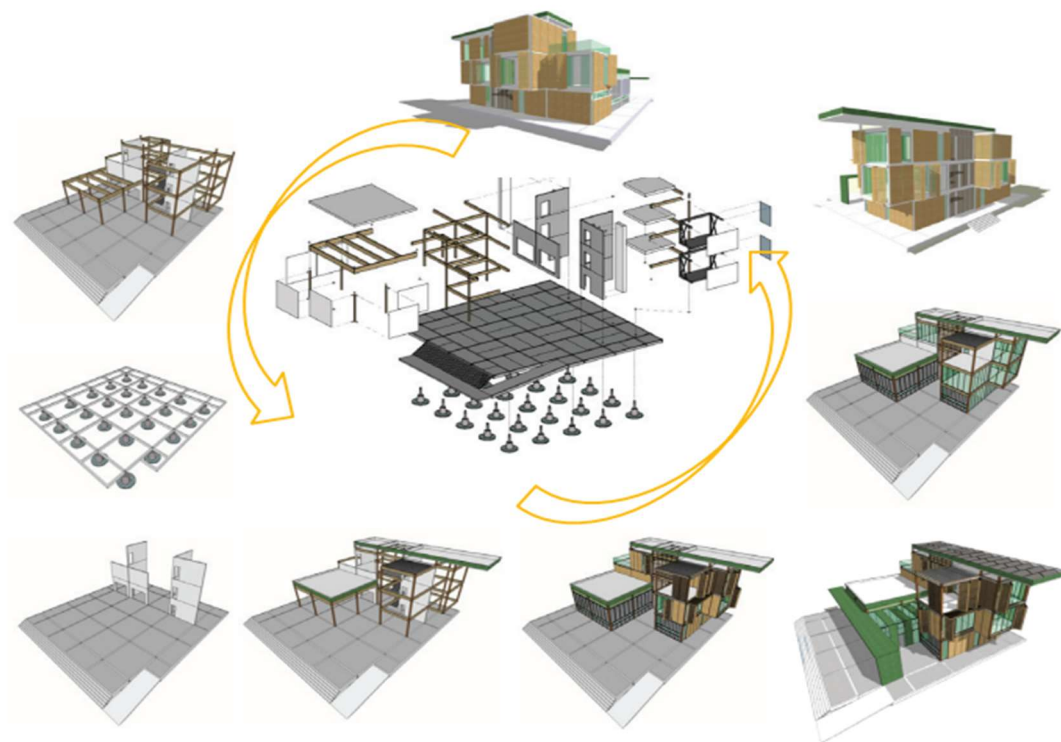


Professionele Bachelor Bouw



DESIGN FOR ASSEMBLY

DE TRANSFORMATIE VAN EEN TRADITIONELE BOUWMETHODE NAAR EEN DEMONTEERBARE METHODE

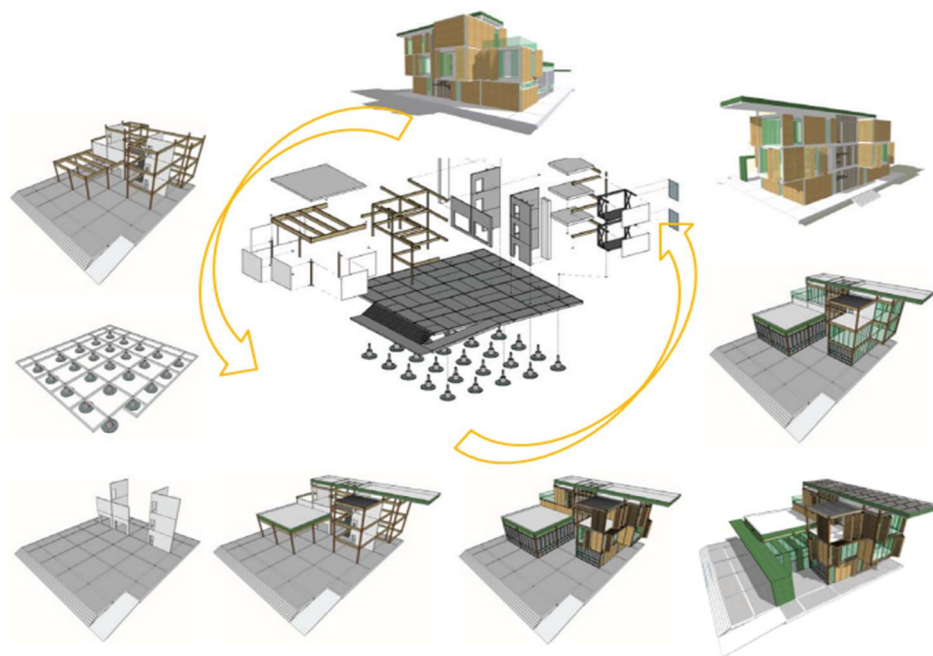
Florian Loosen

Promotoren:

Veerle Custers
Philip Vanmontfort
Heidi Gilis

Expertisecentrum PXL
Hogeschool PXL
Hogeschool PXL

Professionele Bachelor Bouw



DESIGN FOR ASSEMBLY

*DE TRANSFORMATIE VAN EEN TRADITIONELE BOUWMETHODE NAAR EEN
DEMONTTEERBARE METHODE*

Florian Loosen

Promotoren:

Veerle Custers
Philip Vanmontfort
Heidi Gilis

Expertisecentrum PXL
Hogeschool PXL
Hogeschool PXL

De eindverantwoordelijkheid voor deze scriptie rust volledig bij de student zelf. Ook na scriptie- en procesbegeleiding valt het niet uit te sluiten dat de scriptie nog onjuistheden en/of onvolledigheden bevat, die wél bij de eindevaluatie in rekening werden gebracht, maar in de finale versie niet meer werden aangepast.

Voorwoord

Ik ben Florian Loosen, een laatstejaarsstudent Bachelor Bouw van het departement Green & Tech aan de Hogeschool PXL in Diepenbeek. Ik gaf er de voorkeur aan om als keuzerichting te kiezen voor de optie Gebouwen. Dit schrijven is het resultaat van mijn bachelorproef en is tot stand gekomen als de uitwerking van een onderzoek naar demonteerbaarheid dat ik mocht voeren voor mijn stagebedrijf.

Ik kon mijn stage doorlopen aan het Expertisecentrum van de PXL waar ik binnen de onderzoeksgroep 'Circulair Bouwen' mee mocht aansluiten bij het lopende onderzoek: *Hoe kunnen innovaties in de woningbouw bijdragen aan de transitie naar een circulair economisch model in de bouwsector in Vlaanderen?* Deze studie kan gezien worden als een diepgaander onderzoek naar het concept Design for Assembly wat een van de ontwerpcriteria is voor een circulair gebouw.

Ik heb een enorm boeiende stage doorlopen waarin ik veel vrijheid heb gekregen om me op eigen initiatief te verdiepen in de materie van circulair bouwen. Maar alleen sta je nergens daarom wil de hele onderzoeksgroep bedanken voor deze kans en de samenwerking gedurende de stage. Vanaf dag 1 had ik het gevoel deel uit te maken van dit team.

Graag bedankt ik mijn bedrijfspromotor Veerle Custers, hoofdonderzoekster van de onderzoeksgroep 'Circulair bouwen', voor het vertrouwen, de samenwerking en de reflecties gedurende mijn stageperiode. Zij zorgde op tijd en stond voor de nodige reality checks en deed me nadenken over de relevanties voor het werkveld. Ook bedank ik graag architect en onderzoeker Mathias Vankriekelsvenne voor de boeiende samenwerking gedurende deze stageperiode. Hij zorgde voor de nodige inzichten vanuit het perspectief van de architect.

In het bijzonder wil ik mijn PXL-promotor Mr. Vanmontfort bedanken voor het vertrouwen, de steun en het enthousiasme waarmee hij zijn rol als promotor heeft opgenomen. De uitermate boeiende discussies rond circulair bouwen, duurzaamheid en de wereld in het algemeen waren een ware stimulans tijdens dit onderzoek. Hij deed me er ten allen tijde aan herinneren, kritisch te blijven kijken naar dat wat voor me lag.

Tot slot nog graag een dankwoord aan Heidi Gilis die me als onderzoekslector ondersteund heeft in het schrijven van dit onderzoek.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave	2
1 Abstract	4
2 Project Canvas	5
3 Onderzoek	6
3.1 Inleiding	6
3.1.1 De bouwsector in een circulaire economie	6
3.1.2 R-principes	9
3.1.3 EcoDesign	11
3.1.4 Building as a material bank	13
3.1.5 Circulair & duurzaam ontwerp – veranderingsgericht bouwen	15
3.1.5.1 De ruimtelijke transformatie	16
3.1.5.2 De transformatie op materiaal en element niveau	19
3.1.5.3 De structurele transformatie	20
3.1.6 Design for (dis)Assembly	24
3.1.7 Besluit	31
3.2 Methodieken voor samenstelling van fiches	32
3.2.1 Meetmethode losmaakbaarheidspotentieel	33
3.2.1.1 Type verbinding (TV)	34
3.2.1.2 Toegankelijkheid verbinding (ToV)	35
3.2.1.3 Doorkruisingen (DK)	35
3.2.1.4 Randopsluiting (RO)	36
3.2.1.5 Losmaakbaarheidsindex (LI)	37
3.2.2 Hergebruikpotentieel Mother and Child – analyse	38
3.3 Klavertje 4' – een modulair en flexibel bouwconcept	40
3.3.1 Omschrijving case	40
3.3.2 Ontwerpcriteria	40
3.3.3 Traditioneel VS Design for Assembly	42
3.3.3.1 Structure : Paal-en balkmethode	42
3.3.3.2 Vloeropbouw +0	45
3.3.3.3 Buitenwanden	46
3.3.3.4 Tussenvloer +1	47

4	Eindresultaat	48
4.1	Overzichtsfiche elementniveau -CIRCULARITEIT onderzoeksgroep.....	48
4.2	Leeg werkblad	49
4.3	Gebruiksaanwijzing	50
4.4	Overzichtsfiche op Elementsniveau – Losmaakbaarheid.....	52
4.5	Analyse losmaakbaarheid op componentniveau	54
4.6	Overzichtsfiche gebouwniveau	56
4.7	Hergebruikpotentieel – Element : Mother & Child-model	57
5	Beschrijving product.....	59
6	Reflectie.....	61
	Lijst met afkortingen	62
	Bronnenlijst	63
	Lijst met gebruikte afbeeldingen	66
	Bijlagen	68

1 Abstract

Deze studie tracht een inzicht te geven in een bouwmethode met als hoofdcriteria Design for Assembly. Er zal een uitvoeringsmethode besproken worden waarbij de keuze van materialen en systemen bepaald wordt op basis van hun losmaakbaarheid. Ter vergelijking zal er op gelijkaardige manier een traditionele variant uitgewerkt worden die dient als referentiewaarde.

Het opzet van de studie is veranderingen door te voeren die leiden tot een verbetering op gebied van demonteerbaarheid. Deze verbeterde losmaakbaarheid draagt bij aan een eenvoudigere demontage bij herstellingen, aanpassingswerken of selectieve sloop. Bijgevolg kunnen de materialen in de toekomst gemakkelijker hergebruikt worden en dienen er geen nieuwe grondstoffen aangevoerd te worden. Dit kan gezien worden als een strategisch, circulair ontwerpprincipe dat bijdraagt aan een duurzamere samenleving.

In een eerste hoofdstuk wordt het principe van Design for Assembly gekaderd in de ruimere context van de circulaire economie en toegelicht waar dit concept vandaan komt. Daarna wordt er stap voor stap dieper ingegaan op de noodzaak voor demonteerbaar bouwen en de relevantie hiervan voor de bouwsector. Een tweede hoofdstuk beschrijft de methodieken die gedurende het onderzoek gebruikt werden. Enerzijds een meetmethode om de losmaakbaarheid te bepalen en anderzijds het Parent & Child-model dat inzicht verschaft in de onderlinge relatie van de onderdelen en de mogelijkheid tot hergebruik. Vanaf het derde hoofdstuk wordt de case 'Klavertje 4' besproken. Eerst wordt er een algemene introductie van de case zelf gegeven. Daarna worden de verschillende elementen van het 'Klavertje 4' geanalyseerd en geoptimaliseerd in functie van hun losmaakbaarheid aan de hand van de onderzochte methodieken. Vervolgens worden in hoofdstuk vier de resultaten voorgesteld. Dit zijn fiches met daarop een overzicht van het toegepaste systeem, een indicatie van de losmaakbaarheidsindex, het hergebruikpotentieel en welke voor- en nadelen hieraan gekoppeld zijn.

Uit de resultaten blijkt dat het ontwerpprincipe Design for Assembly positief bijdraagt aan de losmaakbaarheid van een gebouw. Deze studie trachtte in de eerste plaats de hoofdelementen van een gebouw te verbeteren zonder al te veel randfactoren in rekening te brengen. Verder onderzoek is dan ook aangeraden zowel naar analyse van bouwknoepen als naar een effectieve uitvoering in de praktijk. De basis is reeds gelegd door van de meetmethodieken een bruikbare tool te maken die zich focust op de daadwerkelijke uitvoering en gebruikt kan worden van ontwerp tot sloop.

Onderzoeksvraag

Hoe kan het klavertje 4 uitgevoerd op traditionele manier, transformeren naar een circulaire variant met het oog op demonteerbare verbindingen en zoveel mogelijk herbruikpotentieel bij mogelijke demontage?

Doel

Wat is de bedoeling van mijn bachelorproef?
Wat wil ik bereiken?

Een vergelijkende studie tussen 'klavertje 4' uitgevoerd op traditionele manier (referentiecasi) en een circulaire variant. Een zoektocht naar een volledig demonteerbare uitvoering die modulair is opgebouwd en gedemonteerd kan worden op een non-destructieve manier.

- Focus op paal-en balkmethode (skeletbouw)

Een realistisch beeld + Inzicht in wat er veranderd per constructieonderdeel als er voor een circulaire oplossing gekozen wordt



Afbakening

Wat omvat mijn bachelorproef?
Wat valt buiten mijn bachelorproef?

- Een theoretisch luik m.b.t. circulair ontwerp, noodzaak & context: Model v. Brand, demonteerbare verbinding, hergebruik - gebouwenpaspoort
- Uitwerking van constructieonderdelen van het 'klavertje 4'.
 - o Toegepast op 1 blad van 'Klavertje 4'
 - o Per circulaire variant informatiepaspoort & dwarsdoorsnede

Geen studie van de fundering van de draagstructuur: te veel randfactoren zijn bepalend
Geen Specifieke uitwerkingen m.b.t. technieken
Geen Prijsvergelijk : te variabel
GEEN LCA-analyse: de detail technisch op materiaalniveau



Succescriteria

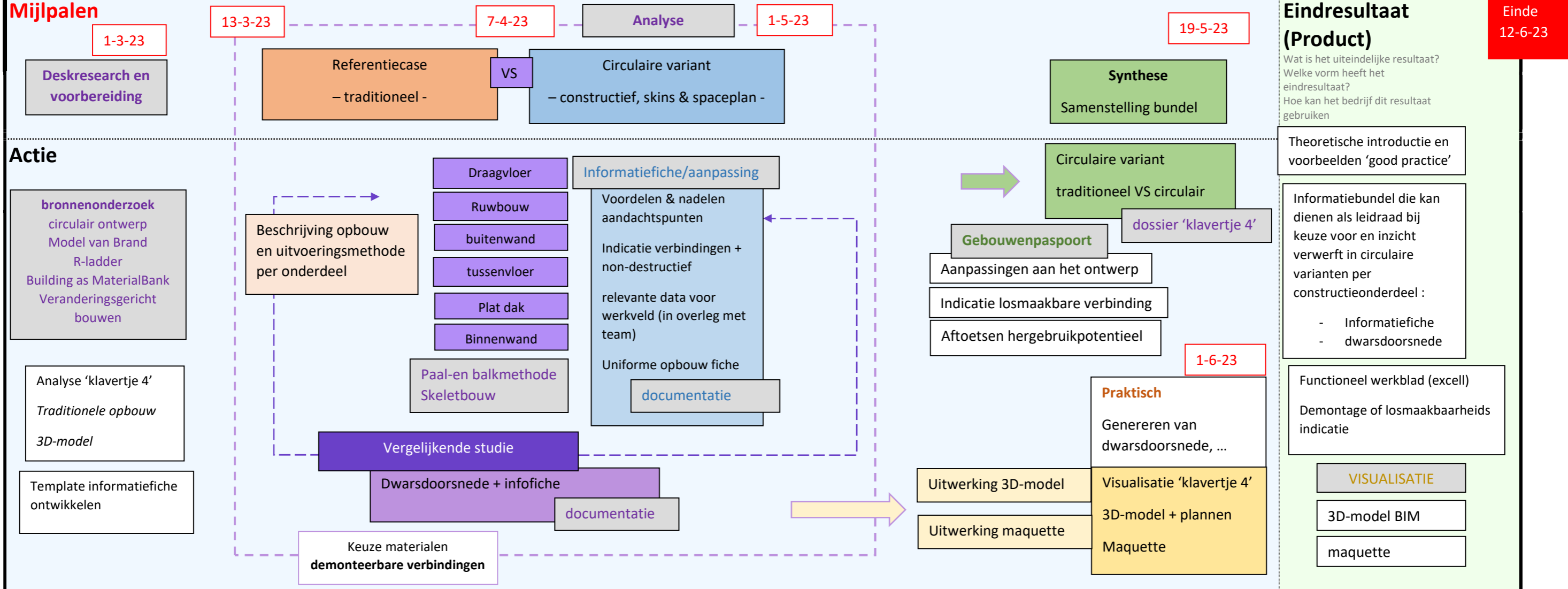
Wat moet ik bereiken om mijn bachelorproef te laten slagen?
Wat zijn de verbeteringen en hoe kan ik deze meten?

- **Demonteerbaarheid:** 70% losmaakbare, non-destructieve verbindingen
- **Losmaakbaarheidindex:** ?
- **Hergebruikpotentieel:** het gebruikte materiaal of systeem: 70% reusable zoniet dan tussen de 90% en 100% recyclage



START
13-2-23

Mijlpalen



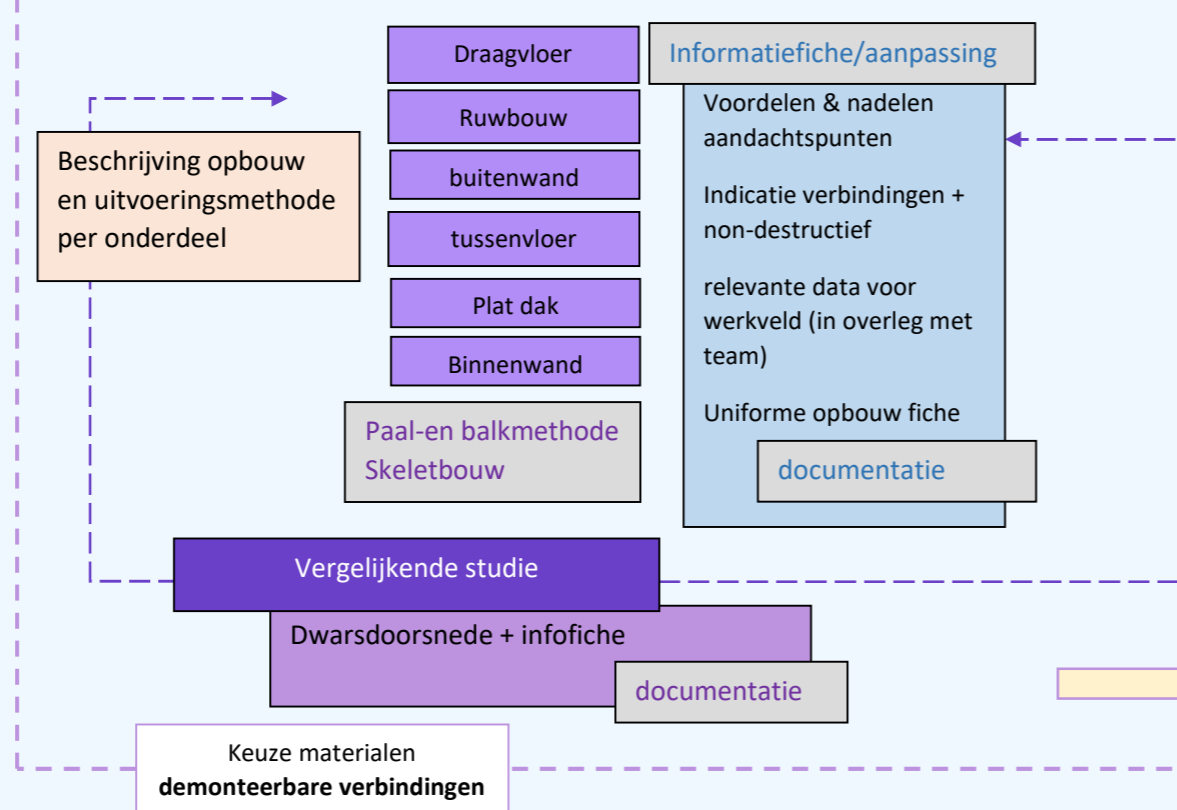
Einde
12-6-23

Actie

bronnenonderzoek
circulair ontwerp
Model van Brand
R-ladder
Building as MaterialBank
Veranderingsgericht bouwen

Analyse 'klavertje 4'
Traditionele opbouw
3D-model

Template informatiefiche ontwikkelen



Achtergrond

Geef een omschrijving van de feiten, kenmerken van de situatie die het startpunt vormen van het project. Wat is de uitgangssituatie, het vertrekpunt?
Geef aan wat er beter kan/gewijzigd wordt/verkeerd loopt, ...

- Circulaire toepassingen worden door fabrikanten in sneltempo ontwikkeld maar voor uitvoerders en aannemers is het niet altijd evident om van al deze mogelijkheden op de hoogte te zijn en hoe hier mee om te springen.
- Binnen de onderzoeksgroep v/h Expertisecentrum PXL wordt gewerkt aan het project Klavertje 4 : Alternatieve circulaire uitvoeringen worden uitgewerkt.
- Steeds meer aanbestedingen hebben 'circulariteit' als vorm van gunningscriteria

Reeds opgedane kennis tijdens excellentieprogramma 'Green Architecture' kan teruggekoppeld worden aan dit dossier in functie van een effectieve uitvoering. Veel Desk-research reeds gebeurd -theorie en praktijkvoorbeelden.

Bronnen

Geef aan welke informatie je vindt (en waar) en/of welke informatie je nog nodig hebt.

- Documentatie reeds verzameld tijdens Excellentieprogramma – Green Architecture
- De 24 ontwerprichtlijnen ; veranderingsgericht bouwen (Ovam)
- Websites: circulair Vlaanderen, Bamb, Ellen McArthur Foundation
- Noodzakelijke info:
 - Diepte-interviews met ervaringsdeskundigen: Architect Sara...Kamp C, Rotor, Aannemer :Marchetta selectieve sloop en hergebruik,

3 Onderzoek

3.1 Inleiding

Het concept van circulariteit raakt steeds meer ingeburgerd in de bouwsector. Van gerecycleerd bouwpuin voor een fundering tot aanpasbare en demonteerbare binnenwanden tot een hergebruikte houten balk. Allemaal circulair maar toch een andere benaderingswijze van het begrip 'circulariteit'. Maar waar zit nu juist het verschil tussen deze verschillende benaderingswijzen en welke krijgt de voorkeur?

Afhankelijk van welke bron je erop na houdt, zal hier een ander antwoord opgegeven worden. Het ruime kader dat geschept is rond circulariteit, geeft dan ook de mogelijkheid om dit vanuit verschillende invalshoeken te benaderen. Het is onmogelijk om binnen deze studie al deze visies te bespreken maar waar iedereen het over eens is, is dat we efficiënter moeten omspringen met de grondstoffen die beschikbaar zijn en deze ook zoveel mogelijk proberen te hergebruiken. En om materialen te kunnen hergebruiken, moeten ze terug beschikbaar gemaakt worden.

En hier zit momenteel het probleem. Er wordt nog maar al te vaak gekozen voor de gekende, traditionele bouwmethodes waarbij alles onherroepelijk aan elkaar verbonden wordt met natte verbindingen. Dit maakt aanpassingen of hergebruik in de toekomst zeer arbeidsintensief of zelfs onmogelijk. Door op een andere manier te verbinden en te ontwerpen, kan dit probleem mogelijk opgelost worden.

Dit onderzoek tracht een inzicht te geven in een bouwmethode met als hoofdcriteria Design for Assembly en dit toegepast op de case het 'Klavertje 4'. Er zal een uitvoeringsmethode besproken worden waarbij de keuze van materialen en systemen bepaald wordt door hun mogelijkheid om gedemonteerd en hergebruikt te worden. Ter vergelijking zal er op gelijkaardige manier een traditionele variant uitgewerkt worden die dient als referentiewaarde. Het opzet van de studie is veranderingen door te voeren aan de traditionele variant die leiden tot een verbetering op het gebied van demonteerbaarheid en dit ook vertaald zien in een beter losmaakbaarheidspotentieel.

Deze specifieke studie kan gekaderd worden binnen een ruimer onderzoek naar circulair bouwen van het expertisecentrum PXL: *Hoe kunnen innovaties in de woningbouw bijdragen aan de transitie naar een circulair economisch model in de bouwsector in Vlaanderen?*

Vooraleer er dieper ingegaan wordt op de strategie van Design for Assembly, is het in eerste instantie belangrijk om dit te kaderen in het grotere geheel van de circulaire economie en welke aanpassingen dit vraagt van de bouwsector.

3.1.1 De bouwsector in een circulaire economie

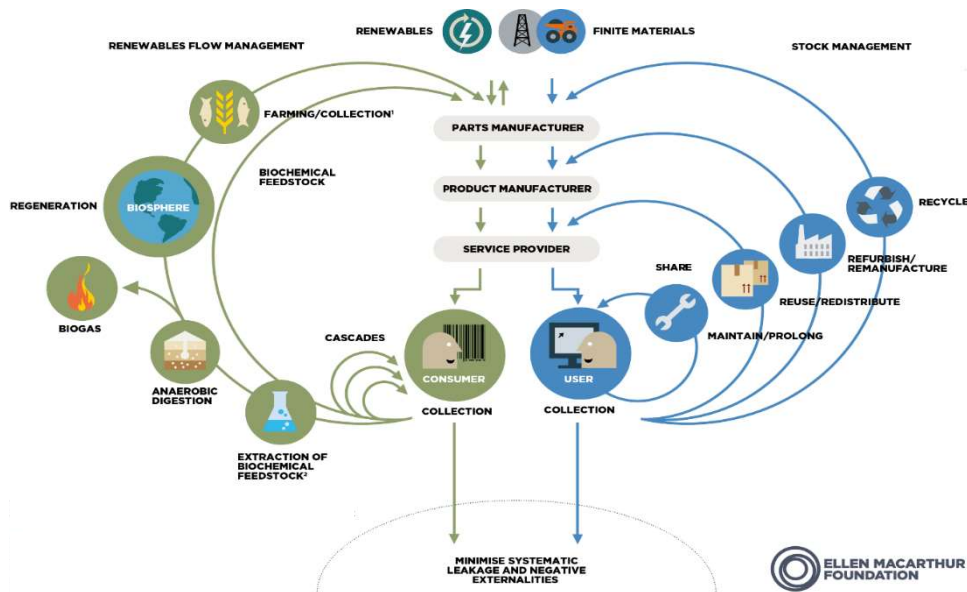
Wanneer een gebouw gebouwd is, is alleen het eindplaatje nog zichtbaar. Mensen zijn zich niet altijd bewust van de hoeveelheid aan materialen en producten die hiervoor nodig zijn. In 2019 was de bouwsector in Europa verantwoordelijk voor 50% van het grondstoffengebruik. Met een bijhorende uitstoot van 40% aan broeikasgassen zoals CO₂ en een derde van het totale watergebruik, is de impact op het milieu niet te onderschatten. [1] Om aan de enorme vraag naar grondstoffen te kunnen voldoen en de bijhorende milieu impact te verminderen, wordt er via circulaire strategieën gezocht naar oplossingen.

Een efficiënter gebruik van grondstoffen en waardenbehoud doorheen hun levensfase, zijn concepten binnen de circulaire economie. De overgang van een lineaire benadering van grondstofgebruik naar een circulaire benadering is ingezet. Afvalproductie wordt zoveel mogelijk vermeden met als doel een duurzamere samenleving en planeet. [2]

Volgens Ellen Macarthur zijn er 3 leidende principes in de circulaire economie [2]:

- Vermijden van afval en vervuiling
- Hergebruiken van producten, materialen en grondstoffen
- Herbronnen en herstellen van de natuur

De circulaire economie gaat er vanuit dat producten, materialen en grondstoffen meerdere malen gebruikt kunnen worden. Liefst op product of systeem niveau en anders op grondstof niveau. De ontginning van nieuwe ruwe grondstoffen vermijden, is dan ook een van de basisdoelstellingen om de uitputting van de aarde tegen te gaan. Het niet opnieuw moeten produceren van materialen leidt tot een vermindering van energie -en grondstoffengebruik en draagt positief bij aan het beperken van de CO2 uitstoot en andere negatieve impacts op het milieu. [3]

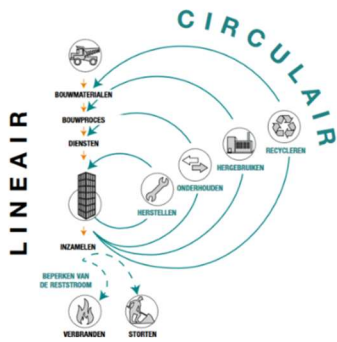


Figuur 1: Butterfly model circulaire economie - Ellen Macarthur Foundation

Het Butterflymodel visualiseert het blijven circuleren van grondstoffen en producten. Hierin kunnen 2 materiaalkringlopen gedefinieerd worden. De groene, biologische kringloop waarin producten na gebruik terug opgenomen kunnen worden in de natuur. En de blauwe, technische kringloop waarin producten worden ontworpen en geproduceerd die hoogwaardig hergebruikt kunnen worden. Deze 2 kringlopen blijven best gescheiden, ook al is dat niet altijd mogelijk. [2]

Zo lang mogelijk blijven circuleren op het niveau van de kleinste loops, vormt de uitdaging. In deze loop is het hergebruik van materialen het meest efficiënt. Pas wanneer hergebruik op dat niveau niet meer mogelijk is, wordt er overgegaan naar de volgende loop. De circulaire economie focust zich op maximale herbruikbaarheid en waardenbehoud. Dit blijven circuleren van grondstoffen is het grote verschil met de huidige benadering van grondstofgebruik waarbij een groot deel van de materialen op het einde verdwijnt uit de economie. [2]

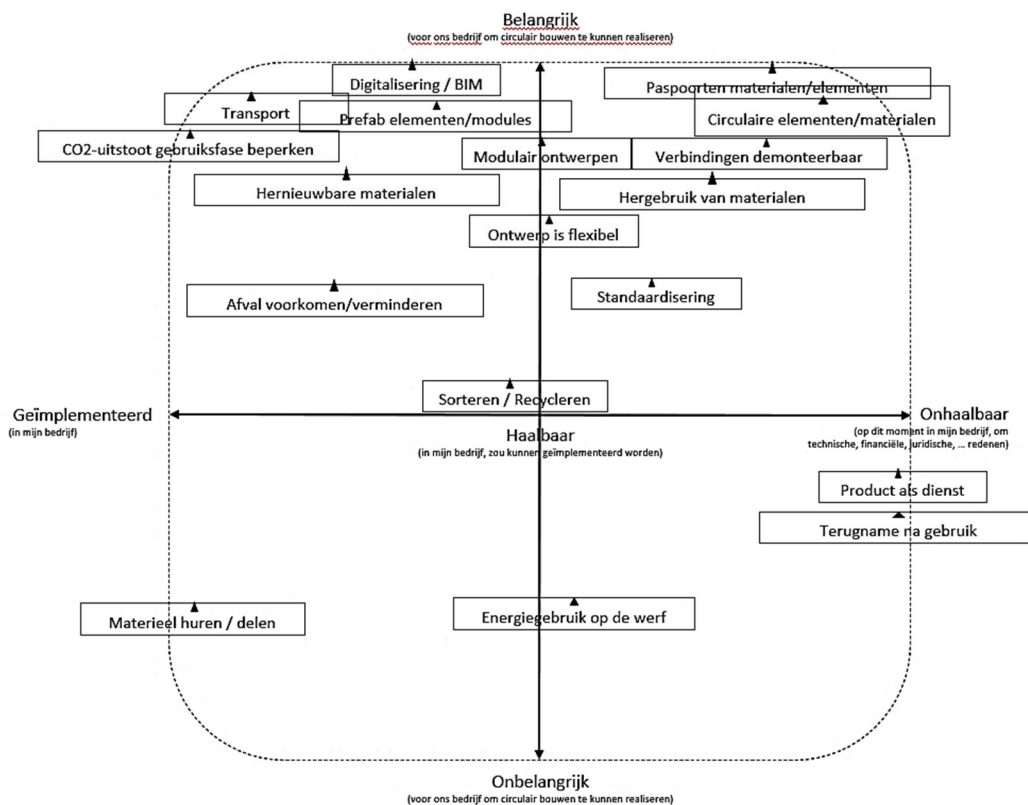
Algemeen kan er gezegd worden dat we momenteel circuleren in de buitenste loop en wordt er voornamelijk ingezet op de laagste vormen van hergebruik namelijk recyclage en recover. In Vlaanderen wordt ongeveer 90% van het bouw- en sloopafval gerecycleerd. De meerderheid van de materialen worden of gerecycleerd in (onder)funderingen of gebruikt voor energierecuperatie via verbranding van afval. [4] Dit is op zichzelf geen slechte strategie in vergelijking met het begraven op stortplaatsen maar de circulaire economie vraagt betere oplossingen.



Figuur 2: circulaire model in de bouwsector (Embuild circulaire) bouwen)

Ook de bouwsector is bezig met een transitie naar een circulair model. Een circulaire bouwconomie tracht economische, sociale en ecologische meerwaarde te creëren of minstens te behouden door zoveel mogelijk materialen, producten en gebouwen in de kringloop te houden. [4] Als we het Butterfly-model projecteren op de bouwsector komt dit overeen met het volgende schema.(zie Figuur 2) Dezelfde loops uit het Butterfly-model zijn hier terug te vinden alleen toegepast op een gebouw.

In 2022 werd er door de onderzoekscel Circulair bouwen van het Expertisecentrum PXL een markstudie gedaan naar circulariteit in de bouw om een inzicht te krijgen in de huidige stand van zaken. Via een cardsorting methode moesten de deelnemers circulaire begrippen sorteren op een matrix en rangschikken op basis van haalbaarheid en belangrijkheid. De groep van stakeholders bestond uit aannemers, architecten, projectontwikkelaars, sociale woningbouwers en facility managers die actief zijn in de Limburgse bouwwereld. Hieruit kwamen enkele knelpunten naar voren zoals circulaire elementen en materialen, demonteerbare verbindingen, standaardisering, materiaalpaspoorten en het hergebruik van materialen. [5]



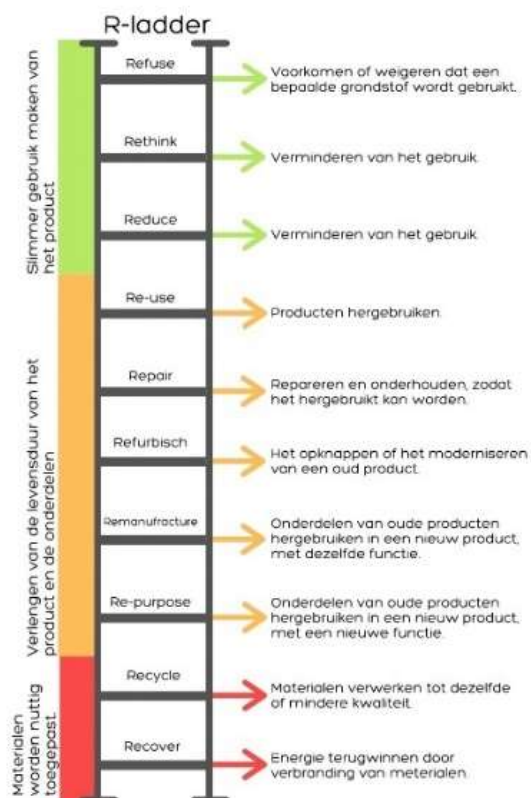
Figuur 3 : resultaat cardsorting 'circulair bouwen in Limburg' (Expertisecentrum PXL)

Dit schrijven kan dan ook best gekaderd worden in het perspectief van een zoektocht naar mogelijke oplossingen voor deze knelpunten. Er zal de focus gelegd worden op een specifiek topic namelijk Design for Assembly wat mogelijk een antwoord kan bieden op een aantal van deze knelpunten. Dit vergt dan ook een andere kijk op het ontwerp en de uitvoering van producten, systemen en gebouwen.

3.1.2 R-principes

Een begrip dat rechtstreeks verbonden is met circulariteit, is de R-ladder. (zie Figuur 4) De R-ladder is een hiërarchische interpretatie van de strategie die gehanteerd wordt voor het mogelijke hergebruik van een grondstof, materiaal, element,... Dit handelt over producten die een einde levensfase bereiken en in normale (lineaire) omstandigheden herleid worden tot afval. Zoveel mogelijk afval vermijden en grondstoffen hergebruiken, is dan ook het doel. Deze kijk op afval komt sterk overeen met de manier waarop er tegenwoordig gekeken wordt naar watergebruik. Eerst zoveel mogelijk hergebruik van water vooraleer het via de riool wordt afgevoerd.

Op het eerste niveau wordt de R-ladder onderverdeeld in 3 hoofdcategorieën die elk verder opgedeeld worden in verschillende strategieën.



Figuur 4 : R-ladder strategieën voor het vermijden van afval in een circulaire economie

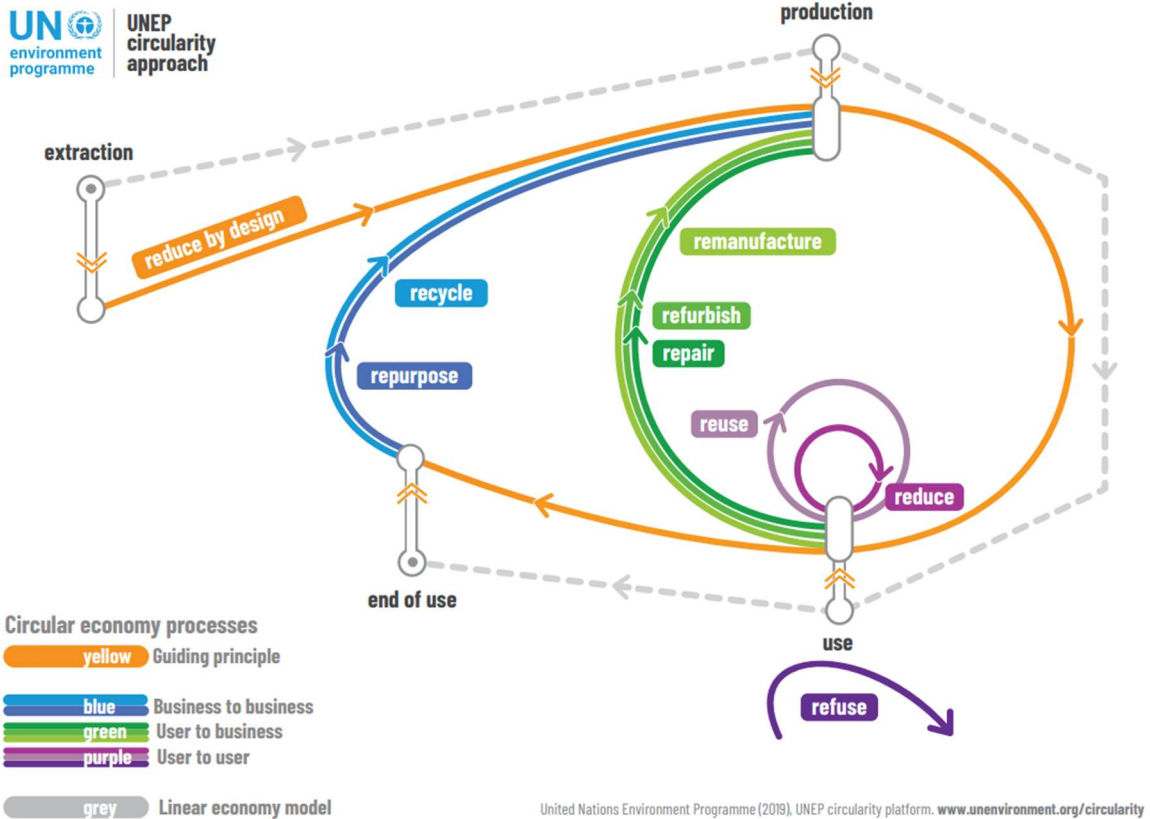
De groene categorie bevat principes die eerder gerelateerd zijn aan de reden van het gebruik van een product. Door in de ontwerpfase na te denken over de noodzaak van het gebruik van een product, kan het zijn dat het gebruik gereduceerd of vermeden kan worden. Is het noodzakelijk dat dit product of materiaal gebruikt wordt?

In de oranje categorie worden er strategieën geformuleerd met het oog op de verlenging van de levensduur van producten m.a.w. het opnieuw in circulatie brengen van de producten en materialen. Dit zijn de loops waar er in het Butterfly-model naar verwezen wordt. Kan het na demontage onmiddellijk hergebruikt worden of moeten er aanpassingen aan gedaan worden of kan het product niet meer gebruikt worden maar wel zodanig ontmanteld worden dat de elementen en componenten kunnen hergebruikt worden?

En het rode deel omvat de mogelijkheden om de grondstoffen van een product alsnog nuttig te gebruiken indien hergebruiken op product niveau niet meer mogelijk is.

Deze strategieën omschrijven mogelijkheden om afval te vermijden en stimuleert het nadenken over een end-of-life scenario. Wanneer er een gebouw wordt gebouwd dan is het gebruik van producten en materialen noodzakelijk. De groene categorie is dan ook minder relevant voor hergebruik van materialen maar heeft eerder betrekking op de impact van het ontwerp. De oranje en rode categorie zijn wel belangrijk voor de verdere verwerking van materialen en grondstoffen.

Al deze R-principes beschrijven mogelijkheden om enerzijds zo min mogelijk nieuwe grondstoffen te gebruiken en anderzijds diegene die vrijkomen zo efficiënt mogelijk te hergebruiken. Wanneer deze principes gekaderd worden in het grotere geheel van de circulaire economie, wordt duidelijk waar de verschillen zitten met het huidige lineaire model. (zie Figuur 5)



Figuur 5 : processen van hergebruik in een circulaire economie (UN environment Program Circularity)

Als leidende principe binnen het circulaire model geldt Reduce by Design. Dit heeft een invloed op alle levensfasen van een product. Het doel is, ontwerpen met zo min mogelijk materialen, het gebruik van grondstoffen die ontgonnen moeten worden verminderen, het verlengen van de levensduur van producten en het vermijden van afval op het einde van de levensfase van een product. Er wordt in dit model een onderscheid gemaakt in 3 stromen waarin de verschillende R-principes gegroepeerd worden. [6]

De paarse stromen beschrijven manier waarop de producten rechtstreeks opnieuw gebruikt kunnen worden. Een hergebruik van gebruiker tot gebruiker, dit komt in feite neer op 2^e hands materialen. Maar ook het in vraag stellen van een effectief gebruik, behoort tot deze categorie.

Bij de groene stromen zijn de producten niet 1 op 1 herbruikbaar maar moeten deze eerst een vorm van herstelling ondergaan. Dit kunnen kleine herstellingen zijn maar ook volledige demontage van een product om daarna opnieuw samen te stellen tot een nieuw product, vallen binnen deze stroom. De materialen hebben m.a.w. nog potentieel om opnieuw gebruikt te kunnen worden en de levensduur van het product kan verlengd worden. Hierbij is er steeds sprake van een circulatie van gebruiker naar producent om dan opnieuw in circulatie gebracht te worden.

De blauwe stromen focussen zich op een end-of-life scenario waarbij er enkel nog gekeken kan worden naar hergebruik op grondstofniveau door bijvoorbeeld een vorm van recyclage toe te passen.

“Circulariteit gaat uit van het technisch ontwerpen, assembleren en produceren van producten die hoogwaardig hergebruik in de toekomst mogelijk maken. De circulaire economie gaat uit van een economisch systeem waarin circulaire producten daadwerkelijk circulair worden gebruikt.” [7]

3.1.3 EcoDesign

“Een duurzaam, ecologisch materiaal bestaat niet! Het gaat over duurzaam gebruik van materialen ... 80% van de milieu impact van een product, wordt bepaald in de ontwerpfase” [8] [9]

K. Van Doorselaer

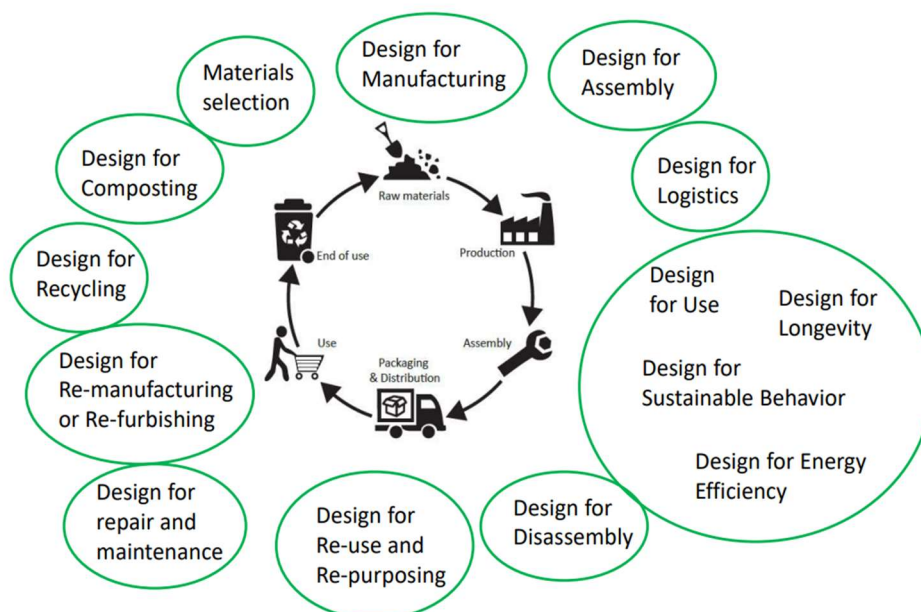
Ecodesign is een concept dat voortkomt uit de wereld van productdesign. Dit zijn ontwerpstrategieën die bedrijven kunnen hanteren om de ecologische impact van hun producten te verminderen. Een belangrijke ontwerprichtlijn is dat er over de volledige levenscyclus van product moet nagedacht worden. [10]

Na analyses van producten die op het stort belanden, bleek dat dit vaak het gevolg was van het niet meer functioneren van een specifiek element en het ontbreken van de mogelijkheid om dit element te vervangen. Dit was te wijten aan een ondoordacht design waarbij er geen rekening gehouden werd met mogelijke herstellingen of eventuele aanpassingen aan het product. Bovendien bleek dat veel verbindingen verlijmd waren zodat het quasi onmogelijk was om onderdelen te kunnen demonteren en eventueel hergebruiken. Met als gevolg dat er veel meer weggegooid werd dan dat er in feite noodzakelijk was. [8]

De gelijkenis met de bouwsector is dan ook treffend. Ook hier is er sprake van verbindingen die niet meer losgemaakt kunnen worden en worden er nog te vaak bruikbare gebouwen, elementen en componenten herleid tot afval. Dit heeft zowel te maken met het ontwerp van het gebouw, de samenstelling van het gebouw en de manier waarop er omgaan wordt met de end-of-life fase.

In Figuur 6 worden de ontwerprichtlijnen omschreven die ervoor zorgen dat er over de volledig levenscyclus van een product wordt nagedacht. Dit wordt ook wel omschreven als Design for X. Zowel Design for assembly als Design for Disassembly zijn ontwerpcriteria waar rekening mee gehouden moet worden. Merk ook op hoeveel van de ontwerprichtlijnen gelinkt zijn aan de R-principes en zich focussen op het end-of-life scenario van een product [8].

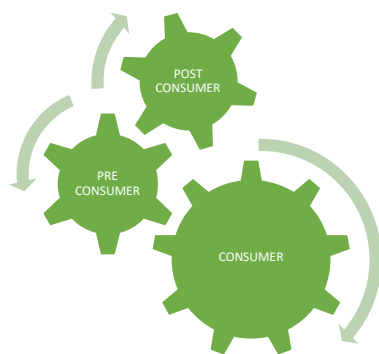
Ecodesign guidelines = Design for X



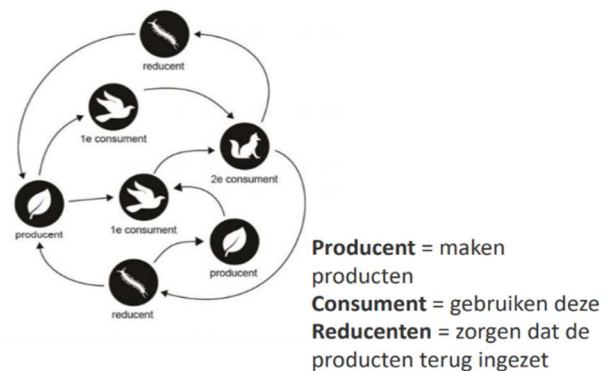
Figuur 6 : Ecodesign ontwerprichtlijnen (presentatie K. Van Doorselaer)

De levenscyclus van een product vanuit het perspectief van de gebruiker

Zonder al te diep in te gaan op het productontwerp zelf, kan een globaal beeld van de levensfase van een product helpen bij het beter begrijpen van wie wanneer een rol kan spelen in de mogelijkheid tot demontage. Een gebouw bestaat uit een combinatie van verschillende materialen en producten die allemaal een zelfde type cyclus doorlopen. En misschien nog belangrijker is het feit dat er in die cyclus de verschillende actoren een invloed hebben op een latere fase in de cyclus. In zo'n levenscyclus kunnen er 3 fases geïdentificeerd worden die elk gekarakteriseerd wordt door een specifiek type van gebruiker. Circulariteit streeft naar een ecosysteem waarin de verschillende gebruikers van grondstoffen op elkaar afgestemd raken en er een symbiose ontstaat. [11]



Figuur 8 : verschillende fase van een product gezien vanuit de positie van de gebruiker



Figuur 8 : Ecosysteem van grondstofgebruik en hun specifieke gebruikers (Circular ontwerpen-Circular Vlaanderen)

In de pre-consumer fase wordt het product ontworpen en gefabriceerd. In het ecosysteem van grondstofgebruik zijn dit producenten. De keuzes van grondstoffen en de samenstelling van een product worden hier bepaald. Waar welke grondstoffen vandaan komen, op welke manier ze tot aan de fabricageplaats komen, hoe gemakkelijk het product kan gedemonteerd of aangepast worden, wat er achteraf met deze producten en grondstoffen kan gebeuren,...allemaal zaken die bepaald worden in deze fase. De ontwerpfase van een product heeft een grote impact op de toepassings- en verwerkingsmogelijkheden in de latere fases.

In de consumer fase wordt het product gebruikt. De consumenten zijn op productniveau zowel de architecten die bepaalde materialen voorschrijven in hun ontwerp als de aannemers die de materialen effectief gebruiken op de werf. Het is in deze fase dat er gewerkt moet worden met de producten die reeds ontworpen en gefabriceerd zijn. In deze fase heeft de consument geen invloed meer op de samenstelling van het product maar kan hij enkel het product gebruiken op de manier waarvoor het ontworpen is. Hier bevindt zich het grootste frame aan mogelijkheden om vanuit uitvoerend perspectief te anticiperen op een mogelijk hergebruik.

In de post consumer fase komen we op het einde van de levenscyclus van een product. Althans het einde van het eerste gebruik. Vanaf hier wordt er gezocht naar mogelijkheden om de producten of de grondstoffen van een product te hergebruiken. De gebruikers van materialen die vrijkomen bij een end-of-life scenario, worden reducenten genoemd.

De mogelijkheid tot hergebruik van de materialen in een gebouw wordt bepaald door de synergie tussen deze 3 fases. De mogelijkheid tot selectief ontmantelen op het einde van een levensfase wordt bepaald door de manier waarop de verschillende producten worden gecombineerd in de gebruiksfase en waarvan het potentieel op hergebruik voor een groot deel bepaald werd in de ontwerpfase bij de fabrikant.

Ecodesign houdt in de ontwerpfase reeds rekening met de volledige levenscyclus van een product en heeft als doel de impact van het product op het milieu zo laag mogelijk te houden. Hierbij wordt er niet enkel gekeken naar de keuze van grondstoffen maar ook naar de functionaliteit en aanpasbaarheid tijdens gebruik. [12]

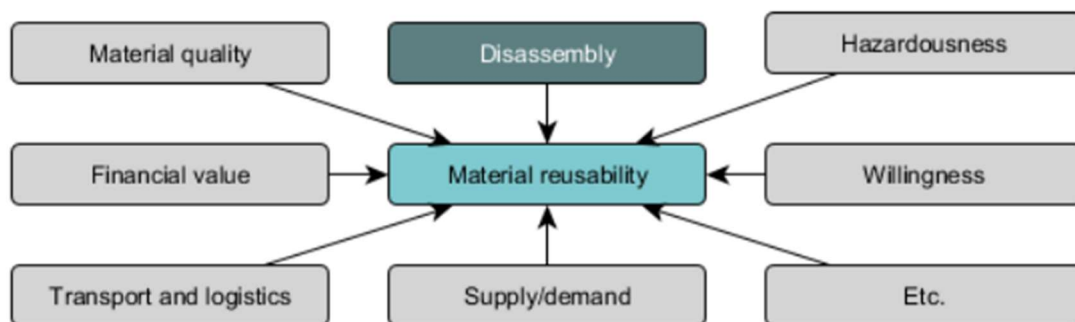
Deze logica kan ook doorgetrokken naar een gebouw waarbij er vanaf het ontwerp reeds rekening gehouden moet worden met mogelijke aanpassingen. Het is aan de aannemer en de architect om te kiezen voor producten die enerzijds gemakkelijk gedemonteerd kunnen worden en anderzijds deze ook effectief zo te monteren dat dit andere producten niet benadeeld. Bij aanpassingswerken is het aan de aannemer om volgens het principe van selectieve sloop, de producten zo efficiënt mogelijk terug in omloop te brengen. Hetzij op productniveau, hetzij op grondstof niveau.

3.1.4 Building as a material bank

“Vastgoed bestaat helemaal niet! Het is ‘losgoed’; alles is immers tijdelijk. Dan ontkom je niet aan grondig nadenken over tweede en derde cycli. ... Dat lukt alleen als je gebouwen ziet als depots waarin je voor bepaalde tijd bouwmaterialen deponeert.” [13] Thomas Rau, architect

Gebouwen zien als metaforische materiaalbanken voor toekomstige projecten. Dit concept is in theorie een logische verderzetting van het idee om materialen en producten meerdere malen te kunnen hergebruiken. Om een gebouw klaar te maken als depot voor de toekomst zijn er een aantal criteria waaraan dit moet voldoen. Enerzijds moet het gebouw aanpasbaar zijn en dit heeft vooral betrekking op het ontwerp en de invulling van het gebouw. Het moet kunnen inspelen op zowel de huidige als de toekomstige noden. Onnodige sloop of leegstand kan zo vermeden worden. Anderzijds moet een gebouw dat gezien wordt als tijdelijke materialenopslag, demonteerbaar zijn. Op die manier kunnen de materialen en elementen uit het gebouw gehaald worden en opnieuw ingezet worden. [11] [14]

In de praktijk blijkt dit hergebruik veel minder evident dan verwacht. Zelfs wanneer gebouwen ontworpen worden volgens het principe van aanpasbaarheid, en ondersteund door het principe van demonteerbare verbindingen, biedt dit geen garantie op hergebruik. Dit komt door een aantal verschillende factoren zoals de toegankelijkheid tot deze producten en bijhorende informatie, de kwaliteit van de producten zelf, de veroudering van de gebruikte modulaire systemen en/of het niet kunnen beantwoorden aan de gewenste technische prestatie-eisen. [15] [16]



Figuur 9: Disassembly als factor voor materiaalhergebruik (Disassembling the steps towards Building Circularity)

Een bijkomende factor die niet rechtstreeks gerelateerd is aan een demonteerbare uitvoering maar wel bepalend is, is de markt zelf. De vraag en het aanbod binnen een bepaalde regio en binnen een bepaald tijds kader zijn onvoldoende of zelfs helemaal niet op elkaar afgestemd. Dit brengt andere problemen met zich mee zoals het economische rendement dat hieraan gekoppeld kan worden en de mogelijke extra kosten voor een tijdelijke stockageplaats. [15]

Om een antwoord te bieden op deze problematieken zijn er aantal initiatieven die hier trachten verbetering in te brengen. Zo ontstaan er steeds meer materiaalhubs waar gedemonteerde materialen verzameld worden en terug aangeboden worden op de tweedehands markt [4]. In Brussel bestaat er Rotor, een bedrijf dat zich focust op de selectieve ontmanteling van gebouwen en deze bouwmaterialen opnieuw aanbiedt. In Mechelen is er Recuplan dat zich focust op de recuperatie van hout. Dit zijn vaak lokale initiatieven die zich situeren rondom grootsteden waar de input het grootste is.

Er ontstaan nieuwe vormen van businessmodellen zoals Product-as-a-service waarbij de fabrikant eigenaar blijft van het product. De producent heeft er dus alle baat bij om dit zo efficiënt mogelijk te ontwerpen en produceren zodat lange levensduur, herstellingen en hergebruik gegarandeerd kunnen worden. De gebruiker is niet langer verantwoordelijk voor iets waar hij geen verstand van heeft maar de verantwoordelijkheid wordt gelegd bij de maker. [17]

Een ander initiatief is het gebouwenpaspoort. De bedoeling is dat elk gebouw een gebouwenpaspoort heeft dat op zichzelf bestaat uit materiaalpaspoorten. Hierin wordt alle relevante informatie over de gebruikte producten en materialen weergegeven en bij voorkeur rechtstreeks gelinkt aan een BIM-model. Deze paspoorten verwerven inzicht in de gebruikte materialen, de hoeveelheden en hun positie in het gebouw, hun samenstelling en technische specificaties, demontage instructies en mogelijke verwerking. [18] [14] Madaster is hier een mooi voorbeeld van en wordt beetje bij beetje uitgerold in de verschillende Europese landen. Madaster gaat zelfs verder door op basis van de gebruikte materialen een restwaarde aan een gebouw te koppelen, afgestemd op de locatie waar het gebouw zich bevindt. [19]

Veel van deze informatie is in principe ook beschikbaar in een as-built dossier. Deze paspoorten zijn een middel om alle data over een gebouw ten allen tijde up-to-date te houden, om snel inzicht te krijgen in de samenstelling van gebouw zodat onderhoud, herstellingen of demontage vergemakkelijkt wordt. Als deze paspoorten dan toegankelijk gemaakt worden op een digitaal platform kunnen ontwerpers en architecten in hun ontwerp anticiperen op de materiaalstromen die in de toekomst zullen vrijkomen. [18]

Dit zijn maar enkele initiatieven die vanuit het circulair perspectief bijdragen tot een efficiënter (her)gebruik van grondstoffen en producten. Om dit hergebruik te stimuleren, wordt er in een ontwerp best rekening gehouden met de aanpasbaarheid en de demonteerbaarheid. Bij de overgang naar een circulair model draait het niet alleen om nuttig gebruik te kunnen maken van grondstoffen, componenten en producten die hun levens einde bereiken maar ook over de manier waarop deze ontworpen, vervaardigd en toegepast worden. [15]

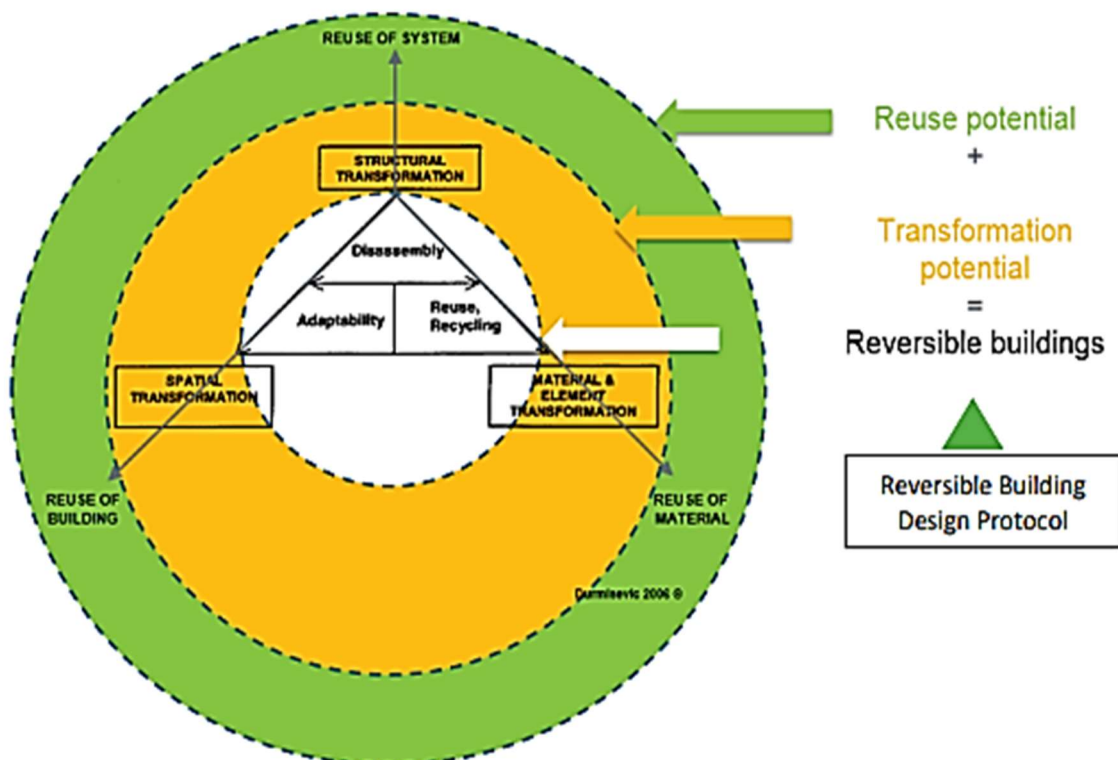
En dat is waar het concept Design for Assembly zijn meerwaarde krijgt. Zorgen dat we meerdere malen hetzelfde product kunnen gebruiken door ze eenvoudig te kunnen transformeren, demonteren, recyclen en recupereren. Hoe Design for Assembly een rol speelt in het productontwerp kwam reeds aanbod bij het thema Ecodesign. Waarom producten beter hergebruikt worden en er de voorkeur gegeven wordt aan demonteerbaar bouwen, kan gekaderd worden in de context van de transitie naar een circulaire economie waarbij we gebouwen zien als tijdelijke materiaalopslagplaatsen. Maar hoe vertaalt zich dit nu in een ontwerp van een gebouw? Producten maken die demonteerbaar zijn is 1 ding. Maar een gebouw bestaat uit zoveel producten en materialen die gecombineerd moeten worden tot 1 functioneel geheel. Ook hiervoor bestaan er richtlijnen die het best omschreven worden als veranderingsgericht bouwen.

3.1.5 Circulair & duurzaam ontwerp – veranderingsgericht bouwen

Een veranderingsgericht gebouw bestaat uit een ontwerp met een hoge graad aan transformeerbaarheid en een hoog hergebruikpotentieel van materialen en elementen. Dit kan omschreven worden als een omkeerbare bouwmethode. [20]

Omkeerbaarheid : “Het vermogen terug te kunnen worden veranderd naar een vorige staat of toestand; de eigenschap niet onherroepelijk permanent te zijn.” [21]

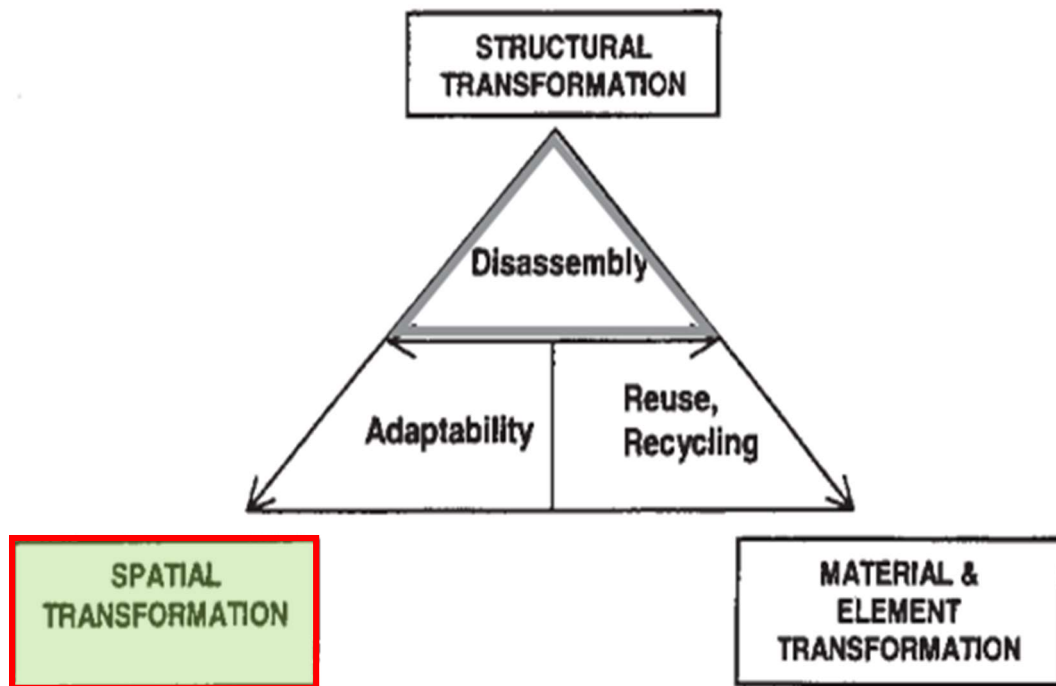
Op gebouwniveau kan dit gezien worden als de mogelijkheid om alle verschillende onderdelen waaruit een gebouw bestaat terug los te kunnen maken. Wanneer er gesproken wordt over een omkeerbare verbinding wil dit zeggen dat hetgene dat bevestigd is ook terug losgemaakt kan worden.



Figuur 10: Reversible Building Design Protocol (Design strategies for Reversible Buildings - E. Durmisevic)

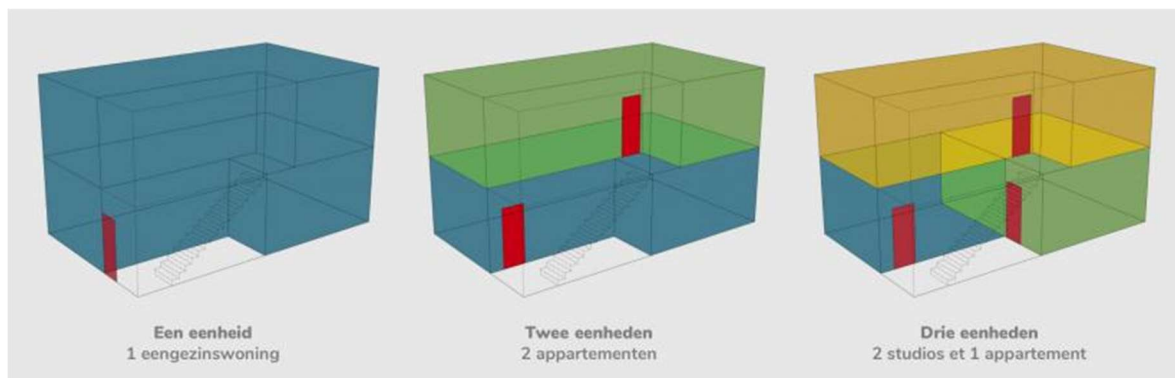
De relatie tussen transformeerbaarheid en hergebruikpotentieel komt tot uiting in het schema van Figuur 10 en vormt de richtlijn voor een omkeerbare bouwmethode. Omkeerbaarheid vraagt een aanpasbaarheid doorheen de tijd. Zowel hergebruikpotentieel als transformeerbaarheid zijn maatstaven voor de omkeerbaarheid. De transformeerbaarheid laat zich gelden in drie dimensies die allen bijdrage tot een groter hergebruikpotentieel. De ruimtelijke transformatie zorgt voor aanpasbaarheid en hergebruik op het niveau van een gebouw. De structurele transformatie focust zich op het niveau van systemen en elementen. En de transformatie van materialen en elementen legt de focus, zoals de term al doet vermoeden, op de materialen zelf. Om de transformeerbaarheid van deze 3 dimensies zo hoog mogelijk te houden, blijkt demonteerbaarheid de gemeenschappelijke factor te zijn en heeft dan ook een invloed op alle 3 de dimensies. [20] [22]

3.1.5.1 De ruimtelijke transformatie



Figuur 11: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure

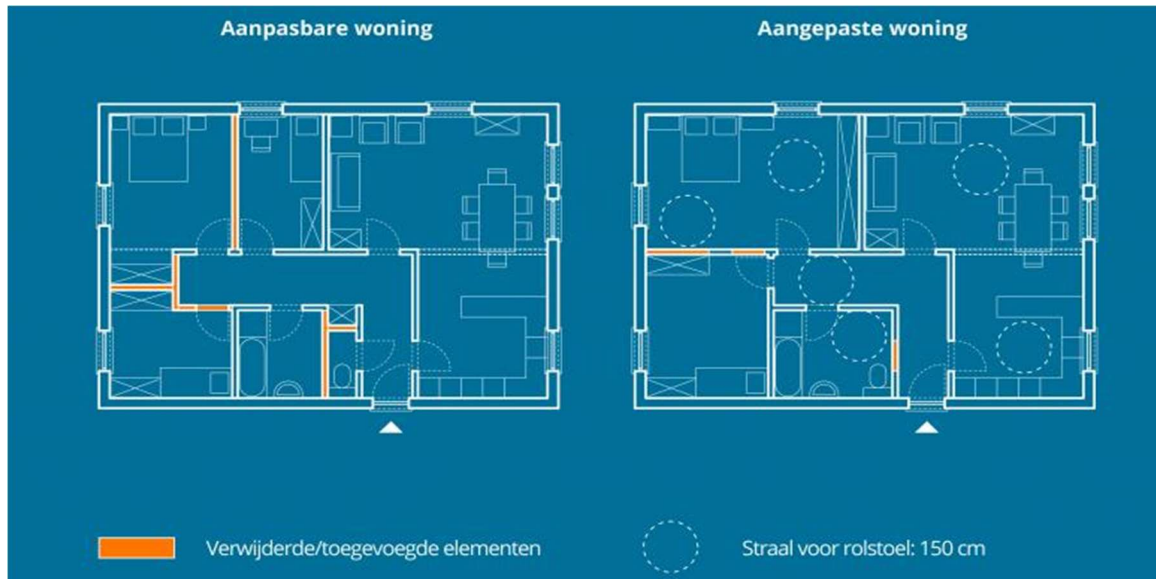
De ruimtelijke dimensie van transformatie wordt omschreven als het vermogen om verschillende functies te vervullen doorheen de levensduur van een gebouw zonder dat hiervoor belangrijke structurele ingrepen of afbraakwerken noodzakelijk zijn. En bij voorkeur zonder dat hier onnodig bouwafval bij ontstaat. Deze strategie focust zich vooral op de verlenging van de levensduur van een gebouw. Zo kan het gebouw anticiperen op de wensen van het toekomstige gebruik met zijn specifieke bezetting en eventuele uitbreidingen. [20] [23]



Figuur 12: Ruimtelijke omkeerbaarheid – transformatie op gebouwniveau (Gids duurzame gebouwen)

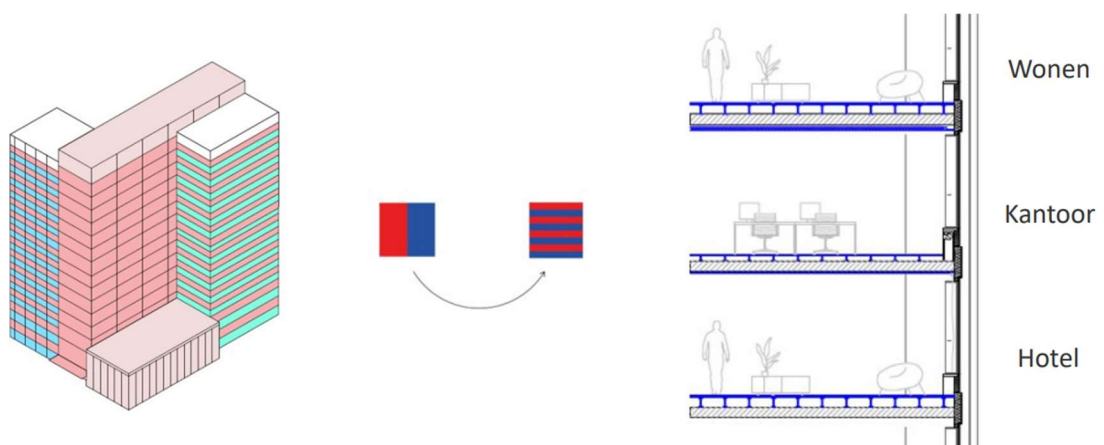
Kan het gebouw, indien noodzakelijk, gemakkelijk aangepast worden om er een andere invulling aan te geven? Dit is vooral van toepassing bij kantoorgebouwen of publieke gebouwen. Door bij het ontwerp reeds rekening te houden met verschillende gebruiksscenario's kan er rekening gehouden worden met mogelijk toekomstige aanpassingen aan het gebouw. Bij woningen zal het gebruik naar alle waarschijnlijkheid altijd hetzelfde blijven namelijk wonen maar afhankelijk van de noden van de gebruiker kan een mogelijke transformatie wel noodzakelijk zijn. Denk maar aan het opsplitsen of uitbreiden van een woningen naar meerdere wooneenheden zoals te zien is op Figuur 12. [23]

Een andere mogelijkheid is de noodzaak om een woning te transformeren naar een rolstoeltoegankelijke woning zoals te zien op Figuur 13. In dit geval moeten de binnenwanden gemakkelijk aanpasbaar zijn. Als deze muren een dragende functie vervullen, zal een aanpassing veel moeilijker zijn dan dat wanneer er met niet-dragende demonteerbare wanden gewerkt wordt.



Figuur 13: Ruimtelijke omkeerbaarheid - transformatie van de binneninrichting (Gids Duurzame gebouwen)

Een ander hulpmiddel is het ontwerpen volgens een “zebraconcept”. Hier wordt er in de ontwerpfase al rekening gehouden met een andere functie die aan het gebouw of een deel van het gebouw gegeven wordt. De structuur blijft behouden maar de invulling en functie van de ruimte verandert in functie van het gebruik. Figuur 14 laat zien dat de vloeropbouw kan verschillen naargelang de invulling die er aan een ruimte gegeven wordt. Er wordt ook de voorkeur gegeven om aan een gebouw meerdere invullingen te geven, het zogenaamde zebraconcept in plaats van een gebouw te ontwerpen dat enkel gericht is op 1 mogelijke functie. [11]

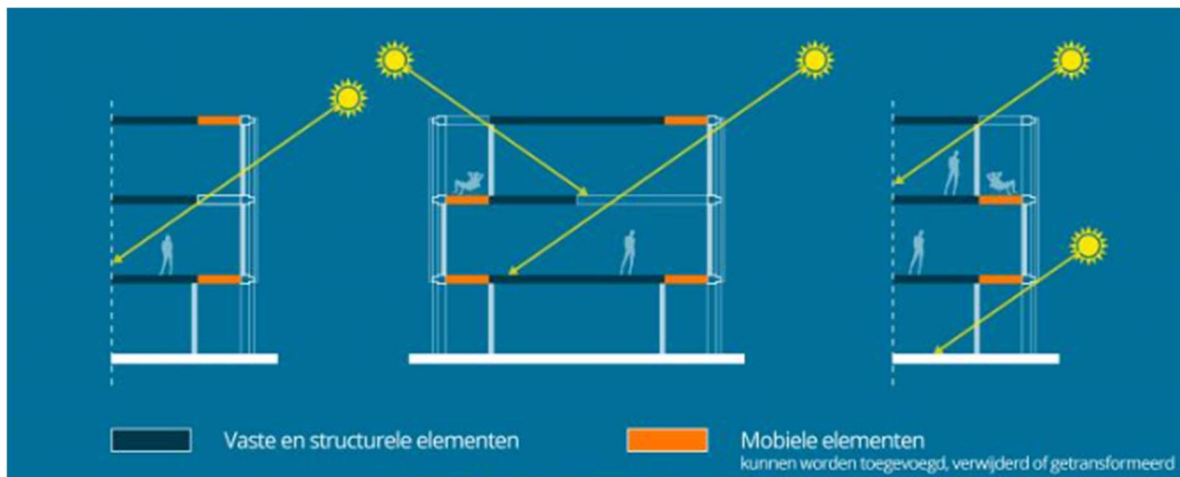


Figuur 14: het Zebraconcept -veranderingsgericht ontwerp (Circular Vlaanderen, circulair ontwerp)

Door vanaf het begin met deze opties rekening te houden, kan een gebouw beter gedimensioneerd worden om aan meerdere invullingen tegemoet te kunnen komen. Het rekening houden met meerdere scenario's kan bijdragen aan een beter en langer gebruik van gebouwen zodat leegstand of afbraak vermeden kan worden.

Het anticiperen op deze veranderingen en de mogelijke eisen die zo'n verandering met zich meebrengen, geven een gebouw een veel groter transformatiepotentieel. Om het transformatiepotentieel zo groot mogelijk te maken, zijn er een aantal parameters waarmee rekening gehouden kan worden in het ontwerp.

De afmetingen: hierbij zijn de dimensionering van de structuur en de overspanningen van lege ruimtes belangrijk want deze zullen doorheen de levensfase altijd hetzelfde blijven. Ook dient er rekening gehouden worden met de verhouding tussen de diepte van een woning en de hoogte van een verdieping. Deze verhoudingen hebben een invloed op de kwaliteit van de ruimte, de natuurlijke lichtinval en de ruimtelijke flexibiliteit. Het aanpasbaar maken van de delen van de structuur die het meest naar buiten liggen, vergroot het aanpassingsvermogen [20] [23]



Figuur 15 : aanpasbare elementen aan de buitenzijde van de structuur vergroten de aanpasbaarheid (Gids duurzame gebouwen)

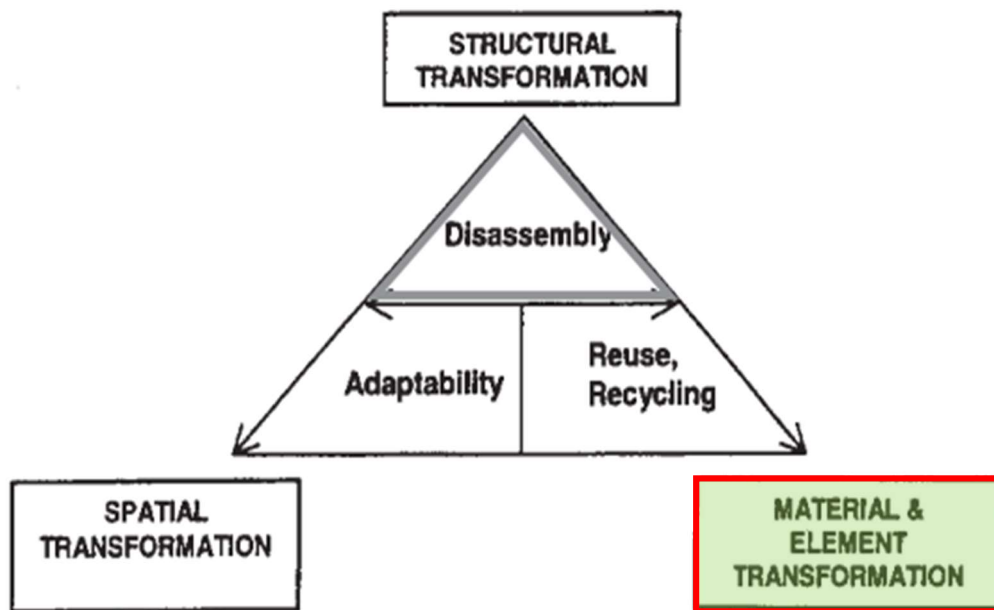
De positie van de vaste kernen: de vaste kernen groeperen zorgt ervoor dat deze een mogelijke transformatie niet in de weg staan. De draagstructuur en circulatiezones maar ook het trappenhuis, de liften en de technische kokers zijn hierbij belangrijk. Een balk- en kolomstructuur aangevuld met niet-dragende wanden biedt bijvoorbeeld meer ruimtelijke flexibiliteit dan structurele dwarsmuren. [23]

Het vermogen van de structuur: De draagcapaciteit van de structuur kan ontworpen worden om rekening te houden met zowel verticale als horizontale uitbreidingen. Zeker de verticale uitbreidingen zorgen voor een extra belasting op de onderliggende structuur. Hiermee rekening houden, zorgt ervoor dat de draagstructuur moet overgedimensioneerd worden om te kunnen anticiperen op mogelijke extra belastingen in de toekomst.

Bovendien brengt elke functionele verandering een andere vorm van belasting met zich mee. Het draagvermogen van vloeren in woningen is anders dan dat van kantoren en publieke gebouwen. Voor woningen moet er rekening gehouden worden met 2kN/m^2 , voor kantoren met $3,5\text{kN/m}^2$ en voor publieke gebouwen 5kN/m^2 . [23]

Demontage: elementen afbreken die in principe niets te maken hebben met de transformatie moet vermeden worden. De onafhankelijkheid van de verschillende gebouwelementen draagt hiertoe bij. Zowel de gevel, de vloer, het dak, de scheidingswanden en de diensten onafhankelijk van elkaar verbinden met de structuur, vormen hierin een uitdaging. Zo kan een gebouw transformeren zonder dat andere functionele delen beïnvloedt worden. [23] Daarom wordt er best gebouwd in lagen maar meer hierover in 3.1.5.3 De structurele transformatie.

3.1.5.2 De transformatie op materiaal en element niveau



Figuur 16: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure

Deze dimensie van transformatie heeft betrekking op de verwerking van de materialen bij een end-of-life scenario. In deze dimensie wordt er vanuit gegaan dat het element of product niet meer hersteld kan worden. Het kan enkel nog gebruikt worden als grondstof voor mogelijke andere producten of toepassingen. Vandaar dat deze dimensie van transformatie gekenmerkt wordt door reuse en recycling.

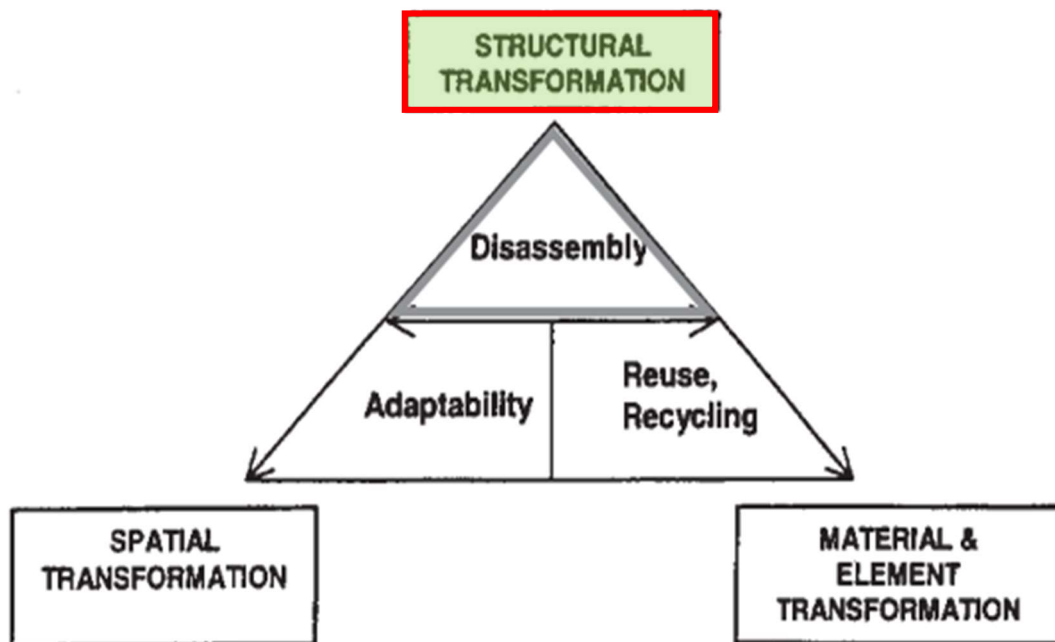
Een van de eisen om efficiënt hergebruik te kunnen maken van grondstoffen en componenten, is dat de producten gemakkelijk en efficiënt demonteerbaar zijn zodat ze van elkaar gescheiden kunnen worden. De materiaal- en verbindingskeuze die aan het begin gemaakt worden, hebben hier dan ook een doorslaggevende rol. De materialen die gebruikt zijn, zouden of op de een of andere manier terug hun weg vinden in de economie. Daarom is het leidend principe van ecodesign, het nadenken over de volledige cyclus van een product. [12]

De verantwoordelijkheid ligt dan ook voor een groot deel bij de fabrikanten van de producten. Het productontwerp moet garanderen dat de verschillende componenten en onderdelen indien nodig vervangen, ergens anders hergebruikt of als pure materiaalstromen gerecycleerd kunnen worden.

Volgens de R-principes (zie 3.1.2) is een zo efficiënt mogelijke vorm van hergebruik, het doel. Het rechtstreeks hergebruiken van onderdelen in een zelfde of andere toepassing heeft de voorkeur op recycleren. Dit kan mogelijk in een totaal ander product of zelfs sector zijn.

Als zelfs de componenten niet meer hergebruikt kunnen worden, is recyclage nog de enige manier van hergebruik. Recyclage zorgt ervoor dat de grondstoffen opnieuw in circulatie gebracht kunnen worden. Dit is weliswaar de laagste vorm van hergebruik maar wel de meest realistische wanneer een materiaal of element niet meer bruikbaar is. Als er verder geen enkel vorm van hergebruik mogelijk is, kan er alsnog voor gekozen worden om de producten te verbranden zodat er een vorm van energierecuperatie tegenover staat.

3.1.5.3 De structurele transformatie



Figuur 17: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure

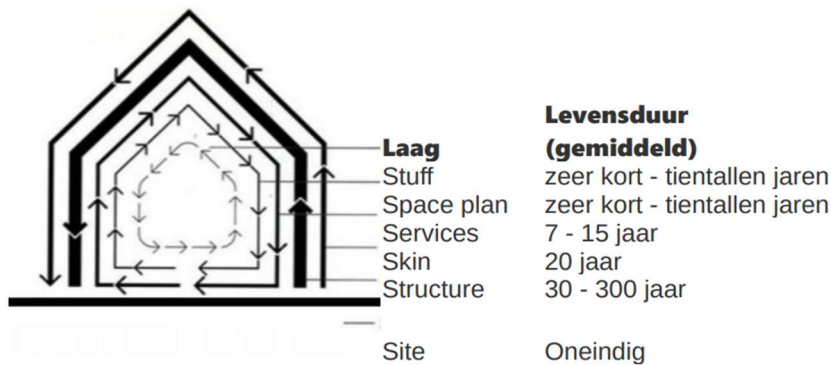
De structurele dimensie van transformatie gaat over de aanpasbaarheid van de gebouwelementen tijdens het gebruik. Kunnen de verschillende gebouwcomponenten gemakkelijk hersteld, vervangen of aangepast worden. En kan dit gebeuren op basis van gebouwcomponenten die enerzijds gemakkelijk te demonteren zijn en anderzijds hergebruikt kunnen worden. De structurele transformatie streeft naar een demonteerbaarheid van de materialen en elementen onderling m.a.w. in hun compositie en samenstelling in het gebouw. In de uitvoering kunnen best zoveel mogelijk demonteerbare verbindingen gebruikt worden zodat deze producten effectief van elkaar te scheiden zijn.

“ The aim of sustainable design should be a design of transformable building structures made of components assembled in a systematic order suitable for maintenance and replaceability of single parts.” [22]

Een transformeerbaar of aanpasbaar gebouw wordt gerealiseerd door het samenstellen van componenten op een geordende en gestructureerde manier. Een model dat als leidraad kan dienen voor dit structureren, is het model van Brand. Dit model is afgestemd op de verwachte levensduur van de verschillende componenten en groepeert producten met dezelfde verwachte levensduur in lagen. Er wordt vanuit gegaan dat sommige producten in een levensfase van een gebouw sneller aan vervanging toe zijn dan andere. Dit kan zowel te maken hebben met de materiaaleigenschappen van de producten maar ook met de wensen van de gebruiker. [24]

De verwachte levensduur is voor interpretatie vatbaar en afhankelijk van het type materiaal, het type gebouw en de gebruiker kan deze levensduur verschillen. Een keramische tegel kan in principe langer gebruikt worden dan een vinylvloerbekleding. Een kantoorgebouw zal sneller veranderingen ondergaan dan een standaard woning. Sommige gebruikers willen elke 5 jaar een andere binnenafwerking terwijl andere misschien pas om de 15 jaar een aanpassing doen. Kortom dit is geen exacte wetenschap en afhankelijk van de bron worden hier mogelijk andere jaren opgeplakt.

Het model van Brand baseert zich op de verwachte levensduur van een product en maakt een onderscheid in volgende lagen in functie van hun functionaliteit.



Figuur 18 : Model van Brand - Shearing layers of change (How buildings learn, Brand)

Site - Dit is de geografische setting van een gebouw m.a.w. het perceel waarop gebouwd wordt en veranderd normaal gezien niet. Daarom heeft deze laag een oneindige levensduur.

Structuur - Dit zijn zowel de funderingen als alle dragende structurele elementen. Dit vormt letterlijk de basis van een gebouw en zal naar alle waarschijnlijkheid niet aangepast worden doorheen de levensduur van een gebouw. Dit heeft zowel te maken met de hoge kosten die hiermee gepaard gaan als met de ingrijpende aanpassingen op gebied van stabiliteit. [24]

Skin – Dit zijn alle oppervlaktes aan de buitenzijde van een gebouw zoals de gevelafwerking, de isolatie maar ook het buitenschrijnwerk en de dakafwerking. Deze lagen worden gemiddeld om de 20 jaar vervangen of hersteld. Deze veranderingen kunnen te maken hebben met de wensen van de bouwheer die graag een nieuw uiterlijk wil maar ook aan mogelijke aanpassingen gerelateerd aan technologische aspecten zoals betere isolatie of luchtdichtheid bij renovatiewerken. [23]

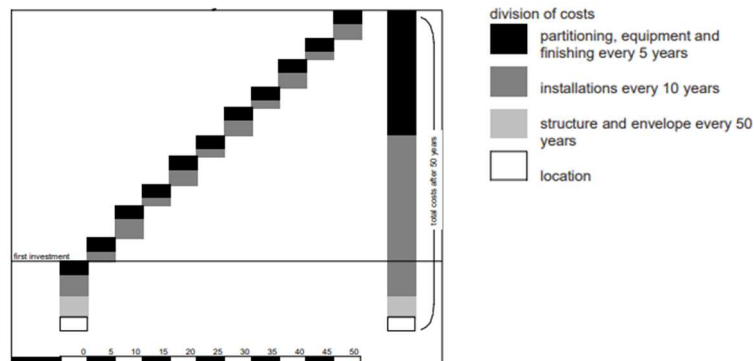
Services – Dit zijn alle elementen die onder de noemer van technieken vallen. Denk maar aan de elektrische bekabeling van alle installaties, de aan-en afvoeren van water of verwarmingen, de ventilatie en airco voorzieningen maar ook bewegende elementen zoals een lift of een roltrap. Met de huidige evolutie naar smart buildings in het achterhoofd, is dit een zeer belangrijke laag. Vooral omdat er rekening gehouden wordt met een levensduur van 7 tot 15 jaar. Deze laag wordt nog maar al te vaak geïntegreerd in een andere laag, vaak de structurele laag. Veel gebouwen worden vroeger dan noodzakelijk afgebroken omdat de laag services gedateerd is en te diep weggewerkt of verweven zit in andere lagen. [23]

Space plan – de laag die bestaat uit de layout van de binnenzijde van een gebouw en de volledige binnenafwerking. Dit zijn de niet-dragende muren, de vloeren, de plafonds en de deuren maar ook het vast meubilair zoals een keuken of een badkamer behoort tot deze laag. Deze laag is zeer onderhevig aan veranderingen doorheen de levensduur van een gebouw. Bij een private woning wordt er vanuit gegaan dat aanpassingen zich om de 15 jaar voordoen maar bij commerciële gebouwen is dit vaak veel sneller en gebeuren deze aanpassingen elke 3 tot 5 jaar. [24]

Stuff - dit zijn alle losse elementen in een gebouw die zeer frequent van plaats veranderen zoals stoelen, zetels, tafels, bureaus, computers,...Door hun losse karakter hebben deze elementen verder geen impact op de rest van het gebouw maar kunnen bijvoorbeeld door de noodzaak tot een stopcontact een invloed hebben op aanpassingen van andere lagen.

Dit model is misschien een simplistische benadering van de opbouw van een gebouw maar kan wel gebruikt worden als een degelijk basisprincipe. Deze benadering kwam tot stand nadat onderzoekers erachter kwamen dat doorheen de levensfase van een gebouw de veranderingen, herstellingen en aanpassingen drie tot vijf keer meer kosten dan de eigenlijke bouw van de constructie. [24]

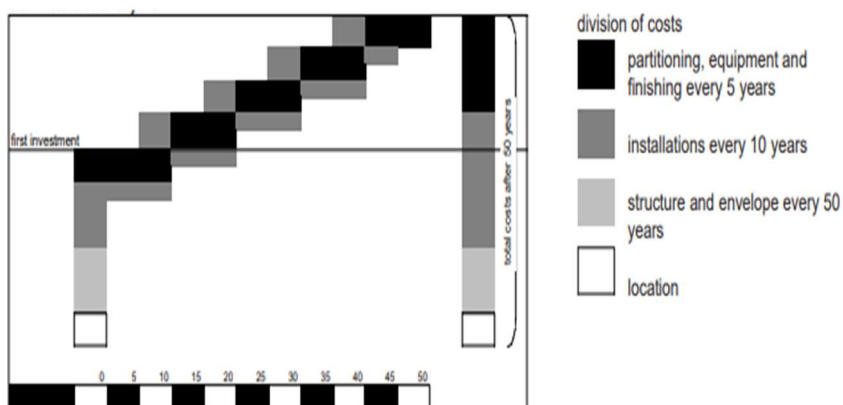
Ter illustratie zijn op onderstaande figuren 2 scenario's te zien van de kosten gedurende de volledige levensfase van een kantoorgebouw. Deze kosten zijn in eerste instantie van financiële aard maar het spreekt voor zich dat hier ook grondstofgebruik en misschien onnodige afbraak, bij komt kijken.



Figuur 19 : Kosten doorheen de levensfase van een kantoorgebouw - Traditionele bouwmethode

In bovenstaande figuur wordt er vanuit gegaan dat elke keer wanneer er aanpassingen of herstellingen moeten gebeuren, een deel van het gebouw wordt afgebroken en er nieuwe materialen moeten worden gebruikt bij de renovatie. Al deze veranderingen hebben een enorme impact op de totale kost van een gebouw gedurende de levensfase. [22]

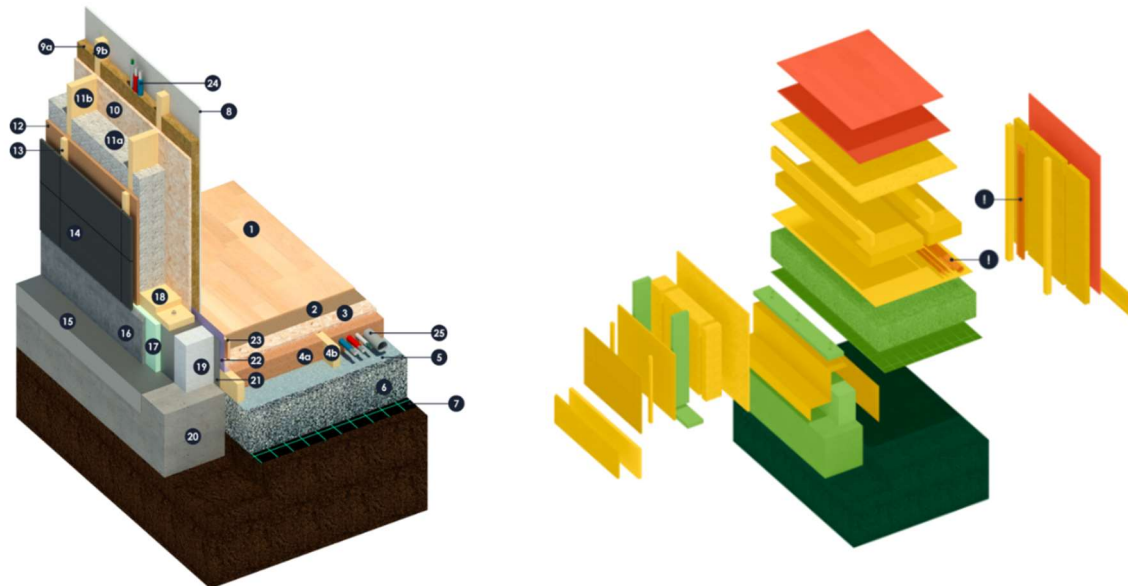
Op onderstaande figuur wordt er vanuit gegaan dat het gebouw is samengesteld volgens het principe van Design for Assembly wat een aanzienlijke vermindering van de totale kost met zich meebrengt. Over een tijdsspanne van 50 jaar zou dit een halvering van de investeringskosten met zich meebrengen t.o.v. de traditionele benadering. [22]



Figuur 20 : Kosten doorheen de levensfase van een kantoorgebouw - Design for assembly

Om er voor te zorgen dat er tijdens aanpassingswerken geen onnodige elementen afgebroken worden, is bouwen volgens de verschillende lagen van Brand een hulpmiddel. Als er dan ook voor gezorgd wordt dat de gebruikte producten gemakkelijk demonteerbaar zijn, dan kunnen deze mogelijk nog hergebruikt worden. Daarom is noodzakelijk om het ontwerp te benaderen met een veranderingsgerichte visie zodat een waarde op lange termijn gegarandeerd kan worden.

Site	Structure	Skin	Services	Space plan
oneindig	> 60 jaar	30 – 60 jaar	7 - 25 jaar	5 – 20 jaar



Figuur 21 : voorstelling van de verschillende elementen en hun levensduur volgens het Model van Brand (Milieubewustsoleren- demonteerbaar bouwen)

In Figuur 21 worden de verschillende lagen van Brand op een duidelijke manier gevisualiseerd. Vermenging van producten uit verschillende lagen zijn best te vermijden zodat bij aanpassingen of herstellingen de functionaliteit van de rest van het gebouw niet in gedrang komt en er geen onnodige materialen moeten worden afgebroken. Het al dan niet makkelijk demonteerbaar zijn, kan hier toe bijdragen. De relevantie van de demonteerbaarheid is groter bij de lagen die maar een korte levensduur hebben. Dit zijn voornamelijk alle afwerkingslagen en de technieken. [25]

Het doel van veranderingsgericht bouwen, is anticiperen op mogelijke veranderingen in de toekomst. Er voor zorgen dat tijdens aanpassings- of sloopwerken afval vermeden wordt en zorgen dat zoveel mogelijk materialen terug in gebruik genomen worden. De ruimtelijke transformatie zorgt ervoor dat gebouwen niet onnodig moeten worden afgebroken en op meerdere manieren kunnen gebruikt worden. Een doordacht ontwerp dat rekening houdt met meerdere scenario's kan hierbij helpen. De transformatie van materialen en elementen doet dit op het niveau van materialen en grondstoffen en zorgt ervoor dat de grondstoffen opnieuw gebruikt kunnen worden. De structurele transformatie handelt op het niveau van een element en focust zich op de compositie van het geheel der onderdelen. [22]

De gemeenschappelijk factor in al deze 3 transformatiemogelijkheden is Design for (Dis)Assembly. Op productniveau moet er gekeken worden naar de productontwerpers want zij liggen aan de basis van elke vorm van demonteerbaarheid. Op gebouwniveau moet er gekeken worden naar de architecten, ontwerpers en ingenieurs want zij kunnen in de ontwerpfase van het gebouw de meeste impact hebben op een demonteerbaar, veranderingsgericht gebouw. En tenslotte voor de structurele transformatie kan er best gekeken worden naar de uitvoerders m.a.w. de aannemers. Zij vormen de schakel tussen de producten en het uiteindelijke gebouw. Het is op deze dimensie dat uitvoerende partijen het meeste impact kunnen hebben.

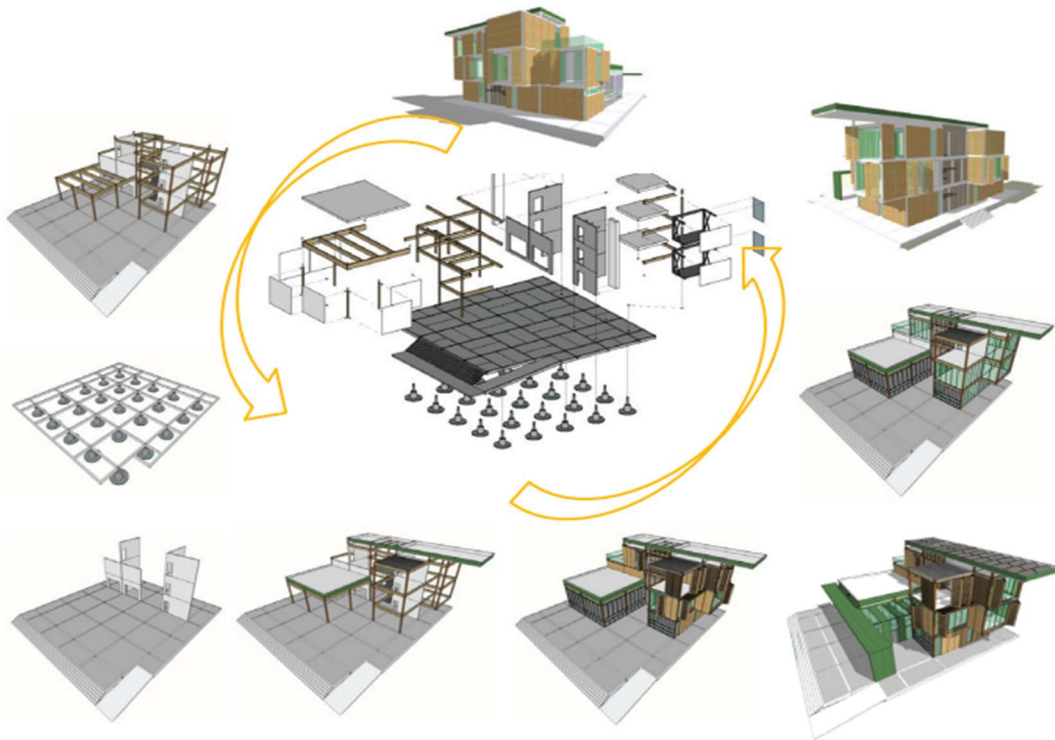
Als er dus aandacht besteed wordt aan een doordachte opbouw en ontwerp en er gekozen wordt voor een samenstelling op basis van demonteerbare verbindingen zouden deze materialen gemakkelijker hergebruikt worden. Maar hoe vertaalt zich dit nu in de praktijk?

3.1.6 Design for (dis)Assembly

“The disassembly potential of a building is the degree to which objects can be disassembled at all scales without compromising the function of the object or surrounding objects.” [26]

Deze uitspraak zou kunnen gelden als de essentie van een demonteerbaar gebouw. Hierin zitten dan ook de twee kritische aspecten van deze bouwmethode omvat. Enerzijds het kunnen demonteren van onderdelen op alle verschillende schalen en anderzijds het kunnen demonteren zonder dat hierbij de functie van de omliggende onderdelen in gedrang komt.

Design for Assembly kenmerkt zich door een systeemdenken doorheen het volledige ontwerp. Het kunnen demonteren van onderdelen op alle schaalniveaus, wordt bepaald door enerzijds de verbinding en anderzijds het element dat verbonden wordt. Zowel de componenten die gebruikt worden om een opbouw te realiseren als de verbindingen die gebruikt worden om deze componenten te bevestigen, hebben een invloed op de demonteerbaarheid. Om ook efficiënt en functioneel te kunnen demonteren, wordt er gekeken naar de compositie van het geheel der onderdelen. [27]



Figuur 22: voorbeeld van een omkeerbare bouwmethode opgebouwd uit demonteerbare elementen (Reversible Building Design strategies)

Om optimaal gebruik te kunnen maken van materialen die tijdens en na de levensfase van een gebouw vrijkomen, is het noodzakelijk dat er op alle schaalniveaus gewerkt wordt met demonteerbare verbindingen. Om te kunnen demonteren moet er sprake zijn van omkeerbare verbindingen zodat het gebouw uit elkaar gehaald kan worden zonder schade toe te brengen aan de elementen zelf en de omliggende elementen. Dit kan omschreven worden als een non-destructieve demontage. [11]

“Disassembly is a non-destructive taking apart of an assembled product into constituent materials or components.” [20]

Een eerste belangrijk aspect is de manier van verbinden. Dit zijn de bevestigingsmiddelen die gebruikt worden om een product te fixeren. In het document 'Naar een circulaire economie in de bouw' maakt Embuild een onderscheid in 2 groepen namelijk de natte en de droge verbindingstechnieken. Volgende opdeling is gebaseerd op dit document. [15]

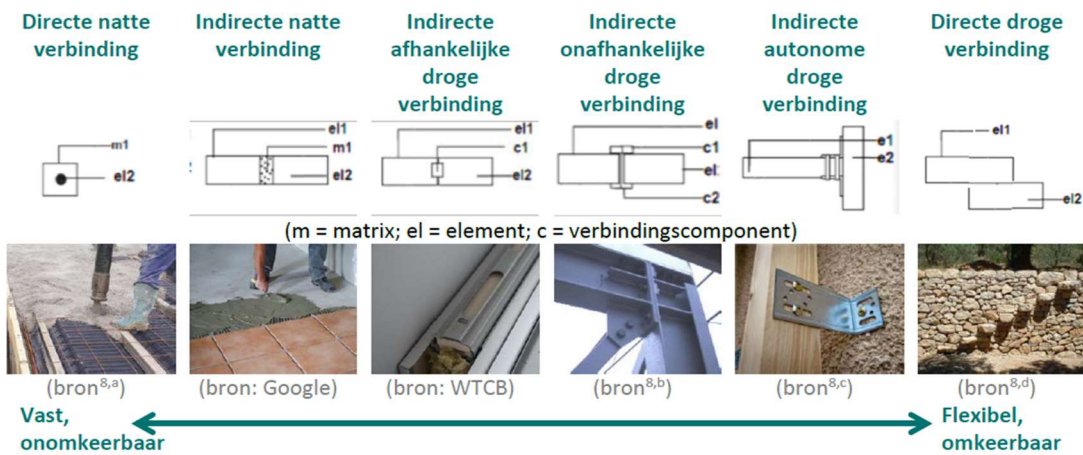
DROGE VERBINDINGEN : worden uitgevoerd zonder gebruik te maken van een (natte)vloeistof of specie. Dit kan op 2 manieren gebeuren:

- **Directe droge verbindingen**: de elementen worden door het uitvoeren van een specifieke handeling met elkaar verbonden. Bijvoorbeeld door in elkaar te klikken, in elkaar te passen, te vlechten, een volledig losse plaatsing of een zwevende plaatsing,...
- **Indirecte droge verbindingen**: de elementen worden met elkaar verbonden met behulp van bevestigingselementen. De mate van de toegankelijkheid en afhankelijkheid van het bevestigingselement bepaalt voor een groot deel de mogelijkheid tot demontage en de efficiëntie hiervan. In deze groep kan verder opgedeeld worden:
 - *Afhankelijke verbindingcomponent*: het bevestigingsmiddel wordt opgenomen in de verbonden elementen. Er is weinig tot geen toegang meer tot het verbindingselement. Bijvoorbeeld een nagel of een verbindingmodule.
 - *Onafhankelijke verbindingcomponent*: het bevestigingsmiddel zorgt voor de verbinding van 2 elementen zonder erin opgenomen te worden m.a.w. de verbinding blijft toegankelijk na bevestiging. Bijvoorbeeld bouten en schroeven.
 - *Autonome verbindingcomponent*: dit is een extra hulpmiddel dat gebruikt wordt om 2 of meerdere elementen met elkaar te verbinden. Bijvoorbeeld hoekijzers of bevestigingsplaten. Dit extra element moet afzonderlijk verbonden worden met alle onderdelen die aan elkaar bevestigd moeten worden en ook hier zijn verbindingen voor nodig, meestal een van de voorgaande mogelijkheden.

NATTE VERBINDINGEN: ook wel chemische verbindingen genoemd, worden uitgevoerd door gebruik te maken van een vloeistof of specie.

- **Indirecte natte verbindingen**: dit zijn het overgrote deel van de natte verbindingen. Er is een extra materiaal nodig om de elementen met elkaar te verbinden. Bijvoorbeeld water, lijm, mortel, aarde,...
- **Directe natte verbindingen**: er zijn 2 mogelijkheden
 - *Versmelten*: 2 elementen worden met elkaar verbonden door met elkaar versmolten te worden. Bijvoorbeeld een lasverbinding van een staalconstructie of het lassen van een afdichtingsbaan roofing op een dak
 - *Omhullen*: Het ene element wordt omhuld of ingegoten in het andere. Bijvoorbeeld beton met wapening, technieken in een uitvulmortel of vloerverwarming in een chape.

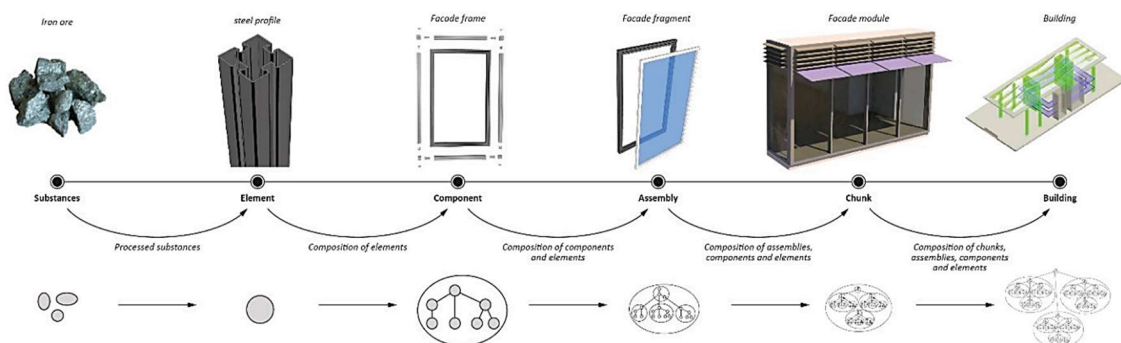
Het verschil tussen beide bepaalt voor een groot deel de mate waarin iets gedemonteerd kan worden. Op Figuur 23 worden de verschillende verbindingstechnieken weergegeven volgens hun omkeerbaarheidspotentieel. Hieruit wordt duidelijk waarom er bij Design for Assembly en bij uitbreiding circulair bouwen de voorkeur gegeven wordt aan droge verbindingstechnieken. [15]



Figuur 23: klassering van verbindingstechnieken op basis van hun omkeerbaarheidspotentieel (Embuild - Naar een circulaire economie in de bouw)

Niet alle natte verbindingen zijn per definitie slecht. Soms is gewoon noodzakelijk om met natte verbindingen te werken. Verbindingen op basis van gips of kalkmortel zijn in zekere zin demonteerbaar zonder al te veel schade te veroorzaken. Dit levert wel meer afval op bij het demontageproces. En niet alle droge verbindingen zorgen voor een non-destructieve demontage. Wanneer er bijvoorbeeld een verbinding op basis van spijkers moet gedemonteerd worden, is de kans groot dat ook het element beschadigd raakt. Bijgevolg verliest het een deel van zijn hergebruikpotentieel. [28]

Het verbinden van elementen doet zich voor op verschillende schaalniveaus in een constructie. Figuur 24 maakt duidelijk op welke verschillende schaalniveaus demonteerbaarheid een rol kan spelen. Hier wordt het verwerkingsproces gevisualiseerd van een ruwe grondstof tot een product tot de uiteindelijke montage op de werf. Op elk niveau dat er nieuwe onderdelen toegevoegd worden aan het geheel, wordt er gezocht naar mogelijkheden om te werken met omkeerbare verbindingen. [20]



Figuur 24: verschillende schaalniveaus waarop demonteerbaarheid van toepassing is (E. Durmisevic - Design strategies for Reversible Buildings)

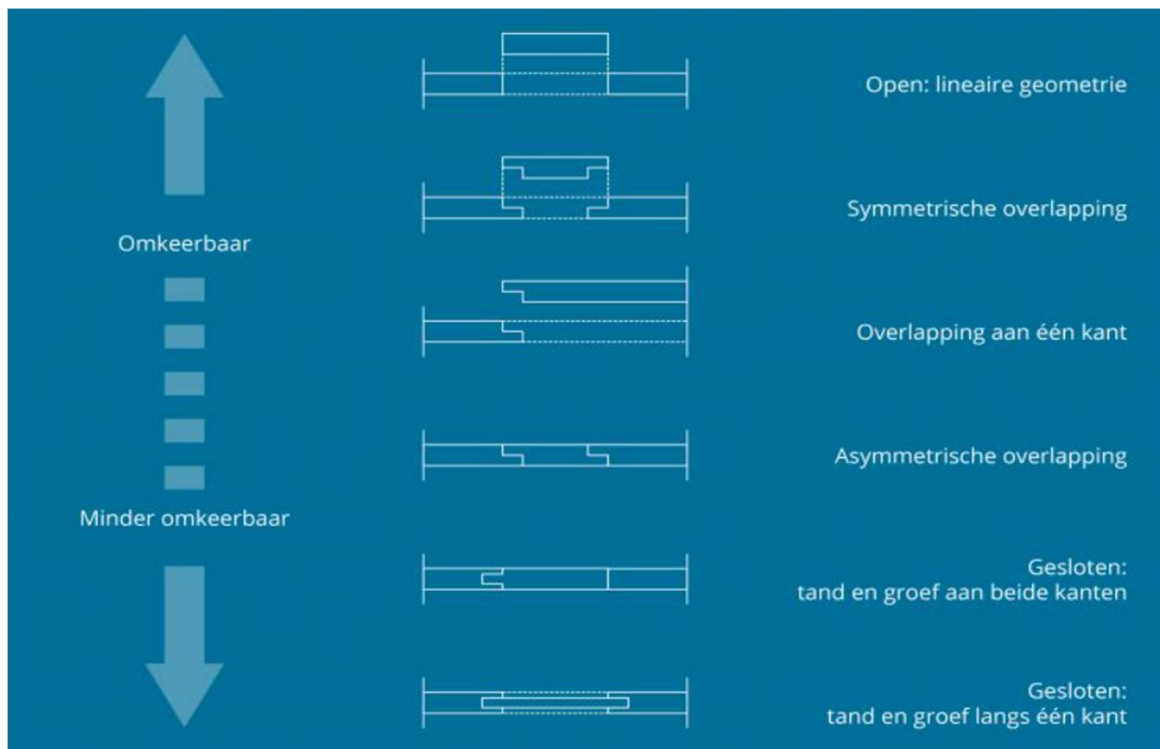
De eerste stap is de overgang van grondstof naar een product. Zo min mogelijk vermenging met materialen geeft de voorkeur zodat de elementen die hieruit voortkomen bestaan uit pure materialen. Indien dit niet mogelijk is, is een combinatie van materialen noodzakelijk maar zou die door een vorm van recyclage terug gescheiden moeten kunnen worden om alsnog hergebruikt te worden. Vanaf de 2^e stap wordt er in principe gewerkt met producten die reeds gefabriceerd zijn. Deze worden gecombineerd en geassembleerd tot een geheel. Een geheel dat indien noodzakelijk gedemonteerd en hergebruikt kan worden tot op het kleinste niveau. Bij al deze verschillende stappen zijn uiteraard de verbindingen belangrijk maar misschien nog meer de compositie. [20]

Een laatste aspect wat belangrijk is voor Design for Assembly is de compositie van het geheel der onderdelen. Er wordt steeds vaker gewerkt met prefab elementen die enkel nog gemonteerd moeten worden op de werf. Dit heeft een invloed op zowel de montage maar ook op de demontage. Het droog kunnen monteren is een grote vooruitgang t.o.v. alles ter plaatse in elkaar steken maar daar waar demonteerbaarheid de nadruk legt op de mogelijkheid om iets terug uit elkaar te halen, zegt dit weinig over het gemak waarmee dit kan gebeuren. Als er een herstelling of aanpassing moet gebeuren dan is het wenselijk dat hiervoor niet eerst de helft van een gebouw moet gedemonteerd worden. Een opbouw moet zoveel mogelijk onafhankelijk van elkaar gedemonteerd kunnen worden. [20] [27]

Er zijn een aantal ontwerprichtlijnen die ervoor zorgen dat demonteerbaarheid kan evolueren naar een efficiënte demontage van het gewenste element.

De geometrie

De vormgeving van de elementen heeft een grote impact op de eenvoud van demontage. Een geometrie die toelaat het element te kunnen vervangen zonder dat hiervoor andere elementen moeten gedemonteerd worden, is de beste oplossing. De manier waarop een element ingesloten wordt in een laag, wordt ook wel omschreven als een insluiting. [28]

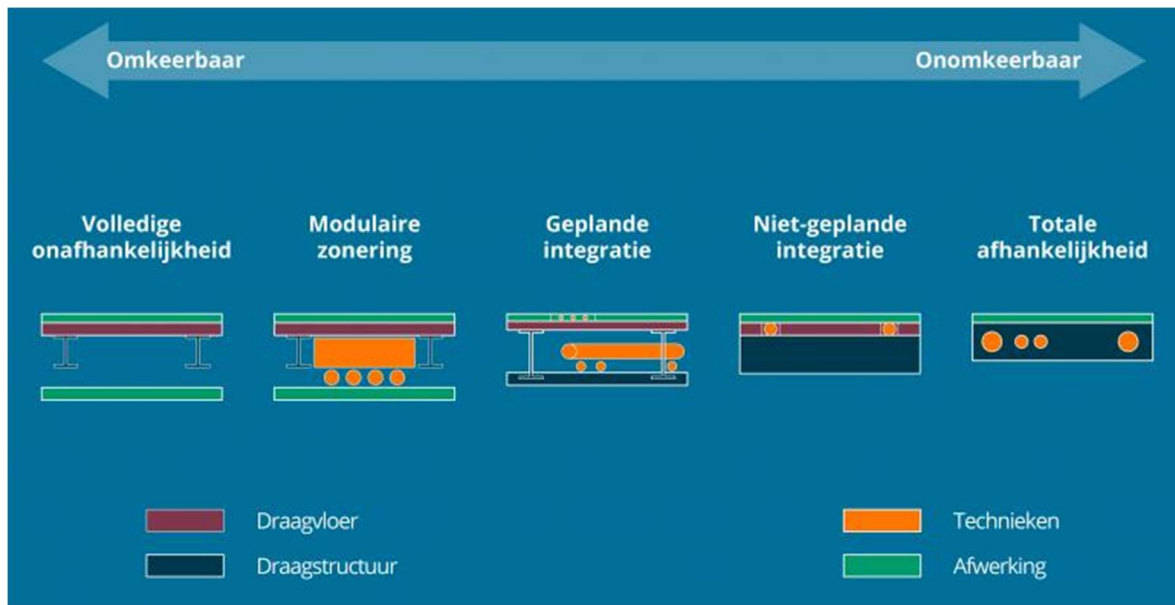


Figuur 25 :geometrie en compositie van de samenstelling(Gids duurzame gebouwen)

Een veel gebruikte vormgeving is het tand en groef systeem, denk maar aan een OSB-plaat. Dit systeem is wel is waar gemakkelijk te plaatsen en door het tand en groef principe wordt er vaak een naadloze aansluiting gegarandeerd maar op gebied van geometrie scoort dit niet zo goed. Zeker omdat het tand en groef systeem aan elke zijde gebruikt wordt. Er moet bij een herstelling de omgekeerde plaatsingsvolgorde gevolgd worden om de specifieke plaat te kunnen demonteren. Daarom wordt er de voorkeur gegeven aan systemen met een lineaire, open geometrie. Bijvoorbeeld een multiplexplaat met rechte kanten.

De functionele onafhankelijkheid

De richtlijn om te bouwen in lagen volgens hun levensduur werd reeds toegelicht bij het model van Brand. Dit principe blijft gelden en dient zoveel mogelijk gevolgd te worden. Het vermijden van vermenging tussen elementen uit verschillende lagen, was een belangrijk aandachtspunt. De technieken vormen wel is waar een probleem waar niet altijd een gepaste oplossing voor gevonden wordt.



Figuur 26 : functionele onafhankelijkheid - technieken (Gids Duurzame gebouwen)

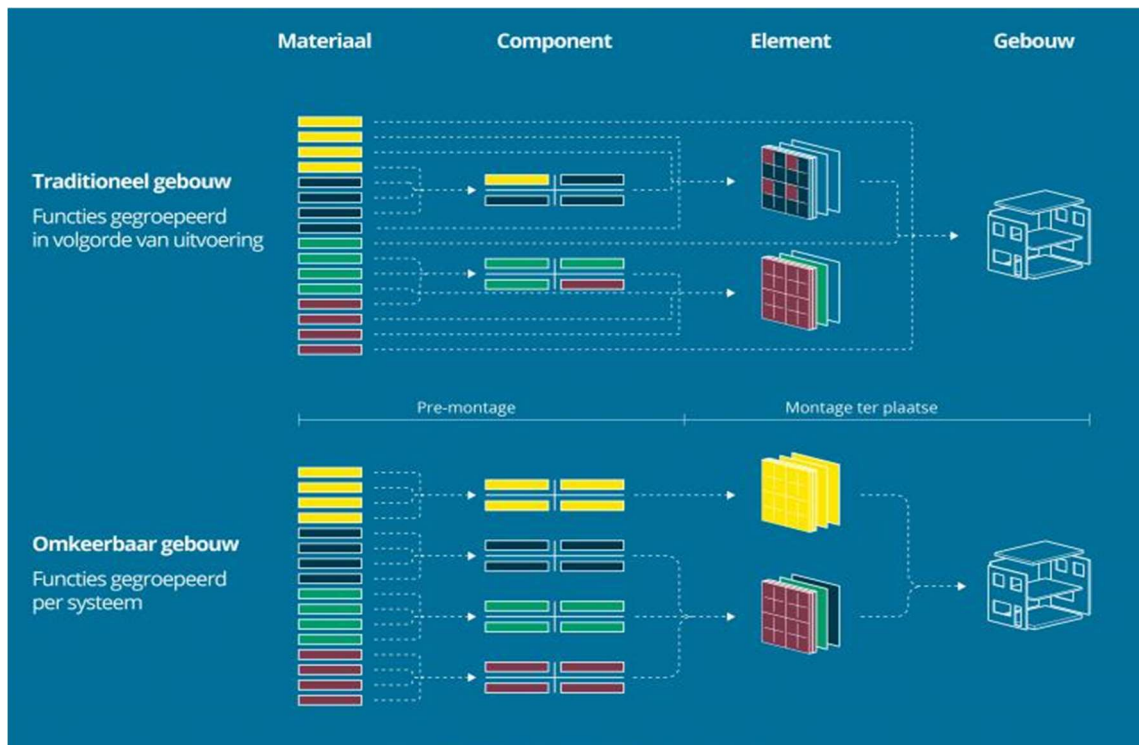
Als er vanaf het ontwerp rekening gehouden wordt met de omkeerbaarheid van het gebouw dan worden de technieken zo toegankelijk mogelijk geplaatst. Bij voorkeur in een opbouwprincipe waar de technieken zichtbaar blijven zodat ze volledig onafhankelijk aangepast kunnen worden maar dit is niet altijd gewenst. Een alternatief is de technieken zodanig te groeperen dat er een modulair zonering ontstaat. Als deze zone of zelfs de volledige laag afgewerkt wordt met een toegankelijke of gemakkelijk te demonteren afwerking, blijft de omkeerbaarheid gegarandeerd. Bij een geplande integratie worden uitsparingen in de structuur voorzien die een gemakkelijke integratie van de technieken met zich meebrengen. Als er helemaal niet nagedacht wordt over de integratie, zullen de technieken eerder verspreid liggen en bij herstellingen dus meer werk met zich meebrengen. En als laatste worden de technieken ingestort en zijn ze helemaal niet meer toegankelijk. Dit is het minst wenselijke scenario maar spijtig genoeg nog de meest gebruikte manier van werken.



Figuur 27: Voorbeelden technieken : Volledige onafhankelijkheid, Modulaire zonering en Geplande integratie (Gids Duurzame gebouwen)

Functionele groepering en hiërarchie

Het clusteren of groeperen van elementen is een ontwerpprincipie dat de efficiëntie van zowel montage als demontage kan verbeteren. Het schema van Figuur 28 toont het verschil van een traditionele benadering en een oplossing waarbij er in prefabricatie op basis van clusters gewerkt wordt. Door onderdelen met dezelfde functie te groeperen, wordt een opbouw gecreëerd waarbij er geen vermenging optreedt tussen producten met een andere functie. [20]



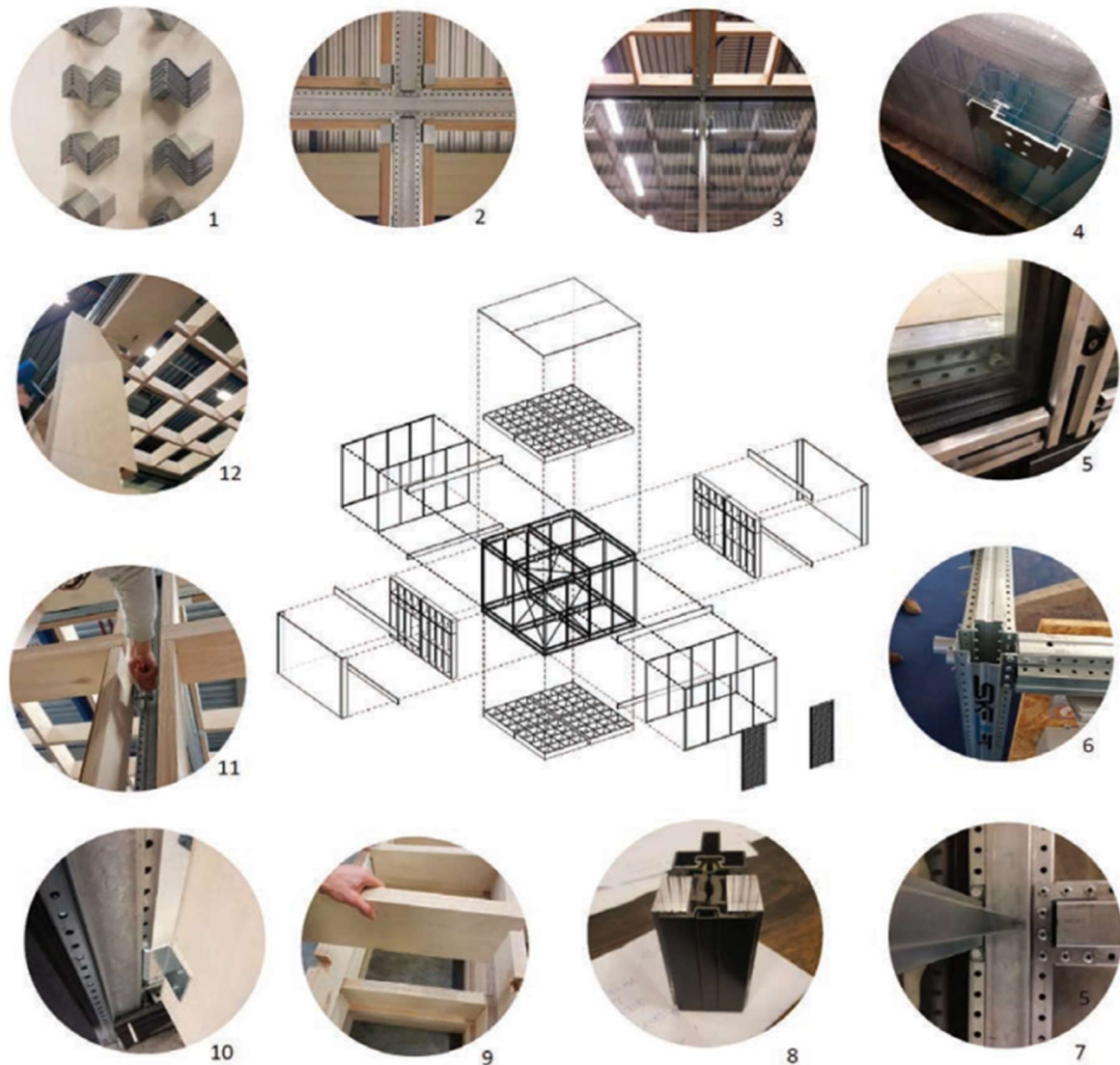
Figuur 28: functionele groepering (Gids Duurzame gebouwen)

Puur in functie van uitvoering en optimalisering van het proces gebeurt zoveel mogelijk van het assemblageproces in prefabricatie. Door de gecontroleerde omgeving en optimale werkomstandigheden, kan er efficiënter geproduceerd worden en een deel afval vermeden worden. Meestal hebben geprefabriceerde elementen een groot aanpassingsvermogen en een vlottere demontage dan bij niet geprefabriceerde elementen. Dit zou een eenvoudige montage op de werf en tijds winst met zich meebrengen. Bijgevolg zou dit ook tijds winst kunnen opleveren bij een eventuele demontage. En een vlottere demontage leidt tot gemakkelijkere functieveranderingen en herstellingen en bijgevolg een groter omkeerbaarheids potentieel. In heel dit proces worden best zo min mogelijke verbindingen gebruikt. De kans op selectieve demontage wordt groter naarmate het aantal verbindingen afneemt. [20] [28]

Demonteerbaar bouwen biedt voordelen aan betrokken partijen

- Restwaarde in een gebouw → investeerders
- Toegang tot grondstoffen en producten voor hergebruik → BAMB
- Flexibiliteit en aanpasbaarheid van het ontwerp tijdens gebruik → bouwheer
- Toegankelijk voor onderhoud en herstellingen

Het samenstellen van een volledig gebouw op basis van droge, omkeerbare verbindingen is momenteel nog niet voldoende onderzocht. Al moet er bij gezegd worden dat er steeds meer pilotprojecten in ontwikkeling zijn waarbij deze bouwmethode verder onderzocht wordt. Een mooi voorbeeld van zo'n zoektocht, is de GTB Lab Module terug te vinden op Figuur 29.



Figuur 29: omkeerbare verbindingen - GTB Lab Module - Architecten Durmisevic & 4D Architects (Reversible Building Design Strategies, Durmisevic)

Kunnen alle verbindingen gemaakt worden met omkeerbare verbindingen? Kan dit op basis van elementen die geprefabriceerd zijn? En kan dit zodanig gemonteerd worden zodat alles nog aan de gewenste technische eisen voldoet en de functie kan vervullen waarvoor het bestemd is? Denk maar aan de eisen en bijhorende problematieken van luchtdichtheid, koudebruggen, vochtwerend, brandeisen,...Zijn alle partijen bereid en is het voor hun voldoende interessant om de overgang te maken naar demonteerbaar bouwen? Kan er effectief een restwaarde geplakt worden op de materialen die een gebouw gestopt worden en is er een voldoende grote markt voor hergebruik van materialen en producten? Dit zijn uitdagingen waar we nu voor staan in het demonteerbaar bouwen.

3.1.7 Besluit

Design for Assembly is een ontwerpmethode die probeert na te denken over de volledige levenscyclus van een gebouw. Materialen zo veel mogelijk hergebruiken, is een vereiste die voortkomt uit de transitie naar een circulaire manier van bouwen. Om materialen of producten meer en beter te kunnen gebruiken, is er nood aan een verandering van strategie. Er zal op een andere manier gebouwd moeten worden en er zal op een andere manier over het ontwerp moeten nagedacht worden.

Vanaf het ontwerp kunnen er maatregelen genomen worden die bijdragen aan de demonteerbaarheid van een gebouw. Dit gebeurt zowel op productniveau als op gebouwniveau. De fabrikanten staan aan het begin de cyclus en leveren de producten waarmee er effectief gebouwd zal worden. Het productontwerp en de rol die ecodesign hierin speelt, staan aan de basis van demonteerbaar bouwen. De architect die een gebouw ontwerpt, zal op dezelfde manier moeten nadenken over de volledige cyclus van het gebouw. Om te bouwen als een materialendepot is er sprake van aanpasbaarheid en demonteerbaarheid. De combinatie van aanpasbaarheid en demonteerbaarheid geeft omkeerbaarheid.

Omkeerbaarheid kan gezien worden als een vorm van veranderingsgericht bouwen waarbij er vanaf het ontwerp geanticipeerd wordt op mogelijke veranderingen in de toekomst. Omkeerbaarheid heeft doorheen de tijd een invloed op 2 niveaus namelijk de transformeerbaarheid en het hergebruikpotentieel. De omkeerbaarheid kan benaderd worden in 3 dimensies namelijk de ruimtelijke, de technische en de materiaal specifieke transformeerbaarheid. De cruciale, gemeenschappelijke factor binnen deze 3 dimensies is (dis)assembly. Assembleren en demonteren op alle schaalniveaus en dit zonder de functionaliteit van de omliggende elementen te benadelen. Hiervoor zijn losmaakbare verbindingen noodzakelijk en een doordachte compositie van de samenstelling.

Dit alles zorgt ervoor dat het hergebruikpotentieel van een gebouw, een element, een product en zelfs een grondstof geoptimaliseerd kan worden en er ingezet kan worden op een duurzamere manier van bouwen .

3.2 Methodieken voor samenstelling van fiches

Om verschillende voorstellen met elkaar te kunnen vergelijken is er nood aan een methode om te meten en vergelijken. Er zijn tal van digitale tools beschikbaar om een score te geven op gebied van circulariteit die allen op een specifiek circulariteitscriteria de nadruk leggen. Denk maar aan materiaalgebruik, een levenscyclus analyse, de impact op het milieu, enz. maar in functie van deze studie is de demonteerbaarheid belangrijk. ...

De rest van de criteria worden verder buiten beschouwing gelaten maar dit wil zeker niet zeggen dat deze minder belangrijk zijn. Zo kan een Levenscyclusanalyse veel inzicht verschaffen over de ecologische impact van een materiaal doorheen zijn levenscyclus maar zegt dit weinig over de toepassing ervan in een gebouw. En is de materiaalkeuze wel degelijk een belangrijke factor in de analyse voor circulariteit zowel in de productiefase als in de verwerkingsfase van het product maar is het in essentie weinig bepalend als het gaat over de daadwerkelijke demonteerbaarheid. Of een product nu gemaakt is van hout, metaal, beton, plastic of bio composiet het demonteerbaarheidspotentieel veranderd niet.

Wat wel belangrijk is, is de manier van verbinden. Zo spreekt het voor zich dat het veel evidentier is om een schroefverbinding terug los te maken dan een genagelde verbinding. En zal een metalen structuur ofwel gelast ofwel met boutverbindingen samengesteld worden. Kortom elk materiaal heeft zo zijn eigen specifieke bevestigingsmethode in functie van het gewenste resultaat. Bovendien is de bevestiging vaak afhankelijk van het materiaal waarop er bevestigd wordt.

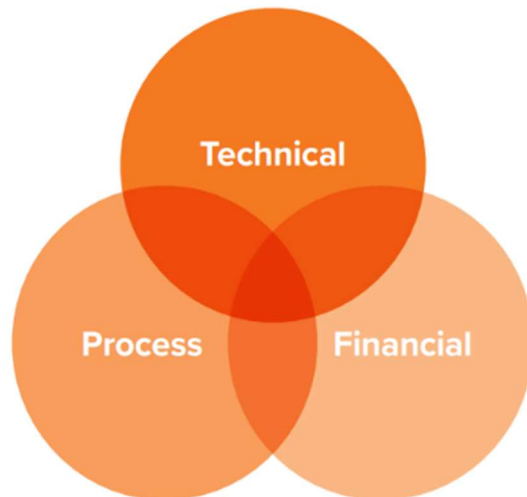
Een tweede aspect dat bepalend is, is de onderlinge samenstelling van een product of een element. De manier waarop deze t.o.v. elkaar gepositioneerd zijn en mogelijk insluiten kunnen nadelig zijn op gebied van de losmaakbaarheid. Ook doorkruisingen van bijvoorbeeld technieken of andere elementen beperken de losmaakbaarheid.

De combinatie van zowel de manier van verbinden als de onderlinge samenstelling leidt tot een globale losmaakbaarheidsscore. Dit is het eerste wat berekend wordt en geeft alvast de mogelijkheid om gemakkelijk verschillende mogelijkheden met elkaar te vergelijken. Een score is handig om te vergelijken maar geeft op zichzelf weinig inzicht in de praktische verwerking. Daarom worden de voorstellen die op hun losmaakbaarheid gescoord worden, verder geanalyseerd op hun onderlinge relatie. Dit gebeurt aan de hand van een Parent and Child model wat leidt tot een meer gedetailleerde analyse tot op materiaal niveau. Bovendien vormt dit ook de basis om verder hergebruik in kaart te brengen.

Om de verdere analyse van de demonteerbaarheid en bij uitbreiding hergebruiksmogelijkheden in kaart te brengen, wordt er een combinatie gemaakt van een aantal beoordelingscriteria die uiteindelijk leiden tot een samenhangend geheel. Deze beoordelingscriteria zullen in volgende hoofdstukken stap voor stap toegelicht worden.

3.2.1 Meetmethode losmaakbaarheidspotentieel

In Nederland is er een methodiek ontwikkeld die een indicatie geeft van de losmaakbaarheid op alle schaalniveaus van een gebouw. Deze meetmethode zet volledig in op het concept Design for Disassembly. Bovendien wordt deze methodiek ook gehanteerd voor het kwantificeren van de losmaakbaarheid bij de certificeringsmethode tot een BREEAM-label. [28] Deze meetmethode kan dus als maatstaf dienen voor verdere analyse. In het rapport 'Circular Buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0', opgemaakt in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse zaken en de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie, worden volgende aspecten omschreven om het losmaakbaarheidspotentieel in kaart te brengen. [26]



Figuur 30 : opdeling factoren demonteerbaarheid (Circular Building-Losmaakbaarheidsindex 2.0)

Technische aspecten
doorkruisingen
Aantal verbindingen
Volgorde van (de)montage
vorminsluiting
Methode van fabricage
Type verbinding
Toegankelijkheid verbinding
Procesmatige aspecten
Veiligheid
Demontage instructies
Aantal handelingen
Ervaring
Financiële aspecten
Demontagetijd
Demontagekosten
Restwaarde

Zoals op de Figuur 30 te zien is, wordt er een onderscheid gemaakt in 3 groepen van aspecten die een invloed hebben op de losmaakbaarheid en bij uitbreiding de toepassing hiervan in de praktijk.

Een eerste groep zijn de technische aspecten van een product en/of element. Het ontwerp van het product bepaald de mogelijkheid tot demontage. Hierbij wordt nogmaals het belang van het productdesign benadrukt. Essentieel hierbij zijn de onderlinge verbindingen en de samenstelling van de verschillende lagen. De technische aspecten zijn het meest relevant wanneer er een keuze gemaakt moet worden tussen verschillende uitvoeringsmethodes. Zij hebben dan ook een directe impact op de mate van demonteerbaarheid terwijl dat de andere 2 groepen hier geen directe invloed op hebben.

Een tweede groep zijn de procesmatige aspecten. Deze aspecten hebben vooral betrekking op het waarborgen van een gemakkelijke demontage. Denk maar aan de veiligheidsaspecten m.b.t. de materialen, demontage instructies en de hoeveelheid aan handelingen die hiervoor nodig zijn. Deze aspecten zouden toegevoegd kunnen worden aan een gebouwenpaspoort.

En een derde groep zijn de financiële aspecten die een invloed hebben op keuzes in het bouwproces. De demontagetijd -en kosten zijn hierbij belangrijk wanneer er de afweging moet gedaan worden tussen sloop of selectieve demontage. Maar ook de restwaarde die er in een gebouw zit, zal een steeds grotere rol spelen in het al dan niet kiezen voor demonteerbare toepassingen. Deze aspecten kunnen interessant zijn voor de bouwheer, aannemers, investeerders of financiële instellingen.

Om de losmaakbaarheid van een product of een element te bepalen, wordt er een opdeling gemaakt in 2 aspecten die bepalend zijn. Enerzijds de losmaakbaarheid van de connectie die verder bepaald wordt door het type verbinding en de toegankelijkheid van deze verbinding. Dit is letterlijk de manier van bevestigen die geanalyseerd wordt. Anderzijds is de losmaakbaarheid van de samenstelling bepalend. Hierbij wordt de onderlinge relatie van een product t.o.v. de omliggende elementen beoordeeld en de kritische factoren die belemmerend kunnen zijn bij een (tussentijdse) demontage. [26]



Figuur 31 : Stappenplan beoordeling Losmaakbaarheidsindex (circular buildings Losmaakbaarheidsindex 2.0)

Voor de verder analyse wordt er gekeken naar elementen of producten zoals ze op de werf aan komen en verder gemonteerd zullen worden. Voor prefab modules wordt er dus gekeken naar de volledige module en niet naar alle afzonderlijke elementen van zo'n module.

3.2.1.1 Type verbinding (TV)

Het type verbinding bepaalt in grote mate de mogelijkheid om achteraf gedemonteerd te kunnen worden. Een product kan op meerdere plaatsen bevestigingspunten hebben maar om hier een zekere zin een eenvoud in te brengen wordt er enkel gekeken naar de dragende verbinding. Dit is de verbinding die functioneel dragend is en bijgevolg essentieel is. Als er meerdere verbindingen functioneel dragend zijn, dan wordt er enkel gekeken naar de slechtst scorende verbinding. [26]

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	

Figuur 32 : beoordeling type verbinding (Losmaakbaarheidsindex 2.0)

3.2.1.2 Toegankelijkheid verbinding (ToV)

Net zozeer als dat het type verbinding bepalend is, speelt de toegankelijkheid van die verbinding ook een grote rol in de mogelijke losmaakbaarheid. Hierbij wordt er rekening gehouden met de handelingen die nodig zijn om bij de dragende verbinding te komen en de impact van de handeling op de omliggende delen. Zo kan het zijn dat er eerst bepaalde onderdelen gedemonteerd of afgebroken moeten worden om bij de verbinding te komen. Deze handelingen veroorzaken in het beste geval geen schade aan de omliggende producten maar het kan net zo zijn dat ze wel schade veroorzaken. Deze extra handelingen en mogelijke schade hebben dan ook een negatieve impact op de losmaakbaarheid. De toegankelijkheid wordt bepaald vanuit de omgekeerde bouwvolgorde. [26]

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

Figuur 33 : beoordeling toegankelijkheid van de verbinding (Losmaakbaarheidsindex 2.0)

Hierin kunnen er twee mogelijkheden optreden. Ofwel heeft het te beoordelen product een levensduur die gelijk is aan die van het gebouw en wordt er rekening gehouden met de omgekeerde bouwvolgorde bij demontage. Ofwel heeft het product een kortere levensduur dan het gebouw en dan wordt er rekening gehouden met de omgekeerde bouwvolgorde bij vervanging-of herstellingswerkzaamheden. Om de levensduur van een element in te schatten wordt er gekeken naar het model van Brand en in welke laag dit product zich bevindt. [26]

3.2.1.3 Doorkruisingen (DK)

Doorkruisingen vormen een eerste aspect van de samenstelling dat beoordeeld wordt. We spreken van doorkruisingen wanneer producten of elementen door elkaar lopen of geïntegreerd zijn in elkaar. Ook hier wordt er gekeken naar de levensduur van de producten a.d.h.v. het model van brand. Doorkruisingen van producten uit dezelfde lagen van Brand hebben geen verdere invloed. Er wordt dus enkel gekeken naar doorkruisingen van producten uit andere lagen. Om een bepaalde opbouw niet volledig af te straffen wanneer er 1 noodzakelijke doorkruising is, wordt er een tolerantie van 5% gehanteerd. Dit wil zeggen dat pas wanneer 5% van het te beoordelen element doorkruist wordt, dit zorgt voor een vermindering van de score van 1 naar 0,4. [26]

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

Figuur 34 : Beoordeling doorkruisingen (Losmaakbaarheidsindex 2.0)

Een element dat vaak belemmerend werkt voor de losmaakbaarheid zijn de technieken. Deze bevinden zich in de laag Services en worden nog maar al te vaak geïntegreerd in de structurele laag of bij een techniekenpouw in de laag spaceplan. Zij vormen dan ook een grote uitdaging op gebied van doorkruisingen.

3.2.1.4 Randopsluiting (RO)

Een laatste aspect dat beoordeeld wordt is de manier waarop een product samengesteld wordt tot 1 groter geheel. De plaatsing van de producten en of dit leidt tot een open of gesloten samenstelling, wordt gescoord. Hierbij wordt er letterlijk gekeken naar de ‘fysieke ‘ randen van 1 specifiek product en beoordeeld of deze ingesloten zijn. Dit is vooral belangrijk bij het tussentijds uitnemen van een product bij bijvoorbeeld een herstelling. Bij een open samenstelling kan een product ten allen tijde gedemonteerd worden zonder dat hiervoor andere producten moeten gedemonteerd worden. Bij een overlapping of een gesloten samenstelling kan er enkel gedemonteerd worden door de omgekeerde bouwvolgorde te volgen en is het product m.a.w. ingesloten door de omliggende producten. Als dit het geval is, spreekt men van een randopsluiting. [26]

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

Figuur 35 :beoordeling randopsluiting
(Losmaakbaarheidsindex 2.0)



Figuur 36: Open randopsluiting
(meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)

Figuur 36 toont voorbeelden van producten die niet ingesloten zijn. De producten kunnen minimaal vanaf 1 kant gedemonteerd worden zonder dat hiervoor andere producten moeten gedemonteerd worden. Deze samenstelling heeft dus een open karakter. [26]



Figuur 37: Overlapping
(meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)

Figuur 37 laat zien wanneer er sprake is van een overlapping. De producten zijn gedeeltelijk ingesloten omdat er minimaal aan 1 kant een overlapping is waardoor er eerst een ander product moet gedemonteerd worden. [26]



Figuur 38: Gesloten randopsluiting
(meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)

Figuur 38 toont wanneer er sprake is van een gesloten randopsluiting. Er is minimaal langs 2 zijde een insluiting zodat demontage enkel mogelijk is wanneer de andere producten worden gedemonteerd. De laatste 2 situaties gelden ook als een gesloten randopsluiting. Seriematige producten die verbonden zijn met een harde chemische verbinding en producten die volledig ter plaatse gevormd zijn. [26]

3.2.1.5 Losmaakbaarheidsindex (LI)

Als de 4 voorgaande aspecten gescoord zijn, kunnen deze samengevoegd worden tot een globale losmaakbaarheidsindex van een product of element.

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex per product.

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

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 .

Figuur 39 : Formule Losmaakbaarheidsindex (Losmaakbaarheidsindex 2.0)

In het werkdocument die hier voor ontworpen is, vertaald zich dit in volgend tabel. (Zie Figuur 40)

LOSMAAKBAARHEIDSLI PRODUCT						
ID	component	dragende verbinding		Laag		
EW 1.3	Snelbouwstenen	Funderingsplaat		Structure		
Losmaakbaarheidsindex van de connectie						
TV	Type verbinding	harde_chemische_verbinding	cementgebonden verbindingen	0,1	0,16	
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade		0,4		
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling						
DK	Doorkruisingen	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen			0,1	0,10
RO	Randopsluiting	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen			0,1	

Figuur 40 : voorbeeld van de berekening van de losmaakbaarheidsindex uit het gemaakte werkdocument

Randopmerkingen

In het rapport waarop deze analyse zich baseert, wordt de losmaakbaarheidsindex nog vermenigvuldigd met een milieukostenindicator. Aangezien er voor deze studie enkele rekening gehouden wordt met de aspecten die voor de uitvoering relevant zijn, wordt dit buiten beschouwing gelaten. Weet wel dat de keuze van materialen een belangrijke factor is wanneer het gaat over de totale milieu impact. Door de losmaakbaarheid te koppelen aan de milieu impact van een product kan dit bijkomend inzicht verwerven waaruit kan blijken voor welk product of verbinding er misschien beter een alternatief gezocht wordt.

Een tweede opmerking is de link die er in het rapport gemaakt wordt met het Model van Brand. Het is mogelijk om bij de analyse van een gebouw alle onderdelen die tot 1 specifieke laag behoren te groeperen en op die manier de losmaakbaarheid van de laag zelf in kaart te brengen. Per laag zou er dan een multiplicator aan toegevoegd kunnen worden omdat voor sommige lagen de losmaakbaarheid meer relevant is dan de andere. Denk maar aan de lagen Services, Skin en Spaceplan maar dit wordt verder buiten beschouwing gelaten.

3.2.2 Hergebruikpotentieel Mother and Child – analyse

Zoals reeds eerder aangehaald, probeert de circulaire economie zoveel mogelijk hergebruik van grondstoffen en producten te promoten. Om dit hergebruik te stimuleren, wordt er best gebouwd volgens het principe van Design for Assembly wat gekenmerkt wordt door de losmaakbaarheid. Als de losmaakbaarheid geoptimaliseerd wordt dan vergroot dit het hergebruikpotentieel.

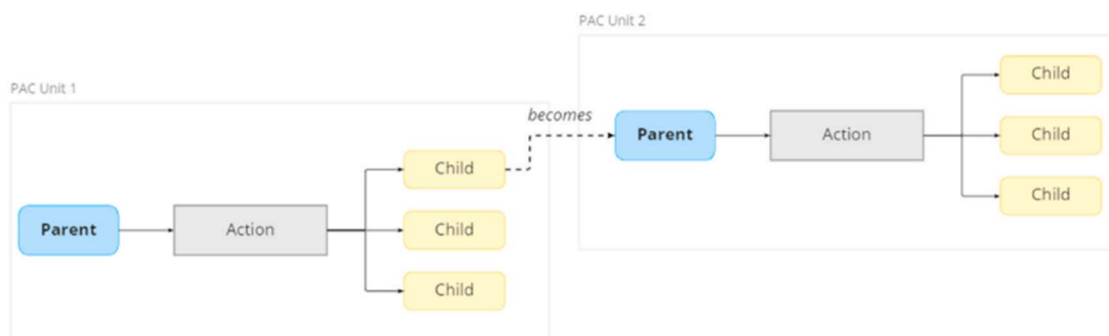
Op welke manier een product kan hergebruikt worden, verschilt van product tot product. Hiervoor komen de verschillende R-principes in aanmerking. (zie 3.1.2) Er zou dus een inschatting kunnen gedaan worden van het hergebruikpotentieel a.d.h.v. de positionering op de R-ladder en dit formuleren als een End-of Life strategie. De moeilijkheid hierin bestaat uit het feit dat deze strategie zich in de toekomst bevindt en dus eerder berust op een inschatting van een wenselijk scenario dan dat het berust op zekerheden. In hoofdstuk 3.1.4 Building as a material bank word uitgelegd dat er verschillende redenen kunnen zijn waarom een demonteerbaar element toch niet hergebruikt wordt.

Om eventueel hergebruik toch enigszins tastbaar te maken, worden de verschillende elementen verder geanalyseerd aan de hand van het Parent-action-Child (PAC) model. Dit is een analysemethodiek die gebruikt wordt in de wereld van productdesign om de demonteerbaarheid van een product in kaart te brengen en dit met het oog op betere aanpassingsmogelijkheden doorheen de levenscyclus van een product. Dit biedt vooral inzichten op de onderlinge afhankelijkheid van verschillende elementen en de handelingen die nodig zijn bij een demontage. [29]

Een PAC-model bestaat op 3 hoofdelementen:

- Parent: is het samengestelde element of product waarop de analyse van toepassing is. Het element of product dat gedemonteerd moet worden
- Action: is de fysieke daad die ervoor zorgt dat het product kan gedemonteerd worden
- Child: is het resultaat van de demontage van een parent-object.

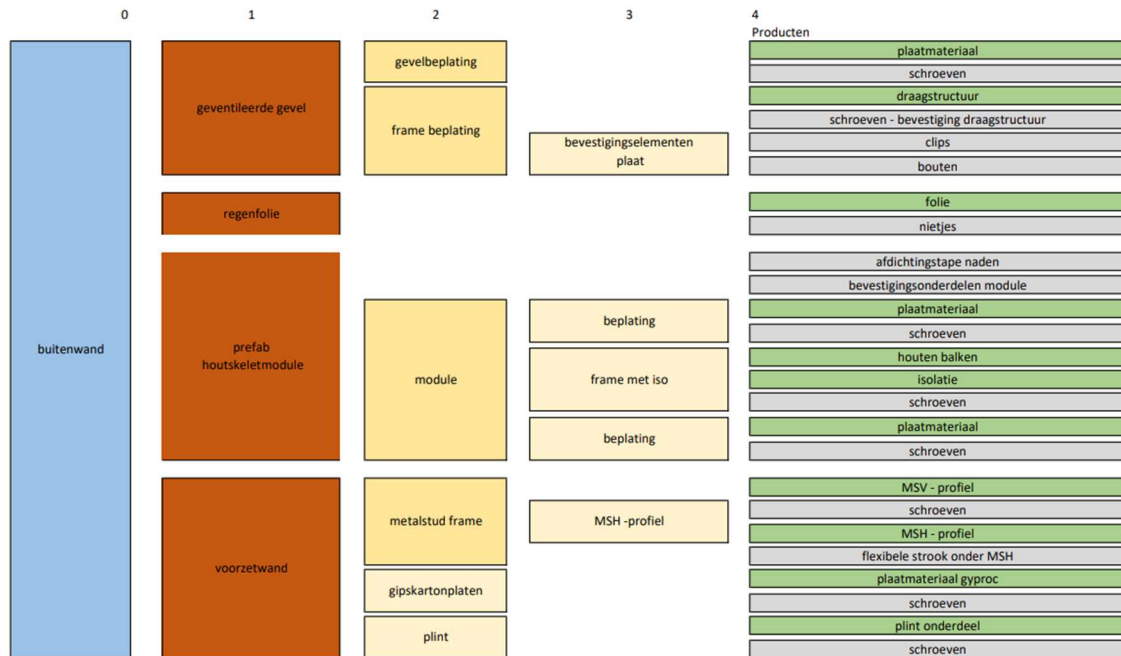
Als een child-element nog verder gedemonteerd kan worden, dan wordt dit in een 2^e fase de parent die opnieuw door een actie verder kan opgesplitst worden in kinderen. Dit gaat zo verder totdat de kinderen niet meer verder gedemonteerd kunnen worden.



Figuur 41 :Parent - Action - Child (PAC) model (Design for circular disassembly, Formentini)

Een PAC-model is een boomdiagram waarin de onderlinge relaties tussen de verschillende producten worden weergegeven. Dit schema biedt de mogelijkheid om enerzijds de materialen en de bijhorende bevestigingsmiddelen die gebruikt worden in kaart te brengen en anderzijds om hun positie t.o.v. elkaar beter te begrijpen. [29]

Voor de verdere analyse zal in deze studie deze methodiek enigszins vereenvoudigd toegepast worden. Het is belangrijker om een concreet overzicht te krijgen van de opbouw en de relatie tussen de verschillende materialen dan dat het noodzakelijk is om elke handeling die hiervoor nodig is apart te beschrijven. Daarom wordt dit model herleid tot een boomdiagram van de verschillende componenten en hun relatie. Misschien kan er in dit geval beter gesproken worden over een Mother & Child model.



Figuur 42: Mother&Child model - voorbeeld uit onderzoek

Een gebouw wordt via deze methode herleid tot een bundeling van alle materialen en componenten. Op basis van deze informatie kan hier verdere data aan gekoppeld worden die waardevol kan zijn voor verschillende partijen. In welke mate er effectief hergebruik kan gemaakt worden van de materialen zal de toekomst moeten uitwijzen maar dit model biedt mogelijkheden om de onderlinge relaties in kaart te brengen, de aanwezige materialen tot op component niveau weer te geven en alvast te werken met de informatie die hier uit voortkomt.

Als er tijdsrendementen aan de handelingen gekoppeld worden, kan hier een kosten-baten prognose op uitgevoerd worden. Door eerder opgedane ervaringen m.b.t. de restwaarde van een product in kaart te brengen, zal blijken of dit financieel interessant kan zijn.

Daarom word er enkel een werkdocument voorbereid wat het potentieel van dit model in kaart moet brengen. Louter ter illustratie wordt er een klein fragment uitgewerkt.

	data				R-principes			Demontage		Restwaarde				restwaarde na demontage		
	#	eenheid	verlies demontage %	# stuks/kg	kg	# OK	mogelijkheid tot hergebruik R-strategie	# NOK	mogelijkheid tot hergebruik R-strategie	€/m ² kostprijs	aankoop € /eenheid	restwaarde %	restwaarde €/eenheid		restwaarde €/kg	totaal €
plaatmateriaal	50	m ²	10%	5		45	Re-use	5	Refurbish	60	3000	750	40%	300	13500	10500
schroeven	400	stuks	100%	400	1000	2,5	0	Recycle	400						5	12,5
draagstructuur	200	m	5%	10		190	Re-use	10	Re-use							

Figuur 43: voorbeeld van werkdocument hergebruikpotentieel op basis van Mother&Child model

Randopmerkingen

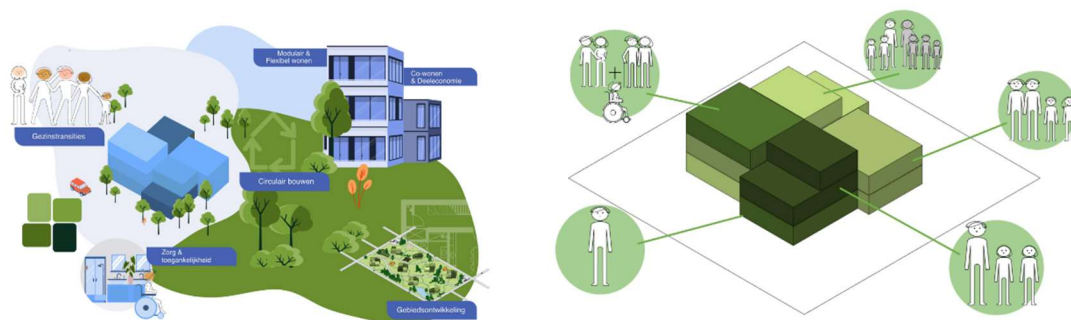
Aansprakelijkheid , terugname garantie fabrikant?, prijsindicatie wie durft??

3.3 Klavertje 4' – een modulair en flexibel bouwconcept

Om deze strategie van Design for Assembly tastbaar te maken, wordt in dit hoofdstuk alle informatie teruggekoppeld aan een specifieke case namelijk 'het Klavertje 4'. Het klavertje 4 werd ontworpen door de samenwerking van verschillende onderzoeksgroepen van het Expertisecentrum PXL Bouw & Industrie. Doorheen de verschillende stappen zal er dieper ingegaan worden op het ontwerp, de uitvoeringsmethode en mogelijke End-of-life strategie. Er wordt steeds de vergelijking gemaakt met de traditionele kijk op bouwen om duidelijk te maken waar het verschil zit en wat de meerwaarde van Design for Assembly kan zijn.

3.3.1 Omschrijving case

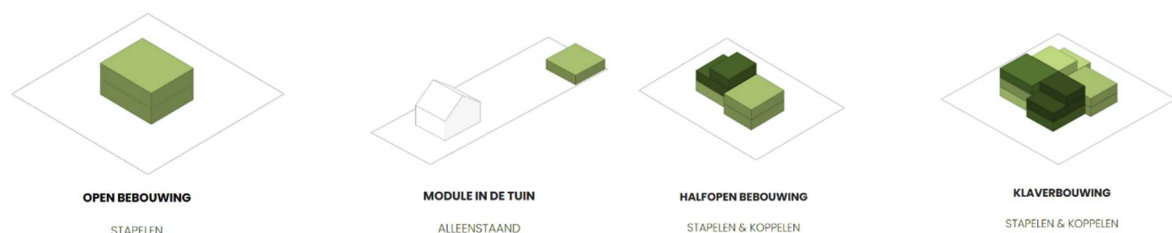
Het klavertje 4 wil in visie, ontwerp en opbouw een alternatief geven voor de traditionele vorm van huisvesting. Om een antwoord te bieden op de hedendaagse problematieken zoals woningtekort, steeds veranderende noden van bewoners,...is er sprake van de nood aan een mindshift. [30]



Figuur 44: voorstelling 'klavertje 4' -flexibel bouwconcept (woonwijs)

Daarom wordt er een flexibel en aanpasbaar ontwerp voorgesteld in functie van de behoefte van de bewoners. Een gebouw dat meegroeit met de behoefte van de bewoner en dat in zijn ontwerp al rekening houdt met de mogelijke veranderingen die in de toekomst kunnen gebeuren. [30]

(Meer informatie en details zijn terug te vinden op [WOON-WIJS – DASHBOARD](#))



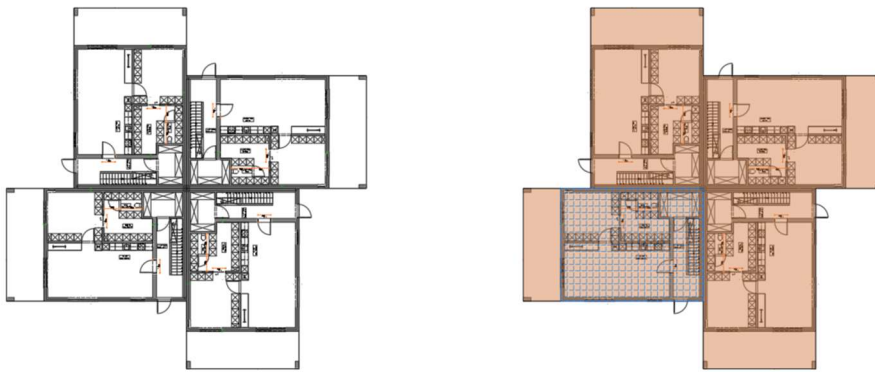
Figuur 45: variabele toepassing van woonmodules 'Klavertje 4' (woonwijs)

3.3.2 Ontwerpcriteria

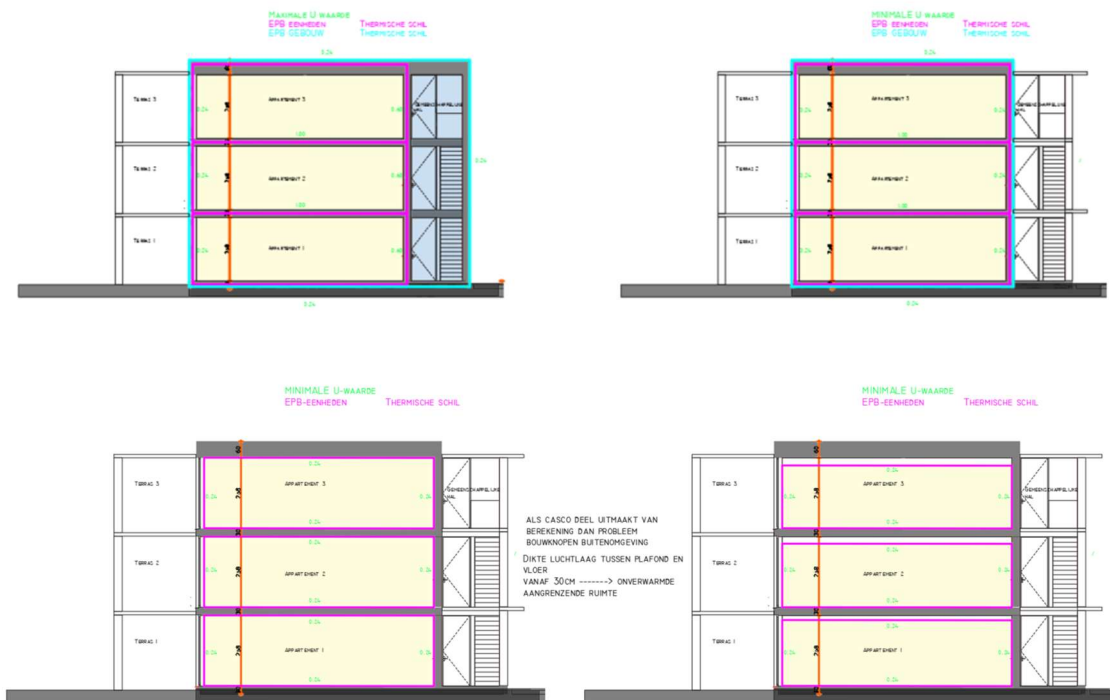
Er wordt gesproken over circulair conceptbouwen. Dit wil men bereiken door enerzijds gebruik te maken van een grid met gestandaardiseerde maten zodat de materialen en hun afmetingen gemakkelijk herbruikbaar en inwisselbaar zijn. Anderzijds de demonteerbaarheid optimaliseren door gebruik te maken van de strategie Design for Assembly. Zo kunnen er op elk moment in de levensfase van het gebouw gemakkelijk aanpassingen, herstellingen of veranderingen doorgevoerd worden. [30]



Grondplan volledig 'klavertje 4'



Indicatie van thermische eisen in functie van flexibele, variabele invulling.



Scenario 1: volledige appartementsblok behoort tot het beschermd volume met afzonderlijke EPB-eenheden.

Scenario 2: Enkel de 3 EPB-wooneenheden behoren tot het beschermd volume. De gemeenschappelijke trappenhal wordt buiten het beschermd volume geplaatst. Dit alternatief stelt de noodzaak van een verwarmde trappenhal in vraag.

Scenario 3A & 3B: De structuur doet enkel dienst als structureel element waarin de verschillende EPB-eenheden opgebouwd worden. Een soort van box-in-box principe op gebouwniveau. De structuur kan overgedimensioneerd worden zodat dit gebouw in de toekomst een totaal andere invulling kan krijgen. Dit heeft als voordeel dat elk appartement lichter gedimensioneerd kan worden en enkel zelfdragend moet zijn. Als nadeel telt de structuur thermisch gezien niet mee dus zal de vloer en het plafond dikker moeten zijn om aan de thermische eisen te voldoen.

Bij het doorlopen van de verschillende scenario's blijkt dat de thermische eisen ook anders zijn naargelang de invulling van het project. Hier kan best rekening gehouden worden met de zwaarste eis. Het biedt meer perspectief op om het gebouw een nieuwe invulling te geven maar vraagt misschien een extra investering bij de start.

3.3.3 Traditioneel VS Design for Assembly

In de volgende hoofdstukken zal er telkens vertrokken worden van de traditionele opbouw en zal er gezocht worden naar alternatieven die beter scoren op de losmaakbaarheid. De traditionele bouwmethode kenmerkt zich door een natte uitvoeringsmethode waarbij alles onherroepelijk aan elkaar verbonden wordt met niet demonteerbare verbindingen. Voor de opbouw van de traditionele variant worden voorbeelden aangehaald die rechtstreeks voortkomen uit de databank van Buildwise. Deze zullen gescoord worden op hun losmaakbaarheid a.d.h.v. de onderzochte methodiek.

De alternatieven die aangereikt worden, zijn het resultaat van het onderzoek naar circulair bouwen van het expertisecentrum PXL. Met deze alternatieven wordt er gezocht naar een opbouw die voor minimum 70% losmaakbaar is.

De funderingen worden verder niet behandeld omdat deze onderhevig zijn aan specifieke berekeningen op gebied van stabiliteit en ondergrond.

3.3.3.1 Structure : Paal-en balkmethode

Bij het bouwen volgens een traditionele methode is het de structuur die als eerste opgetrokken wordt. In het merendeel van de gevallen bestaat de verticale structuur uit een gemetst binnenspouwblad bestaande uit bouwstenen en een natte verbindingstechniek zoals cement of PU-lijm. Het type bouwstenen kan variëren maar de bouwmethodiek is gelijkend. Voor de horizontale structuur wordt er meestal gekozen voor welfsels of breedplaatvloeren met hierop een druklaag en wapening om alles te stabiliseren en te fixeren.

De verticale structuur : binnenspouwblad snelbouwstenen

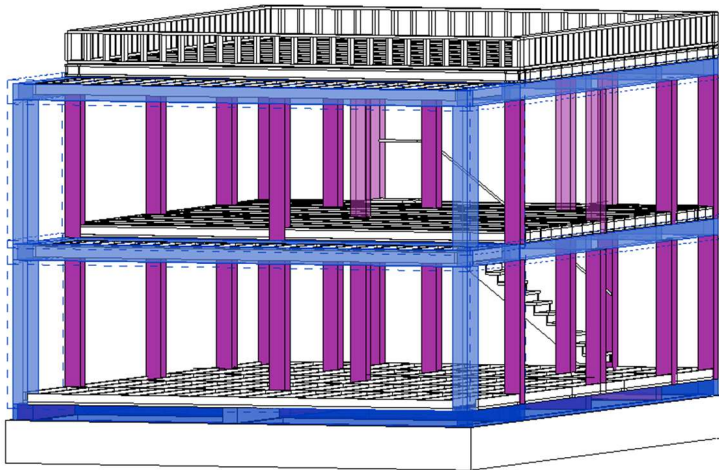
LOSMAAKBAARHEIDSLIJN PRODUCT					
ID	component	dragende verbinding		Laag	
EW 1.3	Snelbouwstenen	Funderingsplaat		Structure	
Losmaakbaarheidsindex van de connectie					
LIC					
TV	Type verbinding	harde_chemische_verbinding	cementgebonden verbindingen	0,1	0,16
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade		0,4	
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling					
LIS					
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0	0,18
RO	Randopsluiting	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,1	

De horizontale structuur : welfsels + druklaag

LI	LOSMAAKBAARHEIDINDEX PRODUCT					
ID	component	dragende verbinding			Laag	
ET 2.1	welfsels +druklaag	wand			Structure	
LIC	Losmaakbaarheidsindex van de connectie					
TV	Type verbinding	harde_chemische_verbinding	aanstortverbindingen	0,1	0,16	0,17
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade		0,4		
LIS	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling					
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0	0,18	
RO	Randopsluiting	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,1		

De welfsels en de druklaag kunnen ook apart beoordeeld worden maar voor de eenvoud zijn ze hier samen genomen. In deze analyse is de losmaakbaarheidsindex gemiddeld 17%. Er kan dus geconcludeerd worden dat bij een traditionele natte uitvoeringsmethode weinig sprake is van losmaakbaarheid en bijgevolg ook weinig potentieel op hergebruik van de elementen. Dit komt zowel door de verbindingen zelf als door het gesloten karakter van de opbouw.

Om aan de ontwerp eis van flexibiliteit en aanpasbaarheid tegenmoet te kunnen komen, zal er beter moeten gescoord worden. Om het gesloten karakter van de verticaal dragende elementen te vervangen, kan er gekeken worden naar een systeem op basis van dragende kolommen. Om al de natte verbindingen te vermijden, kunnen de wanden ingevuld worden op basis van modules die verder geen dragende functie moeten hebben en gemonteerd kunnen worden op de structuur op basis van droge verbindingen. Ook de horizontale structurele elementen kunnen vervangen worden door balken die gemonteerd worden aan de kolommen om zo een skelet te vormen. De rest van de horizontale laag kan verder opgevuld worden met vloermodules die op het skelet kunnen afdragen.



Verticaal & horizontaal : prefab kolommen en balken met demonteerbare verbinding

LI	LOSMAAKBAARHEIDINDEX PRODUCT					
ID	component	dragende verbinding			Laag	
ET 1.5	kolommen - demonteerbaar	fundering			Structure	
LIC	Losmaakbaarheidsindex van de connectie					
TV	Type verbinding	Verbinding_met_toegevoegde_elementen	Bout en moerverbinding	0,8	0,80	0,89
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8		
LIS	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling					
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0	1,00	
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0		

LI	LOSMAAKBAARHEIDINDEX PRODUCT					
ID	component	dragende verbinding			Laag	
ET 1.6	balken - demonteerbaar	kolommen			Structure	
LIC	Losmaakbaarheidsindex van de connectie					
TV	Type verbinding	Verbinding_met_toegevoegde_elementen	Bout en moerverbinding	0,8	0,80	0,89
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8		
LIS	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling					
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0	1,00	
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0		

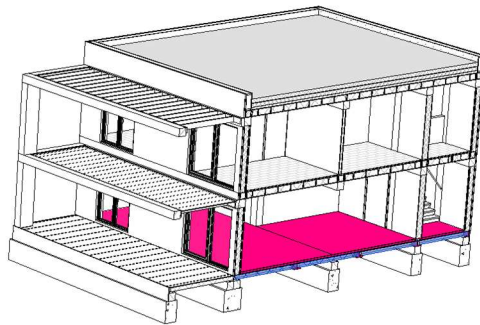
Bouwen op basis van een structureel skelet biedt dus mogelijkheden om de losmaakbaarheid te vergroten. Deze aanpassing zorgt dat de losmaakbaarheid van de structurele laag verbeterd wordt van 17% naar 89%.

Als er dan op dit skelet gewerkt wordt met prefab elementen die gedemonteerd kunnen worden en verbindingen hebben die losmaakbaar zijn, kan deze hoge graad aan losmaakbaarheid behouden blijven voor de structuur.

Horizontaal / verticaal : prefab module of welfsels met demonteerbare verbinding zonder druklaag

LI	LOSMAAKBAARHEIDINDEX PRODUCT						
ID	component	dragende verbinding			Laag		
ET 1.4	welfsels of module - demonteerbaar	balk of kolom			Structure		
LIC	Losmaakbaarheidsindex van de connectie						
TV	Type verbinding	Verbinding_met_toegevoegde_elementen	Bout en moerverbinding		0,8	0,80	0,89
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handeling en die geen schade veroorzaken			0,8		
LIS	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling						
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen			1,0	1,00	
RO	Randopsluting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen			1,0		

3.3.3.2 Vloeropbouw +0



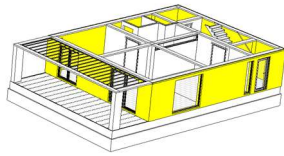
Traditioneel wordt er meestal gekozen voor een ter plaatse gestorte funderingsplaat of een vloerplaat op een sleuffundering waarop er verder gebouwd wordt.

Opbouw							TV	ToV	LIC	DK	RO	LS	LI
ID	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand							
BINNEN													
EV 1.1	keramische tegel	0,01	*	nat	chape	Space plan	0,10	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	0,18
EV 1.2	chape		*	nat	uitvuilmortel	Space plan	1,00	0,40	0,57	0,10	0,10	0,10	0,17
EV 1.3	vloerverwarming	0,08	*	droog	uitvuilmortel	Services	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
EV 1.4	isolerende uitvuilmortel (Thermomix EPS)		*	nat	funderingsplaat	Skin	0,20	0,40	0,27	0,10	0,10	0,10	0,15
EV 1.5	technieken	0,16	*	droog	funderingsplaat	Services	1,00	0,40	0,57	0,10	0,10	0,10	0,17
EV 1.6	PE-folie	0,005	*	losliggend	funderingsplaat	Skin	1,00	0,40	0,57	1,00	0,10	0,18	0,28
EV 1.7	Beton	0,2	*	nat	fundering	Structure	0,10	0,10	0,10	1,00	0,10	0,18	0,13
EV 1.8	PVC-folie	0,005	*	losliggend	grond	Skin	1,00	0,40	0,57	1,00	0,10	0,18	0,28
BUITEN													
Totaal gemiddeld							4,50	2,30	2,85	4,40	1,70	1,95	1,45
							0,56	0,29	0,36	0,55	0,21	0,24	0,18

Een alternatief zou volgende opbouw zijn :

Opbouw							TV	ToV	LIC	DK	RO	LS	LI
ID	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand							
BINNEN													
EV 2.1	parket	0,02		klicksysteem	plaatmateriaal	Space plan	1,00	0,80	0,89	1,00	0,40	0,57	0,70
EV 2.2	plaatmateriaal	0,02		schroeven	plaatmateriaal vloerVW	Space plan	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
EV 2.3	plaatmateriaal voor vloerverwarming			droog	houtskelet	Space plan	0,80	0,60	0,69	0,10	0,40	0,16	0,26
EV 2.4	vloerverwarming	0,02		klicksysteem	plaatmateriaal vloerVW	Services	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,18	0,31
EV 2.5	houtskelet met iso	0,3		bouten	funderingsleuf	Structure	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	0,89
EV 2.6	plaatmateriaal magnesiumoxide	0,01		losliggend	granulaat	Skin	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,57	0,73
EV 2.7	glasgranulaat - Geocell	0,05		/	grond	Skin	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
EV 2.8													
BUITEN													
Totaal gemiddeld							6,60	6,20	6,37	5,20	5,20	4,48	4,88
							0,94	0,89	0,91	0,74	0,74	0,64	0,70

3.3.3.3 Buitenwanden



Traditioneel bestaat een buitenwand uit een gemetst buitenspouwblad, een luchtspouw, isolatie met pluggen en een gemetst binnenspouwblad met hierin de technieken weggewerkt, afgewerkt met een pleister aan de binnenzijde. Al deze natte verbindingen belemmeren de losmaakbaarheid en mogelijk hergebruik in de toekomst. Deze opbouw heeft een losmaakbaarheid van 26%.

ID	Opbouw												
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LiS	Li
BINNEN													
EW 1.1	Pleister laag	0,02	*	nat	Binnenspouwblad	Space plan	0,10	0,40	0,16	1,00	0,10	0,18	0,17
EW 1.2	Technieken	0,15	*	nat	Binnenspouwblad	Services	0,10	0,40	0,16	0,10	0,10	0,10	0,12
EW 1.3	Snelbouwstenen		*	nat	Funderingsplaat	Structure	0,10	0,40	0,16	0,10	0,10	0,10	0,12
EW 1.4	isolatie PURplaten	0,14	*	pluggen	Binnenspouwblad	Skin	0,80	0,40	0,53	1,00	1,00	1,00	0,70
EW 1.5	Buitenmetselwerk	0,09	*	nat	Binnenspouwblad	Skin	0,10	0,40	0,16	1,00	0,10	0,18	0,17
EW 1.6													
EW 1.7													
EW 1.8													
BUITEN													
Totaal gemiddeld							1,20	2,00	1,17	3,20	1,40	1,56	1,28
							0,24	0,40	0,23	0,64	0,28	0,31	0,26

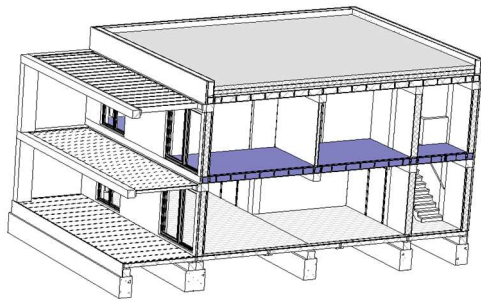
Een alternatief zou de houtskeletmethode kunnen zijn. Dit kan zowel gebouwd worden op basis van prefab modules als volledig ter plaatse op de werf. Puur in functie van de meetmethodiek heeft dit wel degelijk een invloed. Aangezien er gekeken wordt naar de elementen of producten zoals ze op de werf aan komen, geeft dit een anders resultaat. Als dit als een prefab module op de werf aankomt, is dit in principe een bouwmethodiek die te vergelijken is met de demonteerbare modules en zou de volledige module een losmaakbaarheid van 89% hebben.

ID	Opbouw												
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LiS	Li
BINNEN +1													
ET 2.1	plaatmateriaal - tand en groef	0,02		schroeven	geraamte	Structure	0,80	0,80	0,80	1,00	0,40	0,57	0,67
ET 2.2	geraamte balken & klossen	0,24		schroeven	wand	Structure	0,80	0,80	0,80	0,10	1,00	0,18	0,30
ET 2.3	isolatie - los		droog	plaatmateriaal	Skin	1,00	0,80	0,89	0,10	1,00	0,18	0,30	
ET 2.4	plaatmateriaal - tand en groef	0,02		schroeven	geraamte	Structure	0,80	0,80	0,80	1,00	0,40	0,57	0,67
ET 2.5													
ET 2.6													
ET 2.7													
ET 2.8													
BINNEN +0													
Totaal gemiddeld							3,40	3,20	3,29	2,20	2,80	1,51	1,93
							0,85	0,80	0,82	0,55	0,70	0,38	0,48

Als dit op de werf gebouwd zou worden en de meetmethodiek gehanteerd wordt, geeft dit als resultaat een losmaakbaarheid van 48%. Het houtskelet geraamte wordt vaak opgevuld met een isolerend materiaal om aan thermische of akoestische eisen te kunnen voldoen. Dit wil zeggen dat de laag skin, de isolatie, geïntegreerd is in de structurele laag. Dit zorgt ervoor dat de losmaakbaarheid van 89% verlaagt wordt tot 48%. Of dit in de praktijk effectief nefast is voor de losmaakbaarheid valt te betwijfelen maar dit geeft aan dat de meetmethodiek ook zijn beperkingen heeft en er ten allen tijde kritisch gekeken moet worden naar de resultaten.

ID	Opbouw												
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LiS	Li
BINNEN													
EW 2.1	technieken in opbouw	0,04	-	schroeven	pavaplan plaatmateriaal	Services	0,80	1,00	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
EW 2.2	Pavaplan (luchtdichtingstape Pavafix win) houtvezel	0,008	/	schroeven	houtskelet	Space plan	0,80	0,40	0,53	1,00	1,00	1,00	0,70
EW 2.3	Houtskelet	0,3		schroeven	houtskeletvloermodule	Structure	0,80	0,40	0,53	0,10	1,00	0,18	0,27
EW 2.4	Gramitherm Los in houtskelet		losliggend	houtskelet	Skin	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,18	0,31	
EW 2.5	Houtvezel plaat (isolair multi)	0,1	0,041	schroeven	houtskelet	Skin	0,80	0,60	0,69	1,00	0,40	0,57	0,62
EW 2.6	Panlat	0,03	0,01	schroeven	houtskelet	Skin	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	0,89
EW 2.7	Houten gerecycleerde gevelafwerking	0,02	0,01	schroeven	panlat	Skin	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	0,89
EW 2.8													
BUITEN													
Totaal gemiddeld							5,80	5,00	5,24	5,20	6,40	4,94	4,62
							0,83	0,71	0,75	0,74	0,91	0,71	0,66

3.3.3.4 Tussenvloer +1



Bij de traditionele bouwmethode wordt dit meestal met welfsels en druklaag uitgevoerd of een gelijkwaardig alternatief met hierop de verdere vloerafwerking. Hier moet in mindere mate rekening gehouden worden met thermische eisen maar andere noodzaken doen zich voor. De technieken moeten weggewerkt worden en dit gebeurt meestal in een (isolerende) uitvulmortel.

Uit de analyse van de structuur werd reeds duidelijk wat de impact van de druklaag op de losmaakbaarheid van de welfsels is. Diezelfde redenering trekt zich door bij het wegwerken van de technieken in een vast gegoten materie.

ID	Material	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LIS	Li
ET 1.1	tegels	0,02		nat	chape	Space plan	0,10	0,40	0,16	1,00	0,10	0,18	0,17
ET 1.2	chape			nat	uitvulmortel iso	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
ET 1.3	vloerverwarming	0,08		droog	uitvulmortel iso	Services	0,80	0,10	0,18	0,10	0,10	0,10	0,13
ET 1.4	isolerende uitvulmortel			nat	welfsels + druklaag	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
ET 1.5	technieken	0,08		droog	welfsels + druklaag	Services	1,00	0,10	0,18	0,10	0,10	0,10	0,13
ET 1.6	druklaag beton	0,03		nat	welfsels + wand	Structure	0,10	0,10	0,10	1,00	0,10	0,18	0,13
ET 1.7	welfsels	0,13		droog	wand	Structure	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
ET 1.8	pleister	0,01		nat	welfsels	Space plan	0,10	0,60	0,17	1,00	0,10	0,18	0,18
BINNEN +0													
Totaal gemiddeld		0,35					3,30	2,30	1,88	4,40	1,70	1,95	1,87
							0,41	0,29	0,23	0,55	0,21	0,24	0,23

Een skeletstructuur was de structurele basis dat als alternatief naar voor werd geschoven. Op het skelet kunnen structurele, demonteerbare elementen gemonteerd worden om tot een dragende vloerplaat te komen. Natte verbindingen of druklagen worden hierdoor vermeden.

ID	Opbouw	Material	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LIS	Li
BINNEN +1														
ET 2.1	parket		0,01	*	droog	vormplaat	Space plan	1,00	0,80	0,89	1,00	0,40	0,57	0,70
ET 2.2	vloerverwarming			*	klicksysteem	vormplaat	Services	1,00	0,80	0,89	0,10	1,00	0,18	0,30
ET 2.3	liithoerm vormplaat +profielstrook		0,06	*	droog	houtvezelplaat	Space plan	1,00	0,80	0,89	0,10	0,40	0,16	0,27
ET 2.4	zachte houtvezelplaat 2x		0,04	*	droog	uitvullaag thermo	Skin	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
ET 2.5	droge vulling Cemwood			*	droog	houten plafond	Skin	1,00	0,80	0,89	0,10	1,00	0,18	0,30
ET 2.6	technieken		0,15	*	droog	houten plafond	Services	0,80	0,80	0,80	0,10	1,00	0,18	0,30
ET 2.7	vliesdoek			*	droog	houten plafond	Skin	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
ET 2.8	houten plafond vol		0,15	*	droog	wanden	Structure	0,80	0,60	0,69	1,00	1,00	1,00	0,81
BINNEN +0														
Totaal gemiddeld			0,41					7,60	6,20	6,82	4,40	6,80	4,28	4,56
								0,95	0,78	0,85	0,55	0,85	0,53	0,57

Zelfs voor de vloerverwarming zijn er droge alternatieven die niet moeten ingestort worden in een chape laag. Een steeds terugkomende problematiek is de integratie van technieken in een bepaalde laag. In dit voorbeeld zijn zowel de gewone technieken als de vloerverwarming geïntegreerd in een andere laag. Hierdoor scoren 4 van de 8 elementen een 0,1 op het criteria doorkruisingen. Dit heeft een enorme impact op de losmaakbaarheidsscore. En dit ondanks het feit dat de volledige opbouw bestaat uit omkeerbare verbindingen.

Indien de technieken bijvoorbeeld in een plenum onder de structurele laag geplaatst zouden worden en daarna afgewerkt met een verlaagd plafond, zou dit deze score kunnen verbeteren. Dit zou een mogelijk realistisch scenario zijn wanneer zich dit voordoet in 1 wooneenheid maar bij 2 aparte wooneenheden lijkt dit een minder voor de hand liggende oplossing.

4 Eindresultaat

4.1 Overzichtsfiche elementniveau -CIRCULARITEIT onderzoeksgroep

PXL BOUW & INDUSTRIE	Circulariteits Fiche ELEMENT	
wandopbouw	houtskelet dragend - prefab	
Snedes	Algemene informatie	



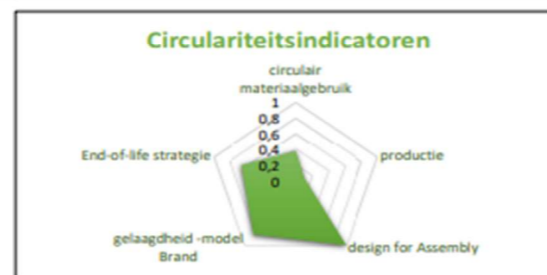
Prefab houtskelet wanden
enkel geelafwerking moet nog on-site gebeuren

Opbouw						prijs
Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Grondstof	paspoort ID	€/m ²
BINNEN						
1	technieken in opbouw	0,04				
2	Pavaplan (luchtdichtingstape Pavafix v	0,008	/			
3	Houtskelet + gramittherm los	0,3				
4	Houtvezel plaat (isolair multi)	0,1	0,041			
5	Panlat	0,03	0,01			
6	Houten gerecycleerde gevelafwerking	0,02	0,01			
7						

Totaal	0,50
U-waarde	0,13

Aandachtspunten	
thermische aansluiting tussen de verschillende prefabonderdelen luchtdicht afwerken --> afplakken van naden tussen prefabelementen --> PAVAFIX	
Voordelen	nadelen
grotendeels prefab te fabriceren efficiënte montage grotendeels grondstoffen van natuurlijke oorsprong	1 prefabelement / wand beperkt de hergebruikmogelijkheden door z'n afmeting

circulariteit	
circulair materiaalgebruik	0,39
productie	0,11
design for Assembly	1,00
gelaagdheid -model Brand	0,83
End-of-life strategie	0,67



Welke indicatoren kunnen we gebruiken voor circulariteitsanalyse?

circulariteitsanalyse							
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--

Analyse materiaalgebruik van het product - Pre-consumer

Hoe wordt het product gemaakt?

component	1	2	3	4	5	6	7	totaal
circulair materiaalgebruik - productie								0,39
hergebruikt (reused) materiaal	-	-	-	-	-	X		0,06
Bio-based	-	-	X	X	X	X		0,22
gerecycleerde materialen	-	-	X	X	-	-		0,11
productie								0,11
prefab	-	-	X	-	-	-		0,06
gestandaardiseerd	-	-	X	-	-	-		0,06
modulair	-	-	-	-	-	-		0,00

Productie

Analyse toepassing van het product - consumer

Hoe wordt het product gebruikt?

Design for Assembly	1	2	3	4	5	6	7	totaal
demonteerbaar	X	X	X	X	X	X		1,00
Model van Brand - gelaagdheid								0,83
geen doorkruisingen van verschillende lagen	X	X	-	X	X	X		0,83

Toepassing

Analyse naverwerking van het product - post-consumer

Wat gebeurt er op einde met het product?

Strategie End-of-life gebouw	1	2	3	4	5	6	7	totaal
Reuse	X							1,00
Repair								0,00
Refurbish		X	X	X		X		2,67
remanufacture								0,00
recycle					X			0,33
recover								0,00



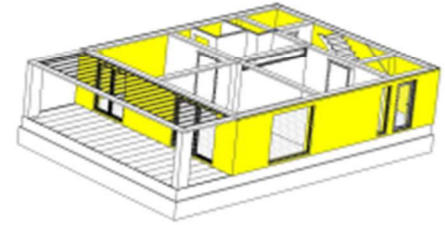
Hergebruik

0,66667



Onderzoek
circulariteitsindicatoren

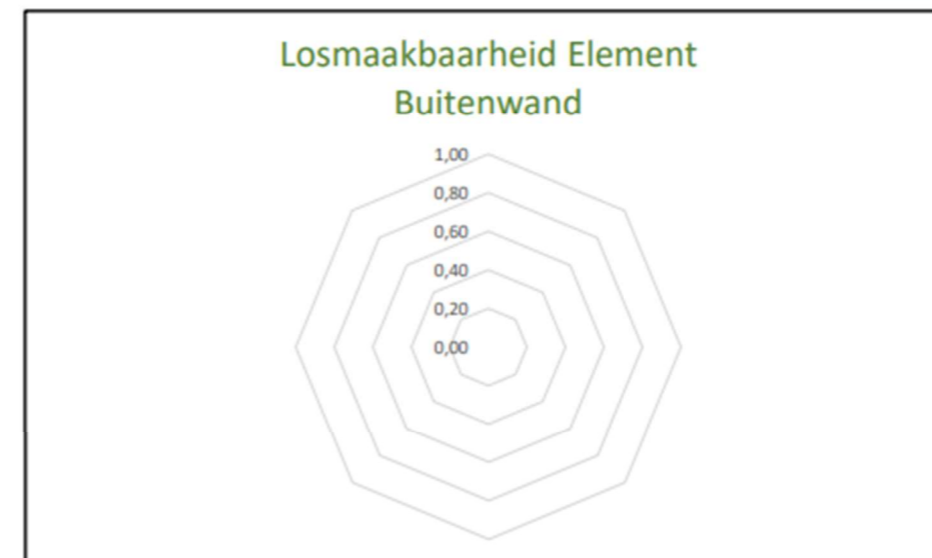
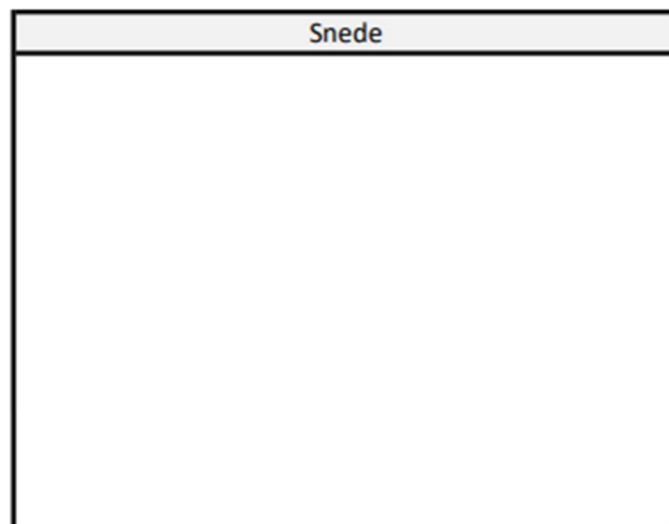
4.2 Leeg werkblad

	<p><i>Design for assembly</i> Elementenfiche BUITENWANDEN</p>	
Expertisecentrum PXL	Optie 2 :	Losmaakbaarheid
Buitenwand	Algemene informatie	ID EW 2
		

Opbouw													
ID	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	LiC	DK	RO	LiS	Li
BINNEN													
EW 2.1													
EW 2.2													
EW 2.3													
EW 2.4													
EW 2.5													
EW 2.6													
EW 2.7													
EW 2.8													
BUITEN													

Totaal
gemiddeld

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####



4.3 Gebruiksaanwijzing

PXL BOUW & INDUSTRIE	<i>Design for assembly</i> Elementenfiche BinnenWANDEN	
Expertisecentrum PXL	Traditionele opbouw : buitenwand	Losmaakbaarheid
Buitenwand	Algemene informatie	ID EW 1
	ENKEL DE GELE CELLEN MOETEN INGEVULD WORDEN DE REST GEBEURT AUTOMATISCH	

ID	Opbouw					
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand
BINNEN						
EW 1.1	Pleisterlaag	0,02	*	nat	Binnenspouwblad	Space plan
EW 1.2	Technieken	0,15	*	nat	Binnenspouwblad	Services
EW 1.3	Snelbouwstenen		*	nat	Funderingsplaat	Structure
EW 1.4	isolatie PURplaten	0,14	*	plug + lijm	Binnenspouwblad	Skin
EW 1.5	Buitenmetselwerk	0,09	*	nat	Binnenspouwblad	Skin
EW 1.6						
EW 1.7						
EW 1.8						
BUITEN						

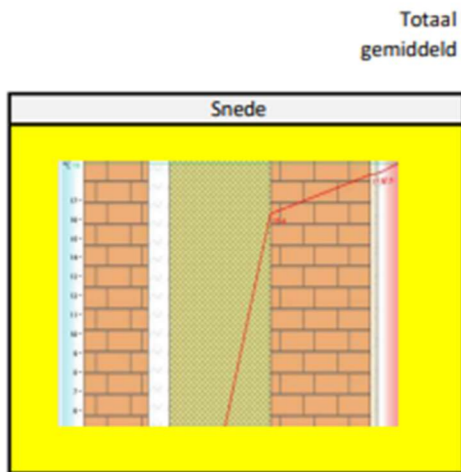
wordt automatisch ingevuld						
TV	ToV	LIC	DK	RO	LIS	Li
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B
#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!
#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!
#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!
#VERW!	#VERW!	#N/B	#VERW!	#VERW!	#VERW!	#VERW!
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B

STAP 2:
de losmaakbaarheid van elk element
afzonderlijk beoordelen
opties verschijnen door op de cel te klikken

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX
Analyse van elk onderdeel apart

STAP 1:
invullen van de nodige
informatie in het
overzichtsblad

Losmaakbaarsindex
van de opbouw



STAP 3:
Losmaakbaarheidsindex van
de opbouw wordt bepaald
*spindigram aanpassen aan
de opbouw*

STAP 2:
de losmaakbaarheid van elk element
afzonderlijk beoordelen

opties verschijnen door op de cel te klikken

enkel de gele cellen aanpassen, de rest gebeurt automatisch

Li	LOSMAAKBAARHEIDSIINDEX PRODUCT				0,17
ID	component	dragende verbinding		Laag	
EW 1.1	Pleisterlaag	Binnenspouwblad		Space plan	
LIC	Losmaakbaarheidsindex van de connectie				0,16
TV	Type verbinding	harde_chemische_verbinding	harde chemische verbinding	0,1	
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade		0,4	
LIS	Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				0,18
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0	
RO	Randopsluiting	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,1	

LIC Losmaakbaarheidsindex van de connectie

TV	Type verbinding	score
	Droge verbinding Los (geen bevestigingsmateriaal) klikverbinding kittenbandverbinding magnetische verbinding	1
	verbinding met toegevoegde elementen Bout en moerverbinding veerverbinding hoekverbinding schroefverbinding verbindingen met toegevoegde verbindingselementen	0,8
	Directe-integrale verbinding pinverbindingen spijkerverbindingen	0,6
	zachte chemische verbinding kitverbindingen schuimverbindingen (Pur,...)	0,2
	harde chemische verbinding lijmverbindingen aanstortverbindingen lasverbindingen cementgebonden verbindingen chemische ankers harde chemische verbinding	0,1



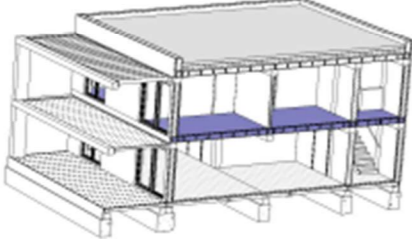
ToV	Toegankelijkheid van de verbinding	score
	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1
	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8
	Toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade	0,6
	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4
	Niet toegankelijk - onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1

LIS Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling

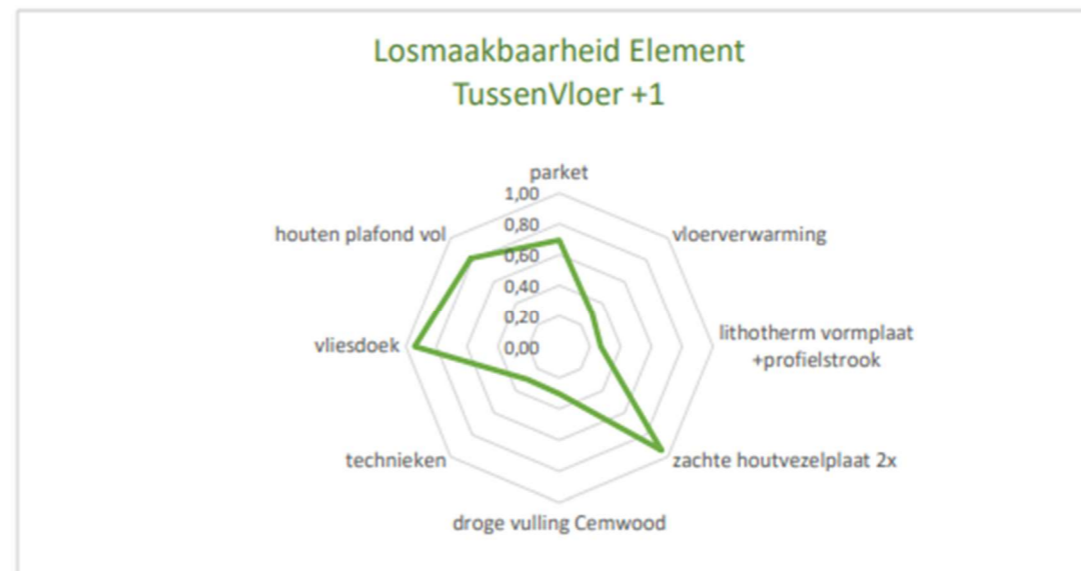
DK	Doorkruisingen	score
	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen	1
	Incidentele doorkruisingen van producten of elementen uit verschillende lagen	0,4
	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen	0,1

RO	Randopsluiting	score
	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen	1
	Overlappend, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen	0,4
	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen	0,1

4.4 Overzichtsfiguur op Elementsniveau – Losmaakbaarheid

	Design for assembly Elementenfiche TUSSENVLOER	
Expertisecentrum PXL tussenvloer +1	Optie 2 : LithoWood Algemene informatie	Losmaakbaarheid ID ET 2
	Zoektocht naar een volledig demonteerbare opbouw van een tussenvloer. - structuur op basis van demonteerbare modules (afmetingen en type afhankelijk van de uitvoering) - stabiliserende los geplaatste laag voor het wegwerken van de technieken. (type Cemwood) - houtvezelplaat als thermische plaat en stabiele ondergrond voor de vloerverwarming (kan best in 2 lagen geplaatst worden en geschrinkt) - prefab vloerverwarmingselementen (type Lithotherm) - droge afwerking met parket- losgeplaatst	

ID	Opbouw						TV	ToV	LiC	DK	RO	LIS	Li		
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand									
BINNEN +1															
ET 2.1	parket	0,01	*	droog	vormplaat	Space plan	1,00	0,80	0,89	1,00	0,40	0,57	0,70		
ET 2.2	vloerverwarming	0,06	*	klicksysteem	vormplaat	Services	1,00	0,80	0,89	0,10	1,00	0,18	0,30		
ET 2.3	lithotherm vormplaat +profielstrook		*	droog	houtvezelplaat	Space plan	1,00	0,80	0,89	0,10	0,40	0,16	0,27		
ET 2.4	zachte houtvezelplaat 2x	0,04	*	droog	uitvullaag thermo	Skin	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94		
ET 2.5	droge vulling Cemwood	0,15	*	droog	houten plafond	Skin	1,00	0,80	0,89	0,10	1,00	0,18	0,30		
ET 2.6	technieken		*	droog	houten plafond	Services	0,80	0,80	0,80	0,10	1,00	0,18	0,30		
ET 2.7	vliesdoek	*	*	droog	houten plafond	Skin	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94		
ET 2.8	houten plafond vol	0,15	*	droog	wanden	Structure	0,80	0,60	0,69	1,00	1,00	1,00	0,81		
BINNEN +0															
Totaal gemiddeld		0,41							7,60	6,20	6,82	4,40	6,80	4,28	4,56
									0,95	0,78	0,85	0,55	0,85	0,53	0,57



LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.1	parket	vormplaat		Space plan
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	klikverbinding	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0
RO	Randopsluiting	Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,4
				0,89
				0,70

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.5	droge vulling Cemwood	houten plafond		Skin
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen		0,1
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,89
				0,30

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.2	vloerverwarming	vormplaat		Services
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	klikverbinding	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen		0,1
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,89
				0,30

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.6	technieken	houten plafond		Services
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Verbinding_met_toegevoegde_elementen	verbindingen met toegevoegde verbindingselementen	0,8
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen		0,1
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,18
				0,30

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.3	lithotherm vormplaat +profielstrook	houtvezelplaat		Space plan
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen		0,1
RO	Randopsluiting	Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,4
				0,89
				0,27

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.7	vliesdoek	houten plafond		Skin
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,89
				0,94

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.4	zachte houtvezelplaat 2x	uitvullag thermo		Skin
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,89
				0,94

LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.8	houten plafond vol	wanden		Skin
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Verbinding_met_toegevoegde_elementen	verbindingen met toegevoegde verbindingselementen	0,8
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade		0,6
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0
RO	Randopsluiting	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		1,0
				0,69
				0,81

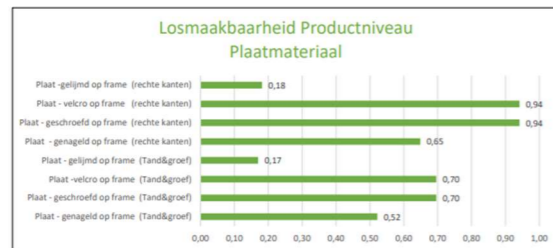
LOSMAAKBAARHEIDSINDEX PRODUCT				
Li				
ID	component	dragende verbinding		Laag
ET 2.1	parket	vormplaat		Space plan
Losmaakbaarheidsindex van de connectie				
TV	Type verbinding	Droge_verbinding	klikverbinding	1,0
ToV	Toegankelijkheid verbinding	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken		0,8
Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling				
DK	Doorkruisingen	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen		1,0
RO	Randopsluiting	Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen		0,4
				0,89
				0,70

Berekening van de Losmaakbaarheidsindex
 Voor elk product op elementen niveau gebeurt de analyse

4.5 Analyse losmaakbaarheid op componentniveau

	Design for assembly Vergelijking verschillende mogelijkheden op materiaalsniveau	
	Losmaakbaarheid Algemene informatie	
Binneafwerking voorzetwand	Vergelijking van verschillende verbindingstechnieken van plaatmateriaal: -plaatmateriaal (tand&groef) : principe van bvb OSB of andere types met overlappende verbindingen -plaatmateriaal (rechte kanten) : dit kan in principe eender welk type plaatmateriaal zijn zolang het maar rechte kanten heeft m.a.w. geen overlappende naden. Het frame waarop bevestigd wordt word hier buiten beschouwing gelaten dus enkel het type plaat en het type verbinding zijn bepalend	

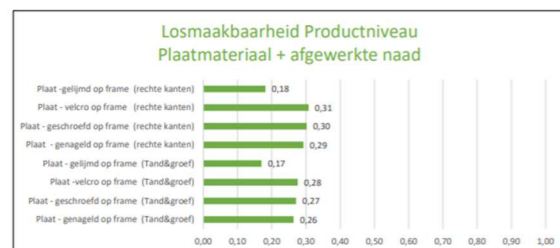
ID	Opbouw						Losmaakbaarheid						
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	UC	DK	RO	LIS	LI
BINNEN													
2.1	Plaat - genageld op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,40	0,48	1,00	0,40	0,57	0,52
2.2	Plaat - geschroefd op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	1,00	0,89	1,00	0,40	0,57	0,70
2.3	Plaat - velcro op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,80	0,89	1,00	0,40	0,57	0,70
2.4	Plaat - gelijmd op frame (Tand&groef)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	1,00	0,40	0,57	0,17
2.5	Plaat - genageld op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,40	0,48	1,00	1,00	1,00	0,65
2.6	Plaat - geschroefd op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	1,00	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
2.7	Plaat - velcro op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,80	0,89	1,00	1,00	1,00	0,94
2.8	Plaat - gelijmd op frame (rechte kanten)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	0,18
BUITEN													



een

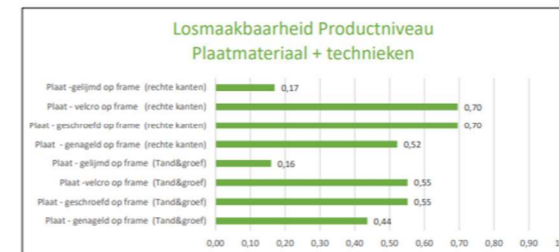
	Design for assembly Vergelijking verschillende mogelijkheden op materiaalsniveau	
	Losmaakbaarheid Algemene informatie	
Binneafwerking voorzetwand	Vergelijking van verschillende verbindingstechnieken van plaatmateriaal: -plaatmateriaal (tand&groef) : principe van bvb OSB of andere types met overlappende verbindingen -plaatmateriaal (rechte kanten) : dit kan in principe eender welk type plaatmateriaal zijn zolang het maar rechte kanten heeft m.a.w. geen overlappende naden. Deze type platen maar nu als de naden zijn afgewerkt met een pleister zodat ze 1 geheel vormen (bvb pleister bij gipskartonplaten of leempleister over houtplaten	

ID	Opbouw						Losmaakbaarheid						
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	UC	DK	RO	LIS	LI
BINNEN													
2.1	Plaat - genageld op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,10	0,17	1,00	0,40	0,57	0,26
2.2	Plaat - geschroefd op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	0,10	0,18	1,00	0,40	0,57	0,27
2.3	Plaat - velcro op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,10	0,18	1,00	0,40	0,57	0,28
2.4	Plaat - gelijmd op frame (Tand&groef)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	1,00	0,40	0,57	0,17
2.5	Plaat - genageld op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,10	0,17	1,00	1,00	1,00	0,29
2.6	Plaat - geschroefd op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	0,10	0,18	1,00	1,00	1,00	0,30
2.7	Plaat - velcro op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,10	0,18	1,00	1,00	1,00	0,31
2.8	Plaat - gelijmd op frame (rechte kanten)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	0,18
BUITEN													



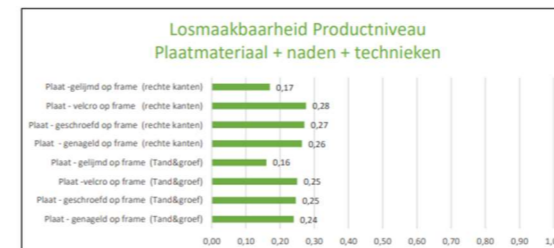
	Design for assembly Vergelijking verschillende mogelijkheden op materiaalsniveau	
	Losmaakbaarheid Algemene informatie	
Binneafwerking voorzetwand	Vergelijking van verschillende verbindingstechnieken van plaatmateriaal: -plaatmateriaal (tand&groef) : principe van bvb OSB of andere types met overlappende verbindingen -plaatmateriaal (rechte kanten) : dit kan in principe eender welk type plaatmateriaal zijn zolang het maar rechte kanten heeft m.a.w. geen overlappende naden. Deze type platen zonder afwerking van naden maar met technieken die occasioneel door de wand komen (electriciteit, water, verwarming,...)	

ID	Opbouw						Losmaakbaarheid						
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	UC	DK	RO	LIS	LI
BINNEN													
2.1	Plaat - genageld op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,40	0,48	0,40	0,40	0,40	0,44
2.2	Plaat - geschroefd op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	1,00	0,89	0,40	0,40	0,40	0,55
2.3	Plaat - velcro op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,80	0,89	0,40	0,40	0,40	0,55
2.4	Plaat - gelijmd op frame (Tand&groef)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,40	0,40	0,40	0,16
2.5	Plaat - genageld op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,40	0,48	0,40	1,00	0,57	0,52
2.6	Plaat - geschroefd op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	1,00	0,89	0,40	1,00	0,57	0,70
2.7	Plaat - velcro op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,80	0,89	0,40	1,00	0,57	0,70
2.8	Plaat - gelijmd op frame (rechte kanten)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,40	1,00	0,57	0,17
BUITEN													

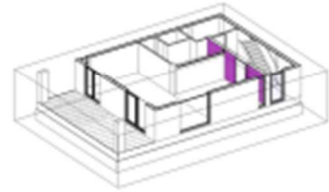


	Design for assembly Vergelijking verschillende mogelijkheden op materiaalsniveau	
	Losmaakbaarheid Algemene informatie	
Binneafwerking voorzetwand	Vergelijking van verschillende verbindingstechnieken van plaatmateriaal: -plaatmateriaal (tand&groef) : principe van bvb OSB of andere types met overlappende verbindingen -plaatmateriaal (rechte kanten) : dit kan in principe eender welk type plaatmateriaal zijn zolang het maar rechte kanten heeft m.a.w. geen overlappende naden. Deze type platen maar de naden zijn afgewerkt + occasionele doorkruising van technieken	

ID	Opbouw						Losmaakbaarheid						
	Materiaal	Dikte [m]	Lambda	Verbinding	Dragende verbinding	model van Brand	TV	ToV	UC	DK	RO	LIS	LI
BINNEN													
2.1	Plaat - genageld op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,10	0,17	0,40	0,40	0,40	0,24
2.2	Plaat - geschroefd op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	0,10	0,18	0,40	0,40	0,40	0,25
2.3	Plaat - velcro op frame (Tand&groef)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,10	0,18	0,40	0,40	0,40	0,25
2.4	Plaat - gelijmd op frame (Tand&groef)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,40	0,40	0,40	0,16
2.5	Plaat - genageld op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,60	0,10	0,17	0,40	1,00	0,57	0,26
2.6	Plaat - geschroefd op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	0,80	0,10	0,18	0,40	1,00	0,57	0,27
2.7	Plaat - velcro op frame (rechte kanten)	0,02	*	droog	Frame	Space plan	1,00	0,10	0,18	0,40	1,00	0,57	0,28
2.8	Plaat - gelijmd op frame (rechte kanten)	0,02	*	verlijmd	Frame	Space plan	0,10	0,10	0,10	0,40	1,00	0,57	0,17
BUITEN													

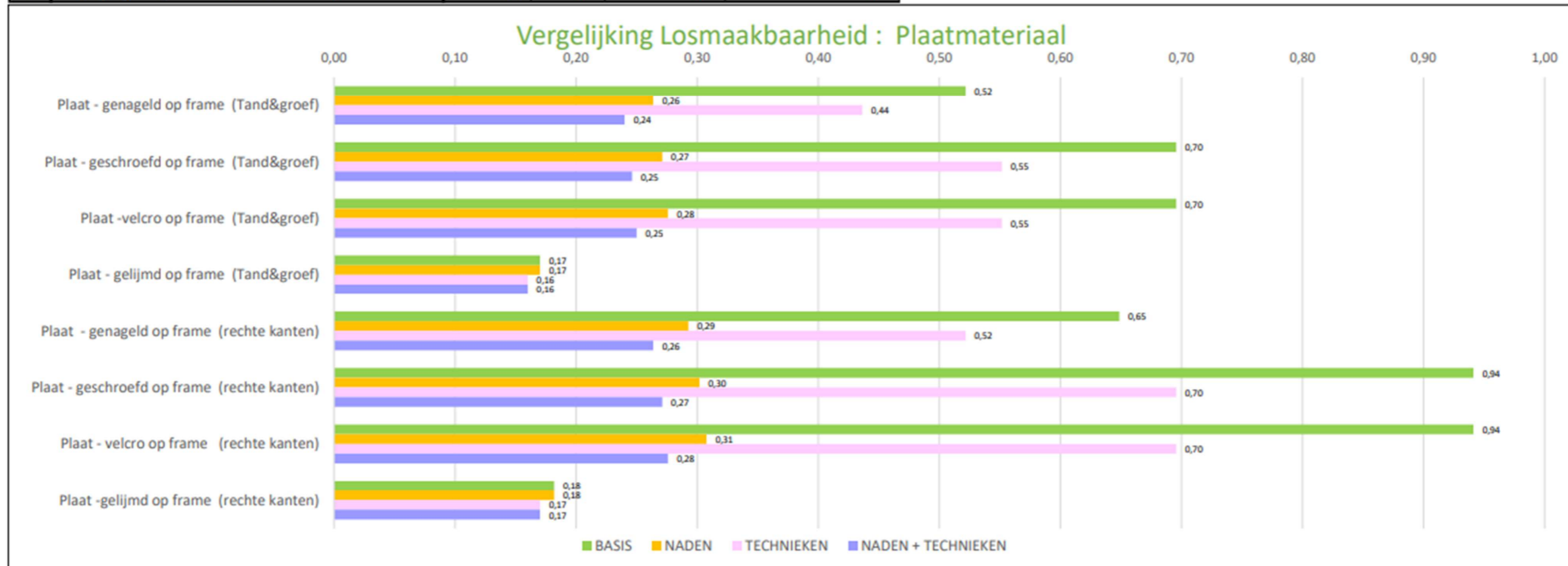


Ter illustratie is er een analyse gemaakt van de verschillende verbindingsmethoden van plaatmateriaal. Eerst worden 8 mogelijke uitvoeringsmethoden naar voorgeschoven om te vergelijken, deze verschillen in 4 type verbindingen en 2 soorten van randopsluiting (tand&groef of rechte kanten). Dit geeft een eerste resultaat. Nadien werd er een extra parameter toegevoegd namelijk die van de toegankelijkheid. Hieruit wordt duidelijk wat de invloed van het dichtsmen van naden en bijgevolg het niet toegankelijk zijn van de verbindingen, op de losmaakbaarheid is. Nadien werd er een andere parameter gebruikt namelijk die van doorkruisingen. Er wordt van een occasionele doorkruising gekozen (dit is nog niet de slechts mogelijke keuze) Zo wordt zichtbaar wat de invloed kan zijn van bijvoorbeeld technieken. Bij de laatste variant werden de 2 parameters gecombineerd. Zowel naden zijn dichtgesmeerd en de technieken doorkruisen de laag. Tenslotte worden de 4 verschillende mogelijkheden ter vergelijking in 1 tabel zichtbaar gemaakt voor een overzichtelijk resultaat.



Vergelijking van verschillende verbindingstechnieken van plaatmateriaal:
 - BASIS: verschil tussen tand&groef en rechte kanten + type verbinding
 - NADEN: impact van de natte afwerking van de naden
 - TECHNIEKEN: impact van het occasioneel doorkruising van de opbouw met technieken
 - NADEN + TECHNIEKEN : de impact van zowel natte afwerking naden als doorkruising met technieken

		basis	naden	technieken	naden + technieken
2.1	Plaat - genageld op frame (Tand&groef)	0,52	0,26	0,44	0,24
2.2	Plaat - geschroefd op frame (Tand&groef)	0,70	0,27	0,55	0,25
2.3	Plaat - velcro op frame (Tand&groef)	0,70	0,28	0,55	0,25
2.4	Plaat - gelijmd op frame (Tand&groef)	0,17	0,17	0,16	0,16
2.5	Plaat - genageld op frame (rechte kanten)	0,65	0,29	0,52	0,26
2.6	Plaat - geschroefd op frame (rechte kanten)	0,94	0,30	0,70	0,27
2.7	Plaat - velcro op frame (rechte kanten)	0,94	0,31	0,70	0,28
2.8	Plaat - gelijmd op frame (rechte kanten)	0,18	0,18	0,17	0,17



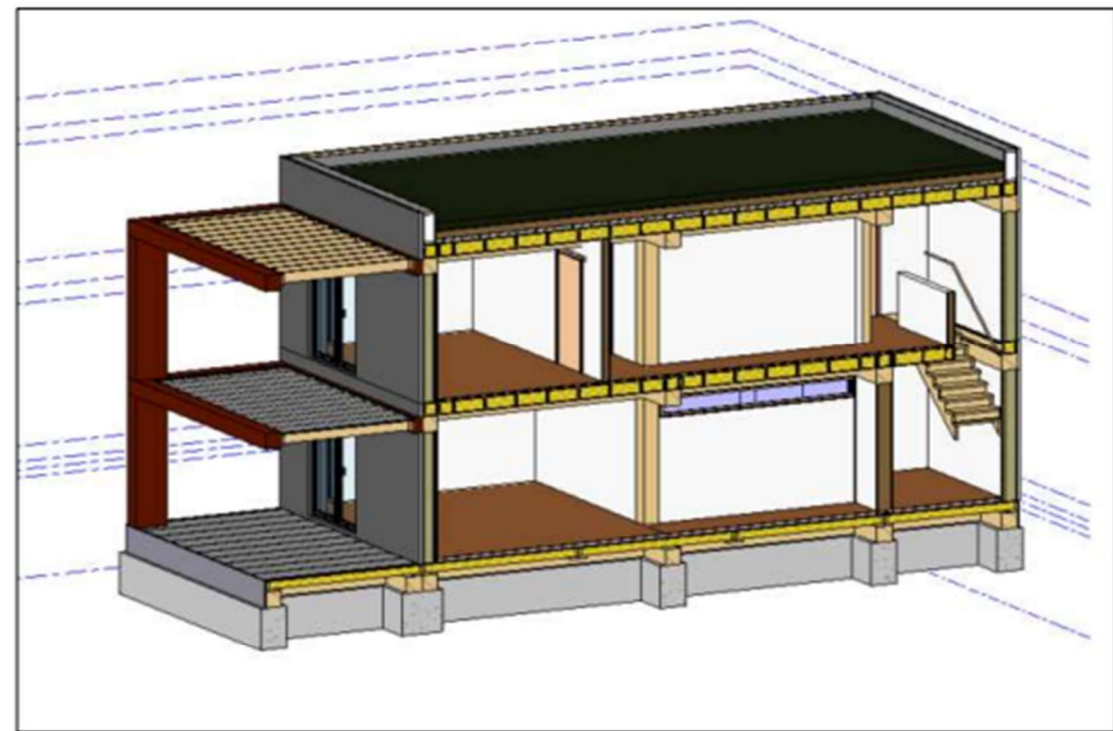
4.6 Overzichtsfiguur gebouwniveau

PXL BOUW & INDUSTRIE	<i>Design for assembly</i> Gebouwfiche	
Expertisecentrum PXL	Traditionele opbouw - Plat dak	Losmaakbaarheid

aanzicht 3D



Sectionbox



Algemene informatie bouwconcept

variant op basis van droge verbindingen en zoveel mogelijk prefabricatie van modules
 - zoveel mogelijk werken met demonteerbare verbindingen
 - technieken zoveel mogelijk niet integreren in de lagen maar als een onafhankelijk laag te zien

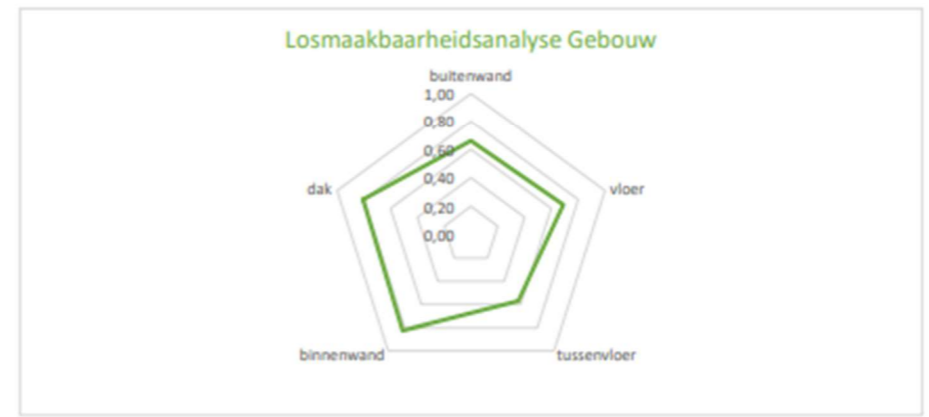
optimalisatie

Voordelen
 efficiënte montage en demontage
 productie proces kan geoptimaliseerd worden in prefabricatie en deels afval vermijdend zijn
 door de droge verbindingen geen wachttijden en snellere doorlooptijd
 groter hergebruikpotentieel

nadelen
 Mogelijk nieuw plaatsingsmethode die moet aangeleerd worden
 Mogelijk grotere investeringskost in het begin

Aandachtspunten
 luchtdichtheid vormt een aandachtspunt
 bouwknopen dienen met aandacht uitgevoerd worden

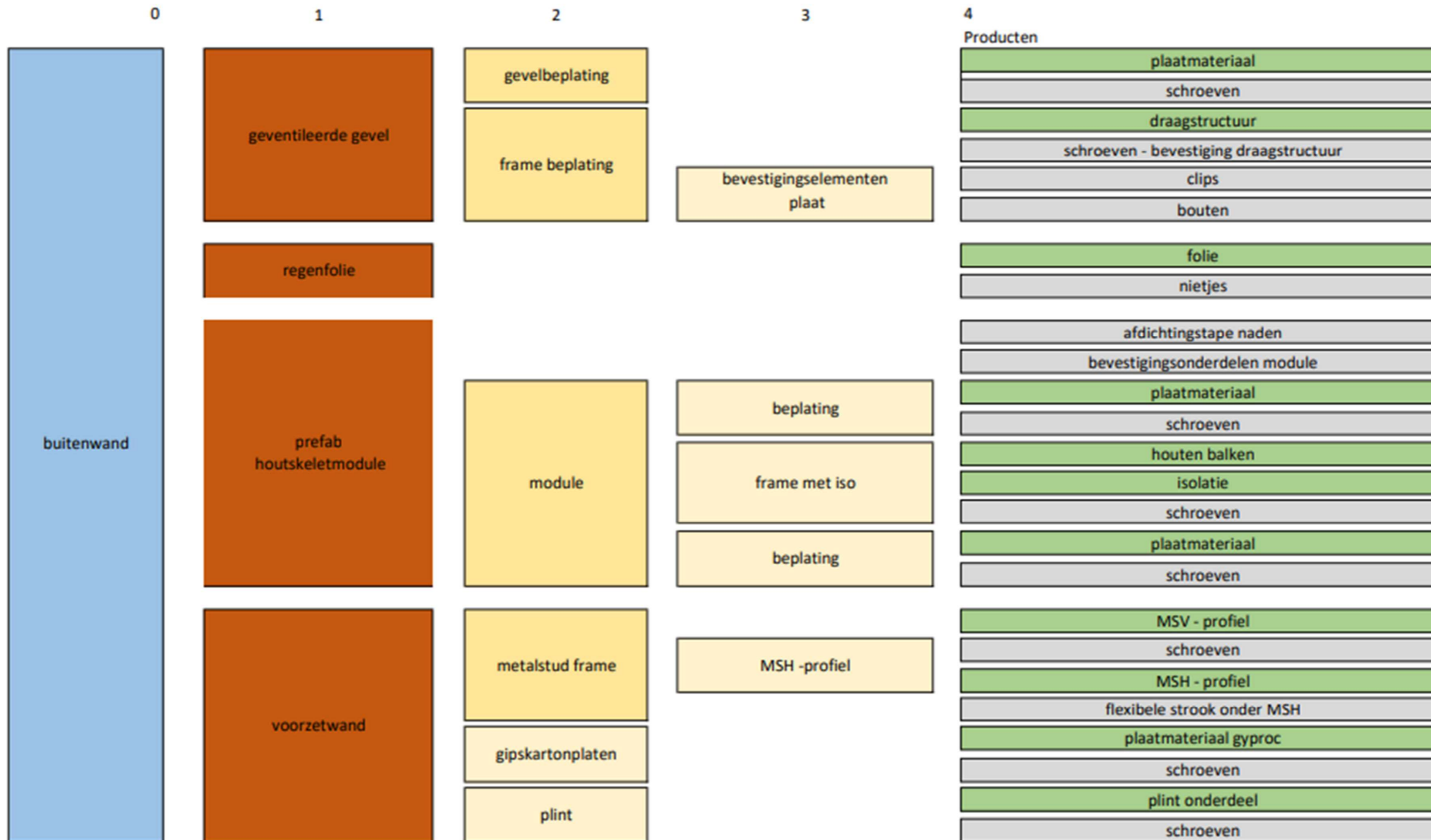
ID	Opbouw	m ²	TV	ToV	LiC	DK	RO	LIS	Li
EW 1	buitenwand	126	0,83	0,71	0,75	0,74	0,91	0,71	0,66
EV 1	vloer	108	0,94	0,86	0,89	0,74	0,74	0,64	0,69
ET 1	tussenvloer	108	0,95	0,78	0,85	0,55	0,85	0,53	0,57
EB 1	binnenwand	60,75	0,85	0,60	0,70	1,00	1,00	1,00	0,82
ED 2	dak	120	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,81
									0,710
gemiddelde gewogen gemiddelde									0,7001



4.7 Hergebruikpotentieel – Element : Mother & Child-model

element	scheidingsconstructie in gebouw
laag	opdeling op basis van gelaagdheid - zie model van Brand
onderdelen	verschillende onderdelen van een laag
sub-onderdelen	verschillende sub-onderdelen van een onderdeel
component	laagste niveau dat een component kan gedemonteerd worden en hergebruik zonder een industriële vorm van recyclage mogelijk is
bevestigingsmiddelen	noodzakelijke middelen voor de bevestiging van de componenten
sub-component	laagste niveau -grondstofniveau : hergebruik is enkel mogelijk door industriële vorm van recyclage --> wordt in deze studie niet behandeld

ID - materiaalpaspoort



5 Beschrijving product

De analysemethode die in het onderzoek naar voor geschoven wordt, is vertaald naar een werkdocument dat gebruikt kan worden om de losmaakbaarheid te kwantificeren en analyseren. Dit geeft overzichtelijke fiche met daarop de resultaten van de berekeningen als resultaat. De formules zijn geprogrammeerd op de werkdocumenten. Er is ook een gebruiksaanwijzing gemaakt die de gebruiker uitlegt op welk manier een analyse moet gebeuren. De verschillende parameters die per element moeten beoordeeld worden, zijn altijd dezelfde maar ze kunnen wel op een andere manier van toepassing zijn voor de analyse.

De fiches kunnen op 3 verschillende manieren gebruikt worden.

Productniveau

Een werkdocument dat gebruikt kan worden om de losmaakbaarheid van een type materiaal te analyseren. Dit dient vooral om verschillende mogelijkheden van een type materiaal, product of uitvoering te onderzoeken. En eventueel extra parameters te veranderen om te kijken hoe dit de losmaakbaarheid beïnvloedt. Dit is een document dat je normaal gezien 1 maal per product aanmaakt om verschillende mogelijkheden af te tasten en meer inzicht krijgt in bepaalde randfactoren die de losmaakbaarheid kunnen beïnvloeden. Zo kan er direct voor de beste oplossing gekozen worden wanneer het product gebruikt wordt in een element. Bijkomend kunnen de verschillende varianten met elkaar vergeleken worden in een tabel.

Elementenniveau

Een werkdocument dat gebruikt kan worden om een volledige opbouw te analyseren. Er zijn voorgeprogrammeerde werkbladen aangemaakt waarop de gebruiker een opbouw kan ingeven en elk product van de opbouw afzonderlijk analyseren op zijn losmaakbaarheid. De berekeningen gebeuren vanzelf. Er zijn 5 soorten werkbladen op elementniveau aangemaakt.(vloer, buitenwanden, binnenwanden, tussenvloer en dak)

Ofwel wordt dit werkdocument gebruikt om verschillende mogelijkheden van 1 soort opbouw met elkaar te vergelijken. Een beetje gelijkaardig als op productniveau om de meest optimale verbindingsmethode van een bepaalde opbouw te onderzoeken.

Ofwel wordt het document gebruikt om totaal verschillende opbouwen met elkaar te vergelijken. Zo kan er mogelijk in een ontwerpfase de voorkeur gegeven worden aan een goed scorende opbouw.

Gebouwniveau

De fiche die hiervoor gemaakt is, is een soort van samenvattingsfiche op gebouwniveau. Er is ruimte voor algemene informatie en er is een tabel voorzien waarin de informatie vanop elementniveau gekopieerd kan worden. Om deze fiche te gebruiken is het dus noodzakelijk dat er eerst op elementniveau een analyse gebeurt van de opbouw van het gebouw. Dit geeft een algemeen resultaat van de losmaakbaarheid van het gebouw. Optioneel kunnen er oppervlaktes aan toegevoegd worden zodat er een gewogen gemiddelde van de losmaakbaarheid van verschillende elementen berekend kan worden.

Hergebruik via Mother&child

Om meer inzicht te krijgen in een end-of-life scenario kan er het werkdocument Mother&Child gebruikt worden. Het werkblad is eerder een aanzet. Er zal zelf nog veel informatie moeten toegevoegd worden afhankelijk van wie met het document wil werken.

Bij het onderhoud of een herstelling of zelfs een renovatie van het gebouw, zou hier veel informatie uit gehaald kunnen worden. Die informatie moet er natuurlijk wel eerst ingestoken worden.

Er kunnen rendementen of prijzen aan bepaalde producten gekoppeld worden. Dit biedt mogelijkheden om meer naar de financiële kant van het verhaal en bijvoorbeeld de mogelijke restwaarde van een gebouw in kaart te brengen.

Doelpubliek

Ontwerpers & architecten

Deze werkdocumenten kunnen gebruikt worden tijdens een ontwerpfase om meer inzicht te krijgen in het demonteerbaarheidspotentieel van een voorstel. Demonteerbaarheid is een factor die meespeelt in circulariteit. Deze berekeningen zouden kunnen dienen als stavingstuk bij bijvoorbeeld aanbesteding.

Aannemers

Onderhoud & herstellingen

Tijdens de levensfase van het gebouw kan dit een onderdeel zijn van een gebouwenpaspoort. Vooral het Mother&child model levert direct inzicht in de opbouw van een gebouw en de opeenstapeling van materialen die mogelijk moeten gedemonteerd worden voor herstellingen. Kijken hoe toegankelijk een bepaald onderdeel is

Afbraakwerken / sloopproces

Anderzijds biedt dit dossier ook voldoende inzicht om bij een sloopproces een beeld te vormen van welke materialen er allemaal vrijkomen en welke handelingen hiervoor nodig zijn. Hier kunnen zij als ervaringsdeskundige tijdsrendementen op plaatsen en mogelijk over gaan tot selectieve demontage.

Investeerders, financiële instellingen & bouwheer

Er kan op basis van het Mother&Child model gekeken worden naar het aantal materialen die vrijkomen bij een renovatie of sloop. De informatie van eventuele terugnames van producten zou hier bij ingegeven kunnen worden. Bijkomend kan op die manier een soort van restwaarde geplakt worden op de materialen die aanwezig zijn in het gebouw. Dit kan mogelijk interessant zijn voor de klant, financierders,... Met als grote randopmerking : wie neemt verantwoordelijk voor de prijzen die gehanteerd worden op het moment dat het document gemaakt wordt

Kortom het is een redelijk veelzijdig werkdocument dat gebruikt kan worden in functie van de wensen van de gebruiker.

6 Reflectie

Er werd voorop gesteld te streven naar een algemene demonteerbaarheid van 70%. Uit de resultaten blijkt dat de ontwerpprincipes van Design for Assembly positief bijdragen aan de losmaakbaarheid van een gebouw en dat een losmaakbaarheid van 70 % theoretisch haalbaar is. Al moet er bij gezegd worden dat dit eerder een ideaal scenario is waarbij elk negatief element genegeerd wordt. De formule zorgt ervoor dat elk element dat minder goed scoort hard doorweegt in het eindresultaat.

Dit blijft echter een theoretische benadering en of dit in de praktijk ook realistisch is, zal uit verder onderzoek moeten blijken. Deze studie trachtte in de eerste plaats de hoofdelementen van een gebouw te verbeteren zonder al te veel randfactoren in rekening te brengen. De bouwknopen tussen verschillende onderdelen vormen nog een aandachtspunt dat zeker verder onderzocht kan worden. De invloed van demonteerbare verbindingen op de technische eisen, vormen een aandachtspunt dat verder in de praktijk onderzocht zou moeten worden.

Het werkdocument voor de losmaakbaarheidsanalyse is momenteel een 1^e versie. Door het effectief te gebruiken, zijn er een aantal verbeterpunten aan het licht gekomen. Niet zozeer inhoudelijk maar eerder de werking en opmaak van het werkblad zelf. Het volledig document is geprogrammeerd en afgestemd om uitgeprint te worden als dossier op A3. Momenteel is het tijdrovend om aan de opmaak aanpassingen te doen als er bijvoorbeeld een element is dat bestaat uit 10 producten i.p.v. 8. Dit kan efficiënter en flexibeler gemaakt worden.

Het Mother&Child model is niet voldoende gedocumenteerd. Het financiële deel zou bekeken moeten worden met iemand of een dienst die meer thuis is in die materie. De uitwerking van het klavertje 4 dossier is niet voldoende gedocumenteerd om echt goed duidelijk te maken waar de verbeterpunten zitten. Als er meer tijd voorhanden was, zou dit beter uitgewerkt kunnen zijn.

De basis voor verdere onderzoek is gelegd door van de meetmethodieken een bruikbare tool te maken die zich focust op de daadwerkelijke uitvoering en gebruikt kan worden van ontwerp tot sloop. Het expertisecentrum kan deze tool ten allen tijde gebruiken om verschillende opbouwen of producten te analyseren op hun losmaakbaarheid.

Lijst met afkortingen

Lijst met alle gebruikte afkortingen in alfabetische volgorde, behalve de afkortingen uit het SI systeem en de chemische elementen.

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method.

Bronnenlijst

- [1] Vlaanderen circulair - OVAM, „Wat is circulair bouwen?,” Vlaanderen Circulair, 2023. [Online]. Available: <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/nl/wat-is-het>. [Geopend april 2023].
- [2] Ellen Macarthur Foundation, „What is circular economy?,” 2010. [Online]. Available: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview#principles>. [Geopend 3 april 2023].
- [3] Ellen Macarthur Foundation, „butterflymodel - Circular economy diagram,” Ellen Macarthur Foundation, 2010. [Online]. Available: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>. [Geopend maart 2023].
- [4] W. Debacker, J. Vrijders, J. Voorter, A. Vergauwen, J. Bergmans en P. Stouthysen, „Urban mining van gebouwen : Het creëren van waarde via het sluiten van materiaalstromen,” Vlaanderen circulair - Ovam, 2021.
- [5] Custers, Veerle; Verdonck, Evelien; Vankriekelsvenne, Mathias; Vanmontfort, Philip, *Cardsorting : Circulair bouwen in Limburg*, Diepenbeek, Limburg: Expertisecentrum PXL - onderzoeksgroep Circulair bouwen, 2022.
- [6] UNEP, „ UN Environment Programme - Circularity,” UNEP, [Online]. Available: <https://www.unep.org/circularity>. [Geopend mei 2023].
- [7] C. van Oppen, G. Croon en D. Bijl de Vroe, *circulair inkopen in 8 stappen*, 1e druk red., C. D.van Wijk, Red., Copper8, 2018, p. 151.
- [8] K. Van Doorsselaer, *Ecodesign*, 2023.
- [9] Polspoel, Wouter, „Ecodesign als copiloot in een klimaatneutrale en circulaire economie,” Circubuild, 28 juni 2020. [Online]. Available: <https://www.circubuild.be/nl/nieuws/ecodesign-als-copiloot-in-een-klimaatneutrale-en-circulaire-economie/>. [Geopend mei 2023].
- [10] Crul, M.R.M. ; Diehl, J.C. ; Ryan, C, „Design for Sustainability : A Step-by-Step Approach,” UNEP, 2009.
- [11] Vlaanderen Circulair, „3.1. circulair bouwen in de praktijk: het ontwerp,” Vlaamse overheid - OVAM, 2023. [Online]. Available: <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/nl/leerhub/detail-2/3-1-circulair-bouwen-in-de-praktijk-het-ontwerp>. [Geopend 17 maart 2023].
- [12] OVAM - Vlaanderen circulair, „Ecodesign en de circulaire economie,” Ecodesignlink, 2023. [Online]. Available: <https://ecodesign.vlaanderen-circulair.be/nl/kennis>. [Geopend 28 april 2023].
- [13] T. Rau, Interviewee, *De wereld van de architect*. [Interview]. 12 oktober 2015.

- [14] T. Rau en S. Oberhuber, *Material Matters - het alternatief voor onze roofobouwmaatschappij*, 13e druk red., Bertram + de Leeuw Uitgevers, 2016.
- [15] A. Romnée en J. Vrijders, „Naar een circulaire economie in de bouw : Inleiding tot de principes van de circulaire economie in de bouwsector,” Jan Venstermans WTCB, Brussel, 2018.
- [16] M. M. van Vliet, „Disassembling the steps towards building circularity: redeveloping the building disassembly assessment method in the building circularity indicator,” 27 november 2018. [Online]. Available: <https://research.tue.nl/en/studentTheses/disassembling-the-steps-towards-building-circularity>. [Geopend 25 april 2023].
- [17] t. Rau, Interviewee, *Thomas Rau: Waardeloze gebouwen bestaan niet meer*. [Interview]. 19 april 2023.
- [18] M. Heinrich en W. Lang, „Material passports - Best practice : Innovative Solutions for a Transition to a circular Economy in the Built Environment,” 2019. [Online]. Available: https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/BAMB_MaterialsPassports_BestPractice.pdf. [Geopend 14 mei 2023].
- [19] Madaster - Materiaalpaspoorten, „Madaster - Geef materialen meer waarde,” Madaster, 2023. [Online]. Available: <https://madaster.be/>. [Geopend mei 2023].
- [20] E. Durmesovic, „Circular economy in construction - Design strategies for Reversible Buildings,” 2019.
- [21] „Nederlands woordenboek,” Woorden.org, 2023. [Online]. Available: <https://www.woorden.org/woord>. [Geopend 22 mei 2023].
- [22] E. Durmisevic, „Transformable building structures : design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction,” Cedris M&CC, Delft, 2006.
- [23] Gids duurzame gebouwen, „Ruimtelijke omkeerbaarheid,” Leefmilieu Brussel, 16 maart 2023. [Online]. Available: <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/omkeerbaar-circulaire-bouwen/ruimtelijke-omkeerbaarheid>. [Geopend 12 mei 2023].
- [24] S. Brand, *How buildings learn: What Happens After They're Built*, Penguin Books, 1994.
- [25] Steeman, Marijke; Devos, Katrien; Landuyt, Laura; Vergauwen, Aline; Van Langenhove, Filip; Daneels, Arthur; Dauwe, Stijn, „Demonteerbaar bouwen,” UGent; WTCB; Odisee, 2022. [Online]. Available: <https://www.milieubewustisoleren.be/demonteerbaar-bouwen>. [Geopend 1 juni 2023].
- [26] M. van Vliet, J. van Grinsven en J. Teunizen, „Circular Buildings : Meetmethodiek Losmaakbaarheid versie 2.0,” Nederland, 2021.

- [27] Vandenbroucke, Mieke; Brancart, Stijn, „Catalogus veranderingsgericht bouwen - functionele lagen,” 2020. [Online]. Available: <https://ovam.vlaanderen.be/publicaties-vlaanderen.be>. [Geopend maart 2023].
- [28] Gids Duurzame gebouwen, „Technische omkeerbaarheid,” Leefmilieu Brussel, 16 maart 2023. [Online]. Available: <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/omkeerbaar-circulaire-bouwen/technische-omkeerbaarheid>. [Geopend mei 2023].
- [29] D. G. B. Council, „BREEAM-NL richtlijn,” Dutch Green Building Council, 16 Maart 2022. [Online]. Available: <https://richtlijn.breeam.nl/credit/losmaakbaarheid-1115>. [Geopend 25 April 2023].
- [30] G. Formentini en D. Ramanujan, „Design for circular disassembly: Evaluating the impacts of product end-of-life status on circularity through the parent-action-child model,” 30 maart 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623011678>. [Geopend 9 april 2023].
- [31] Custers, Veerle; Vandevelde, Leen; Vankriekelsvenne, Mathias, „Woon-wijs : flexibel wonen,” PXL Research, [Online]. Available: <https://www.woon-wijs.be/>. [Geopend 1 maart 2023].

Lijst met gebruikte afbeeldingen

Figuur 1: Butterfly model circulaire economie - Ellen Macarthur Foundation	7
Figuur 2: circulaire model in de bouwsector (Embuild circulair) bouwen)	8
Figuur 3 : resultaat cardsorting 'circulair bouwen in Limburg' (Expertisecentrum PXL)	8
Figuur 4 : R-ladder strategieën voor het vermijden van afval in een circulaire economie	9
Figuur 5 : processen van hergebruik in een circulaire economie (UN environment Program Circularity)	10
Figuur 6 : Ecodesign ontwerprichtlijnen (presentatie K.Van Doorselaer)	11
Figuur 8 : Ecosysteem van grondstofgebruik en hun specifieke gebruikers (Circulair ontwerpen- Circulair Vlaanderen)	12
Figuur 8 : verschillende fase van een product gezien vanuit de positie van de gebruiker	12
Figuur 9: Disassembly als factor voor materiaalhergebruik (Disassembling the steps towards Building Circularity)	13
Figuur 10: Reversible Building Design Protocol (Design strategies for Reversible Buildings - E. Durmisevic)	15
Figuur 11: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure	16
Figuur 12: Ruimtelijke omkeerbaarheid – transformatie op gebouwniveau (Gids duurzame gebouwen)	16
Figuur 13: Ruimtelijke omkeerbaarheid - transformatie van de binneninrichting (Gids Duurzame gebouwen)	17
Figuur 14: het Zebraconcept -veranderingsgericht ontwerp (Circulair Vlaanderen, circulair ontwerp)	17
Figuur 15 : aanpasbare elementen aan de buitenzijde van de structuur vergroten de aanpasbaarheid (Gids duurzame gebouwen)	18
Figuur 16: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure	19
Figuur 17: De 3 vormen van transformatie van een gebouw - bron Transformable building structure	20
Figuur 18 : Model van Brand - Shearing layers of change (How buildings learn, Brand)	21
Figuur 19 : Kosten doorheen de levensfase van een kantoorgebouw - Traditionele bouwmethode	22
Figuur 20 : Kosten doorheen de levensfase van een kantoorgebouw - Design for assembly	22
Figuur 21 : voorstelling van de verschillende elementen en hun levensduur volgens het Model van Brand (MilieubewustIsoleren- demonteerbaar bouwen)	23
Figuur 22: voorbeeld van een omkeerbare bouwmethode opgebouwd uit demonteerbare elementen (Reversible Building Design strategies)	24
Figuur 23: klassering van verbindingstechnieken op basis van hun omkeerbaarheidspotentieel (Embuild - Naar een circulaire economie in de bouw)	26
Figuur 24: verschillende schaalniveaus waarop demonteerbaarheid van toepassing is (E. Durmisevic - Design strategies for Reversible Buildings)	26
Figuur 25 :geometrie en compositie van de samenstelling(Gids duurzame gebouwen)	27
Figuur 26 : functionele onafhankelijkheid - technieken (Gids Duurzame gebouwen)	28
Figuur 27: Voorbeelden technieken : Volledige onafhankelijkheid, Modulaire zonering en Geplande integratie (Gids Duurzame gebouwen)	28
Figuur 28: functionele groepering (Gids Duurzame gebouwen)	29

Figuur 29: omkeerbare verbindingen - GTB Lab Module - Architecten Durmisevic & 4D Architects (Reversible Building Design Strategies, Durmisevic)	30
Figuur 30 : opdeling factoren demonteerbaarheid (Circular Building-Losmaakbaarheidsindex 2.0)	33
Figuur 31 : Stappenplan beoordeling Losmaakbaarheidsindex (circular buildings Losmaakheidsindex 2.0)	34
Figuur 32 : beoordeling type verbinding (Losmaakbaarheidsindex 2.0)	34
Figuur 33 : beoordeling toegankelijkheid van de verbinding (Losmaakbaarheidsindex 2.0)	35
Figuur 34 : Beoordeling doorkruisingen (Losmaakbaarheidsindex 2.0)	35
Figuur 35 :beoordeling randopsluiting (Losmaakbaarheidsindex 2.0)	36
Figuur 36: Open randopsluiting (meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)	36
Figuur 37: Overlapping (meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)	36
Figuur 38: Gesloten randopsluiting (meetmethodiek losmaakbaarheid 2.0)	36
Figuur 39 : Formule Losmaakbaarheidsindex (Losmaakbaarheidsindex 2.0)	37
Figuur 40 : voorbeeld van de berekening van de losmaakbaarheidsindex uit het gemaakte werkdocument	37
Figuur 41 :Parent - Action - Child (PAC) model (Design for circular disassembly, Formentini)	38
Figuur 42: Mother&Child model - voorbeeld uit onderzoek	39
Figuur 43: voorbeeld van werkdocument hergebruikpotentieel op basis van Mother&Child model	39
Figuur 44: voorstelling 'klavertje 4' -flexibel bouwconcept (woonwijs)	40
Figuur 45: variabele toepassing van woonmodules 'Klavertje 4' (woonwijs)	40

Bijlagen

Bij voorkeur wordt het gebruik van bijlagen vermeden. Soms kan de tekst echter moeilijk leesbaar worden door te veel cijfermateriaal of detailgegevens. In dit geval kan naar een bijlage verwezen worden.