



**01 RAPPORT MEETMETHODIEK LOSMAAKBAARHEID VOOR GPR GEBOUW EN
BREEAM-NL**

Definitief rapport

24 juni 2019
2019-0169-002-meetmethodiek-V2.0

INHOUDSOPGAVE

01	RAPPORT MEETMETHODIEK LOSMAAKBAARHEID VOOR GPR GEBOUW EN BREEAM-NL	1
02	INLEIDING	3
03	LOSMAAKBAARHEID IN DE CIRCULAIRE ECONOMIE	4
03.01	Definitie van losmaakbaarheid	5
03.02	Losmaakbaarheid en gebouwniveaus	6
03.03	Demarcatie beoordeling losmaakbaarheid	8
03.04	Nieuwbouw, verbouw en renovatie	9
04	LOSMAAKBAARHEIDSFACTOREN	10
04.01	Technische factoren	11
04.01.01	Type verbindingen	12
04.01.02	Toegankelijkheid verbindingen	13
04.01.03	Doorkruisingen	13
04.01.04	Vorminsluiting	14
04.02	Procesmatige factoren	15
04.02.01	Demontage instructies	15
05	MEETMETHODIEK	16
05.01	Rekenmethodiek losmaakbaarheid elementen	16
05.02	Meetmethodiek losmaakbaarheid project	18
05.03	Waardering losmaakbaarheidsindex	19
05.04	Bepalingsmethodiek losmaakbaarheid	20
06	AANBEVELINGEN	21
07	REFERENTIES	22



02 INLEIDING

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alba Concepts in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en in samenwerking met W/E Adviseurs en de Dutch Green Building Council.

In het kader van de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie zijn nieuwe principes geïntroduceerd in de bouwsector waar marktpartijen nog beperkt ervaring mee hebben opgedaan. Een van deze principes is losmaakbaar of demontabel bouwen, wat een belangrijke plek heeft gekregen binnen het principe circulair bouwen. Om volgens de planning van de transitieagenda in 2021 een basiskamp ingericht te hebben, is het belangrijk dat de markt ervaring hier mee opdoet.

Het doel van dit onderzoek is om losmaakbaarheid als onderdeel van de circulair economie toe te voegen in de duurzame beoordelingsmodellen BREEAM-NL en GPR gebouw. Het resultaat van dit onderzoek is een voorstel voor een meetmethodiek, inclusief format, om losmaakbaarheid te bepalen van een gebouw. Hiermee kunnen W/E Adviseurs en DGBC losmaakbaarheid integreren in hun beoordelingsmodel.



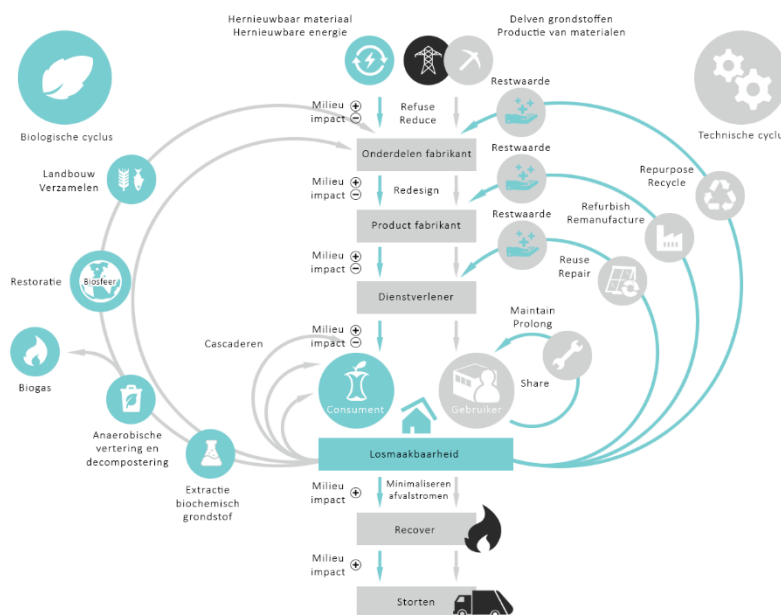
03 LOSMAAKBAARHEID IN DE CIRCULAIRE ECONOMIE

Op dit moment is de wereldeconomie gebaseerd op een lineair model. Het lineaire model 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 van 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 opnieuw gebruikt kunnen worden. 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.

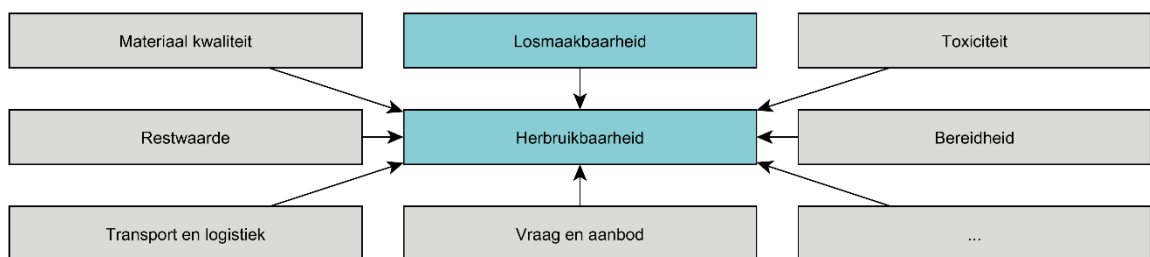


Figuur 1: **Losmaakbaarheid als basis voor een circulaire economie.** Aangepast overgenomen uit *Towards the Circular Economy* door Ellen MacArthur Foundation, 2012.

Figuur 1 is een representatie van het circulaire economie model¹. Om de twee cycli te activeren moeten we 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 vast zitten.

¹ Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the Circular Economy*

In relatie tot een gebouw, dienen wij materialen te oogsten. Als producten onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, is het oogsten niet mogelijk waardoor slopen de enige optie is. Hoe meer losmaakbaar een gebouw, hoe gemakkelijker het is om producten te oogsten en des te vanzelfsprekender dit is. Daarom ligt losmaakbaarheid ter 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

03.01 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.



“Losmaakbaarheid is de mate waarin objecten demonteerbaar zijn op alle schaalniveaus binnen gebouwen zodat het object de functie kan behouden en hoogwaardig hergebruik realiseerbaar is.”

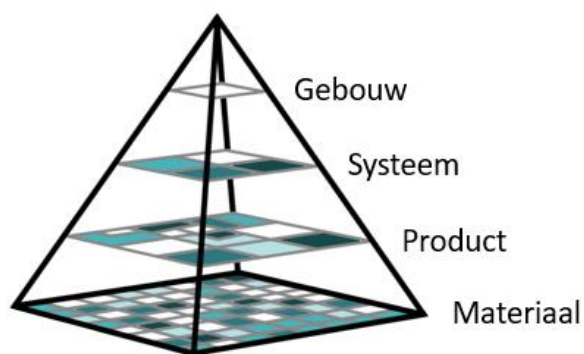
Om hoogwaardig hergebruik uit te drukken hanteren wij het 10-R model². Dit benadrukt het doel om producten zoveel mogelijk in oorspronkelijke staat te hergebruiken, met een lager energiegebruik tot gevolg. De laatste stap is om producten te recyclen tot grondstof voor een nieuw product. Een hogere losmaakbaarheid leidt tot een gunstiger toekomstscenario.

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

² Cramer, J. (2015). *Strategische Verkenning: ‘Op weg naar Cirkelregio Utrecht’*. Utrecht Sustainability Institute.

03.02 Losmaakbaarheid en gebouwniveaus

Een gebouw is een samenstelling van complexe materialen en producten op diverse niveaus. De niveaus binnen een gebouw geven de complexiteit van een gebouwonderdeel en zijn toepasbaar om de mate van losmaakbaarheid te beoordelen.



Figuur 4: **Schematische weergave van gebouwniveau's.** Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006

De bouw kent diverse methodieken om deze niveaus te definiëren zoals de STABU besteksmethodiek en de NL/SfB elementencodering (BNA). De NL/SfB is toegepast om gebouwniveaus aan te duiden. Dit zorgt voor een compatibiliteit met de MPG, welke BREEAM-NL en GPR gebouw toepassen in hun certificering.

De NL/SfB is opgebouwd uit drie niveaus, namelijk:

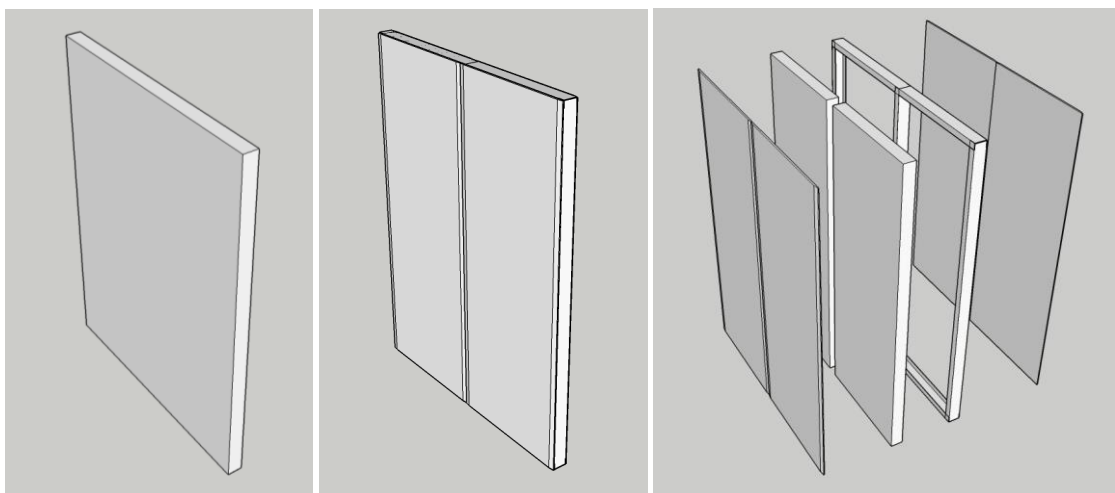
- Elementen;
- Variant elementengroepen;
- Variant elementen.

Deze categorieën geven echter een beperkt detailniveau. Wij herkennen méér niveaus binnen een bouwwerk. Wij adviseren een uitbreiding op de NL/SfB om een volledig beeld te geven van verschillende gebouwniveaus. Een uitbreiding op de NL/SfB leidt tot een hogere mate van standaardisatie in de communicatie over losmaakbaarheid. Wij adviseren dat dit in samenwerking met marktpartijen en instanties die hierin gespecialiseerd zijn, verder wordt gebracht. Wij doen een voorstel voor de volgende categorieën.

Niveau	Methodiek	Definitie NEN2660	Voorstel definitie	Voorstel Codering	Voorbeeld decompositie
8	Layers of Brand	-	Laag		Interieur
7	NL/SfB 2 cijferige codering	Element	Systeem	22.XX.XX	Binnenwand
6	NL/SfB 3 cijferige codering	Variantelement groep	Element groep	22.1X.XX	Binnenwand, niet dragend
5	NL/SfB 4 cijferige codering	Variantelement	Element	22.13.XX	Vaste scheidingswand
4	NL/SfB (toevoeging BIMguide) 6 cijferige codering	Bouwdelen	Product	22.13.17	Systeemwand met gipsplaat
3		Componenten	Component		Gipskartonplaat
2		Materiaal	Materiaal		Gips
1		Grondstof	Grondstof		Calciumsulfaat

Tabel 1: **Aanvulling gebouwniveaus op basis van de NL/SfB.** Aangepast overgenomen uit *'Disassembling the steps towards Building Circularity'* door Vliet M., 2018.

Het volgende voorbeeld geeft een weergave van gebouwniveaus. De linker afbeelding geeft een gebouwniveau 5 weer, de middelste afbeelding een gebouwniveau 4 en de rechter afbeelding een gebouwniveau 3.



Figuur 5: **Verschillende gebouwniveaus van één type binnenwand.**

Wij adviseren om de losmaakbaarheid van gebouwen op minimaal niveau 5 (element) te bepalen om de volgende redenen:

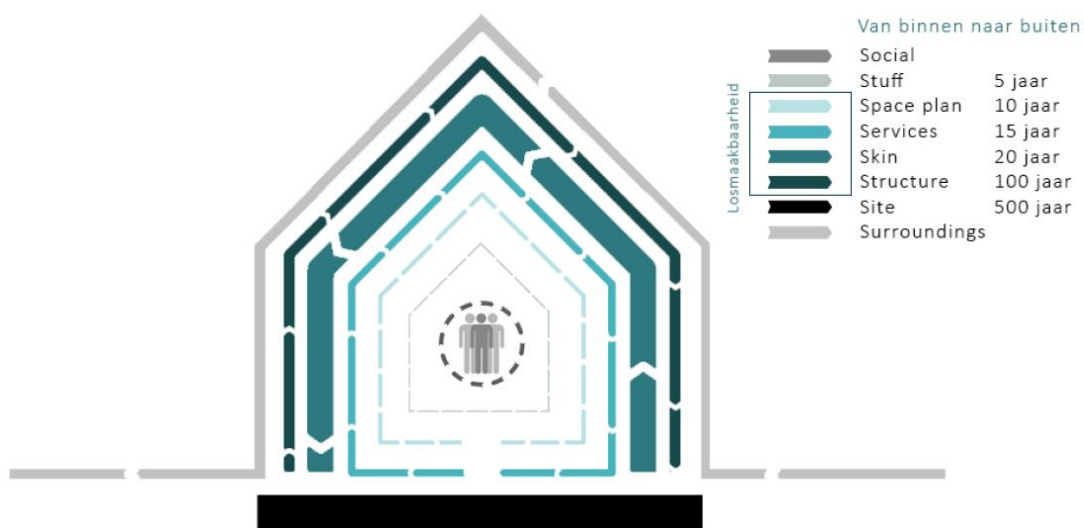
- De beschikbaarheid van data op lagere niveaus is beperkt, afhankelijk van het uitwerkingsniveau van het ontwerp.
- Het aantal te beschouwen connecties vermenigvuldigd exponentieel bij een lager niveau. Dit kost meer tijd om te beoordelen.
- De connecties op elementenniveau zijn fundamenteel bij de technische uitwerking van een gebouw.
- Losmaakbaarheid is een relatief nieuw concept in de markt. Door het gebrek aan ervaring met de meetmethodiek zijn complexe relaties op lagere niveaus moeilijk in te schatten door de markt.

Het is lastiger om een hogere losmaakbaarheidsscore te behalen op een lager gebouwniveau en het kost een hogere mate van technische uitwerking. Daarom adviseren wij om de beoordeling op een lager gebouwniveau te stimuleren door extra punten toe te kennen aan de mate van losmaakbaarheid binnen BREEAM-NL en GPR gebouw.

In de volgende paragrafen spreken wij van objecten om een gedeelte van een gebouw uit te drukken, onafhankelijk van een specifiek gebouwniveau.

03.03 Demarcatie beoordeling losmaakbaarheid

Voor de afbakening van de te beoordelen elementen passen wij de Layers of Brand³ toe. De Layers of Brand onderscheidt diverse gebouwlagen in een gebouw met een specifieke functie. Kenmerkend van deze gebouwlagen is dat de levensduren van producten over het algemeen verschillen.



Figuur 6: Losmaakbaarheid binnen de Layers of Brand. Aangepast overgenomen uit 'How building learn door Brand, S., 1994.

³ Brand, S. (1994). How building learn, New York.

De lagen 'Structure', 'Skin', 'Services' en 'Space plan' vallen onder de te beoordelen elementen van een gebouw. 'Site' en 'stuff' vallen hierdoor buiten de beoordeling.

Door de NL/SfB categorieën onder de diverse Layers of Brand te verdelen ontstaat een indicatie van welke elementen beoordeeld moeten worden indien aanwezig binnen het project.

03.04 Nieuwbouw, verbouw en renovatie

De bouw kent o.a. nieuwbouw en bestaande bouw. Het bepalen van losmaakbaarheid is mogelijk voor alle type gebouwen. Gelijkwaardigheid bij de beoordeling is belangrijk binnen de methodieken BREEAM-NL en GPR gebouw. Wij adviseren om bij nieuwbouw projecten alle elementen die binnen de bovenstaande Layers of Brand vallen te beoordelen.

Bij bestaande bouwprojecten adviseren wij om een andere aanpak te hanteren. In het kader van circulariteit prefereert hoogwaardig hergebruik van materialen. Bij bestaande bouw blijft een gedeelte van het huidige gebouw staan, een gedeelte gesloopt of gedemonteerd en een gedeelte toegevoegd. Het gedeelte dat blijft staan is hoogwaardig, in oorspronkelijke staat hergebruikt. Dit is een positief uitgangspunt ten opzichte van totale sloop.

Bij de beoordeling van losmaakbaarheid van bestaande bouw spelen de volgende factoren een rol:

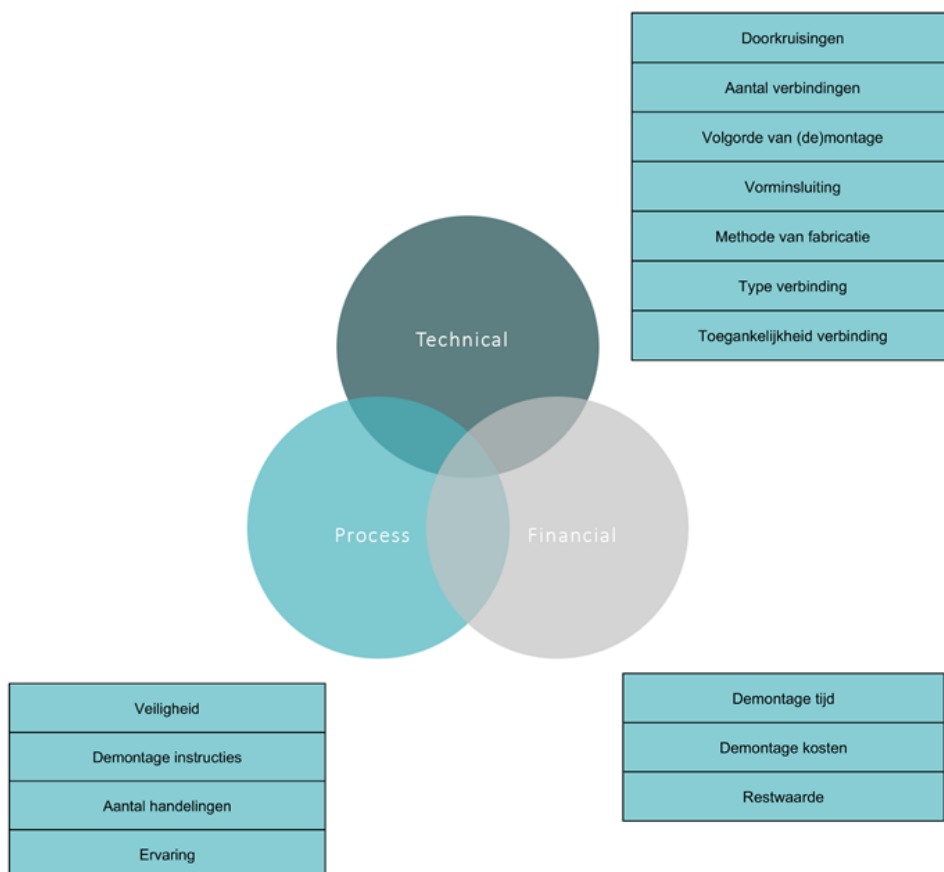
- Data is beperkt beschikbaar van bestaande (oude) gebouwen;
- Traditionele bouwmethoden zijn niet ontworpen volgens het losmaakbare gedachtegoed.

Het is daarom complex om de losmaakbaarheid van bestaande gebouwen te bepalen en daarnaast scoren deze zeer waarschijnlijk laag. Wij adviseren om alleen de losmaakbaarheid van elementen te beoordelen die toegevoegd worden.

04 LOSMAAKBAARHEIDSFACTOREN

Het ontwerp van gebouwen heeft de meeste invloed op losmaakbaarheid. Het ontwikkelen van een circulair gebouw dient ook te worden gewaarborgd op procesmatig en financieel gebied. Dit is ook van belang bij losmaakbaarheid. Wij maken in dit rapport onderscheid tussen technische, procesmatige en financiële losmaakbaarheidsaspecten⁴ (zie figuur 7):

- Technische aspecten⁵: het ontwerp bepaalt de mogelijkheid om objecten fysiek uit elkaar te halen.
- Procesmatige aspecten: tijdens het ontwerp- en bouwproces van gebouwen kan het proces worden gestuurd op deze aspecten om losmaakbaarheid te waarborgen.
- 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, beïnvloeden de keuze voor demontage in plaats van sloop. Dit betekent dat de restwaarde van een object de demontagekosten dient te dekken en dat het hergebruiken van het object niet duurder mag zijn dan een vergelijkbaar 100% nieuw ('virgin') materiaal.



Figuur 7: **Overzicht losmaakbaarheidsaspecten** overgenomen uit *Disassembling the steps towards Building Circularity* door van Vliet, M., 2018, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

⁴ Van Vliet, M. (2018). *Disassembling the steps towards building circularity*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

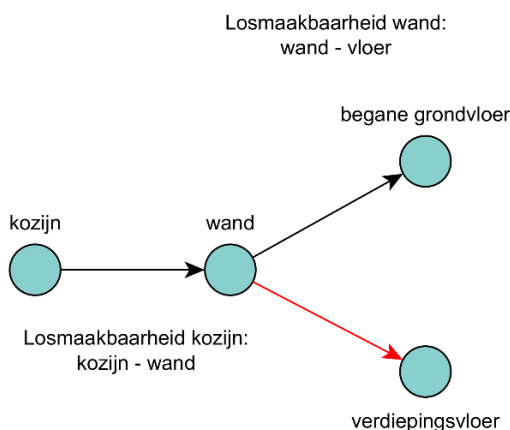
⁵ Durmisevic, E. (2006). *Transformable building structures*. Technische Universiteit Delft, Delft.

04.01 Technische factoren

Technische losmaakbaarheidsfactoren hebben betrekking op het ontwerp en bepalen de fysieke mogelijkheid om objecten te demonteren. Elke technische factor bestaat uit diverse categorieën met een bepaalde score waarbij 1,00 de hoogste score representeert en 0,10 de laagste score.

Objecten zijn mogelijk met meerdere andere objecten verbonden. Om te waarborgen dat het bepalen van losmaakbaarheid geen onnodig complexe berekening wordt, is een afbakening nodig van welke verbinding maatgevend is voor het bepalen van de losmaakbaarheid. De verbinding tussen het object en het onderliggend object dat een dragende functie heeft bepaalt de losmaakbaarheidsindex.

Denk hierbij bijvoorbeeld, bij het bepalen van de losmaakbaarheid van een wand, aan de verbinding met de onderliggende vloer en niet met een kozijn. Andersom, is de wand wel dragend bij het bepalen van de losmaakbaarheid van het kozijn (zie figuur 8). Hierdoor laten wij de andere verbindingen buiten beschouwing.



Figuur 8: **Voorbeeld losmaakbaarheid t.o.v. dragende functie.** De rode verbinding representeert een niet dragende verbinding en wordt buiten beschouwing gelaten.

Ons voorstel is om de volgende vier technische losmaakbaarheidsfactoren met daarbij horende categorische waardes, de 'fuzzy variables'⁶, toe te passen om losmaakbaarheid te bepalen in BREEAM-NL en GPR gebouw:

1. Type verbindingen;
2. Toegankelijkheid verbindingen;
3. Doorkruisingen;
4. Vorminsluiting.

Dit is in lijn met de resultaten van een onderzoek waarin de meest belangrijke factoren zijn geïdentificeerd door middel van een enquête met in totaal 122 respondenten.⁷

⁶ Durmisevic, E. (2006). *Transformable building structures*. Technische Universiteit Delft, Delft.

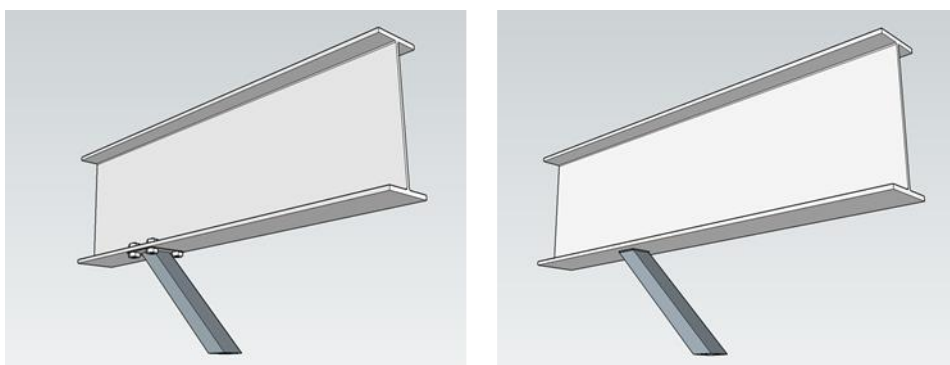
⁷ Van Vliet, M. (2018). *Disassembling the steps towards building circularity*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

04.01.01 Type verbindingen

Objecten zijn met elkaar verbonden door diverse typen verbindingen. Met betrekking tot losmaakbaarheid prevaleren droge verbindingen, verbindingen met toegevoegde elementen en directe integrale verbindingen boven zachte en harde chemische verbindingen (tabel 2).

Tabel 2: **Waardering type verbinding.** Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

Type verbinding		Gewicht
Droge verbinding	Droge verbinding	1,00
	Klikverbinding	1,00
	Klittenbandverbinding	1,00
	Magnetische verbinding	1,00
Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,80
	Veerverbinding	0,80
	Hoekverbindingen	0,80
	Schroefverbinding	0,80
	Verbindingen met toegevoegde verbindingselementen ⁸	0,80
Directe integrale verbinding	Pin-verbindingen ⁹	0,60
	Spijkerverbinding	0,60
Zachte chemische verbinding	Kitverbinding	0,20
	Schuimverbinding (PUR)	0,20
Harde chemische verbinding	Lijmverbinding	0,10
	Aanstortverbinding	0,10
	Lasverbinding	0,10
	Cementgebonden verbinding	0,10
	Chemische ankers	0,10
	Harde chemische verbinding	0,10



Figuur 9: **Bout- en moerverbinding en lasverbinding.**

⁸ Bijvoorbeeld een gevel ophangstelsel

⁹ Bijvoorbeeld een niet-verbinding

04.01.02 Toegankelijkheid verbindingen

De toegankelijkheid van verbindingen gaat in op de fysieke mogelijkheid om bij verbindingselementen te komen en de mate waarin hierbij schade ontstaat aan de omliggende objecten. Wanneer de toegankelijkheid hoog is, dus wanneer het gemakkelijk is om bij het verbindingselement te komen zonder dat schade ontstaat aan de omliggende gebouwdelen, heeft dit een positief effect op de losmaakbaarheid (tabel 3).

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

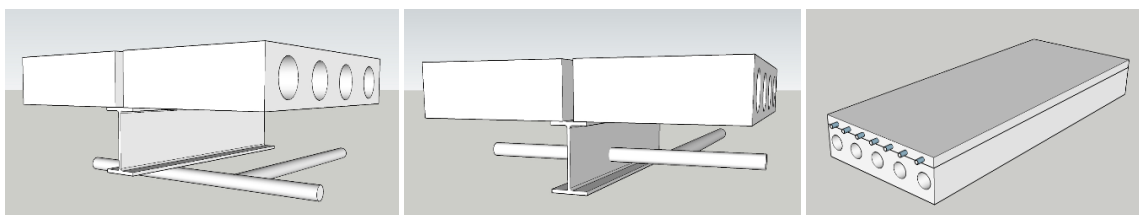
Toegankelijkheid verbinding	Gewicht
Vrij toegankelijk	1,00
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,80
Toegankelijkheid met extra handelingen met herstelbare schade	0,40
Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan objecten	0,10

04.01.03 Doorkruisingen

Door doorkruisingen ontstaat de integratie en vervlechting van objecten, dit zorgt voor afhankelijkheid van objecten ten opzichte van elkaar. Wanneer objecten elkaar niet fysiek doorkruisen blijven deze onafhankelijk van elkaar zijn deze gemakkelijker demonteerbaar. (tabel 4).

Tabel 4: **Waardering Doorkruisingen.** Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

Doorkruisingen	Score
Modulaire zonering van objecten ¹⁰	1,00
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten	0,40
Volledige integratie van objecten	0,10



Figuur 10: **Modulaire zonering, doorkruisingen en integratie van objecten.**

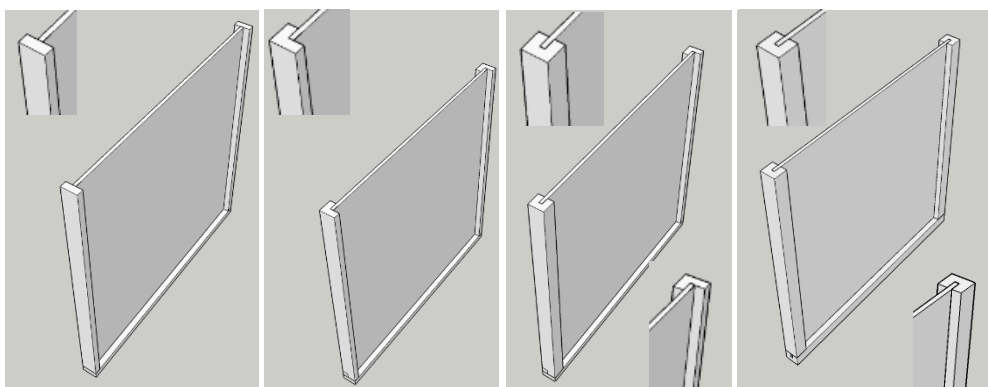
¹⁰ Modulaire zonering betekent dat alle objecten onafhankelijk van elkaar gescheiden zijn uitgevoerd waardoor nergens doorkruisingen ontstaan

04.01.04 Vorminsluiting

Vorminsluiting gaat in op de fysieke insluiting van objecten, waardoor door middel van insluiting een onlosmaakbare verbinding ontstaat. Om losmaakbaarheid te waarborgen dienen objecten open te blijven aan minimaal één kant en zijn ze niet fysiek ingesloten. Hierdoor zijn deze van elkaar te scheiden zonder omliggende objecten te beïnvloeden (tabel 5).

Tabel 5: **Waardering vorminsluiting.** Aangepast en overgenomen uit '*Transformable Building Structures*' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

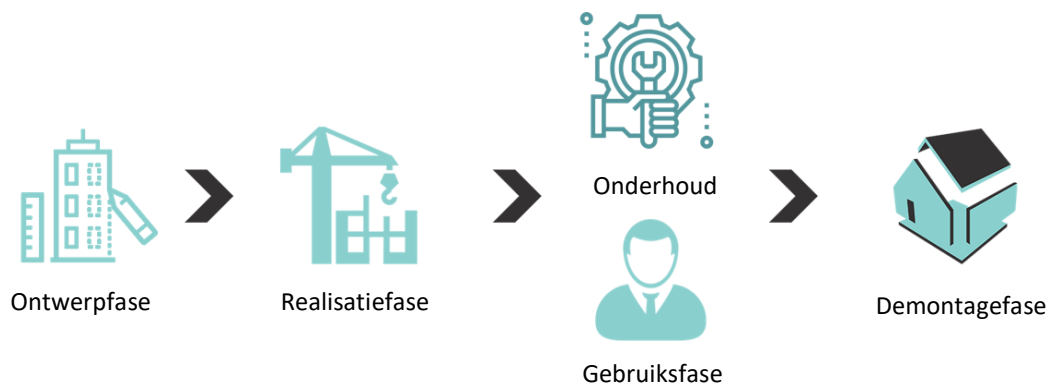
Vorminsluiting	Score
Open, geen insluitingen	1,00
Overlappingsen aan één zijde	0,80
Gesloten aan één kant	0,20
Gesloten aan meerdere kanten	0,10



Figuur 11: **Open, overlapping, gesloten aan één kant en gesloten aan meerdere kanten.**

04.02 Procesmatige factoren

Door rekening te houden met losmaakbaarheid gedurende het ontwikkelproces van een bouwwerk vergroot dit de kans van demontage aan het einde van zijn levensduur. Door de uitwerking en toepassing van de procesmatige losmaakbaarheidsfactoren, waarborgt de opdrachtgever losmaakbaarheid.



Figuur 12: Losmaakbaarheid gedurende het gehele gebouw ontwikkel- en demontageproces.

Procesmatige factoren zijn een additie op de technische factoren toegepast en vallen buiten de meetmethodiek voor het technische aspect van losmaakbaarheid. Ons advies is om de factor “demontage instructies” mee te nemen in de beoordeling van gebouwen.

04.02.01 Demontage instructies

Demontage instructies vereenvoudigen het demontageproces omdat de sloopaannemer vooraf aan een opdracht een demontageplan kan opstellen. Dit vergroot de kans dat van demontage in plaats van sloop. Demontage instructies aan de hand van de technische losmaakbaarheidsfactoren vormen een toevoeging aan het materialenpaspoort, wat voor veel nieuwe bouwprojecten opgesteld wordt. Wij adviseren dat bij het opstellen van demontage instructies minimaal de volgende informatie is opgenomen:

- Overzicht elementen (vier-cijferige NL/SfB codering);
- Losmaakbaarheid per element;
- Type verbinding per element;
- Toegankelijkheid van de verbinding per element;
- Doorkruisingen per element;
- Vorminsluiting per element.

05 MEETMETHODIEK

05.01 Rekenmethodiek losmaakbaarheid elementen

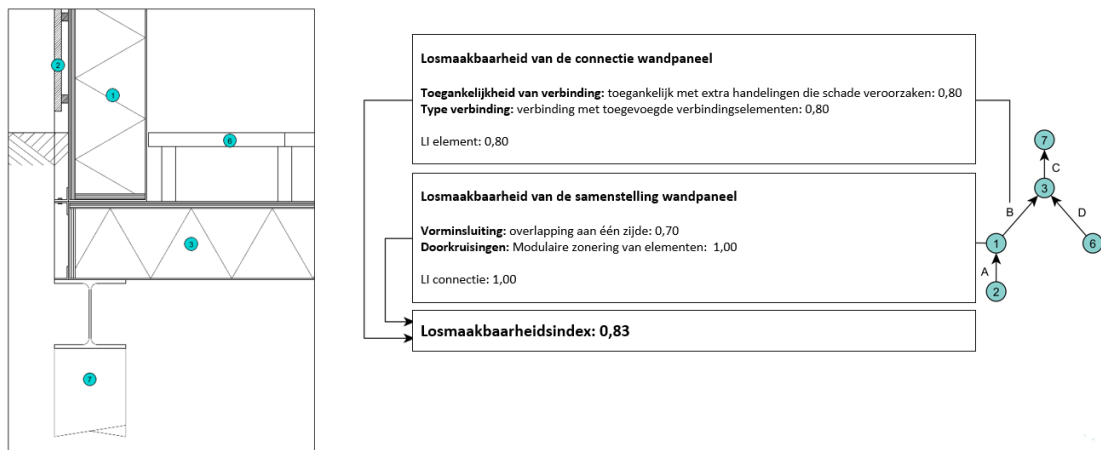
De meetmethodiek voor het bepalen van de losmaakbaarheid van een object bestaat uit de vier technische losmaakbaarheidsfactoren (tabel 6).

Tabel 6: Losmaakbaarheidsfactoren met bijbehorende score. Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft.

Type verbinding		Score
Droge verbinding	Droge verbinding	1,00
	Klikverbinding	1,00
	Klittenbandverbinding	1,00
	Magnetische verbinding	1,00
Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,80
	Veerverbinding	0,80
	Hoekverbindingen	0,80
	Schroefverbinding	0,80
	Verbindingen met toegevoegde verbindingselementen	0,80
Directe integrale verbinding	Pin-verbindingen	0,60
	Spijkerverbinding	0,60
Zachte chemische verbinding	Kitverbinding	0,20
	Schuimverbinding (PUR)	0,20
Harde chemische verbinding	Lijmverbinding	0,10
	Aanstortverbinding	0,10
	Lasverbinding	0,10
	Cementgebonden verbinding	0,10
	Chemische ankers	0,10
	Harde chemische verbinding	0,10
Toegankelijkheid verbinding		Score
Vrij toegankelijk		1,00
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,80
Toegankelijkheid met extra handelingen met herstelbare schade		0,40
Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan objecten		0,10
Doorkruisingen		Score
Modulaire zonering van objecten		1,00
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten		0,40
Volledige integratie van objecten		0,10
Vorminsluiting		Score
Open, geen insluitingen		1,00
Overlappenden aan één zijde		0,80
Gesloten aan één kant		0,20
Gesloten aan meerdere kanten		0,10

Wij maken onderscheid tussen twee type factoren. Factoren beïnvloed door de verbinding tussen objecten en factoren beïnvloed door de samenstelling van objecten. Per element n wordt de

losmaakbaarheidsindex van de connectie LIC en de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling LIS bepaald. Dit vormt samen de losmaakbaarheidsindex van het element LI_n , zie figuur 13.



Figuur 13: **Schematische weergave van de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling en van de connectie.** Aangepast overgenomen uit *Disassembling the steps towards Building Circularity* door van Vliet, M., 2018, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

LIC_n = losmaakbaarheidsindex van de connectie van element n :

- TV_n = type verbinding van element n ;
- ToV_n = toegankelijkheid verbinding van element n .

$$LIC_n = \frac{TV_n + ToV_n}{2}$$

LIS_n = losmaakbaarheidsindex van de samenstelling van element n :

- DK_n = doorkruisingen van element n ;
- VI_n = vorminsluiting van element n .

$$LIS_n = \frac{DK_n + VI_n}{2}$$

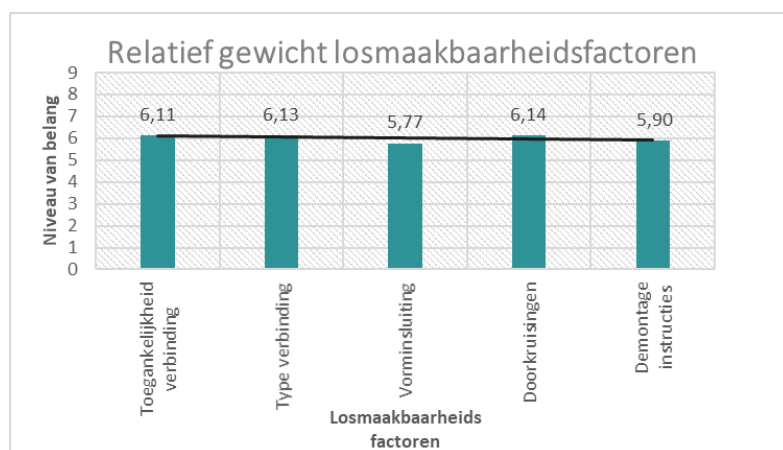
LI_n = losmaakbaarheidsindex van element n .

$$LI_n = \frac{LIC_n + LIS_n}{2}$$

Alle losmaakbaarheidsfactoren zijn even belangrijk in de meetmethodiek voor de losmaakbaarheidsindex van een element. Dit is het resultaat van een onderzoek met 122 respondenten waarin de mate van belang van de losmaakbaarheidsfactoren is getoetst.¹¹ Wij adviseren dit over te nemen in BREEAM-NL en

¹¹ Van Vliet, M. (2018). *Disassembling the steps towards building circularity*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

GPR gebouw. Het is mogelijk om een wegingsfactor toe te kennen aan losmaakbaarheidsfactoren na de validatie van de meetmethodiek.



Figuur 14: Relatief gewicht losmaakbaarheidsfactoren. Aangepast overgenomen uit *Disassembling the steps towards Building Circularity* door van Vliet, M., 2018, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven

Het resultaat is een overzicht met alle elementen (ID1), alle onderliggende elementen (ID2), het resultaat van de losmaakbaarheidsfactoren en de losmaakbaarheidsindex. Zoals weergegeven in figuur 15.

ID 1	Element	ID 2	Element onderliggend	VI	DK	Lis element	TV	ToV	Lic element	LI
41.1.1	Buitenwandbekleding	21.2.1	Wandpaneel	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,80	0,60
43.1.1	Verhoogd vloerstelsel	23.2.1	Vloerpaneel	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,90	0,95
23.2.1	Vloerpaneel	17.1.1	Schroefpaal	1,00	0,80	0,90	0,80	0,80	0,80	0,85
21.2.1	Wandpaneel	23.2.1	Vloerpaneel	0,70	0,80	0,75	0,80	0,80	0,80	0,78

Figuur 15: Rekenvoorbeeld losmaakbaarheid

05.02 Meetmethodiek losmaakbaarheid project

Losmaakbaarheid waarderen binnen BREEAM-NL en GPR gebouw vraagt om een score op projectniveau, terwijl in het bovenstaand rekenmodel alle elementen individueel zijn beoordeeld. Wij adviseren om een normalisatiefactor te hanteren aan de hand van de hoeveelheden (eenheid) om een losmaakbaarheidsindex voor het project te definiëren (LI_p).

De functionele eenheid voor de normalisatiefactor is de MPG score van het element. Hoe hoger de milieu-impact van een element (MPG), hoe groter het aandeel is van het element op de losmaakbaarheidsindex van het project. Hiermee sluit de meetmethodiek voor de losmaakbaarheidsindex aan bij de wet- en regelgeving voor duurzaam bouwen, BREEAM-NL (MAT1) en het onderdeel milieu in GPR gebouw.

De losmaakbaarheidsindex voor het project wordt bepaald door:

LI_p = losmaakbaarheidsindex van het project;

LI_n = losmaakbaarheidsindex van element n ;

MPG_p = MPG van het project;

MPG_n = MPG van element n .

$$LI_p = \frac{1}{MPG_p} \cdot \sum_{i=1}^n MPG_n \cdot LI_n$$

05.03 Waardering losmaakbaarheidsindex

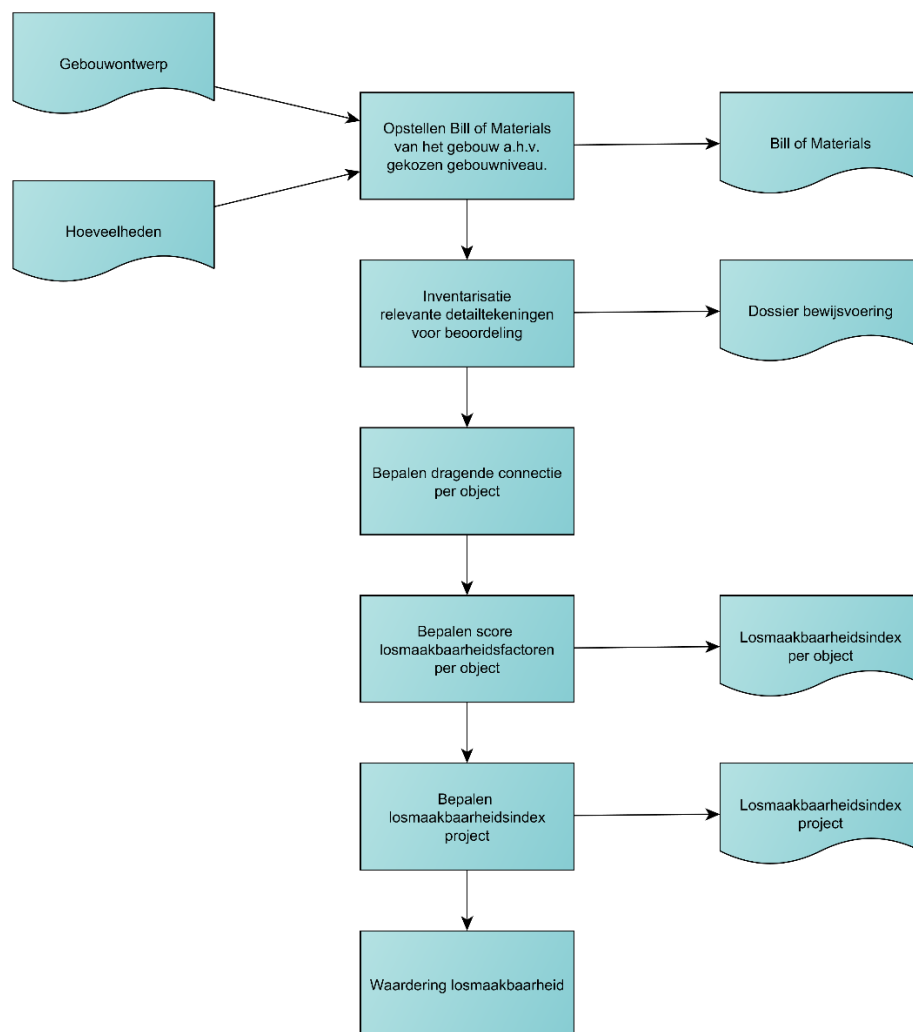
Aan de hand van de losmaakbaarheidsindex bepaalt de punten in GPR gebouw en BREEAM-NL. Ons voorstel voor de mate van losmaakbaarheid is als volgt:

- $LI_p \geq 0,40$ lage losmaakbaarheidsindex;
- $LI_p \geq 0,60$ gemiddelde losmaakbaarheidsindex;
- $LI_p \geq 0,80$ hoge losmaakbaarheidsindex.



05.04 Bepalingsmethodiek losmaakbaarheid

Het bepalen van de losmaakbaarheidsindex vereist een bepaald niveau van technische uitwerking van een gebouw. Wij raden aan om detailtekeningen te hanteren om losmaakbaarheid te beoordelen en om bewijsvoering te leveren. Het volgende stappenplan is opgesteld om losmaakbaarheid van een gebouw te bepalen:



Figuur 16: Stappenplan bepalingsmethodiek losmaakbaarheid

Een Bill of Materials is een lijst met alle objecten op een specifiek gebouwniveau (minimaal op niveau vijf). Vervolgens wordt per object een detailtekening geleverd waarin de verbinding met het (onderliggend) dragend object inzichtelijk is gemaakt. Dit vormt de bewijsvoering voor de losmaakbaarheidsindex.

Aan de hand van de categorische waarden worden de losmaakbaarheidsfactoren per object beoordeeld. Dit leidt tot een losmaakbaarheidsindex per object. De hoeveelheden (kg) zijn benodigd om de losmaakbaarheidsindex van het project te bepalen.

Het resultaat van de waardering voor de losmaakbaarheidsindex van het project bepaalt de waardering voor losmaakbaarheid in BREEAM-NL en GPR gebouw.

06 AANBEVELINGEN

Dit rapport is opgesteld met als doel om een uniforme meetmethodiek vast te stellen om de mate van losmaakbaarheid te bepalen voor BREEAM-NL en GPR gebouw. De meetmethodiek is geschikt om binnen woningbouw- en utiliteitsprojecten en op alle gebouwniveaus in te zetten. Hiermee wordt losmaakbaarheid gerationaliseerd en is er slechts een beperkte mate van subjectiviteit in de bepaling van de losmaakbaarheidsindex.

De verbinding tussen het object en het onderliggend object dat een dragende functie heeft, bepaalt de losmaakbaarheidsindex. Dit betekent dat de meetmethodiek de andere verbindingen, bijvoorbeeld binnen een product, buiten beschouwing laat. Uiteraard is het wel mogelijk om alle verbindingen te beoordelen, echter maakt dit de meetmethodiek op dit moment te complex. Een uitbreiding in de toekomst biedt kansen om losmaakbaarheid integraal in een project te beoordelen door middel van relatiepatronen¹².

De MPG is toegepast als normalisatiefactor voor de losmaakbaarheidsindex van het project. Dit betekent dat de MPG van de het gebouw beschikbaar moet zijn. Bij projecten waar dit niet het geval is zijn twee opties mogelijk om de losmaakbaarheidsindex van het project te bepalen:

- MPG-score gelijk aan 0. Hierdoor telt de losmaakbaarheidsindex van dit object niet mee in de projectbeoordeling;
- Standaard MPG-score van elementen uit een referentieproject hanteren.

In de MPG-beoordelingsmethodiek is geen aandacht voor losmaakbaarheid en valt buiten de afbakening van dit onderzoek. Wij adviseren om de MPG van referentieprojecten te hanteren, omdat bij de eerste optie het risico ontstaat dat alleen positieve scores worden meegeteld in een projectbeoordeling. Dit maakt het opstellen en beheren van MPG-scores van referentieprojecten voor diverse bouwtypologieën noodzakelijk. Een ander discussiepunt is de beperkte beschikbaarheid van MPG-scores van innovatieve (circulaire) materialen, waarbij losmaakbaarheid een belangrijke rol speelt.

Voor de integratie van de losmaakbaarheidsindex in de duurzaamheidsinstrumenten BREEAM-NL en GPR Gebouw adviseren wij om de losmaakbaarheidsindex van het project te hanteren. In de praktijk betekent dat dit van alle aanwezige objecten in een gebouw de losmaakbaarheidsindex moet worden bepaald. In situaties waarin dit onmogelijk of niet realistisch is, adviseren wij om ook voor de losmaakbaarheidsindex een standaard waarde te hanteren.

De standaardwaarde van de losmaakbaarheidsindex kan, net zoals de standaardwaarde voor de MPG, bepaald worden van referentieprojecten. Hiervoor zijn voldoende detailtekeningen nodig die voor bewijsvoering en als voorbeeld kunnen fungeren bij de meetmethodiek voor losmaakbaarheid. Bij traditionele bouwmethodieken is deze waarde relatief laag. Door optimalisaties aan te brengen aan de objecten, waarvoor de losmaakbaarheidsindex is bepaald, verbeterd de losmaakbaarheidsindex van het project. Wij achten het gebruik van SBR-Referentiedetails¹³ kansrijk om te fungeren als referentiedetails voor de duurzaamheidsinstrumenten.

¹² Van Vliet, M. (2018). *Disassembling the steps towards building circularity*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

¹³ ISSO Kennisbank, *SBR-Referentiedetails*



Wij hebben een voorstel gedaan voor drie waarderingen van losmaakbaarheid voor de duurzaamheidsinstrumenten. De scores vallen in een relatief breed spectrum, omdat de meetmethodiek in een beperkt aantal voorbeelden is toegepast. Wij adviseren om ervaring op te doen met de meetmethodiek in pilotprojecten en, waar nodig, deze waardering bij te stellen.

07 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.

