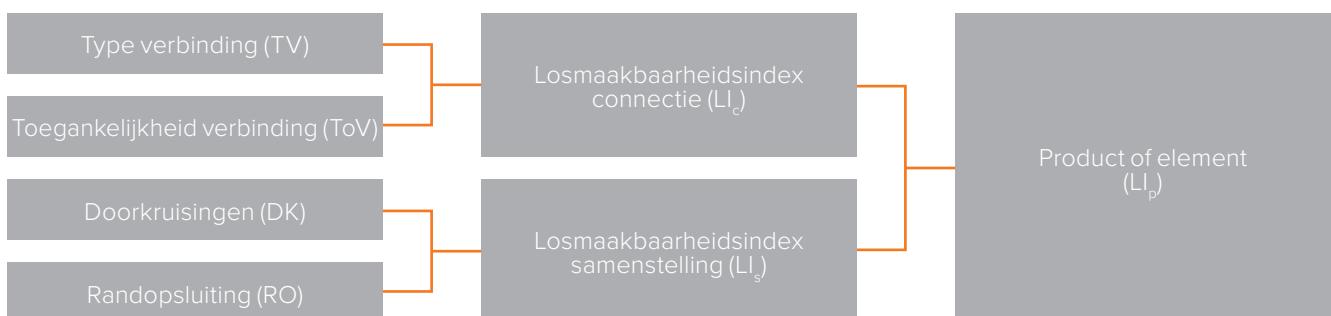
“De overige factoren hebben wél invloed op de losmaakbaarheid van een gebouw, maar worden (voorlopig) niet beoordeeld in de meetmethode omdat ze niet essentieel zijn om losmaakbaarheid te waarborgen. Mogelijk wordt de meetmethode in de toekomst uitgebreid met méér factoren.”

Een (optionele) tussenstap is het bepalen van de losmaakbaarheidsindex per Laag van Brand. Verschillende type producten in een gebouw kenmerken zich doordat je ze gemakkelijker of moeilijker losmaakbaar uit kunt voeren. Ook ligt het accent per laag op andere doelen. Bij het casco gaat het vaker om het adaptief vermogen, terwijl bij de installaties vaker het onderhoud van belang is.

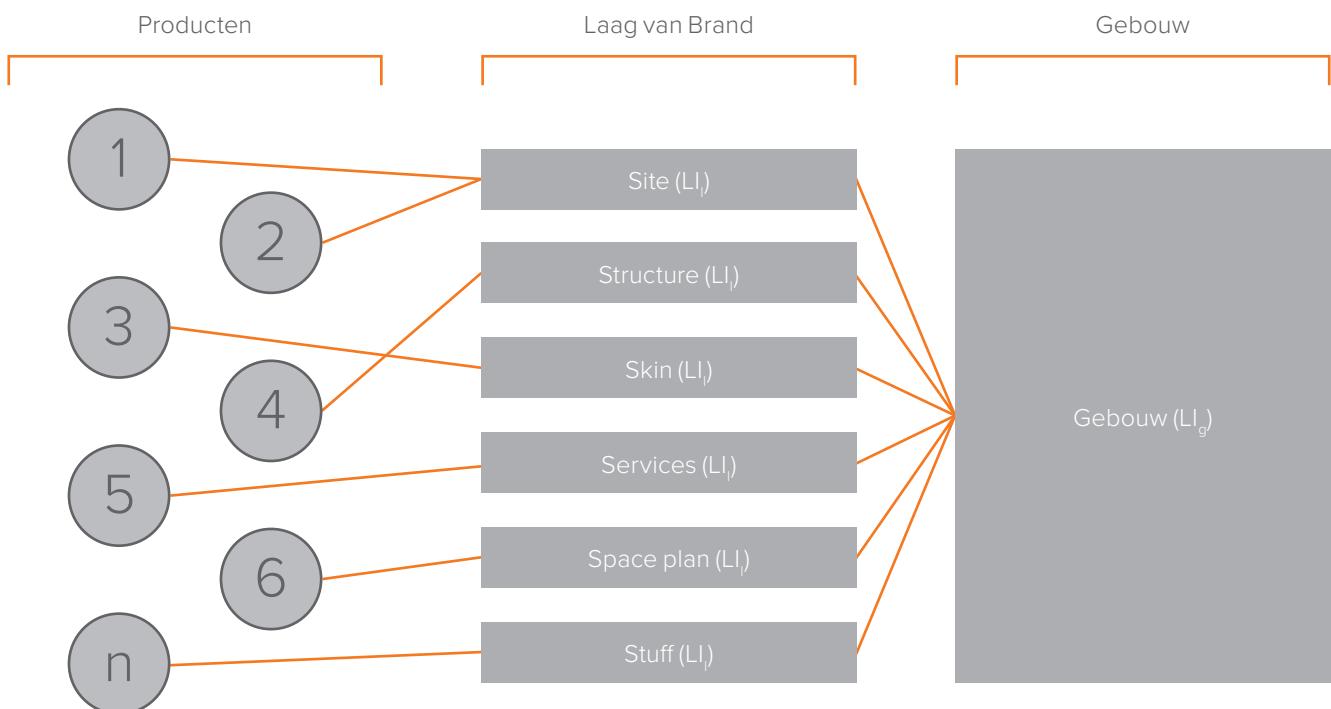
Door een onderscheid te maken tussen de gemiddelde losmaakbaarheidsindex van de verschillende lagen, krijgt de gebruiker van de meetmethode meer inzicht.

Het doel van de meetmethode is om het losmaakbaarheidsprincipe te integreren in duurzaamheidsinstrumenten. Er is een score op gebouwniveau nodig, zodat je verschillende gebouwen kunt vergelijken op losmaakbaarheid. Dit is bepaald met de losmaakbaarheidsindex van het gebouw (LI).

Het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een gebouw volgt het volgende stappenplan:



Figuur 6: **Stappenplan beoordelen Losmaakbaarheidsindex van een product.**



Figuur 7: **Stappenplan beoordelen losmaakbaarheidsindex van een gebouw.**

04.01 Type verbindingen (TV)

Objecten zijn met elkaar verbonden door diverse typen verbindingen. Bij losmaakbaarheid prevaleren droge verbindingen, verbindingen met toegevoegde elementen en directe, integrale verbindingen boven zachte en harde chemische verbindingen. In Tabel 1 zijn deze categorieën uitgebreid met de meest voorkomende bevestigingsmaterialen in de bouwsector.

Type verbinding		Score
Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,00
	Klikverbinding	
	Klittenbandverbinding	
	Magnetische verbinding	
Verbinding met toegevoegde elementen*	Bout- en moerverbinding	0,80
	Veerverbinding	
	Hoekverbindingen	
	Schroefverbinding	
	Verbindingen met toegevoegde verbindingselementen**	
Directe integrale verbinding	Pin-verbindingen***	0,60***
	Spijkerverbinding	
Zachte chemische verbinding	Kitverbinding	0,20
	Schuimverbinding (PUR)	
Harde chemische verbinding	Lijmverbinding	0,10
	Aanstortverbinding	
	Lasverbinding	
	Cementgebonden verbinding	
	Chemische ankers	
	Harde chemische verbinding	

Tabel 1: **Waardering type verbinding**. Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

* Toegevoegde verbindingselementen dienen uitgevoerd te worden in materialen die ongevoelig zijn voor degradatie door weer- en/of gebruiksomstandigheden (bijvoorbeeld RVS).

** Bijvoorbeeld een gevel ophangsysteem

*** Bijvoorbeeld een niet-verbinding

04.01.01 Richtlijnen beoordeling type verbinding

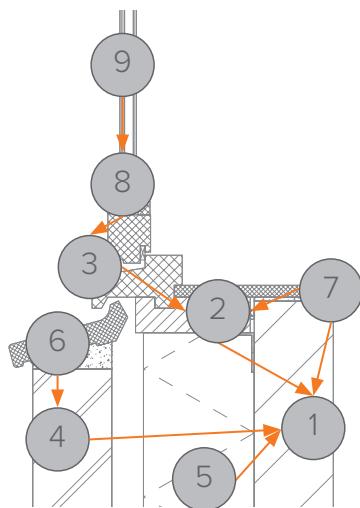
Een gebouw bestaat uit veel producten en elementen die onderling met elkaar zijn verbonden. Sommige producten zijn op meerdere manieren of met meerdere producten verbonden. Het bepalen van alle type verbindingen van ieder product kost veel tijd. Voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex hoef je slechts één verbinding te beoordelen. Dat is de verbinding die een dragende functie heeft voor desbetreffend product. Zijn meerdere verbindingen functioneel dragend, dan beoordeel je de slechtst scorende verbinding conform Tabel 1.

Tabel 1 is een weergave van veelvoorkomende verbinding typologieën en hun score. Is een verbinding niet opgenomen óf wordt deze niet goed gerepresenteerd door de desbetreffende typologie, dan kun je de verbinding afwijkend van Tabel 1 beoordelen, conform een gelijkwaardigheidsprincipe. In deze situatie moet de beoordelaar aantonen dat een verbinding gelijkwaardig losmaakbaar is.

"Een type harde chemische verbinding die door (innovatieve) technieken net zo losmaakbaar is als een droge verbinding, mag conform dit gelijkwaardigheidsprincipe even goed beoordeeld worden als een droge verbinding, mits je dit onderbouwt."



04.01.02 Reken voorbeeld



Figuur 8: **Verticaal detail van een raamkozijn (onder) met genummerde producten en verbindingen.** Dit is een fictief reken voorbeeld. Het uitgangspunt is dat dit detail representatief is voor 95% van de toegepaste producten.

ID	Product	Dragende verbinding	Laag	Score TV
1	Kalkzandsteen	(verdiepings)vloer	Structure	0,1
2	Stelkozijn	Kalkzandsteen	Skin	0,8
3	Kozijn	Stelkozijn	Skin	0,1
4	Metselwerk	Kalkzandsteen	Skin	0,1
5	Isolatie	Kalkzandsteen	Skin	0,8
6	Vensterbank	Kalkzandsteen	Space plan	0,2
8	Raamkozijn	Kozijn	Skin	0,8
9	Beglazing	Raamkozijn	Skin	0,2

Tabel 2: **Beoordeling van de factor type verbinding (TV) in het reken voorbeeld (figuur 8).**

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “**metselwerk**” en “**kozijn**” in het reken voorbeeld. Het metselwerk (4) is verbonden met het binnenspouwblad (1) en de raamdorpel (6). De dragende verbinding is de verbinding met het binnenspouwblad. Hiervan bepaal je het type verbinding. De spouwankers zijn volledig ingemetseld. Dit is geen “verbinding met toegevoegd verbindings element (0,80)” maar een “harde chemische verbinding (0,10)”. Het kozijn (3) is met het stelkozijn (2) verbonden door een “lijmverbinding (0,10)”. Als het kozijn en het stelkozijn een element vormen, dan is de verbinding tussen het stelkozijn (2) en het binnenspouwblad (1) representatief. In dat geval is het verbonden met een “hoekverbinding (0,80)”.

04.02 Toegankelijkheid van de verbinding (ToV)

Kun je (fysiek) bij de verbindings elementen komen, en in hoeverre ontstaat er dan schade aan omliggende objecten? Dat is de kern van de factor “toegankelijkheid van de verbinding”. Is de toegankelijkheid hoog, dus kom je gemakkelijk bij het verbindings element zonder schade aan de omliggende gebouwdelen, dan heeft dit een positief effect op de losmaakbaarheid van een product (tabel 3). De toegankelijkheid van de verbinding bepaalt je net zoals je het type verbinding bepaalt.

Toegankelijkheid verbinding (ToV)	Score
Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,00
Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,80
Toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade	0,60
Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,40
Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,10

Tabel 3: **Waardering toegankelijkheid verbinding.** Aangepast en overgenomen uit ‘Transformable Building Structures’ door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

04.02.01 Richtlijnen beoordeling toegankelijkheid van de verbinding

De toegankelijkheid van de verbinding bepaalt je vanuit de omgekeerde bouwvolgorde, aan het einde van de levensduur van het product of element:

Voor producten of elementen die even lang meegaan als het gebouw, betekent dit de omgekeerde bouwvolgorde bij demontage van het gebouw.

Voor producten of elementen met een kortere levensduur dan het gebouw, betekent dit de omgekeerde bouwvolgorde bij vervangings werkzaamheden.

04.02.02 Reken voorbeeld

ID	Product	Laag	Score ToV
1	Kalkzandsteen	Structure	0,4
2	Stelkozijn	Skin	0,6
3	Kozijn	Skin	0,6
4	Metselwerk	Skin	0,4
5	Isolatie	Skin	1,0
6	Vensterbank	Space plan	0,6
8	Raamkozijn	Skin	1,0
9	Beglazing	Skin	1,0

Tabel 4: **Beoordeling van de factor toegankelijkheid van de verbinding (ToV) in het reken voorbeeld (figuur 8).**

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “**metselwerk**” en “**kozijn**” in het rekenvoorbeeld.

Het metselwerk (4) is verbonden met het binnenspouwblad (1) en de raamdorpel (6). Het metselwerk (4) gaat de gehele levensduur van het gebouw mee. De omgekeerde bouwvolgorde is het verwijderen van de raamdorpel (6) en vervolgens het verwijderen van het metselwerk (4). Hierbij ontstaat gedeeltelijk herstelbare schade aan het metselwerk (4) en mogelijk aan omliggende producten of elementen (0,4).

Het kozijn (3) is verbonden met het stelkozijn (2). De omgekeerde bouwvolgorde is het verwijderen van raamdorpel (6), het metselwerk (4), de isolatie (5) en het kozijn (3). Het uitgangspunt is dat het kozijn (3) eerder vervangen moet worden dan het metselwerk (4). Er zijn dus extra handelingen nodig om de raamdorpel (6) en het metselwerk (4) te verwijderen. Daarnaast moet het kozijn (3) losgemaakt worden van het stelkozijn (3). Dit is “herstelbare schade (0,60)”.

04.03 Losmaakbaarheidsindex van de connectie (Llc)

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van de connectie is:

$$Llc_n = \frac{2}{\frac{1}{TV_n} + \frac{1}{ToV_n}}$$

Waarbij:

Llc_n = losmaakbaarheidsindex van de connectie van product of element n :

TV_n = type verbinding van product of element n ;

ToV_n = toegankelijkheid verbinding van product of element n .

04.03.01 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	Score Llc
1	Kalkzandsteen	Structure	0,16
2	Stelkozijn	Skin	0,69
3	Kozijn	Skin	0,17
4	Metselwerk	Skin	0,16
5	Isolatie	Skin	0,89
6	Vensterbank	Space plan	0,30
8	Raamkozijn	Skin	0,89
9	Beglazing	Skin	0,30

Tabel 5: **Bepaling van de losmaakbaarheidsindex van de connectie (Llc) in het rekenvoorbeeld** (figuur 8).

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “**metselwerk**” en “**kozijn**” in het rekenvoorbeeld.

Het metselwerk (4) heeft een type verbinding van 0,10 en een toegankelijkheid van de verbinding van 0,40.

$$Llc_{metselwerk} = \frac{2}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,4}} = 0,17$$

Het kozijn (3) heeft een type verbinding van 0,10 en een toegankelijkheid van de verbinding van 0,60.

$$Llc_{kozijn} = \frac{2}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,6}} = 0,16$$

04.04 Doorkruisingen (DK)

Het begrip ”doorkruisingen” betekent dat producten of elementen door elkaar heen lopen of zelfs in zijn geheel met elkaar zijn geïntegreerd. Hierdoor heb je meer handelingen nodig om een product of element aan het einde van de levensduur te demonteren. Vooral wanneer de levensduren van de desbetreffende producten verschillen, je ze tussentijds moet vervangen en omliggende producten of elementen behouden moeten blijven.

Doorkruisingen (DK)	Score
Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,00
Incidentele doorkruisingen van producten of elementen uit verschillende lagen.	0,40
Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen.	0,10

Tabel 6: **Waardering doorkruisingen**. Aangepast en overgenomen uit ‘Transformable Building Structures’ door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

Omdat doorkruisingen vooral de (tussentijdse) vervanging van producten of elementen belemmeren zodra deze verschillende levensduren hebben, is dit onderdeel van de beoordeling. Kenmerkend voor de Lagen van Brand (zie figuur 4 op bladzijde 10) zijn de variërende levensduren. Idealiter dienen deze dus van elkaar gescheiden te blijven. Je beoordeelt een doorkruising alleen als zodanig, als producten uit een andere laag elkaar (fysiek) doorkruisen.

04.04.01 Richtlijnen beoordeling doorkruisingen

De beoordeling van doorkruisingen werkt twee kanten op. Het product of element dat de doorkruising veroorzaakt en het product of element dat doorkruist wordt, krijgt dezelfde beoordeling. Het is namelijk voor

beiden een belemmering die opgelost moet worden bij (tussentijdse) vervanging. Heb je te maken met meerdere doorkruisingen of vervlechtingen, dan is de laagst scorende beoordeling maatgevend voor het desbetreffende product of element.

04.04.02 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	Score DK
1	Kalkzandsteen	Structure	0,1
2	Stelkozijn	Skin	1,0
3	Kozijn	Skin	1,0
4	Metselwerk	Skin	1,0
5	Isolatie	Skin	1,0
6	Vensterbank	Space plan	0,4
8	Raamkozijn	Skin	1,0
9	Beglazing	Skin	1,0

Tabel 7: **Beoordeling van de factor doorkruisingen (DK) in het rekenvoorbeeld** (figuur 8).

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “**metselwerk**” en “**kozijn**” in het rekenvoorbeeld.

Het metselwerk (4) valt onder de laag “skin”. Mits niet meer dan 5% van het metselwerk doorkruist wordt door een product uit een andere laag, scoort het metselwerk “geen doorkruisingen (1,00)”.

Het kozijn (4) valt onder de laag “skin”. Het kozijn (4) wordt bevestigd tegen het binnenspouwblad (structure). Hierdoor zijn er “geen doorkruisingen (1,00)”.

04.05 Randopsluiting (RO)

Met de factor randopsluiting beoordeel je hoe producten in een samenstelling zijn geplaatst en of dit open is of gesloten. Zoals de benaming suggereert heeft dit te maken met de fysieke “randen” van het product of element. Is een product zo gesitueerd, dat het is “opgesloten” door omliggende producten, dan spreek je van randopsluiting. Dit maakt het onmogelijk om een product anders dan in de omgekeerde bouwwolgorde te demonteren. De factor randopsluiting is in twee situaties relevant: 1) bij enkelvoudige producten die door de samenstelling zijn ingesloten en 2) bij seriematige producten die elkaar insluiten.

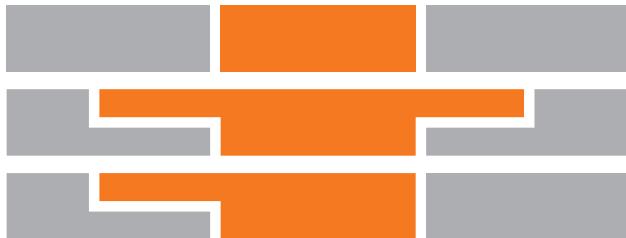
Randopsluiting (RO)	Score
Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,00
Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,40
Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,10

Tabel 8: **Waardering randopsluiting**. Aangepast en overgenomen uit ‘Transformable Building Structures’ door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.



04.05.01 Richtlijnen beoordeling randopsluiting

Producten zijn niet ingesloten door omliggende producten, zie figuur 9. De randen zijn open ten opzichte van elkaar. Je kunt een product minimaal vanaf één toegankelijke kant volledig uit de samenstelling demonteren.

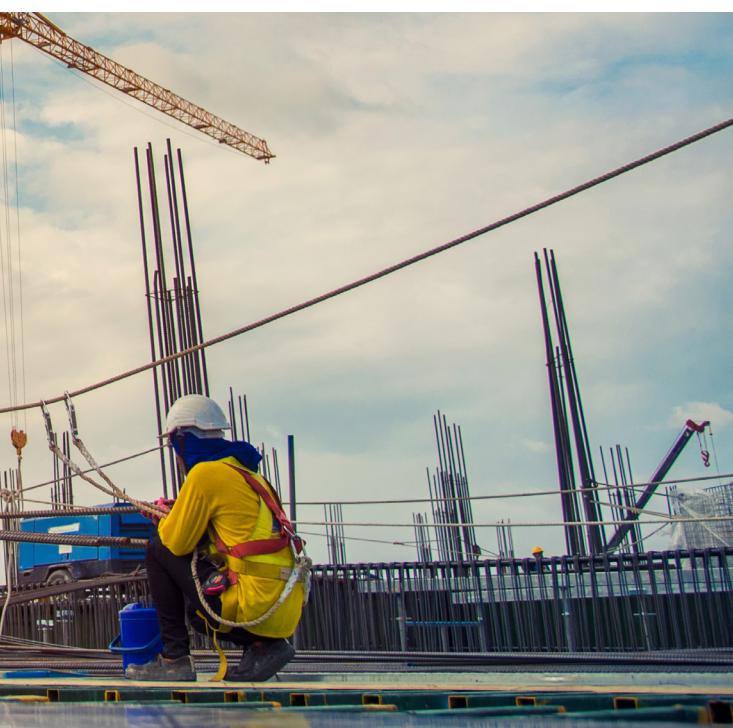


Figuur 9: **Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.**

Producten, zie figuur 10, zijn gedeeltelijk ingesloten door omliggende producten. Hierdoor is minimaal aan één rand een overlapping. Om producten (tussentijds) uit een samenstelling te demonteren, moet je eerst andere producten demonteren.



Figuur 10: **Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.**



Producten, zie figuur 11, zijn volledig ingesloten door omliggende producten. Hierdoor is minimaal aan twee randen een insluiting. Om producten (tussentijds) uit een samenstelling te demonteren, moet je eerst andere producten demonteren. De volgende situaties vallen ook onder “gesloten”:

- Seriematige producten die onderling met elkaar verbonden zijn met een hard chemische verbinding;
- Producten die volledig in het werk gevormd zijn (monoliet en gestort).



Figuur 11: **Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.**

04.05.02 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	Score RO
1	Kalkzandsteen	Structure	1,0
2	Stelkozijn	Skin	0,4
3	Kozijn	Skin	0,4
4	Metselwerk	Skin	0,1
5	Isolatie	Skin	1,0
6	Vensterbank	Space plan	1,0
8	Raamkozijn	Skin	1,0
9	Beglazing	Skin	1,0

Tabel 9: **Beoordeling van de factor randopsluiting (RO) in het rekenvoorbeeld (figuur 8).**

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “**metselwerk**” en “**kozijn**” in het rekenvoorbeeld. Metselwerk (4) is een seriematig product met een onderlinge verbinding met metselspecie. Het metselspecie (en de eventuele voeg) belemmert tussentijdse demontage. Dit geldt als hard chemische verbinding. Dit is een gesloten randopsluiting (0,10). Het kozijn (3) is ingesloten door het stelkozijn (2). Het kozijn is ingesloten door het stelkozijn en scoort daarmee “gesloten (0,10)”.

04.06 Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (LIs)

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van de connectie is:

$$LIC_n = \frac{2}{\frac{1}{DK_n} + \frac{1}{RO_n}}$$

Waarbij:

LIC_n = losmaakbaarheidsindex van de samenstelling van element n :

DK_n = doorkruisingen van product of element n ;

RO_n = randopsluiting van product element n .

04.06.01 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	LIs
1	Kalkzandsteen	Structure	0,18
2	Stelkozijn	Skin	0,57
3	Kozijn	Skin	0,57
4	Metselwerk	Skin	0,18
5	Isolatie	Skin	1,00
6	Vensterbank	Space plan	0,57
8	Raamkozijn	Skin	1,00
9	Beglazing	Skin	1,00

Tabel 10: **Bepaling van de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (LIs) in het rekenvoordeel (figuur 8).**

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “metselwerk” en “kozijn” in het rekenvoordeel.

Het metselwerk (4) heeft een doorkruising van 1,00 en een randopsluiting van 0,10.

$$LIC_{metselwerk} = \frac{2}{\frac{1}{1,00} + \frac{1}{0,10}} = 0,18$$

Het kozijn (4) heeft een doorkruising van 1,00 en een randopsluiting van 0,40.

$$LIC_{kozijn} = \frac{2}{\frac{1}{1,00} + \frac{1}{0,40}} = 0,57$$

04.07 Losmaakbaarheidsindex van het product of element

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van het product of element is:

$$LIP_n = \frac{2}{\frac{1}{LIC_n} + \frac{1}{LIS_n}}$$

Waarbij:

LIP_n = losmaakbaarheidsindex van product of element n .

LIC_n = losmaakbaarheidsindex van de connectie van product of element n .

LIS_n = losmaakbaarheidsindex van de samenstelling van product of element n .

Of:

$$LIP_n = \frac{4}{\frac{1}{TV_n} + \frac{1}{ToV_n} + \frac{1}{DK_n} + \frac{1}{RO_n}}$$

Waarbij:

LIP_n = losmaakbaarheidsindex van product of element n .

TV_n = type verbinding van product of element n .

ToV_n = toegankelijkheid van de verbinding van product of element n .

DK_n = doorkruisingen van product of element n .

RO_n = randopsluiting van product of element n .

Bijlage 1 licht de totstandkoming van deze herziene formule toe voor de losmaakbaarheidsindex van het product of element. Beide formules leiden tot hetzelfde resultaat voor de losmaakbaarheidsindex van het product.

04.07.01 Rekenvoordeel

ID	Product	Laag	LIP
1	Kalkzandsteen	Structure	0,17
2	Stelkozijn	Skin	0,62
3	Kozijn	Skin	0,26
4	Metselwerk	Skin	0,17
5	Isolatie	Skin	0,94
6	Vensterbank	Space plan	0,39
8	Raamkozijn	Skin	0,94
9	Beglazing	Skin	0,46

Tabel 11: **Bepaling van de losmaakbaarheidsindex van het product (LIP) in het rekenvoordeel (figuur 8).**

Het onderstaande is een toelichting op het onderdeel “metselwerk” en “kozijn” in het rekenvoordeel.

Het metselwerk (4) heeft een type verbinding score van 0,1, een toegankelijkheid van de verbinding score van 0,4, een doorkruising score van 1,0 en een randopsluiting score van 0,1. Dit resulteert in een losmaakbaarheidsindex van 0,17.

$$LIP_n = \frac{4}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,4} + \frac{1}{1,0} + \frac{1}{0,1}} = 0,17$$

Het kozijn (3) heeft een type verbinding score van 0,1, een toegankelijkheid van de verbinding score van 0,6, een doorkruising score van 1,0 en een randopsluiting score van 0,4. Dit resulteert in een losmaakbaarheidsindex van 0,26.

$$Lip_n = \frac{4}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,6} + \frac{1}{1,0} + \frac{1}{0,4}} = 0,26$$

04.08 Losmaakbaarheidsindex van de Lagen van Brand

Zoals beschreven in hoofdstuk 03 moet je alle producten en elementen in een gebouw beoordelen met de meetmethode voor losmaakbaarheid. Hierdoor krijgt ieder product een score. De losmaakbaarheidsindex van alle producten samen, leidt tot één score op gebouwniveau met de weegfactor “Milieukosten Indicator” (MKI). Ieder product of element heeft een bepaalde invloed op de losmaakbaarheidsindex van het gebouw: hoe hoger de totale MKI van het product, hoe meer impact het product heeft.

Een (optionele) tussenstap die je kunt nemen, is het bepalen van de losmaakbaarheidsindex per Laag van Brand. Verschillende type producten in een gebouw kenmerken zich doordat je ze gemakkelijker of moeilijker losmaakbaar kunt uitvoeren. Door onderscheid te maken tussen de gemiddelde losmaakbaarheidsindex van de verschillende lagen, krijg je als gebruiker van de meetmethode meer inzicht.

Daarnaast kun je een weegfactor bepalen voor de verschillende lagen van Brand. Dit stelt je in staat om een bepaald type product meer of minder mee te laten wegen in de losmaakbaarheidsindex van het gebouw. Dit rapport doet geen voorstel voor de verhouding tussen de weegfactoren voor verschillende lagen. De meetmethode wordt zonder weegfactor geïntegreerd in de duurzaamheidsinstrumenten. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of je een weegfactor moet toepassen.

"PV-panelen zijn veelvoorkomende producten in gebouwen en essentieel voor de energieprestatie van een gebouw. PV-panelen kenmerken zich door een hoge milieu-impact en een hoge losmaakbaarheidsindex. Hierdoor beïnvloed je de losmaakbaarheidsindex van een gebouw positief, waardoor het (vaak) hoger scoort dan verwacht. Dit wordt veroorzaakt doordat de meetmethode voor losmaakbaarheid de MKI als weegfactor toepast. Het matigen van de impact van bepaalde productgroepen door de MKI valt buiten de scope van deze meetmethode."

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een Laag van Brand is:

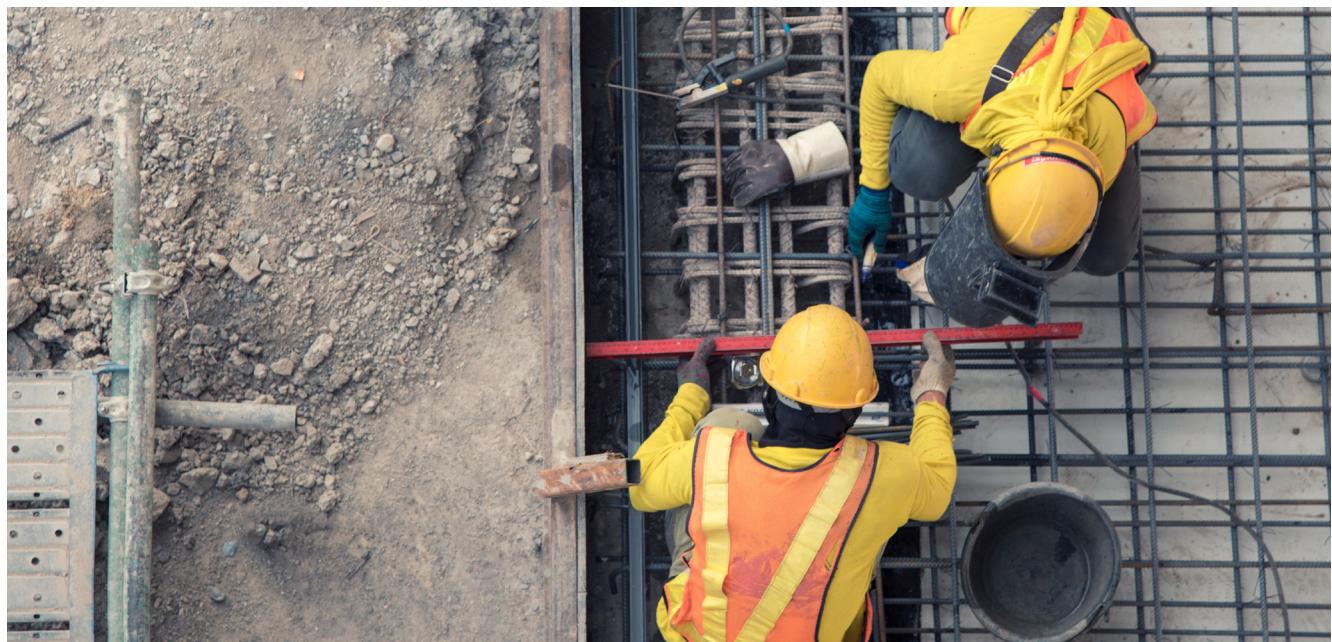
$$LIL_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^l MKI_n} \cdot \sum_{i=1}^l MKI_n \cdot Lip_n$$

Waarbij:

LIL_n = losmaakbaarheidsindex van een laag van Brand n ;

Lip_n = losmaakbaarheidsindex van product of element n ;

MKI_n = milieukostenindicator van product of element n .



04.08.01 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	MKI	Losmaakbaarheidsindex
	Skin		131,56	0,42
2	Stelkozijn	Skin	0,26	0,62
3	Kozijn	Skin	2,64	0,26
4	Metselwerk	Skin	34,18	0,17
5	Isolatie	Skin	7,65	0,94
8	Raamkozijn	Skin	4,06	0,94
9	Beglazing	Skin	82,77	0,46
	Space plan		21,28	0,39
6	Vensterbank	Space plan	21,28	0,39
	Structure		16,59	0,17
1	Kalkzandsteen	Structure	16,59	0,17

Tabel 12: **Bepaling van de losmaakbaarheidsindex van de laag (LII) in het rekenvoorbeeld (figuur 8).**

De laag “skin” bestaat uit 6 producten met een totale MKI van 131,56. De losmaakbaarheidsindex van de laag “skin” is

$$LIL_n = \frac{1}{131,56} \cdot ((0,26 * 0,62) + (2,64 * 0,26) + (MKI_n * LI_n) + \dots) = 0,42$$

04.09 Losmaakbaarheidsindex van het gebouw

De losmaakbaarheidsindex geeft een score op gebouwniveau, gebaseerd op alle toegepaste producten in het gebouw. Het is een gewogen gemiddelde op basis van de MKI. Zoals in 04.08 beschreven past de meetmethode geen weegfactor toe voor de Lagen van Brand. Hierdoor kun je de formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex vergelijken met de formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een laag van Brand.

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een gebouw is:

$$Llg_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^l MKI_n} \cdot \sum_{i=1}^n MKI_n \cdot LI_p_n$$

Waarbij:

Llg_n = losmaakbaarheidsindex van gebouw n ;

LI_p_n = losmaakbaarheidsindex van product of element n ;

MKI_n = milieukostenindicator van product of element n .

04.09.01 Rekenvoorbeeld

ID	Product	Laag	MKI	Losmaakbaarheidsindex
	Project		169,43	0,40
	Skin		131,56	0,42
2	Stelkozijn	Skin	0,26	0,62
3	Kozijn	Skin	2,64	0,26
4	Metselwerk	Skin	34,18	0,17
5	Isolatie	Skin	7,65	0,94
8	Raamkozijn	Skin	4,06	0,94
9	Beglazing	Skin	82,77	0,46
	Space plan		21,28	0,39
6	Vensterbank	Space plan	21,28	0,39
	Structure		16,59	0,17
1	Kalkzandsteen	Structure	16,59	0,17

Tabel 13: **Bepaling van de losmaakbaarheidsindex van het gebouw (Llg) in het rekenvoorbeeld (figuur 8).**

Het project bestaat uit drie lagen met een totale MKI van 169,43. De losmaakbaarheidsindex van de laag “skin” is 0,42, de laag “space plan” is 0,39 en de laag “structure” is 0,17. Dit resulteert in een gemiddelde losmaakbaarheidsindex van 0,40.

$$Llg_n = \frac{1}{169,43} \cdot ((131,56 * 0,42) + (21,28 * 0,39) + (MKI_n * LI_n) + \dots) = 0,40$$

05 DISCUSSIE EN VERVOLG

De meetmethodiek voor losmaakbaarheid is aangepast en verbeterd ten opzichte van de in september 2019 gepubliceerde versie 1.1. In november 2020 is een openbare oproep gedaan aan de markt om feedback op de meetmethode te verzamelen. Daaruit zijn diverse inzichten gehaald om de meetmethode voor losmaakbaarheid te verbeteren, en waar nodig te verduidelijken.

Het vertrekpunt van dit onderzoek was om de meetmethode voor losmaakbaarheid te integreren in bestaande duurzaamheidsinstrumenten BREEAM-NL en GPR Gebouw. Middels de samenwerking tussen de duurzaamheidsinstrumenten en RVO, wordt voorkomen dat een diversiteit aan meetmethoden ontstaat voor losmaakbaarheid.

De ontwikkeling van de meetmethode voor losmaakbaarheid is niet in beton gegoten. Met de implementatie van de meetmethode in de duurzaamheidsinstrumenten doet de markt meer ervaring op met losmaakbaarheid in bouwprojecten. Deze praktijkervaring leidt mogelijk tot nieuwe inzichten en een nieuwe iteratie van de meetmethode.

Tijdens het opstellen van dit rapport zijn de volgende aspecten al ter sprake gekomen, maar nog niet verder verkend. De uitwerking hiervan vraagt om vervolgonderzoek.

1. Losmaakbaarheid is niet alleen essentieel voor (hoogwaardig) hergebruik van producten, maar ook voor andere circulaire aspecten zoals gebouwflexibiliteit, de mogelijkheid tot (duurzame) opwaardering van gebouwdelen en circulair beheer- en onderhoud.
2. Het is mogelijk om de losmaakbaarheidsindex per Laag van Brand op te stellen. Zo ziet de gebruiker welke type producten een hoge of lage losmaakbaarheidsindex hebben. Daarnaast stelt dit de gebruiker in staat om weging aan te brengen aan verschillende Lagen van Brand.

3. Je kunt losmaakbaarheid breed toepassen: bij nieuwbouwprojecten, maar ook bij verbouw- en renovatieprojecten. De duurzaamheidsinstrumenten BREEAM-NL en GPR Gebouw hebben hun eigen leidraad voor het inzetten van de instrumenten in verbouw- en renovatieprojecten. Hieruit moet blijken wat voor invloed dit heeft op de beoordeling voor losmaakbaarheid.
4. Losmaakbaarheid is ook relevant voor productontwikkeling. De meetmethode beschouwt alleen producten en elementen. Uit praktijkervaring blijkt dat losmaakbaarheid tussen verschillende componenten van een product relevant is voor hergebruik van producten.

In de markt leiden diverse ontwikkelingen tot een bredere adaptatie van de meetmethode voor losmaakbaarheid:

1. Deze publicatie is geschreven voor de B&U-sector, gelijktijdig is een onderzoek gaande naar de toepassing van deze meetmethode in de GWW-sector.
2. Er worden circulaire referentiedetails ontwikkeld waarbij de losmaakbaarheidsindex een indicator is voor de mate van circulariteit.
3. De leidraad Meten van Circulariteit Versie 2.0 van Platform CB'23 verwijst naar de meetmethode voor losmaakbaarheid, voor het beoordelen van het aspect flexibiliteit.

06 REFERENTIES

Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards the Circular Economy.

Cramer, J. (2015). Strategische Verkenning: ‘Op weg naar Cirkelregio Utrecht’. Utrecht Sustainability Institute.

Brand, S. (1994). How building learn, New York.

Van Vliet, M. (2018). Disassembling the steps towards building circularity. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Durmisevic, E. (2006). Transformable building structures. Technische Universiteit Delft, Delft.

Hermans, J. et al. (2014). Gebouwen met toekomstwaarde!.

BIJLAGE 1: TOTSTANDKOMING VAN DE FORMULE

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een product of element is herzien (paragraaf 04.07). De volgende stappen hebben geleid tot de totstandkoming van de herziene formule voor de losmaakbaarheidsindex. De meetmethode voor losmaakbaarheid is gebaseerd op het onderzoek “Disassembling the steps towards Building Circularity”. In dit onderzoek is een poging gedaan een weging te definiëren tussen de verschillende losmaakbaarheidsfactoren. Op basis van een enquête met 122 respondenten in geen verschil aangetoond. Het gemiddelde tussen de vier factoren definieert de losmaakbaarheidsindex.

Door de meetmethode toe te passen in de vijf pilotprojecten (zie bijlage 2) en feedback te verzamelen, is de conclusie getrokken dat in de bestaande formule de losmaakbaarheidsfactoren elkaar compenseren. Scoort één losmaakbaarheidsindex laag, dan is het toch mogelijk dat het product een hoge losmaakbaarheidsindex heeft, door hoge scores op de overige factoren. In de praktijk kan een volledig ingestort product hierdoor toch een losmaakbaarheidsindex behalen van > 0,70. Dit gedrag komt niet overeen met de werkelijkheid bij losmaakbaarheid, waarbij de ‘zwakste schakel’ bepalend is.

Er zijn verschillende opties verkend waarmee het gedrag beter gemodelleerd kan worden. Zoals het vermenigvuldigen van de scores op de factoren of het aanbrengen van een weging tussen de factoren. Deze opties bleken niet het gewenste resultaat op te leveren. De oplossing is uiteindelijk gevonden in een herziene formule, waarbij het ‘harmonisch gemiddelde’ van de vier losmaakbaarheidsfactoren wordt bepaald. Het gedrag van deze formule is dat lage scores voor één of meerdere losmaakbaarheidsfactoren (‘de zwakke schakels’) zwaarder meewegen in de losmaakbaarheidsindex.

BIJLAGE 2: PILOTPROJECTEN TOETSING MEETMETHODE LOSMAAKBAARHEID

De meetmethodiek voor losmaakbaarheid, zoals omschreven in hoofdstuk 03, is de eerste stap in de richting om meer aandacht te krijgen voor detaillering en bouwtechniek in het ontwerp. Om de meetmethodiek te valideren en meer kennis en expertise op te doen zijn er vijf pilotprojecten uitgevoerd:



- The Green House te Utrecht door Alba Concepts;
- Circl te Amsterdam door TRAJECT;
- De Tijdelijke Rechtbank te Amsterdam door Cepezed;
- House of Tomorrow Today (HoTT) te Sterksel door W/E adviseurs;
- Galileo Reference Center te Noordwijk door de Architekten Cie.



In de pilotprojecten is op detailniveau gekeken naar de vier aspecten van losmaakbaarheid van een element, namelijk de type verbinding, de toegankelijkheid van de verbinding, doorkruisingen van het element en de vorminsluiting van het element.





The Green House

Functie:	bijeenkomstgebouw / restaurant
Vloeroppervlak:	680 m ²
Architect:	Cepezed
Opdrachtgever:	Rijksvastgoedbedrijf

Bouwer:	Ballast Nedam, Strukton en Albron
Opleverdatum (opening):	April 2018

Gebouwcertificering: geen

De losmaakbaarheidsindex van The Green House is **0,79** (schaal: 0,00 – 1,00). De dominante elementen die de grondslag en hoogte van de LI-index bepalen zijn:

- Hergebruikte spiegelglazen gevelpanelen (35% aandeel in MPG);
- Beglazing HR++ vliesgevel (15% aandeel in MPG);
- Legioblokken (9% aandeel in MPG);
- Afschotisolatie (6% aandeel in MPG).

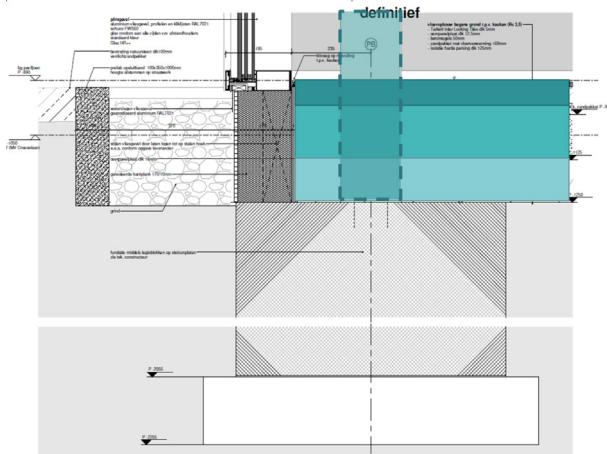
Voorbeelddetail vloeropbouw, begane grond (op elementniveau)

The Green House heeft een begane grond vloeropbouw, zoals weergegeven in figuur 17, waarbij ook de fundering (stelconplaten met legioblokken) als losmaakbare elementen zijn uitgevoerd. De vloeropbouw heeft een LI-index op elementniveau van 0,85, waarbij de volgende toelichting geldt op de vier aspecten van losmaakbaarheid:

- **Vorminsluiting:** geen vorminsluiting door omliggende elementen (score: 1,00);
- **Doorkruising:** één doorkruising van de hoofddraagconstructie (kolommen) door de vloeropbouw. Geen invloed op het zandpakket,

maar wel op de vezelcementplaten en de isolatie (score 0,40);

- **Type verbinding:** volledig droge en losliggende vloeropbouw (score 1,00);
- **Toegankelijkheid verbinding:** de elementen uit de vloeropbouw worden één voor één verwijderd. Dit vraagt geen extra handelingen (score 1,00).



Figuur 12 Vloeropbouw The Green House



Circl

Functie: bijeenkomstgebouw
Vloeroppervlak: 3.390 m² BVO
Architect: De Architekten Cie.

Bouwer: BAM Bouw & Techniek
Opleverdatum (opening): september 2017
Gebouwcertificering: BREEAM-NL Outstanding

De losmaakbaarheidsindex van Circl is **0,52** (schaal: 0,00 – 1,00). De dominante elementen die de grondslag en hoogte van de LI-index bepalen zijn:

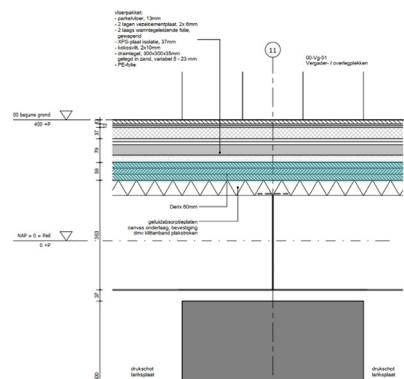
- PV-panelen (19% aandeel in MPG);
- Betonnen keerwanden kelderbak (14% aandeel in MPG);
- Betonnen funderingspalen (10% aandeel in MPG);
- Keldervloer afwerklaag (8% aandeel in MPG).

Voorbeelddetail CLT- met PCM-vloerelement (op elementniveau)

Circl heeft op de begane grond een cross-laminated timber (CLT) vloer met phase-changing materials (PCM), zoals weergegeven in figuur 18 en 19. De onderzijde van de vloer is voorzien van geluidsabsorberende platen, omdat het vergadercentrum op niveau -1 is gelegen. De vloeropbouw heeft een LI-index op elementniveau van 0,90, waarbij de volgende toelichting geldt op de vier aspecten van losmaakbaarheid:

- **Vorminsluiting:** geen vorminsluiting door omliggende elementen (score: 1,00);
- **Doorkruising:** geen doorkruisingen door andere elementen (score 1,00);
- **Type verbinding:** verbinding tussen CLT en constructie is door middel van schroefverbindingen volledig droge en losliggende vloeropbouw (score 0,80);

- **Toegankelijkheid verbinding:** mogelijk om bij de verbindingen te komen na het weghalen van diverse elementen. Geen schade voorzien bij deze handelingen (score 0,80).



Figuur 13: Vloeropbouw begane grond vloer Circl



Figuur 14: Foto vloeropbouw



Tijdelijke Rechtbank Amsterdam

Functie: rechtbank
 Vloeroppervlak:
 Architect: Cepezed

Bouwer:
 Opleverdatum: september 2017
 Gebouwcertificering: geen

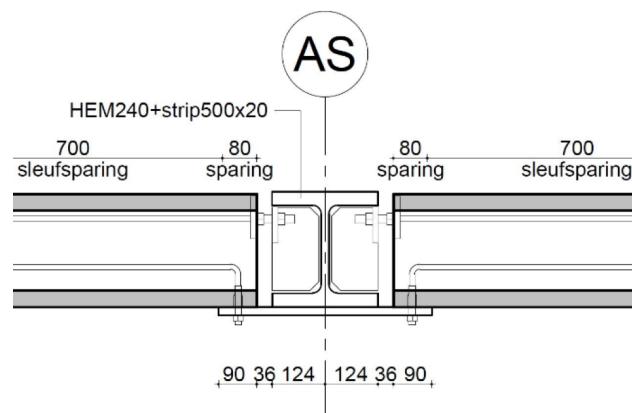
De losmaakbaarheidsindex van de Tijdelijke Rechtbank is **0,88** (schaal: 0,00 – 1,00). De dominante elementen die de grondslag en hoogte van de LI-index bepalen zijn:

- Prefab HSB-elementen (11% aandeel in MPG);
- Demontabele kanaalplaatvloer, type 1 (35% aandeel in MPG);
- Demontabele kanaalplaatvloer, type 2 (35% aandeel in MPG).

Voorbeelddetail kanaalplaatvloer verdiepingsvloer (op elementniveau)

De Tijdelijke Rechtbank bestaat uit remontabele kanaalplaatvloeren als verdiepingsvloeren, zoals weergegeven in figuur 20 en 21. De vloeropbouw heeft een LI-index op elementniveau van 0,85, waarbij de volgende toelichting geldt op de vier aspecten van losmaakbaarheid:

- **Vorminsluiting:** geen vorminsluiting door omliggende elementen (score: 1,00);
- **Doorkruising:** geen doorkruisingen door andere elementen (score 1,00);
- **Type verbinding:** toegevoegde verbinding tussen kanaalplaatvloer en stalen ligger door boutverbinding (score 0,80);
- **Toegankelijkheid verbinding:** de verbinding is toegankelijk met extra handelingen met herstelbare schade (score 0,60).



Figuur 15: **Vloeropbouw verdieping Tijdelijke Rechtbank**



Figuur 16: **Foto vloeropbouw (a) en type verbinding (b)**
Tijdelijke Rechtbank



House of Tomorrow Today (HoTT)

Functie: wonen met praktijkruimte
 Vloeroppervlak: 246 m²
 Architect en bouwer: KAW/e Architecten gebouwd o.b.v. Slimbouwen met nevenaannemers

opleverdatum: 2014
 eventuele certificering Energieleverend, internationale (+ niveau): erkenning als Active House

De losmaakbaarheidsindex van HoTT is **0,85** (schaal: 0,00 – 1,00) op basis van een MPG inclusief PV-panelen van 1,03. Wanneer de impact van de PV-panelen op 0 wordt gezet in de MPG, wordt de LI-index lager, namelijk 0,63. De dominante elementen die de grondslag en hoogte van de LI-index bepalen, zijn:

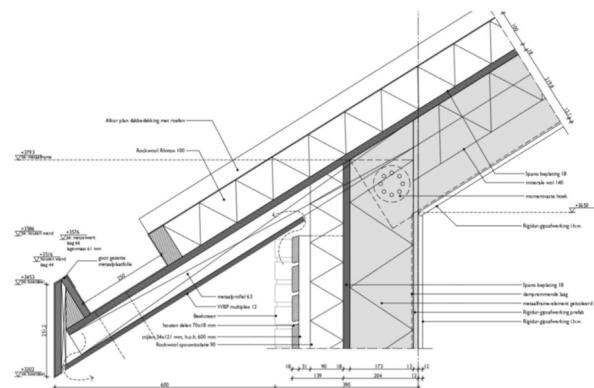
- PV-panelen (58% aandeel in MPG);
- Beglazing HR, droog beglaasd (7% aandeel in MPG);
- Hellende dakbedekking (4% aandeel in MPG);
- Funderingsbalken, beton, in het werk gestort (4% aandeel in MPG).

Voorbeelddetail dakopbouw, hellend, dakbedekking (op productniveau)

HoTT heeft een hellend dak dat bestaat uit een laag verkleefd PVC. De dakbedekking heeft een LI-index op productniveau van 0,58. Daarbij geldt de volgende toelichting op de vier aspecten van losmaakbaarheid:

- **Vorminsluiting:** de dakbedekking is gesloten aan één zijde (score: 0,20);
- **Doorkruising:** er zijn geen doorkruisingen door andere elementen (score 1,00);

- **Type verbinding:** er is een harde chemische verbinding (score 0,1);
- **Toegankelijkheid verbinding:** de verbinding is toegankelijk en vraagt geen extra handelingen (score 1,00).

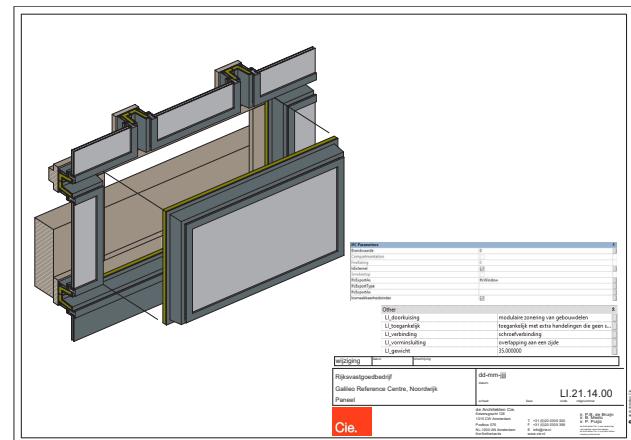




Galileo Reference Cente

Functie:	datacenter, kantoorruimte	Bouwer:	Van Rhijnbouw, Katwijk
Vloeroppervlak:	1500 m ²	Opleverdatum:	2017
Architect:	de Architekten Cie. (Pero Pulji, Eric van Noord), Amsterdam;	Gebouwcertificering:	geen

Onze opzet was de losmaakbaarheidstool te combineren met BIM. Vanwege het ontbreken van een MPG-score kon de losmaakbaarheidsindex van Galileo helaas niet bepaald worden. Desondanks heeft de studie inzicht opgeleverd. Het blijkt dat een gebouw als Galileo veel elementen bevat, ongeveer 26.000. We hebben een selectie gemaakt en ons geconcentreerd op de gevel, ongeveer 900 elementen. De losmaakbaarheidsdata zijn handmatig toegevoegd aan de gevelelementen. Dankzij de toegevoegde waarde van BIM was het relatief snel en eenvoudig om dit te doen. Alle elementen van de modulaire gevel hebben droge Schroef- of klikverbindingen, hebben geen doorkruizingen en zijn dus goed losmaakbaar.



Figuur 18: **Paneel Galileo Reference Center**

Feedback op meetmethode losmaakbaarheid

Door alle partijen is op basis van de meetmethodiek losmaakbaarheid feedback gegeven op een aantal aspecten, namelijk:

- De uitvoerbaarheid van de meetmethode;
- De gehanteerde definities;
- De keuze voor losmaakbaarheidsfactoren;
- De meetmethode;
- Overige aspecten.

De feedback vormt de input voor het verbeteren van de meetmethode losmaakbaarheid en is het startpunt om te komen tot een totale integratie met bestaande duurzaamheidsmeetlatten, zoals BREEAM en GPR.

De uitvoerbaarheid van de meetmethode

De voornaamste feedback ten aanzien van de uitvoerbaarheid en gebruik van de meetmethode losmaakbaarheid is als volgt:

- De uitvoerbaarheid van de meetmethode is afhankelijk van de beschikbaarheid van data. Niet alle parameters zijn van tekeningen af te leiden, waardoor bouwkundige kennis nodig is voor de beoordeling van “blind spots”.
- Het aantal te beoordelen elementen is afhankelijk van het project. Bij complexe projecten loopt dit op waardoor dit veel tijd kost.
- De meetmethode moet ingezet worden als ontwerptool en niet pas aan het einde van het ontwerp.
- De tool sluit één-op-één aan op BIM. Dit maakt het beoordelen van verbindingsopties makkelijker en objectiever.

De gehanteerde definities

De voornaamste feedback ten aanzien van de gehanteerde definities is als volgt:

- Er bestaat onduidelijkheid over gehanteerde definities van gebouwniveaus. Hierdoor ontstaat een interpretatieverschil bij de beoordeling van de meetmethode.
- De factor *vorminsluiting* is met de huidige definitie en voorbeelden niet duidelijk genoeg.

De keuze voor losmaakbaarheidsfactoren

De voornaamste feedback ten aanzien van de keuze voor losmaakbaarheidsfactoren is als volgt:

- De losmaakbaarheidsfactor *vorminsluiting* is moeilijk te beoordelen. Deze kan ook gezien worden als onderdeel van de factor toegankelijkheid van de verbinding.

- Er is gekozen om de factoren levenscyclus coördinatie en montagevolgorde niet te adapteren in de meetmethode. Hierdoor is dit onderbelicht in de meetmethode.
- Door de toepassing van vier losmaakbaarheidsfactoren ontstaan situaties waarbij een hoge score bij de ene factor, een lage score bij de ander opheft en hierdoor toch een hoge losmaakbaarheidsindex ontstaat.

De meetmethode

De voornaamste feedback ten aanzien van de meetmethode losmaakbaarheid is als volgt:

- Het gebouwniveau bepaalt welke onderdelen beoordeeld worden. Het elementenniveau is niet altijd toereikend genoeg om de essentiële verbindingen te beoordelen.
- De demontagevolgorde is essentieel bij het bepalen van de losmaakbaarheidsindex. Tijdens de demontagefase zijn de factoren toegankelijkheid van de verbinding en vorminsluiting minder belangrijk, omdat verhinderende situaties door de demontagevolgorde teniet worden gedaan.
- De MPG bepaalt de weging van de losmaakbaarheidsindex. Het is nog onduidelijk hoe recycling en hergebruik meetelt in de MPG berekening, waardoor bepaalde onderdelen een hogere impact hebben op de losmaakbaarheidsindex.
- Door de MPG toe te passen als weegfactor hebben circulaire producten met een lage milieu-impact weinig invloed op de losmaakbaarheidsindex. Hierdoor wordt de toepassing van deze producten niet beloond.
- De aansluiting die moet worden getoetst is de aansluiting waarop het element het gewicht afdraagt (de verbinding tussen het object en het onderliggend object dat een dragende functie heeft). Het zou beter zijn om als maatgevende verbinding het moeilijkst los te maken detail te toetsen.

Overige aspecten

- Er wordt geen rekening gehouden met de complexiteit van demonteren van verschillende type elementen, zoals een vloer ten opzichte van een zonnepaneel.
- Hergebruik(waarde) wordt niet meegenomen als weegfactor voor de losmaakbaarheidsindex. Hierdoor worden producten waarbij losmaakbaarheid irrelevant is ook beoordeeld.
- De meetmethode moet aansluiten op de nieuwste versie van de NMD en NL/SfB.



Alba Concepts

Alba Concepts is een jonge, duurzame onderneming die zich richt op drie activiteiten: advisering, management en projectontwikkeling. Bij alle activiteiten staat centraal dat zij handelen daar waar vastgoed, duurzaamheid, strategie en financiën elkaar vinden in de vroege planfasen.



Dutch Green Building Council

Stichting Dutch Green Building Council (DGBC) is de landelijke maatschappelijke organisatie die zich inzet om de gebouwde omgeving in hoog tempo toekomstbestendig te maken. De onafhankelijke stichting is in 2008 opgericht op initiatief van de markt en telt bijna 400 participanten. Allemaal ondersteunen ze de missie van DGBC: het verduurzamen van de gebouwde omgeving. DGBC brengt organisaties met elkaar in contact, laat ze samenwerken aan verduurzaming en spoort hen aan een voorbeeld te zijn voor andere partijen. Daarnaast is DGBC ontwikkelaar en beheerder van het duurzaamheidskeurmerk BREEAM-NL.



RVO

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert ondernemend Nederland bij duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl voert opdrachten uit namens andere ministeries, waaronder de ministeries van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en Economische Zaken en Klimaat. Ook werkt RVO.nl in opdracht van de Europese Unie.



W/E adviseurs

Stichting W/E adviseurs duurzaam bouwen geeft advies over duurzaamheid in bouw, vastgoed en gebiedsontwikkeling. Praktisch projectadvies op maat over (duurzame) energie, bouwfysica, duurzaam bouwen of renoveren. W/E ondersteunt organisaties, van visievorming tot uitvoering in de dagelijkse praktijk. Ook ontwikkelen ze kennis en software (o.a. GPR Gebouw) die duurzaamheid inzichtelijk en meetbaar maakt. Ook delen ze kennis via cursussen.



DG BC

Dutch
Green Building
Council



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

