



# OMKEERBAAR ONTWERPEN

EEN PRAKTISCHE  
HANDLEIDING



LEEFMILIEU.BRUSSELS



# Voorwoord

---

**Deze praktische handleiding is een vervolg van het Europese onderzoeks- en innovatieproject BAMB - 'Buildings As Material Banks' (BAMB). Dit project werd tussen juli 2015 en februari 2019 gecoördineerd door Leefmilieu Brussel en bracht vijftien partners uit zeven Europese landen samen rond een innovatief concept dat een gebouw als een (toekomstige) bron van materialen beschouwt.**

Het basisidee van het BAMB-project is even eenvoudig als vooruitstrevend: in plaats van gebouwen te beschouwen als wegwerpproducten die worden afgebroken en tot afval gereduceerd zodra ze niet meer voldoen aan onze nieuwe noden, bestudeerden de BAMB-partners ontwerpstrategieën en technische oplossingen om hun levensduur te verlengen. Daarbij was het makkelijker demonteren, hergebruiken en hoogwaardig recyclen van bouwproducten een van de voornaamste doelstellingen. Het BAMB-project past dan ook perfect binnen de principes van de circulaire economie. De betrokken partners realiseerden in minder dan vier jaar tijd verschillende tools om de transitie naar een circulaire economie te vergemakkelijken: van circulaire ontwerptools, materiaalpaspoorten en circulaire businessmodellen tot concrete beleidsaanbevelingen.

Binnen het BAMB-project staat het thema 'omkeerbaar ontwerpen' centraal. Dit houdt in dat gebouwen zo geconcipieerd worden dat ze meerdere functies kunnen vervullen, op verschillende manieren kunnen worden ingedeeld en makkelijk te demonteren zijn. Omkeerbaar ontwerpen streeft ernaar om via doordachte ruimtelijke en bouwtechnische ingrepen zo min mogelijk afval te creëren wanneer gebouwen een nieuwe functie krijgen en bouwproducten of -onderdelen worden ontmanteld met het oog op hergebruik.

Maar hoe doe je dat precies, 'omkeerbaar ontwerpen'? En welke factoren spelen een cruciale rol? U leest het allemaal in deze praktische handleiding. In de inleiding kaderen we het concept 'omkeerbaar ontwerpen' binnen de ruimere context van een circulaire economie. Vervolgens gaan we in het tweede hoofdstuk dieper in op de definitie van omkeerbaar ontwerpen, waarbij we een onderscheid maken tussen ruimtelijke omkeerbaarheid en technische omkeerbaarheid. We zoomen tevens in op de transformatiecapaciteit en het hergebruikspotentieel van gebouwen en hun onderdelen, twee begrippen die nauw samenhangen met respectievelijk ruimtelijke en technische omkeerbaarheid. In het derde hoofdstuk ontleden we de indicatoren voor de realisatie van ruimtelijke omkeerbaarheid en technische omkeerbaarheid, inclusief concrete voorbeelden en een blik op de timing (wat is essentieel in welke ontwerpfase?). In hoofdstuk 4 belichten we enkele interessante casestudies, die elk op hun manier aantonen dat omkeerbaar ontwerpen een essentiële voorwaarde is voor de realisatie van circulaire bouw- en renovatieprojecten.

Kortom: wie meer wil weten over omkeerbaar ontwerpen, doet er goed aan deze praktische handleiding te raadplegen. Ze vormt immers een handige leidraad voor de realisatie van omkeerbare en bij uitbreiding circulaire gebouwen. Alle relevante aandachtspunten worden uitvoerig belicht en er worden bovendien concrete ontwerprichtlijnen geformuleerd. Tal van illustraties, voorbeelden en recente casestudies zorgen daarnaast voor de nodige inspiratie en tonen aan hoe u de theorie in de praktijk kunt brengen. Aan de slag!

<sup>1</sup>[www.bamb2020.eu](http://www.bamb2020.eu). Het BAMB-project werd gefinancierd door het Horizon 2020-onderzoeks- en innovatieprogramma van de Europese Unie.

# Inhoudstafel

<b>1. INLEIDING</b>	<b>6</b>
1.1 Omkeerbaar ontwerpen: een maatschappelijke en ecologische noodzaak	6
1.2 Op naar een circulaire economie	7
1.3 Globale mentaliteitswijziging	8
<b>2. WAT IS OMKEERBAAR ONTWERPEN?</b>	<b>10</b>
2.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid: ontwerpen voor een lange(re) levensduur	11
2.2 Technische omkeerbaarheid: ontwerpen met het oog op demontage en hergebruik	12
2.3 Transformatiecapaciteit en hergebruikspotentieel	17
<b>3. ONTWERPPRINCIPES</b>	<b>18</b>
3.1 Indicatoren voor ruimtelijke omkeerbaarheid	18
3.1.1 Afmetingen	18
3.1.2 Positionering	24
3.1.3 Capaciteit	27
3.1.4 Demontage- en hergebruikspotentieel	28
3.2 Indicatoren voor technische omkeerbaarheid	30
3.2.1 Functionele demontage	31
3.2.1.1 Functionele onafhankelijkheid	31
3.2.1.2 Functionele groepering	36
3.2.2 Technische demontage	37
3.2.2.1 Basiselement	38
3.2.2.2 Montagehiërarchie	40
3.2.2.3 Levenscycluscoördinatie	43
3.2.3 Fysieke demontage	44
3.2.3.1 Geometrie van productranden en verbindingen	44
3.2.3.2 Volgorde van montage	46
3.2.3.3 Type verbindingen	48
3.3 Globaal ontmantelingsprofiel	53
3.4 Timing: wat is essentieel in welke ontwerpfase?	55
3.4.1 Programmabepaling	55
3.4.2 Voorontwerpfase	55
3.4.3 Definitieve ontwerpfase	56
3.4.4 Uitvoering	56
<b>4. CASESTUDIES</b>	<b>58</b>
4.1 Build Reversible in Conception (BRIC), Brussel	58
4.1.1 Technische omkeerbaarheid	58
4.1.1.1 Functionele onafhankelijkheid	58
4.1.1.2 Basiselement	60
4.1.1.3 Geometrie van productranden en verbindingen	62
4.1.1.4 Montagesequentie	62
4.1.1.5 Types verbindingen	62
4.1.1.6 Systematisering	64
4.1.1.7 Levenscycluscoördinatie	64

4.2 Circular Retrofit Lab, Brussel	65
4.2.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid	65
4.2.1.1 Afmetingen	66
4.2.1.2 Positionering	66
4.2.1.3 Capaciteit	66
4.2.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel	67
4.2.2 Technische omkeerbaarheid	68
4.2.2.1 Functionele onafhankelijkheid	68
4.2.2.2 Functionele groepering	69
4.2.2.3 Basiselement	69
4.2.2.4 Levenscycluscoördinatie	70
4.2.2.5 Geometrie van productranden en verbindingen	71
4.2.2.6 Montagesequentie	72
4.2.2.7 Types verbindingen	72
4.3 Circulair gevelsysteem Jansen VISS in Gare Maritime, Brussel	73
4.3.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid	73
4.3.1.1 Afmetingen	73
4.3.1.2 Positionering	73
4.3.1.3 Capaciteit	73
4.3.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel	73
4.3.2 Technische omkeerbaarheid	73
4.3.2.1 Functionele onafhankelijkheid	78
4.3.2.2 Systematisering	80
4.3.2.3 Basiselement	82
4.3.2.4 (De)montagehiërarchie en levenscycluscoördinatie	83
4.3.2.5 Geometrie van productranden en verbindingen	83
4.3.2.6 Montagesequentie	83
4.3.2.7 Type verbindingen	83
4.4 Joseph Bracopsziekenhuis, Anderlecht	86
4.4.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid	87
4.4.1.1 Afmetingen	87
4.4.1.2 Positionering	89
4.4.1.3 Capaciteit	91
4.4.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel	92
4.4.2 Technische omkeerbaarheid	96
4.4.2.1 Functionele onafhankelijkheid	96
4.4.2.2 Functionele groepering	96
4.4.2.3 Basiselement	98
4.4.2.4 (De)montagehiërarchie	99
4.4.2.5 Geometrie van verbindingen	99
4.4.2.6 Montagesequentie	100
4.4.2.7 Types verbindingen	100

# 1. Inleiding

## 1.1 Omkeerbaar ontwerpen: een maatschappelijke en ecologische noodzaak

In Europa is de bouwsector verantwoordelijk voor 35,7% van de totale afvalproductie<sup>2</sup>, 40% van de globale CO<sub>2</sub>-uitstooten 50% van alle gebruikte natuurlijke grondstoffen<sup>3,4</sup>. Tegelijkertijd voldoen veel bestaande gebouwen niet (meer) aan de hedendaagse noden, wensen en behoeften. Bijgevolg gaat bijna de helft van de investeringen van Belgische bedrijven naar de (gedeeltelijke) afbraak en aanpassing van bestaande gebouwen<sup>5</sup>. In Vlaanderen vervangen 16% van alle nieuwbouwwoningen gesloopte woningen die geen tweede leven konden krijgen<sup>6</sup>. En in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden jaarlijks 32.505 m<sup>2</sup> residentiële en niet-residentiële gebouwen gesloopt<sup>7</sup>, wat in belangrijke mate bijdraagt tot de 650.000 ton bouw- en sloofafval die jaarlijks in het gewest wordt geproduceerd.

De verschillende onderdelen waaruit gebouwen bestaan, zijn volgens een welbepaalde volgorde fysiek met elkaar verbonden. Het gaat om onderdelen die telkens een andere gebruiks- en levensduur hebben. Terwijl de draagstructuur van een gebouw globaal genomen minstens 75 jaar meegaat, zullen technische installaties regelmatig aan vervanging toe zijn en heeft de binnenafwerking mogelijk elke vijf jaar een opknapbeurt nodig. Er is met andere woorden sprake van een 'tijdsparadox' tussen de technische levensduur en de verschillende functionele 'lagen' van een gebouw. Om-

dat deze lagen (inrichting, opdeling, technieken, bouwschil, draagstructuur en locatie) een verschillende functionele en technische levensduur hebben, is het belangrijk dat ze fysiek worden gescheiden, zodat elke individuele laag kan worden aangepast zonder aan de andere lagen te raken. Als binnenwanden bijvoorbeeld een dragende functie hebben, kan de ruimtelijke indeling van een gebouw enkel worden aangepast via zware structurele werken.

Veel waardevolle grondstoffen in gebouwen worden vandaag nog noodgedwongen gedegradeerd tot afval omdat gebouwen en hun onderdelen niet voorzien zijn op toekomstige aanpassingen en/of mogelijk hergebruik. In tijden van groeiende grondstoffenschaarste en toenemende milieu-impacten is de hamvraag: hoe kunnen we afstappen van het ontwerpen van gebouwen volgens een traditionele 'lineaire' benadering – van constructie tot afbraak, met sloop als enige optie op het einde van de levensduur – en evolueren naar een 'circulaire' ontwerpvisie die meerdere opties voor de terugwinning van grondstoffen mogelijk maakt, zowel tijdens als aan het einde van de levensduur? Hoe kunnen we de levenscyclus van gebouwen op kwalitatieve wijze verlengen? En hoe kunnen we ervoor zorgen dat ook de onderdelen waaruit ze bestaan veel langer hun waarde behouden?



Afbeelding 1

<sup>2</sup> In België gaat het om 33,5%.

<sup>3</sup> <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf>.

<sup>4</sup> Deze cijfers dateren uit 2018. Voor meer informatie, zie: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf/06ddaf8d-1745-76b5-838e-013524781340?t=1605526083000>.

<sup>5</sup> Zie onder meer: [https://www.eib.org/attachments/efs/eibis\\_2020\\_belgium\\_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/efs/eibis_2020_belgium_en.pdf).

<sup>6</sup> Jaarlijks circa vierduizend woningen op een totaal van 25.000. Voor meer informatie, zie: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/be\\_flanders\\_ltrs\\_2020.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/be_flanders_ltrs_2020.pdf).

<sup>7</sup> <https://www.circulareconomy.brussels/bent-u-op-zoek-naar-cijfers-over-de-bouwsector-in-het-brussels-hoofdstedelijk-gewest-u-vindt-ze-in-dit-situatieoverzicht/?lang=nl>.

## 1.2 Op naar een circulaire economie

Ontwerpers kunnen vandaag al anticiperen op toekomstige noden door gebouwonderdelen met een kortere en een langere levensduur maximaal van elkaar los te koppelen. Daarnaast is het ook aangewezen om een fysieke scheiding te voorzien tussen de verschillende functies van die onderdelen. Denk bijvoorbeeld aan een demonteerbare afwerkingslaag op een binnenwand. Zo worden eventuele beschadigingen bij toekomstige aanpassingen of herstellingen vermeden.

Elke ontwerpbeslissing heeft met andere woorden een belangrijke impact op het (toekomstige) materiaalgebruik en de bijbehorende productie van bouwafval. De gebruikelijke 'downcycling' van de afvalstromen die voortvloeien uit renovatie- of afbraakwerken van gebouwen zou moeten plaatsmaken voor hoogwaardigere toepassingen: reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose of upcycling. Downcycling is pas in laatste instantie aan de orde. Op die manier kunnen materialen een tweede, derde of zelfs vierde en vijfde leven krijgen vooraleer ze inboeten aan waarde.

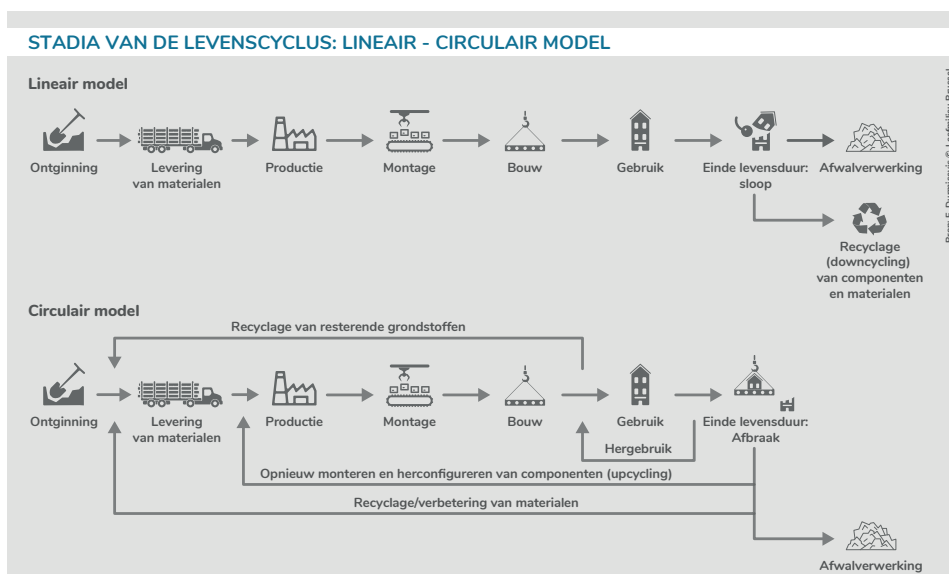
Omkeerbaar ontwerpen' speelt een belangrijke rol in het tot stand brengen van circulaire bouwconcepten, het genereren van minder bouwafval en het vervangen van 'downcycling' door hoogwaardigere toepassingen. Dit houdt in dat gebouwen zo geconcepieerd worden dat ze meerdere functies kunnen vervullen, op verschillende manieren kunnen worden ingedeeld en makkelijk te demonteren zijn. Omkeerbaar ontwerpen streeft ernaar om via doordachte ruimtelijke en bouwtechnische ingrepen zo min mogelijk afval te creëren wanneer gebouwen een nieuwe functie krijgen en bouwproducten of -onderdelen worden ontmanteld met het oog op hergebruik. Laten we de klassieke statische kortetermijnaanpak, die enkel focust op de initiële gebruiksnoden, dan ook vervangen door een flexibele langetermijnvisie. Deze laatste houdt van meet af aan reke-

ning met toekomstige aanpassingen en hergebruik op basis van verschillende gebruiksscenario's. In deze optiek worden gebouwen beschouwd als veranderingsgerichte entiteiten en een waardevolle materialenbank met ongebreidelde toekomstmogelijkheden.

Omkeerbaar ontwerpen is een belangrijke katalysator voor de realisatie van een circulaire economie in de bouwsector. Door al in de ontwerpfase uit te gaan van demontage, transformatie en hergebruik kunnen gebouwen en hun onderdelen langer in gebruik blijven. Zo kunnen ook de grondstoffenkringlopen beter en kwalitatiever gesloten worden. Conform de principes van de circulaire economie draagt dit bij aan de creatie van een wereld waarin bestaande gebouwen en materialen continu hergebruikt worden en bouwafval gebannen wordt.

De meeste bestaande gebouwen zijn echter ontworpen met één specifieke functie in gedachten. Ze zijn geschikt voor montage, maar niet voor demontage, functionele reconversie en/of hergebruik van gebouwonderdelen en materialen. Statische constructies laten dus geen vlotte aanpassing of demontage toe. De nadelen zijn navenant: een hoger materiaalverbruik en meer bouwafval, een gebrek aan ruimtelijke flexibiliteit, minder onderhoudsvriendelijke gebouwen ... De duurzaamheid en circulariteit van gebouwen hangt dus niet alleen af van de toegepaste gebouwonderdelen en materialen, maar ook en vooral van de manier waarop ze zich tot elkaar verhouden.

Kortom: omkeerbaar ontwerpen gaat gepaard met een nieuwe mindset. Het is een filosofie die sloop en het bijbehorende bouwafval beschouwt als ontwerpfouten. Omkeerbaar ontwerpen gaat uit van gesloten kringlopen, waarbij de toegepaste materialen veel langer hun waarde behouden.



Afbeelding 2: De traditionele 'lineaire' benadering zou moeten plaatsmaken voor een 'circulaire' aanpak. (Bron: E. Durmisevic)

### 1.3 Globale mentaliteitswijziging

Bouwheren en ontwerpers kunnen verschillende middelen inzetten om te evolueren naar een circulaire bouwpraktijk. Om de omkeerbaarheid van gebouwen te optimaliseren, kunnen ze rekening houden met volgende aandachtspunten:

1. Een scenario-based ontwerpaanpak<sup>8</sup>, die al vanaf de bepaling van het bouwprogramma en de eerste ontwerp-

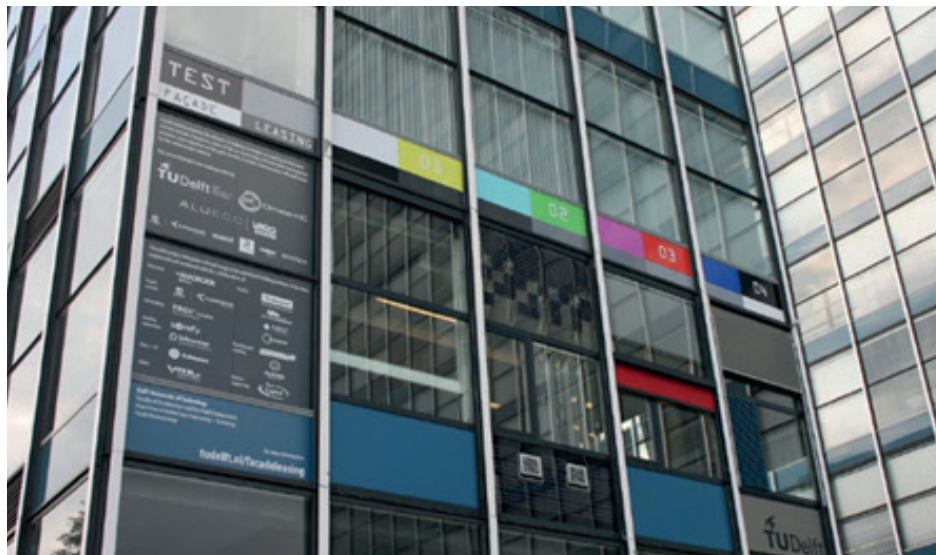
schetsen toekomstige functies en/of gebruiksscenario's in rekening brengt, biedt een enorme meerwaarde. Dit zorgt er immers voor dat gebouwen in de toekomst makkelijk te transformeren zijn en dat de transformatie-ingrepen beperkt blijven.



Afbeelding 3: Er is nood aan een scenario-based ontwerpaanpak die al vanaf de bepaling van het bouwprogramma en de eerste ontwerpsschetsen toekomstige functies en/of gebruiksscenario's in rekening brengt. (Bron : S. Brand)

2. Omkeerbaar ontwerpen, het toekomstige hergebruik en/ of de transformatie van gebouwen en hun onderdelen kunnen het risico op leegstand en gebrekkige technische prestaties aanzienlijk verkleinen dankzij innovatieve en circulaire businessmodellen. Het (ver)huren van gebouwen en ruimtes is al even ingeburgerd in het vastgoedwezen, maar als gevolg van omkeerbaar ontwerpen kunnen er ook

nieuwe zakelijke concepten ontstaan voor het aanbieden van gebouwonderdelen én hun prestaties<sup>9</sup>, waaronder verhuur. Terugkopen na gebruik kan eveneens interessante mogelijkheden bieden. Circulaire businessmodellen zullen dus ook reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose of upcycling van gebouwonderdelen vergemakkelijken.



Afbeelding 4: De gevel als dienst, een mooi voorbeeld van een innovatief circulair businessmodel. (Bron: VMRG <https://vmrg.nl/>)

<sup>8</sup> De toekomst is moeilijk te voorspellen. Daarom is het belangrijk om tijdens de uitwerking van een bouwproject een brede waaier aan toekomstperspectieven open te houden. Dat gebeurt via scenarioplanning. Als het ontwerp aan verschillende toekomstige invullingen voldoet, zal het naar alle waarschijnlijkheid ook voldoen aan de reële toekomstige noden.

<sup>9</sup> Denk aan product as a service, take-back, leasingformules ...

<sup>10</sup> Het zogeheten 'take-back model'.



3. Ontwerpers die omkeerbare gebouwen willen realiseren, doen er goed aan om niet uit te gaan van één vaste ruimtelijke indeling of één vaste toepassing voor de onderdelen waaruit het gebouw bestaat, maar van meerdere potentiële configuraties. Zo houden ze de opties open met het oog op de toekomst. Dit resulteert in een architectuur die ruimtelijke, technische en esthetische dynamiek toelaat.

De doordachte wijze waarop de ‘hardware’ van een gebouw wordt ontworpen, bepaalt in welke mate er verschillende gebruiksscenario’s mogelijk zijn. Daarbij wordt rekening gehouden met de afmetingen en de positionering en capaciteit van de vaste kernen zoals de structuur, technische schachten en circulatiekernen. Daarnaast kunnen gebouwonderdelen zo ontworpen worden dat ze makkelijk losgekoppeld, verwijderd, toegevoegd, verplaatst, aangepast en/of vervangen kunnen worden in functie van ruimtelijke transformatie of hergebruik, zonder daarbij al te veel schade te veroorzaken of bouwafval te genereren.

4. Bij de realisatie van een gebouw als ‘materialenbank’ spelen alle bouwactoren een belangrijke rol. Niet alleen ontwerpers, maar ook de andere betrokken partijen kunnen letterlijk en figuurlijk hun steentje bijdragen om een project te doen slagen:

- Bouwheren: de waarde van eigendommen bepalen op basis van hun volledige levenscyclus. Daarnaast is het nuttig om alvast bepaalde eisen te integreren in de ontwerpdracht in functie van doordachte toekomstige gebruiksscenario’s voor gebouwen en materialen<sup>11</sup>.
- Architecten en studie bureaus: de transformatiecapaciteit en het hergebruikspotentieel detecteren, creëren en maximaliseren<sup>12</sup>.
- Fabrikanten: omkeerbare en circulaire producten ontwikkelen en circulaire businessmodellen op poten zetten.
- Aannemers: omkeerbare bouwmethodes toepassen.
- Sloopbedrijven: een beter inzicht krijgen in de samenstelling van gebouwen en hun potentieel met het oog op hergebruik<sup>13</sup>, remanufacturing en hoogwaardige recyclage.

<sup>11</sup> [Voir paragraphe 3.4.](#)

<sup>12</sup> [Voir paragraphe 2.3.](#)

<sup>13</sup> [Voir paragraphe 2.3.](#)

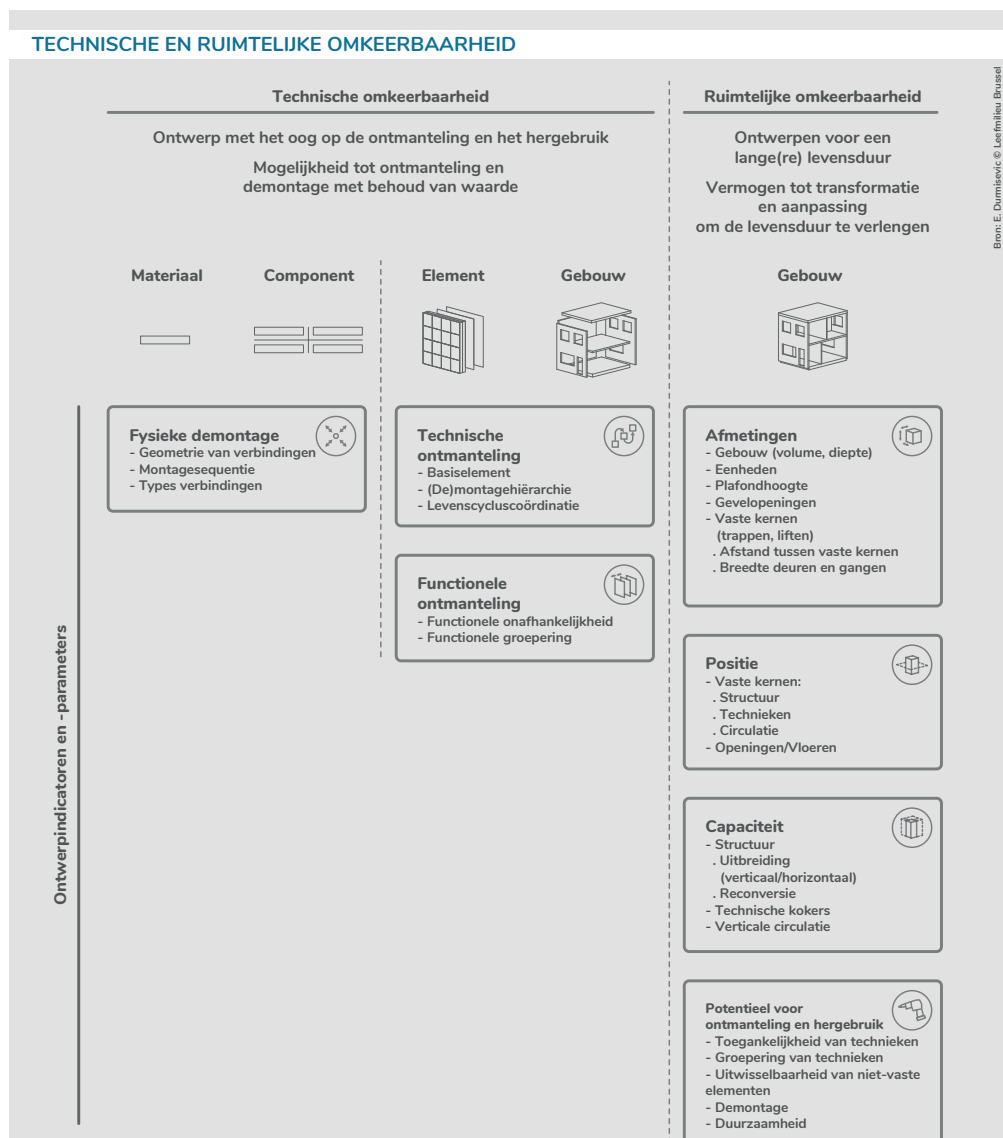
## 2. Wat is omkeerbaar ontwerpen?

‘Omkeerbaar ontwerpen’ staat gelijk aan toekomstgericht bouwen en verbouwen. Gebouwen worden op zo’n manier ontworpen dat ruimtelijke typologieën makkelijk aan te passen zijn en dat gebouwonderdelen gedemonteerd en hergebruikt kunnen worden. Dit alles zonder in te boeten aan waarde en kwaliteit, zonder schade te veroorzaken of zonder bouwafval te genereren. Dit leidt ertoe dat gebouwen makkelijk een andere functie of invulling kunnen krijgen en dat (de meeste) ruimtelijke en bouwtechnische ingrepen in een later stadium omkeerbaar zijn.

In een gebouw kunnen we twee vormen van omkeerbaarheid onderscheiden :

- **Ruimtelijke omkeerbaarheid**, dat een verlenging van de levensduur van het gebouw nastreeft
- **Technische omkeerbaarheid**, dat demontage en hergebruik van elementen, componenten en materialen beoogt.

Beide vormen van omkeerbaarheid zijn gekoppeld aan specifieke indicatoren, die bepalen in hoeverre een gebouw ruimtelijk of technisch omkeerbaar is<sup>14</sup>.



Afbeelding 5: In een gebouw kunnen we twee soorten omkeerbaarheid onderscheiden: ruimtelijke omkeerbaarheid en technische omkeerbaarheid.

<sup>14</sup> Zie hoofdstuk 3.

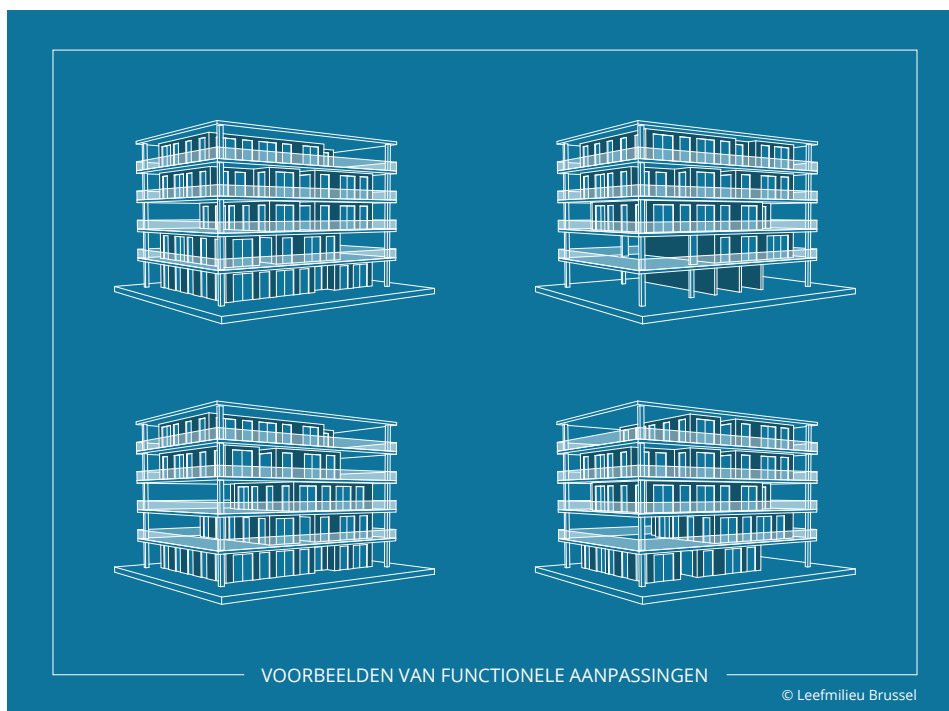
## 2.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid: ontwerpen voor een lange(re) levensduur

'Ruimtelijke omkeerbaarheid' duidt op het vermogen van een gebouw of structuur om verschillende functies te vervullen zonder dat er belangrijke structurele ingrepen nodig zijn, afbraakwerken moeten gebeuren of bouwafval ontstaat. Hoe minder inspanningen er nodig zijn om een gebouw of structuur te transformeren en hoe meer gebruiksscenario's mogelijk zijn, hoe hoger de **transformatiecapaciteit**<sup>15</sup>. Op basis van die transformatiecapaciteit kunnen we drie types gebouwen onderscheiden: monofunctionele, multifunctionele en transformeerbare gebouwen:

1. **Monofunctionele gebouwen** laten ruimtelijke aanpassingen toe binnen de contouren van dezelfde functie. Dankzij een ontwerp dat indeelbaarheid en meervoudig ruimtegebruik mogelijk maakt, kan een landschapskantoor of een grote vergaderzaal in een kantoorgebouw bijvoorbeeld worden opgedeeld in gescheiden kantoortjes. Een ander voorbeeld is een appartementsgebouw dat wordt aangepast tot een rolstoeltoegankelijke residentie met serviceflats. Dit alles uiteraard zonder dat er grootschalige bouwkundige ingrepen aan te pas komen.

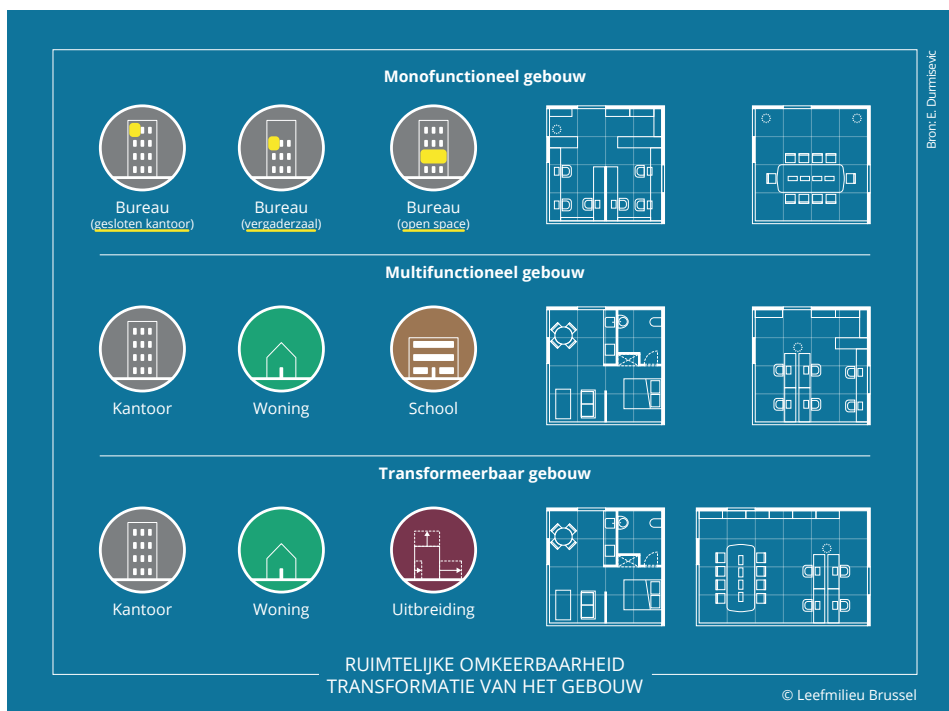
2. In het geval van **multifunctionele gebouwen** kunnen gebouwen en/of ruimtes wél een andere functie krijgen dankzij indeelbaarheid, meervoudig ruimtegebruik en functionele aanpasbaarheid. Denk bijvoorbeeld aan een kantooromgeving die zonder al te veel structurele werkzaamheden kan worden verbouwd tot woningen of klaslokalen.

3. **Transformeerbare gebouwen** laten diverse ruimtelijke configuraties toe en maken het niet enkel mogelijk om gebouwen en/of ruimtes een andere functie te geven, maar kunnen tevens uitgebreid, verkleind of zelfs verplaatst worden. Denk bijvoorbeeld aan een kantoorgebouw dat na enige tijd verticaal kan worden uitgebreid om woningen toe te voegen.



Afbeelding 6

<sup>15</sup> Zie paragraaf 2.3.



Afbeelding 7: Ruimtelijke omkeerbaarheid impliceert een transformatie op gebouwniveau, waarbij we drie types structuren kunnen onderscheiden: monofunctionele, multifunctionele en transformeerbare structuren. (Bron: E. Durmisevic)

Elk van deze drie categorieën van ruimtelijke omkeerbaarheid heeft zijn eigen potentieel, beperkingen en ruimtelijke eigenschappen. Dat bepaalt in welke mate ze transformeerbaar en geschikt zijn voor verschillende gebruiksscenario's.

Heel wat ontwerpparameters hebben een impact op de ruimtelijke omkeerbaarheid: de gebouwtypologie, de afmetingen van het gebouw, de positie en de onderlinge afstand van de vaste kernen, het type draagstructuur, de bouwmethode, de vloer-plafondhoogte, de raamopeningen ...

Zeker de combinatie tussen verschillende parameters kan een cruciale rol spelen, bijvoorbeeld met het oog op de natuurlijke lichtinval, die onder meer bepaald wordt door de gebouwtypologie, de diepte van een gebouw, de verdiepingshoogte en de afmetingen van de raamopeningen.

De indicatoren die ruimtelijke omkeerbaarheid mogelijk maken, kunnen gebundeld worden in vier categorieën, die verder worden toegelicht in [paragraaf 3.1](#):

1. De afmetingen
2. De positionering
3. De capaciteit
4. Het demontage- en hergebruikspotentieel

## 2.2 Technische omkeerbaarheid: ontwerpen met het oog op demontage en hergebruik

Naast de ruimtelijke omkeerbaarheid is ook de technische omkeerbaarheid van de gebruikte elementen, componenten, producten en materialen van belang. De technische omkeerbaarheid maakt het ontmantelen van het gebouw en zijn onderdelen mogelijk, terwijl de schade beperkt blijft.

Al in het ontwerpstadium wordt dus rekening gehouden met het behoud van hun waarde en een nuttige toepassing aan het einde van hun levensduur (reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, upcycling).

Om ervoor te zorgen dat de waarde van het gebouw en zijn elementen, componenten, producten en materialen behouden blijft, kunnen bouwheren en ontwerpers verschillende soorten eisen stellen. Omkeerbaar ontwerpen kan bijvoorbeeld demontage mogelijk maken om:

- **het onderhoud te vergemakkelijken:** bijvoorbeeld eenvoudig demonteren zonder afvalproductie, waarbij toegang kan worden verkregen tot systemen en componenten die regelmatig onderhoud vergen;
- **het hergebruik te vergemakkelijken:** bijvoorbeeld het schadevrij demonteren van elementen en componenten, waardoor deze meteen opnieuw kunnen worden gebruikt;
- **de reparatie te vergemakkelijken:** bijvoorbeeld het demonteren van elementen, componenten en materialen, waarbij de schade wordt beperkt en waardoor deze na reparatie opnieuw kunnen worden gebruikt;
- **de herconfiguratie te vergemakkelijken:** bijvoorbeeld het demonteren van elementen, componenten en materialen, waardoor deze opnieuw kunnen worden gebruikt door ze te herschikken in een nieuwe configuratie;
- **het recycleren te vergemakkelijken:** bijvoorbeeld het demonteren van elementen, componenten en materialen in propere fracties, waardoor kwalitatieve recycling en/of upcycling mogelijk worden.

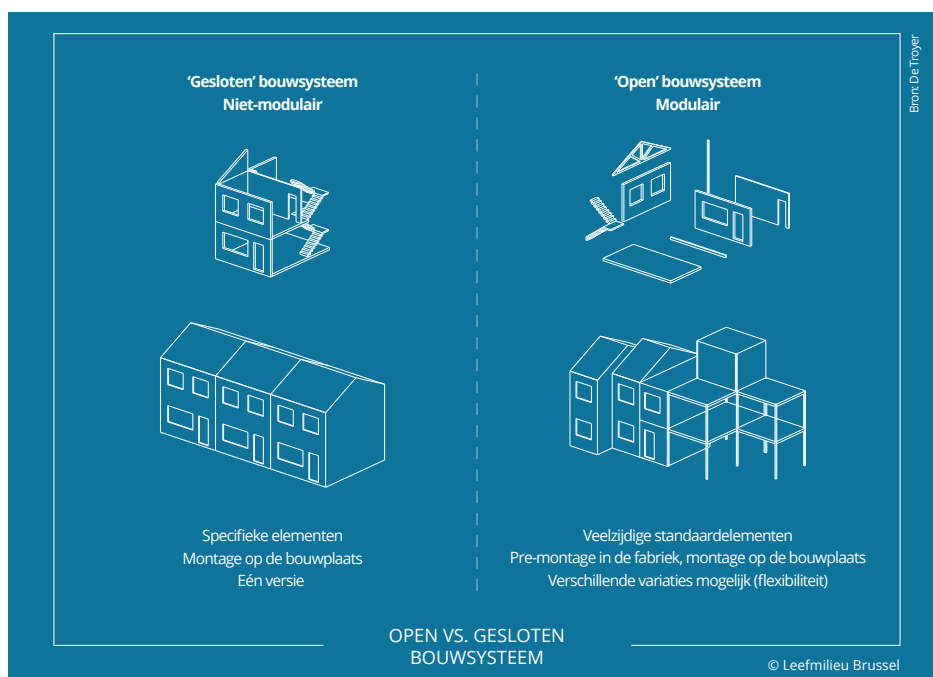
Hoewel omkeerbare assemblages en verbindingen een belangrijke rol spelen met betrekking tot demontage, heeft technische omkeerbaarheid ook betrekking op de manier waarop de verschillende onderdelen van het gebouw zijn geordend en met elkaar zijn verbonden. Om aan bovenstaande eisen te kunnen voldoen, zijn deze aspecten van essentieel belang om te voorkomen dat de aangrenzende onderdelen worden aangetast of beschadigd bij demontage.

Twee ontwerpparameters spelen hierbij een belangrijke rol: **Onafhankelijkheid:** de verschillende onderdelen van het gebouw zo ontwerpen dat sommige onderdelen kunnen worden verwijderd of bijgewerkt zonder aan de prestaties van de aangrenzende onderdelen te raken.

**Uitwisselbaarheid:** de verschillende onderdelen van het gebouw zo ontwerpen dat zij kunnen worden vervangen door andere elementen, componenten of materialen en dat de gedemonteerde onderdelen kunnen worden hergebruikt.



Afbeelding 8: Deze plafondplaat kan afzonderlijk gedemonteerd worden, zonder dat de aangrenzende componenten moeten worden verwijderd of beschadigd.



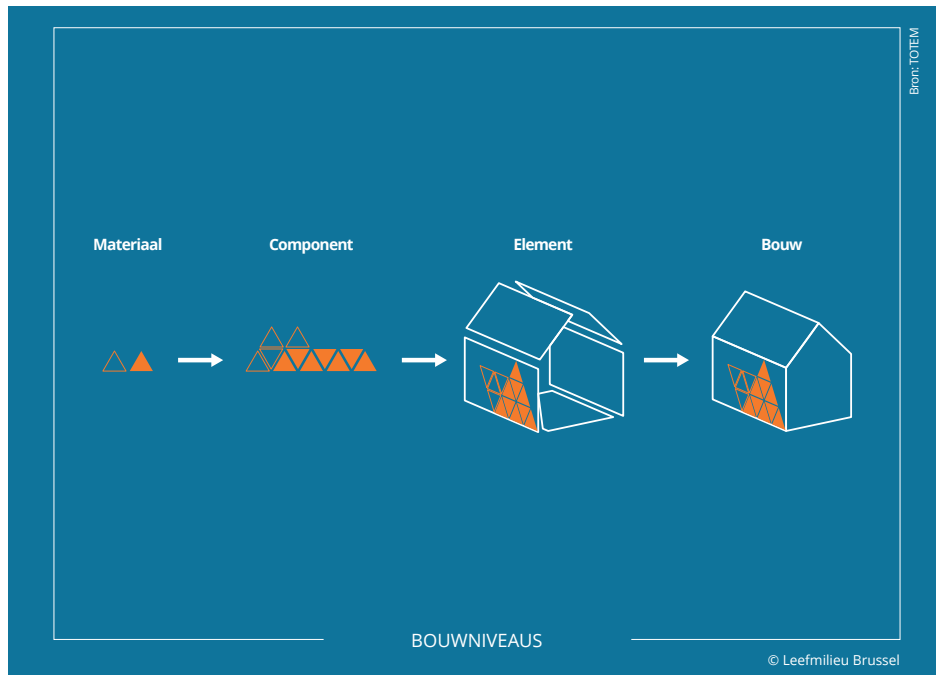
Afbeelding 9: Het rechterdeel van de afbeelding toont een open constructiesysteem met compatibele componenten, waardoor er veel verschillende configuraties mogelijk zijn. (Bron: De Troyer)

De onafhankelijkheid en uitwisselbaarheid kunnen op verschillende niveaus gedefinieerd worden.

- Het niveau **van het gebouw** verwijst naar de ordening van de verschillende systemen en elementen waaruit het gebouw is samengesteld (draagstructuur, gebouwschil, scheidingswanden, technieken ...)
- Het **niveau van het element** verwijst naar de ordening van de verschillende componenten waaruit het element is samengesteld. Zo bestaat een scheidingswand (zelfs

een niet-dragende) uit een draagstructuur, afwerkingen, technische systemen (elektriciteit, sanitair enz.), geluidsisolatie ...

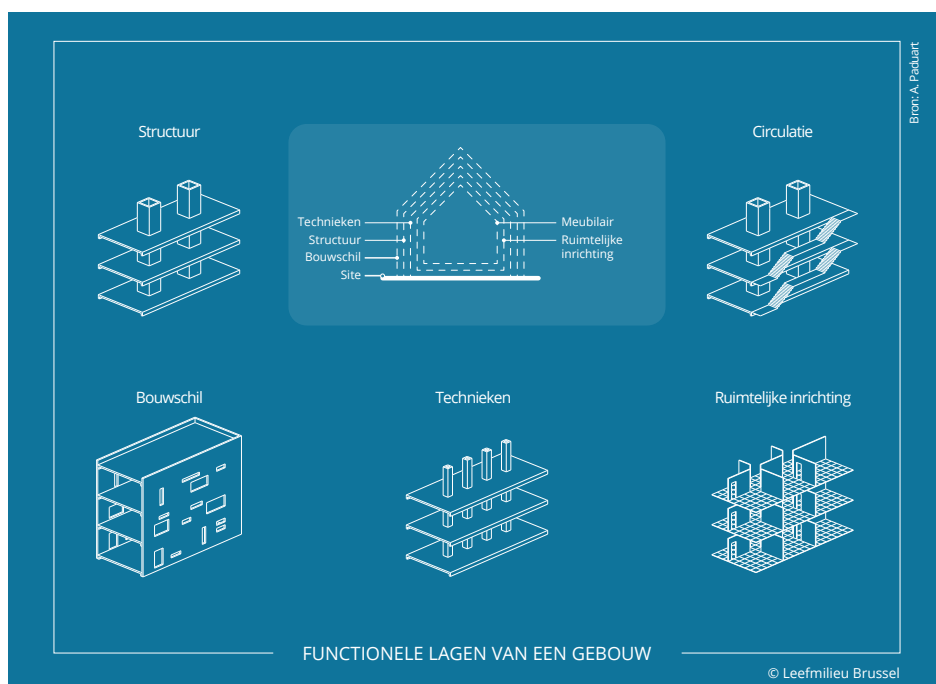
- Het **niveau van de component** verwijst naar de ordening van de subcomponenten en de materialen waaruit de component is samengesteld. Zo kan een vakwerkligger uit verschillende subcomponenten en materialen bestaan.



Afbeelding 10

Of het nu op het niveau van het gebouw, het element of de component is: de verschillende onderdelen waaruit deze zijn samengesteld, worden gekenmerkt door een of meerdere functies. Deze functies kunnen een verschillende levens-

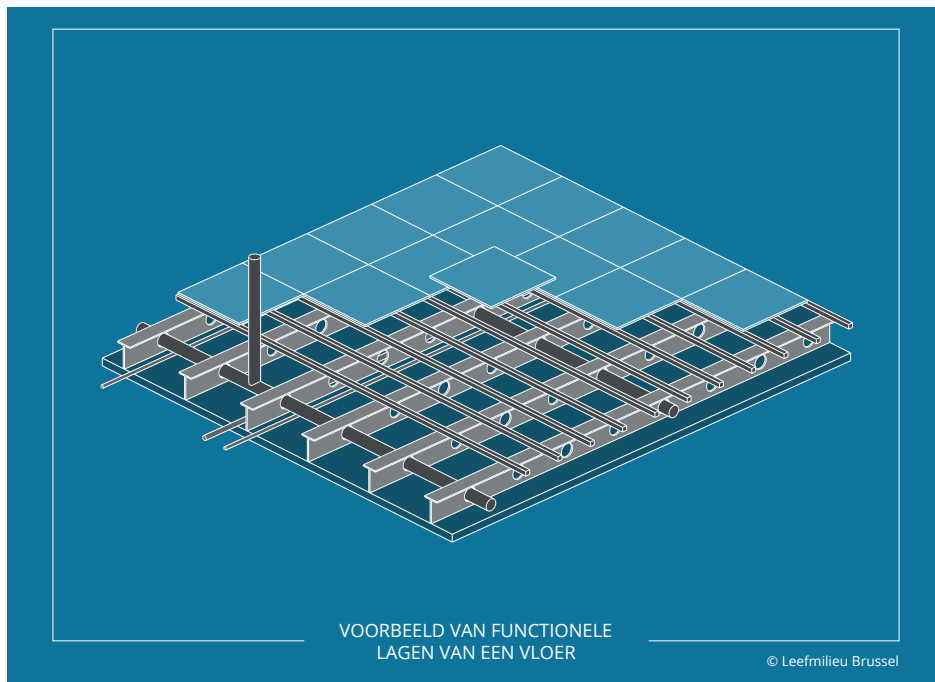
duur hebben of onderhevig zijn aan een verschillend vervangingstempo. Op basis hiervan definieerde Stuart Brand het concept van de functionele lagen in een gebouw.



Afbeelding 11

De benadering van de functionele lagen kan ook worden toegepast op het niveau van een element, zoals een vloer.

Deze bestaat uit een draagstructuur, afwerkingen, technische systemen (elektriciteit, sanitair, enz.), geluidsisolatie...



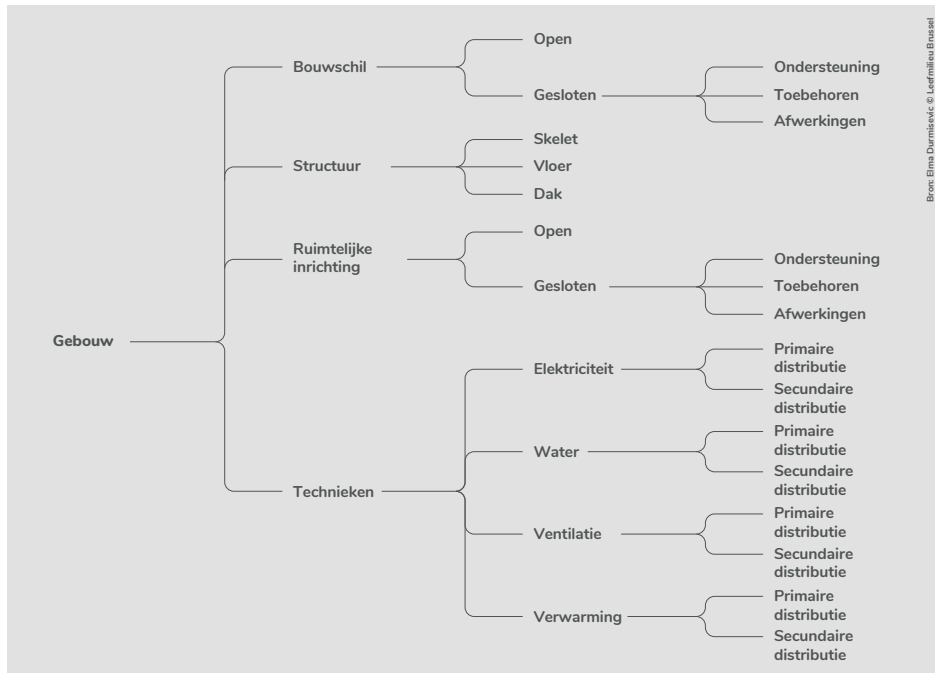
Afbeelding 12

Een statische constructie waarbij de verschillende functionele lagen sterk met elkaar verweven zijn, maakt weinig of geen wijziging of ontmanteling mogelijk. Daarom is het van belang om het gebouw en zijn onderdelen zo te ontwerpen dat die verschillende functies onafhankelijk van elkaar kunnen worden aangepast, gedemonteerd en vervangen, zodat dit gemakkelijk kan gebeuren. Door de afhankelijkheid ten opzichte van de aangren-

zende functies te beperken, is het niet alleen mogelijk om de beschadiging van deze onderdelen tijdens de aanpassing en demontage te beperken, maar ook om het demontageproces gemakkelijker en sneller – en dus ook economisch rendabeler – uit te voeren.

**Dit soort demontage wordt functionele demontage genoemd.**

## ONAFHANKELIJKHEID VAN FUNCTIONELE LAGEN



Afbeelding 13: Met het oog op de technische omkeerbaarheid is het belangrijk om te zorgen voor een zekere mate van onafhankelijkheid van de verschillende functionele lagen. (Bron: E. Durmisevic)

Om de demontage te vergemakkelijken en de waarde en nuttige toepassing van de verschillende onderdelen van het gebouw te verhogen, is het ook belangrijk om de volgorde van montage en demontage van de verschillende onderdelen te organiseren op basis van hun functies en levensduur. Dit om te vermijden dat ook de aangrenzende onderdelen gedemonteerd moeten worden om een bepaald onderdeel te kunnen ontmantelen. Dit maakt het mogelijk om de schade en de demontagetijd te beperken bij reparaties, vervangingen, verwijderingen ...

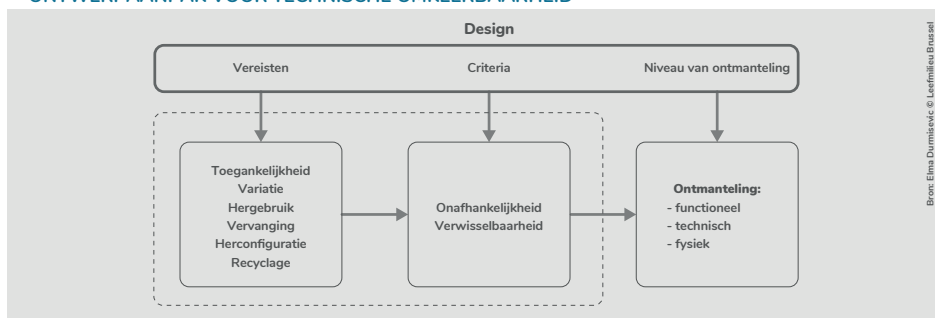
**Dit soort demontage wordt technische demontage genoemd.**

Tot slot zijn ook de geometrie en het type verbinding en de daaruit voortvloeiende volgorde van (de)montage van cruciaal belang voor het demonteren van de verschillende onderdelen van het gebouw.

**Dit soort demontage wordt fysieke demontage genoemd.**

De hierboven beschreven ontwerpbenadering met betrekking tot technische omkeerbaarheid wordt in onderstaand schema samengevat.

## ONTWERPAAKPAK VOOR TECHNISCHE OMKEERBAARHEID



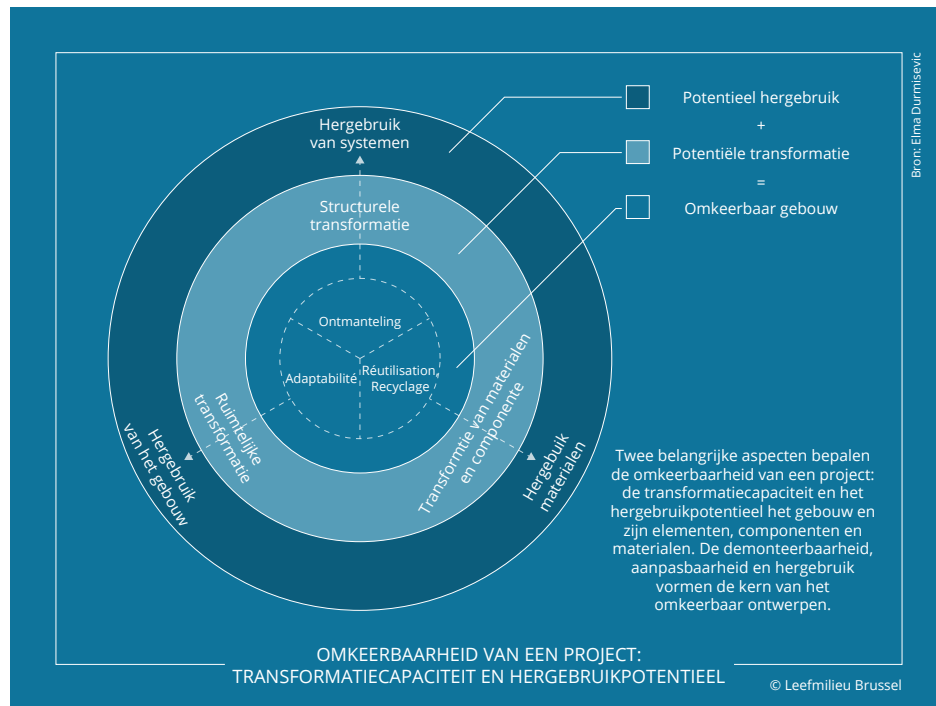
Afbeelding 14



## 2.3 Transformatiecapaciteit en hergebruikspotentieel

Zoals hierboven reeds aangehaald, zijn er binnen de context van omkeerbaar ontwerpen twee kernbegrippen die nauw samenhangen met ruimtelijke en technische omkeerbaarheid. Het gaat respectievelijk om de **transformatiecapaciteit** en het **hergebruikspotentieel** van een gebouw en de elementen, componenten en materialen waaruit het is opgebouwd. De omkeerbaarheid wordt niet alleen bepaald

door de intrinsieke ontwerpqualiteiten van het gebouw en zijn onderdelen, maar ook door het vermogen om ze te demonteren en te verwijderen, toe te voegen, te verplaatsen en te vervangen zonder afval te creëren. Ontwerpen met het oog op demontage – oftewel: ‘design for disassembly’ – speelt hierbij een cruciale rol. Zoals onderstaande figuur weergeeft, staan demonteerbaarheid, aanpasbaarheid en hergebruik centraal bij omkeerbaar ontwerpen.



Afbeelding 15: Er zijn twee belangrijke aspecten die de omkeerbaarheid van een ontwerp bepalen: de transformatiecapaciteit en het hergebruikspotentieel van het gebouw en de elementen, componenten en materialen waaruit het is opgebouwd. Demonteerbaarheid, aanpasbaarheid en hergebruik staan centraal bij omkeerbaar ontwerpen. (Bron: E. Durmisevic)

1. De **transformatiecapaciteit** duidt op de mate waarin de functionele, technische en fysieke eigenschappen van een gebouw en zijn onderdelen kunnen worden aangepast. Dit uiteraard zonder al te veel schade te veroorzaken of bouwafval te genereren. Daarnaast heeft de transformatiecapaciteit ook betrekking op het vermogen van een gebouw om verschillende functies te vervullen.

Op gebouwniveau wordt de transformatiecapaciteit bepaald door de ruimtelijke en technische aspecten die een ruimtelijke en functionele reconversie toelaten. Deze aspecten worden verder toegelicht in [paragraaf 3.1](#), waar ze aan de hand van **vier indicatoren** in concrete ontwerprijlijnen gegoten zijn. Qua ruimtelijke aspecten gaat het om de afmetingen van een gebouw en de positie van de vaste kernen. Qua technische aspecten onderscheiden we enerzijds het demontage- en hergebruikspotentieel en anderzijds de capaciteit van de structuur, circulatiekernen en technische installaties om aan verschillende gebruiksscenario's en/of functies te voldoen.

Op onderdelenniveau duidt de transformatiecapaciteit op het vermogen om via een herconfiguratie aan nieuwe normen, behoeften of eisen te voldoen. Denk aan de demontage en herconfiguratie van een gevel, waardoor de positie van de raamopeningen verandert en er binnen in het gebouw nieuwe gebruiksmogelijkheden ontstaan. Door zo extra natuurlijke lichtinval te creëren, kan een donker atelier bijvoorbeeld getransformeerd worden tot een appartement.

2. Het **hergebruikspotentieel** duidt op de mate waarin elementen, componenten en materialen – snel en zonder (al te veel) schade – gedemonteerd en hergebruikt kunnen worden. Dit begrip kan zowel betrekking hebben op gebouwonderdelen als op het volledige gebouw. De ontwerpparameters ‘onafhankelijkheid’ en ‘inwisselbaarheid’<sup>16</sup> spelen hierbij een belangrijke rol.

Een voorbeeld: stalen balken die niet aan elkaar gelast zijn, maar die aan elkaar gekoppeld zijn door middel van een boutverbinding, hebben een hoog hergebruikspotentieel (al reikt technische omkeerbaarheid uiteraard veel verder dan het type verbindingen). Zoals in [paragraaf 3.2](#), wordt beschreven omvat de technische omkeerbaarheid, die het hergebruikspotentieel ondersteunt, **acht indicatoren**.

<sup>16</sup> Zie [paragraaf 2.2](#).

# 3. Ontwerpprincipes

## 3.1 Indicatoren voor ruimtelijke omkeerbaarheid

Zoals reeds aangegeven in [paragraaf 2.1](#), hebben verschillende ontwerpparameters een impact op de ruimtelijke omkeerbaarheid van een gebouw. We kunnen vier indicatoren van ruimtelijke omkeerbaarheid onderscheiden, die elk verschillende ontwerpparameters groeperen:

**1. Afmetingen:** gebouwafmetingen en maatvoering die compatibel zijn met de beoogde gebruiksscenario's en toekomstige functieveranderingen (bijvoorbeeld vloer-plafondhoogte).

- Afmetingen van het bouwvolume
- Afmetingen van de gebouwunits
- Diepte van het bouwvolume
- Afmetingen van de gevelopeningen in verhouding tot de natuurlijke lichtinval
- Vloer-plafondhoogte
- Afstand tussen dragende elementen en de wijze waarop dit de draagstructuur en generaliteit van de ruimte mogelijk maakt
- Breedte van deuropeningen en gangen
- Afmetingen van de trappenkernen en liftschachten

**2. Positionering:** vaste kernen die zo gepositioneerd zijn dat ze verschillende gebruiksmogelijkheden toelaten (bijvoorbeeld technische schachten, trappen ...).

- Positie van de circulatiekernen (centrale trappen, gangen of gaanderijen)
- Positie van de dragende elementen in verhouding tot de horizontale circulatie
- Positie van de dragende elementen in verhouding tot de verticale circulatie
- Positie van technische kokers
- Positie van dragende muren in verhouding tot de raamopeningen
- Positie van dragende elementen in de gevel
- Positie van raamopeningen in verhouding tot de vloer

**3. Capaciteit:** de capaciteit van de draagstructuur, de circulatiekernen en de technische installaties om het gebouw in de toekomst te kunnen aanpassen en/of uitbreiden.

- Capaciteit van de draagstructuur in functie van horizontale uitbreiding
- Capaciteit van de draagstructuur in functie van verticale uitbreiding
- Capaciteit van de draagstructuur in functie van interne ruimtelijke herconfiguratie
- Capaciteit van de verticale verdeling van de technieken
- Capaciteit van de verticale circulatie

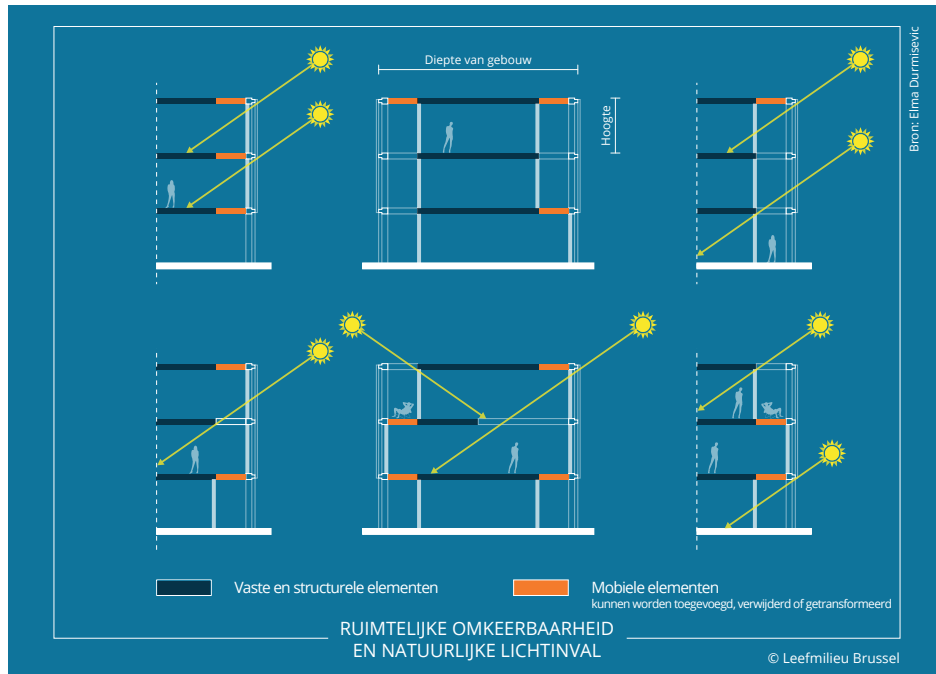
**4. Demontage- en hergebruikspotentieel:** de mogelijkheid om de voornaamste gebouwfuncties van elkaar te scheiden met het oog op demontage (in functie van mogelijke toekomstige aanpassingen).

- Toegankelijkheid van de technieken
- Clustering van de technieken
- Inwisselbaarheid van niet-vaste elementen en componenten
- Demontage
- Duurzaamheid

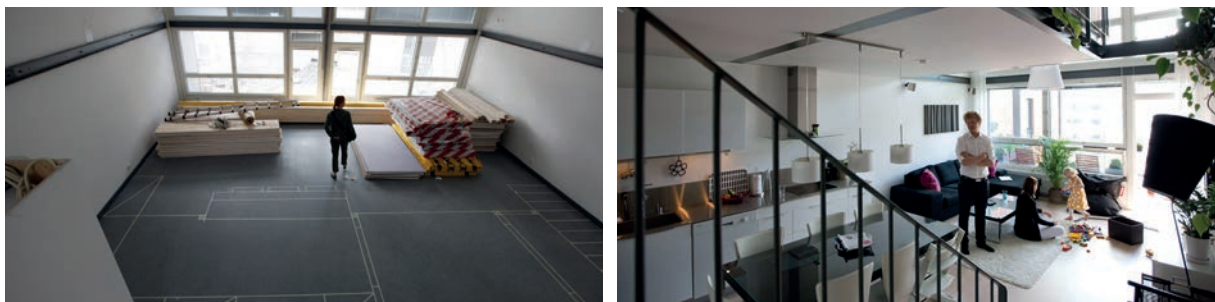
### 3.1.1 Afmetingen

Het ontwerp van een gebouw met een hoge ruimtelijke omkeerbaarheid en transformatiecapaciteit begint met de

keuze van gebouwafmetingen die compatibel zijn met de gedefinieerde gebruiksscenario's.



Afbeelding 16: De blauwe delen symboliseren de vaste structurele elementen, terwijl de rode delen flexibel toegevoegd, verwijderd of aangepast kunnen worden in functie van eventuele ruimtelijke en functionele transformaties.

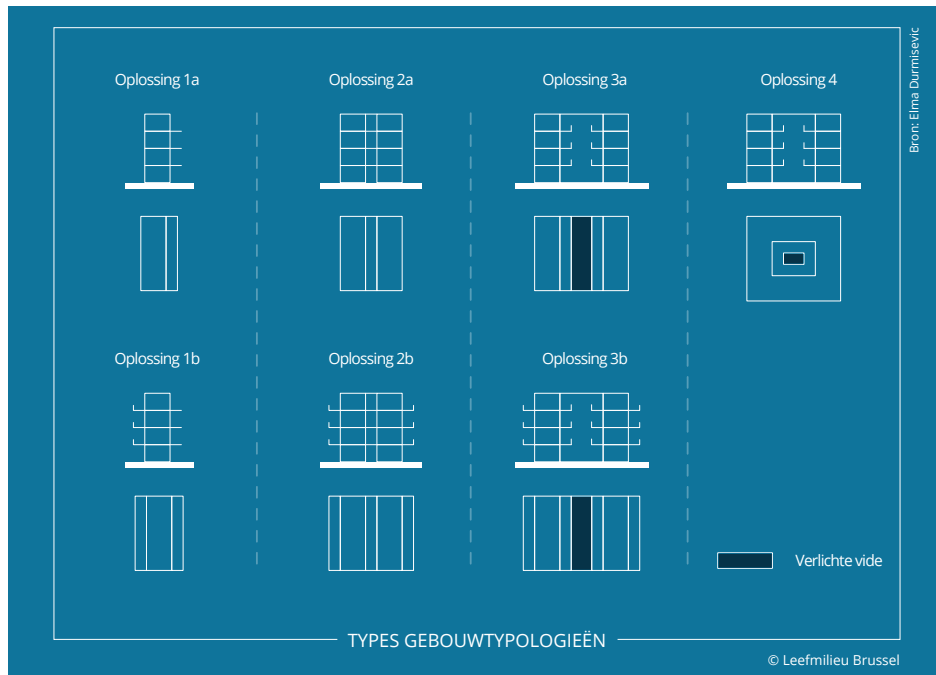


Afbeelding 17: Tila Housing Block, Talli Architecture & Design, Helsinki. De vrije hoogte kan (deels) worden opgesplitst in twee niveaus aan de hand van wegneembare vloerdelen. (Bron: Architect: Pia Ilonen, Ilo arkkitehdit Oy www.iloark.fi. Photos: Stefan Bremer)

### Het belang van natuurlijke lichtinval

Natuurlijke lichtinval heeft een erg grote impact op het menselijk welzijn. Door de afmetingen van gebouwen van meet af aan te optimaliseren, kunnen ontwerpers anticiperen op eventuele toekomstige transformaties. Zo kan een gesloten rechthoekig gebouw met een diepte van 25 meter nooit een aangename, comfortabele woning worden, aangezien 65%

van de vloeroppervlakte verstoken blijft van natuurlijke lichtinval. Tenzij er natuurlijk geopteerd wordt voor de integratie van patio's of een centrale gang met een bovenliggende lichtstraat. In dat geval neemt de ruimtelijke en functionele flexibiliteit sterk toe en kan het gebouw in kwestie gemakkelijker beantwoorden aan de vereisten van andere functies.



Afbeelding 18: Illustratie van verschillende gebouwtypologieën en de bijbehorende afmetingen.

**Vloer-plafondhoogte:** een belangrijke parameter die onder meer impact heeft op de kwaliteit van de ruimte, de natuurlijke lichtinval en de ruimtelijke en functionele flexibiliteit. In woningen ligt de vloer-plafondhoogte doorgaans lager dan in

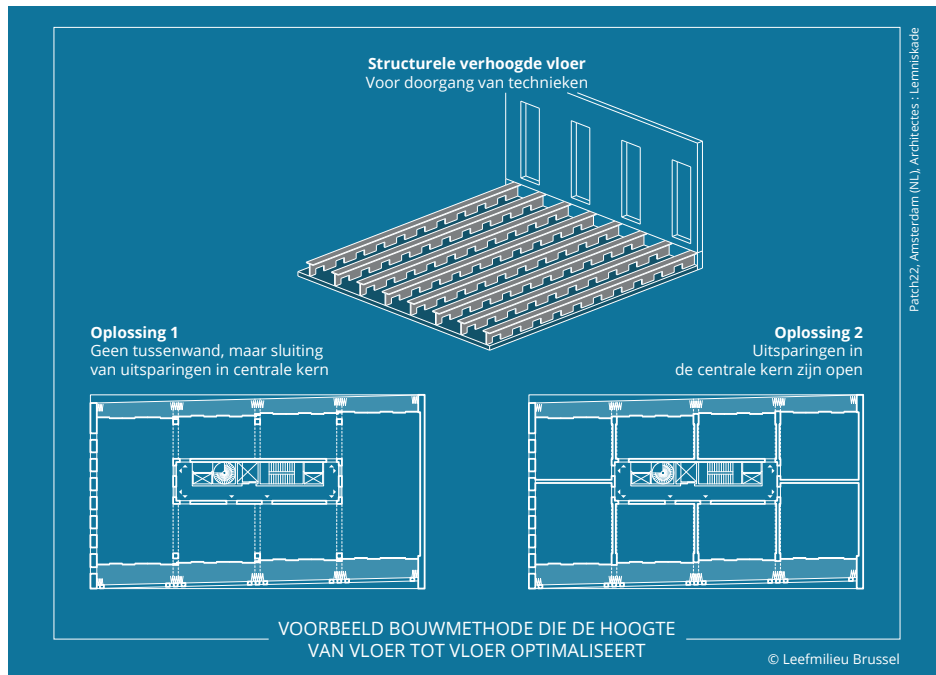
kantoren of scholen, waar bovendien ook meer plaats nodig is voor de HVAC-technieken en de bijbehorende leidingen (bijvoorbeeld ventilatiekanalen). De vloer-plafondhoogte hangt dus eveneens af van de hoogte van vloer tot vloer.



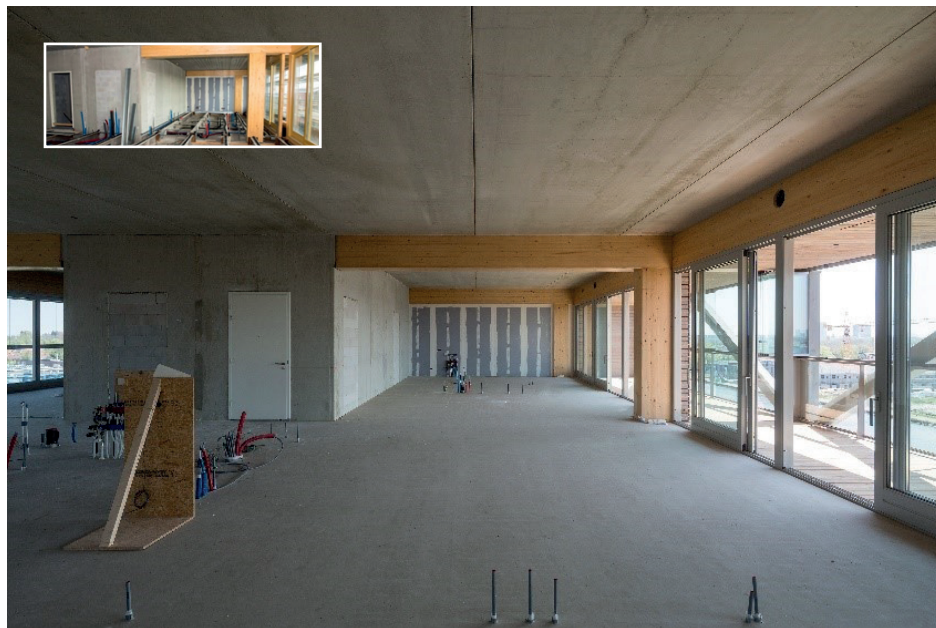
Afbeelding 19: Heel wat herenhuizen hebben door de jaren heen niet alleen dienstgedaan als woning, maar ook als notariaat, kantoor, restaurant, kledingzaak ... Met dank aan de grote vloer-plafondhoogte. (Bron: Annick Verminnen)

**Vloer-vloerhoogte:** brengt niet enkel de vloer-plafondhoogte in rekening, maar ook de dikte van de vloer en de plaats die nodig is voor de technieken. Deze laatste kunnen geïntegreerd worden in verlaagde plafonds of verhoogde vloeren, zodat ze vlot toegankelijk zijn en makkelijk uitgebreid, aangepast of vervangen kunnen worden. Het type constructie speelt eveneens een belangrijke rol. In het geval van een balk- en

kolomstructuur kunnen de technieken bijvoorbeeld ook geïntegreerd worden in specifieke ruimtes tussen de structurele liggers. Op die manier kan de hoogte tussen de verdiepingen worden verminderd (voor dezelfde plafondhoogte). In gebouwen met een hoge transformatiecapaciteit moet de vloer-vloerhoogte voldoende groot zijn.



Afbeelding 20



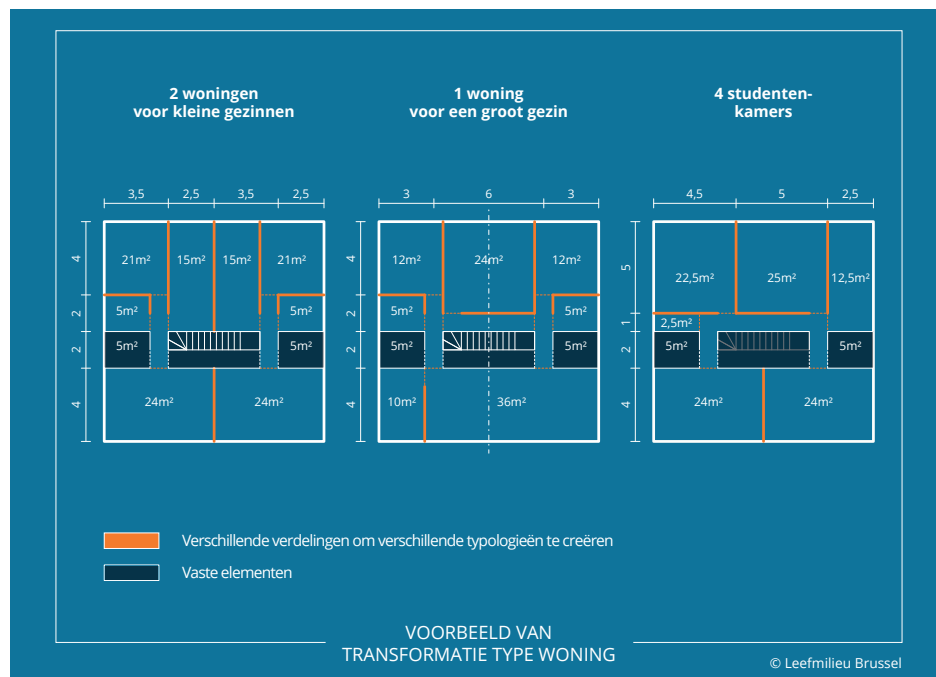
Afbeelding 21 & Afbeelding 22: Optimalisatie van de vloer-vloerhoogte via afstemming van de vloer-plafondhoogte, de vloerdikte en het type constructie. (Project: Patch22 à Amsterdam par Lemniskade, Photo: Luuk Kramer).

**Maximale afstand tot de vaste kernen:** ook de maximale afstand tot vastekernen zoals kolommen, trappen, liftschachten en technische kokers heeft een impact op de afmetingen van de ruimtes en dus op de ruimtelijke omkeerbaarheid en de transformatiecapaciteit. Afhankelijk van de functie en het aantal gebruikers variëren bovendien de normen met betrekking tot het aantal circulatiepunten. Om aan de brandveiligheidsnormen te voldoen, is het tevens belangrijk om de maximale afstand die moet worden afgelegd naar vluchtwegen te respecteren.

**Afmetingen van de circulatievoorzieningen:** de afmetingen van deuropeningen, gangen, trappenkernen en liftschachten die voldoende groot zijn, maximaliseren de ruimtelijke kwaliteit en toekomstige functieveranderingen. Het is belangrijk om deze afmetingen af te stemmen op de eisen die aan de vooropgestelde functies en gebruiken worden gesteld.

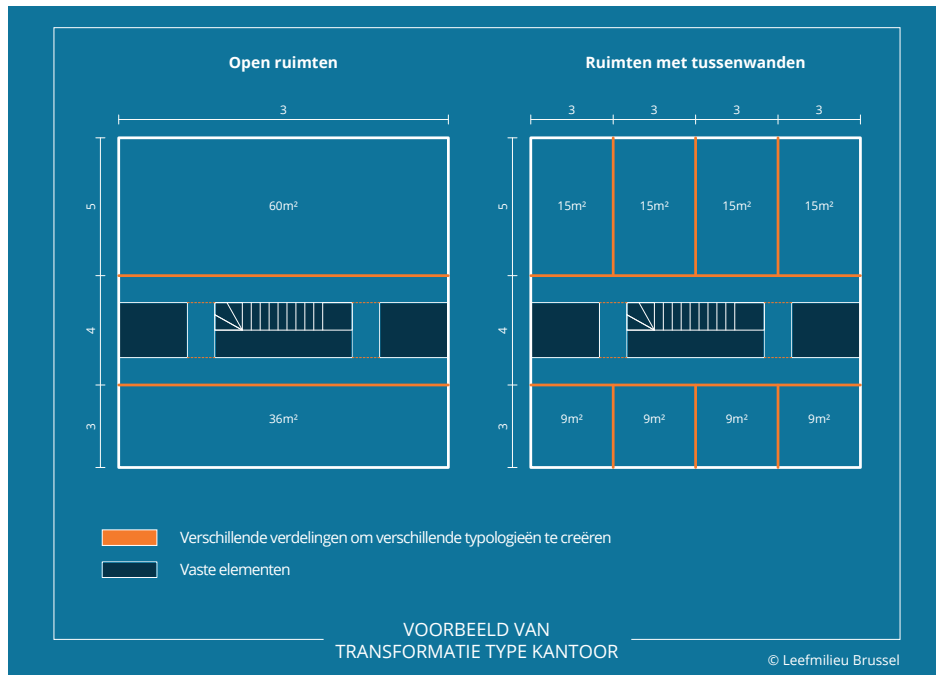
Het kan bijvoorbeeld interessant zijn om een woning van meet af aan rolstoeltoegankelijk te maken door voldoende brede deuropeningen en gangen te voorzien.

Door de afmetingen en de gebouwstructuur te optimaliseren, kunnen ontwerpers de transformatiecapaciteit van gebouwen aanzienlijk vergroten. Dat blijkt ook uit onderstaande resultaten, die afkomstig zijn uit scenario-based onderzoek van studenten. Het onderzoek werd uitgevoerd tijdens design studio's, georganiseerd door de Universiteit Twente, in samenwerking met de Istanbul Technical University en de University of Sarajevo, in het kader van het BAMB-project.<sup>17</sup> Zij analyseerden de transformatiecapaciteit van een gebouw en gingen na wat de ideale afmetingen zijn in relatie tot de onderzochte functies (woning, kantoor en school). Hun conclusie: een gebouw van 12x12 meter kan zowel verschillende functies als verschillende indelingen aan.

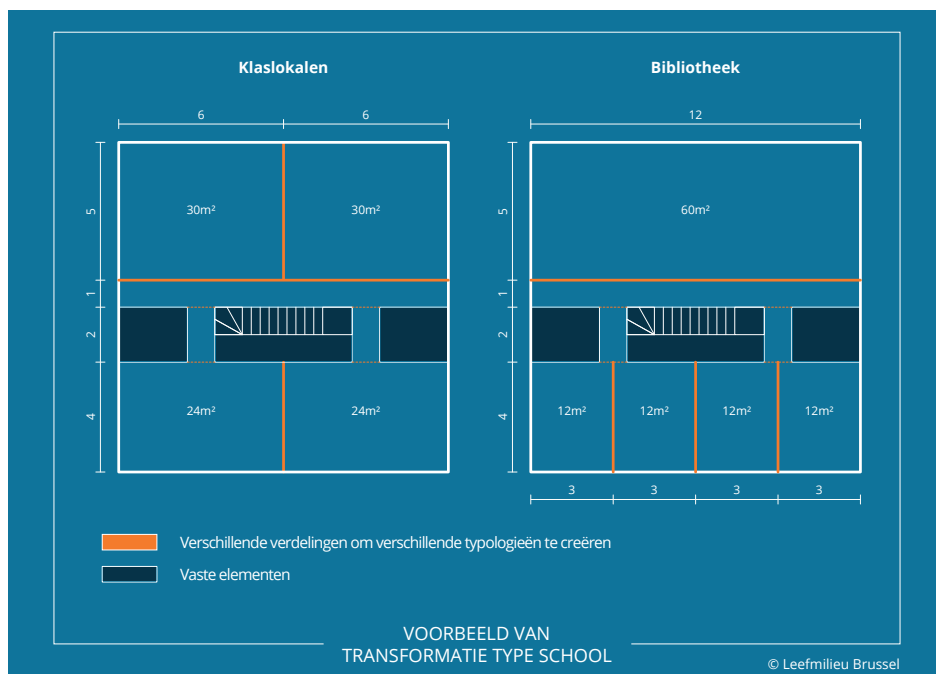


Afbeelding 23: Een gebouw van 12 x 12 meter met een centrale gang kan plaats bieden aan verschillende woontypologieën: twee woningen voor kleine gezinnen, een woning voor één groot gezin en vier studentenkoten.

<sup>17</sup><https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/RBD-Exploration.pdf>



Afbeelding 24: Een gebouw van 12 x 12 meter met een centrale gang kan zowel een open landschapskantoor als een reeks afzonderlijke kantoren herbergen.



Afbeelding 25: Een gebouw van 12 x 12 meter met een centrale gang kan niet alleen vier klaslokalen, maar ook een groot praktijklokaal of zelfs een bibliotheek herbergen.

### 3.1.2 Positionering

De tweede indicator voor de ruimtelijke omkeerbaarheid van een gebouw is het **type** en de **positie** van de vaste kernen zoals

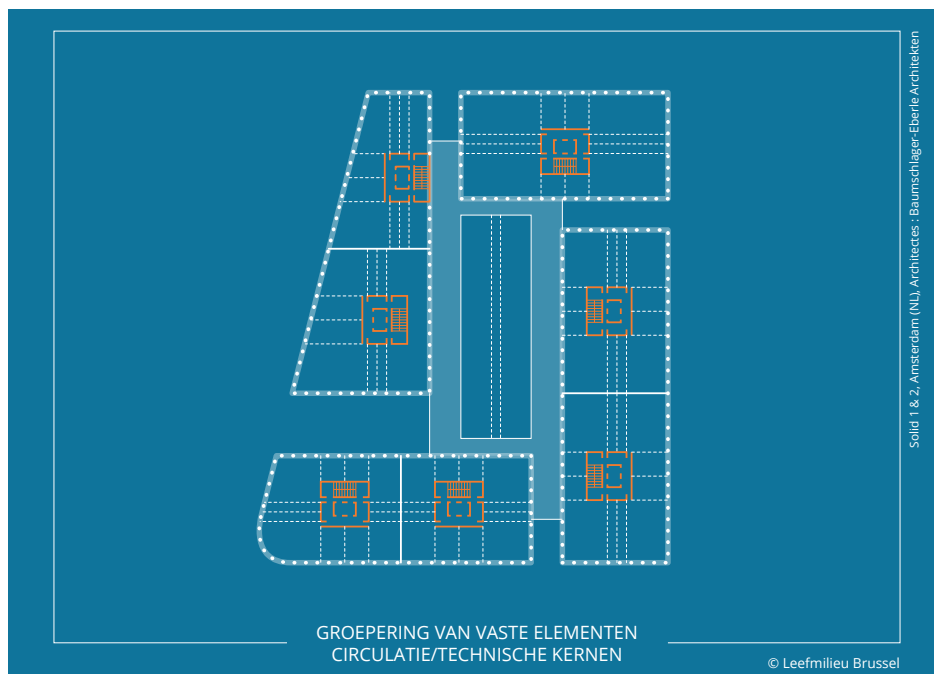
- de draagstructuur
- de technieken (zowel technische ruimtes als verticale technische kokers: distributie van elektriciteit, verlichting, ventilatie ...)
- de circulatiezones (trappenkernen, liftschachten ...).

Het is als ontwerper belangrijk om een structureel ontwerp te ontwikkelen dat een flexibel gebruik van de ruimte mogelijk maakt. Dit betekent dat de vaste kernen zo moeten worden geplaatst dat er verschillende gebruiksscenario's mogelijk zijn. Zo biedt een balk- en kolomstructuur veel meer ruimtelijke flexibiliteit dan structurele dwarsmuren, die de realisatie van grote open ruimtes quasi onmogelijk maken.

Daarnaast is het eveneens belangrijk om de vaste onderdelen **maximaal te groeperen op basis van een ontwerpraster**.

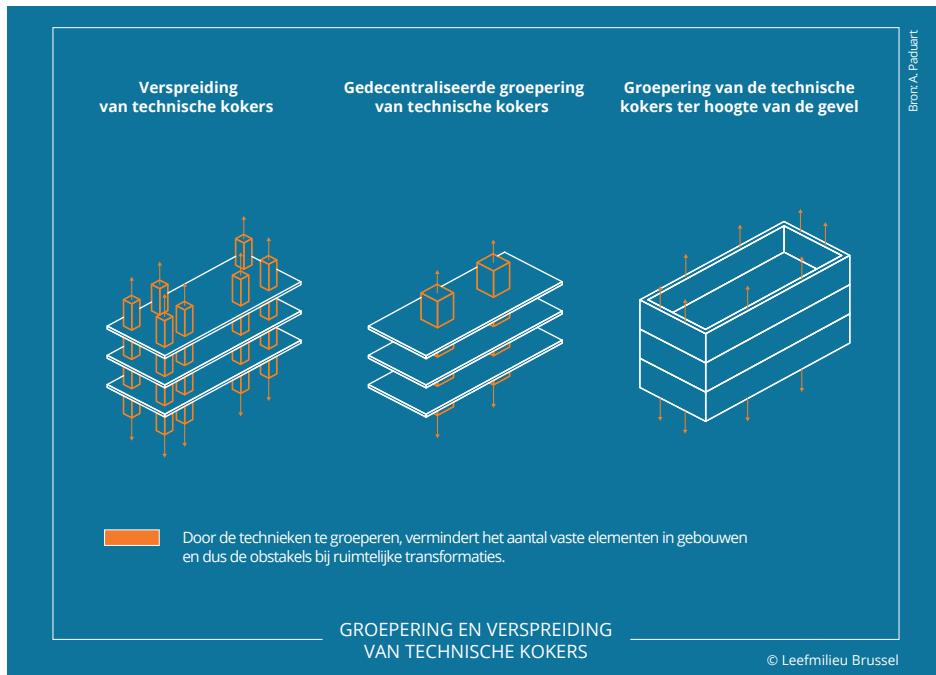
Hoe beter ze gegroepeerd zijn, hoe minder ze een eventuele transformatie kunnen belemmeren. Op die manier kunnen ontwerpers het aantal vaste kernen beperken en de ruimtelijke flexibiliteit verder bevorderen.

Het ontwerp van het Solid 1&2-gebouw in Amsterdam maakt flexibiliteit van de binnenruimtes bijvoorbeeld mogelijk dankzij de positie van de vaste kernen. De trappenhuizen, liftschachten en technische kokers zijn gegroepeerd en de binnenwanden zijn niet-dragend, zodat de eenheden vrij kunnen worden gecombineerd en onderverdeeld. De units worden leeg verkocht en de koper kan de ruimte ombouwen tot een appartement, hotelkamer, kantoor ....



Afbeelding 26

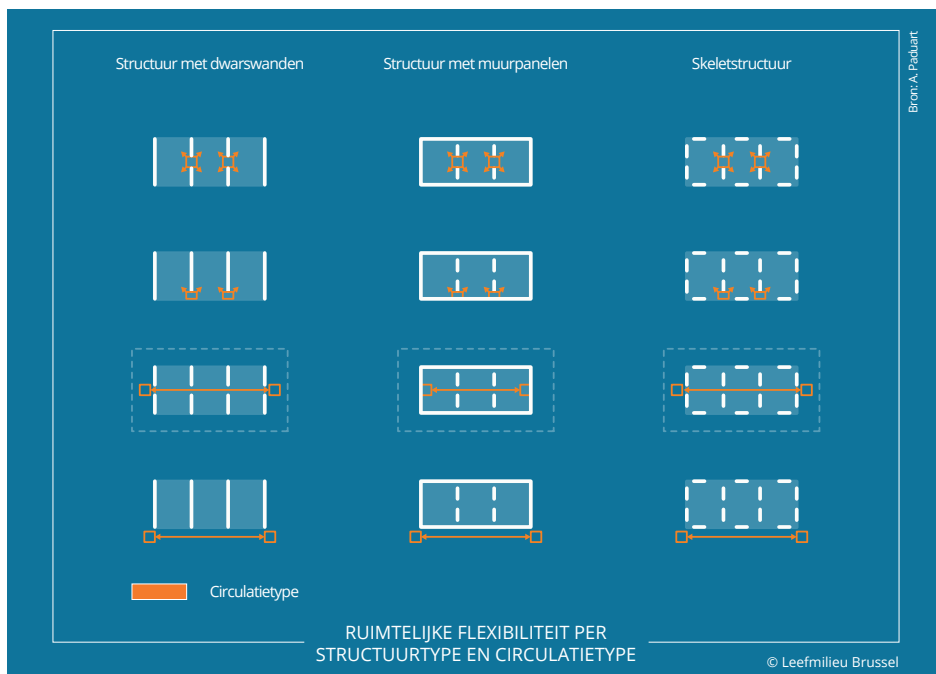




Afbeelding 27: Geclusterde technieken verminderen het aantal vaste kernen in gebouwen en dus ook de obstakels bij een eventuele ruimtelijke transformatie. (Bron: Anne Paduart)

De vaste kernen kunnen verschillende posities krijgen. Het is belangrijk om in functie van de gebruiksscenario's en het

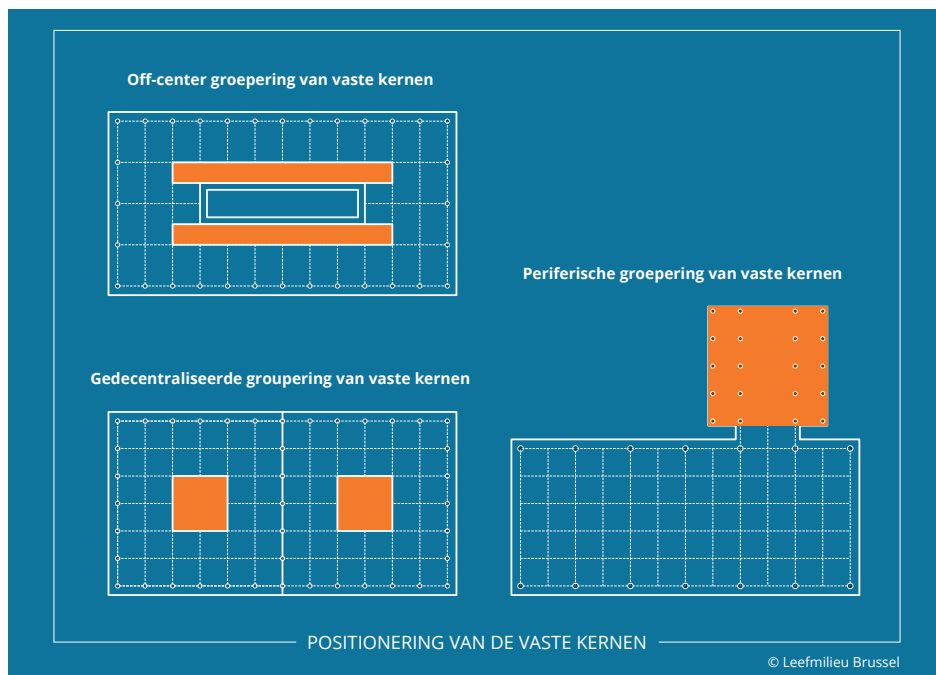
structurele concept de positie te definiëren die de grootste ruimtelijke omkeerbaarheid mogelijk maakt.



Afbeelding 28: De positionering van de vaste kernen en het type draagstructuur beïnvloeden de ruimtelijke omkeerbaarheid. (Bron: Anne Paduart)



Afbeelding 29: Doordachte positionering van de horizontale technieken en de technische en sanitaire cellen in het Circular Retrofit Lab.



Afbeelding 30

### 3.1.3 Capaciteit

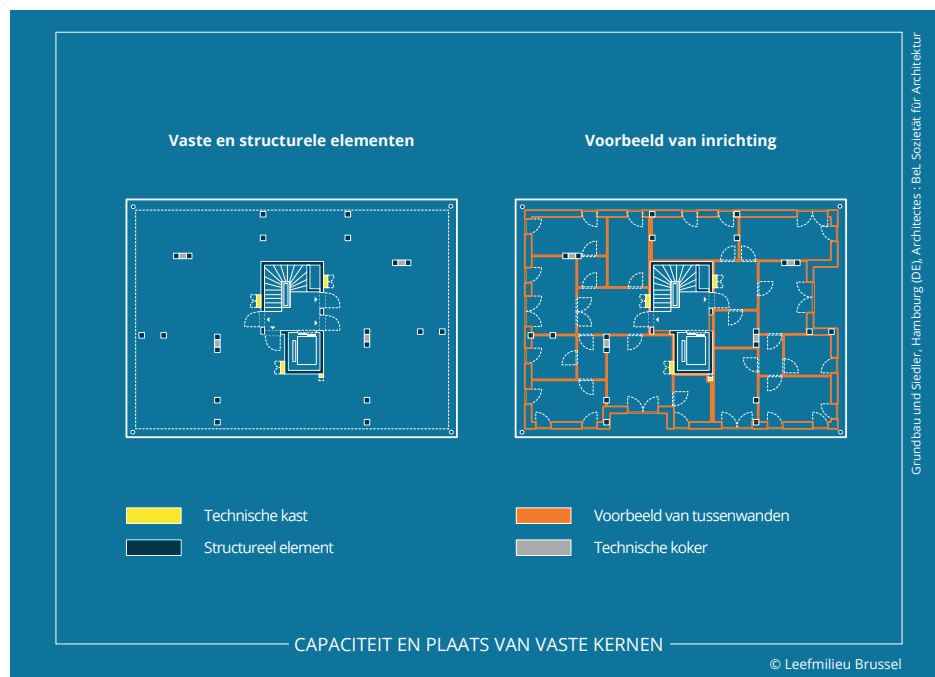
Tot slot hangt de ruimtelijke omkeerbaarheid en de transformatiecapaciteit van een gebouw ook nog af van de capaciteit van de structuur, de circulatiekernen en de technische installaties om te kunnen beantwoorden aan veranderende gebruiksscenario's.

Wat de capaciteit van de **draagstructuur** betreft: deze kan zo worden ontworpen dat toekomstige **verticale** of **horizontale uitbreiding** mogelijk is, evenals een functieverandering waarvoor een grotere structurele draagkracht vereist is.

Goed om weten: het draagvermogen van de vloeren in woningen bedraagt 2 kN/m<sup>2</sup>, in kantoren 3 kN/m<sup>2</sup> en in publieke gebouwen 5 kN/m<sup>2</sup>. Ook de verticale dragende elementen en circulatiekernen kunnen voorzien zijn op eventuele horizontale of verticale uitbreidingen en vormwijzigingen. Met andere woorden: wil je de transformatiecapaciteit van een gebouw vergroten, dan kan het interessant zijn om de draagstructuur en de circulatiekernen te overdimensioneren op basis van de gebruiksscenario's.

Een andere belangrijke parameter is de **verticale verdeling van de technieken**. Bij omkeerbaar ontwerpen is het van belang om de nodige ruimte te voorzien voor de integratie van nieuwe technieken. De technische kokers kunnen bijvoorbeeld zo worden ontworpen dat er voldoende ruimte is om in de toekomst de doorsnede van de kanalen te vergroten, extra installaties toe te voegen of innovatieve technische oplossingen mogelijk te maken. Let echter op: een overdimensionering van de technische installaties met het oog op een eventuele toekomstige verbouwing is an sich niet de beste optie. Het is opportuener om latere toevoegingen uit te voeren met behulp van modules, wachtleidingen of overgedimensioneerde kokers.

In combinatie met de dimensionering van de vaste kernen moet de **capaciteit van de verticale circulatiesystemen** zoals trappenhuis en liftschachten zo worden gedimensioneerd dat ze kunnen beantwoorden aan de eisen van de verschillende functies die in de gebruiksscenario's worden overwogen.



Afbeelding 31

De draagstructuur van dit gebouw is zo ontworpen dat er verschillende woontypologieën en functies mogelijk zijn. De vaste structurele onderdelen zijn tot een minimum beperkt. Naast een technische schacht, die samen met de circulatie

is ondergebracht in een centrale vaste kern, is er ook ruimte voor leidingen voorzien tussen de dubbele kolommen, wat verschillende planindelingen toelaat. De rode delen op het tweede vloerplan symboliseren de mogelijke invulelementen.

### 3.1.4 Demontage- en hergebruikspotentieel

Deze indicator bepaalt in welke mate het mogelijk is om de elementen en componenten waaruit een gebouw is samengesteld (technieken, binnenmuren, gevels, vloeren ...) te demonteren of aan te passen zonder de aangrenzende delen aan te tasten. Op het vlak van ruimtelijke omkeerbaarheid speelt het concept van gelaagdheid een primordiale rol: **de elementen en componenten van een gebouw** moeten naargelang hun levensduur worden georganiseerd in 'lagen' die aan verschillende tempo's van verandering onderhevig zijn. De toepassing van dit concept maakt een laag componenten met een kortere levensduur **onafhankelijk en toegankelijker** dan een laag componenten met een langere levensduur. Dit vergemakkelijkt onder meer het onderhoud, de reparatie, de vervanging en de aanpassing van lagen met een kortere levensduur of lagen die sneller kunnen worden aangepast bij veranderingen in gebruik of functie.

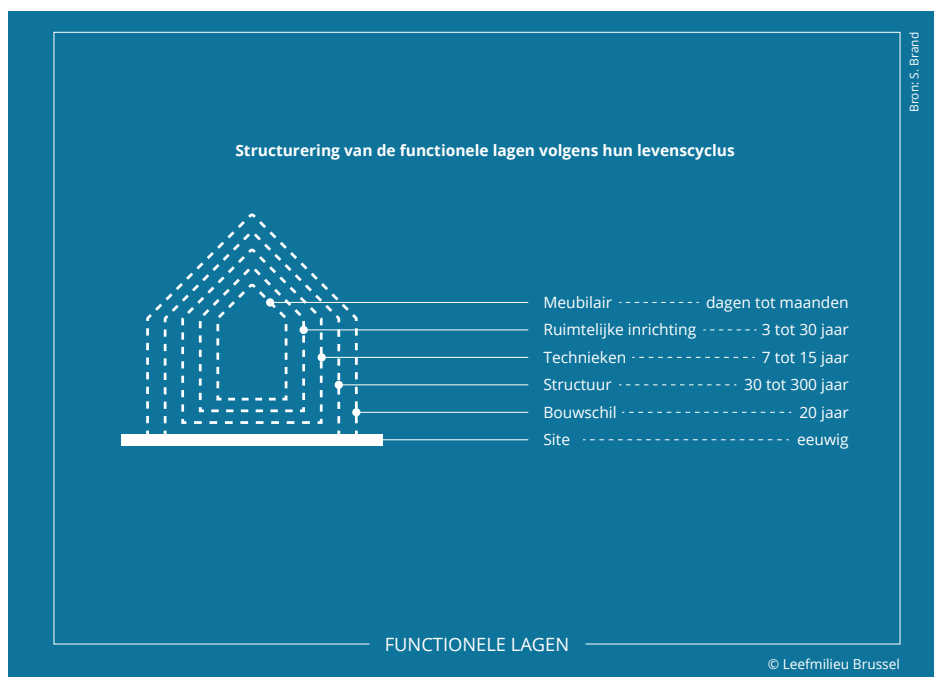
Zoals uit de illustratie van Brand blijkt, zijn de ruimtelijke inrichtingen en technieken het meest onderhevig aan wijzigingen. Enerzijds is het dus noodzakelijk om **de toegang tot**

**de technieken te vergemakkelijken**, met de bedoeling om het onderhoud en de aanpassing ervan mogelijk te maken zonder afval te genereren via het beschadigen van aangrenzende elementen of componenten. Het **groeperen van de technieken** is ook belangrijk om deze toegankelijkheid te vergemakkelijken en de vereiste demontages te beperken.

Anderzijds speelt ook de mogelijkheid om binnenwanden te demonteren en te verplaatsen een belangrijke rol bij het vergemakkelijken van de aanpassing van de binneninrichting.

Zoals vermeld in [paragraaf 2.2](#) zijn **de uitwisselbaarheid van de elementen en componenten** en de demontage ervan cruciale ontwerpparameters ter ondersteuning van de aanpassing van de technieken en ruimtelijke indeling.

De verschillende aspecten die het ontmantelings- en hergebruikspotentieel vergroten in termen van technische omkeerbaarheid worden toegelicht in [paragraaf 3.2](#).



Afbeelding 32: Overzicht van de voornaamste functionele 'lagen' van een gebouw, die telkens een andere levensduur hebben. Het komt erop aan om deze lagen als onafhankelijk van elkaar te ontwerpen, zodat ze in de toekomst gedemonteerd kunnen worden zonder andere functionele lagen van het gebouw aan te tasten. (Bron: S. Brand)

Wat de onafhankelijkheid van de functionele lagen betreft, is het bijvoorbeeld voordelig om scheidingswanden te kunnen demonteren en verplaatsen zonder de technieken te

moeten vervangen. Een voorbeeld hiervan is de uitbreiding van een badkamer om ze toegankelijk te maken voor rolstoelgebruikers.



Afbeelding 33

Wat de toegankelijkheid betreft, maken in het metselwerk ingegoten en gebetonneerde elektriciteitskabels het bijvoorbeeld minder gemakkelijk om kabels, stopcontacten en schakelaars te verplaatsen dan een systeem van demonteerbare wanden die een technische schacht vormen. Deze laatste

zijn vlot toegankelijk door een of meer afwerkingspanelen te verwijderen. Dit geldt ook voor een verlaagd plafond, waarvan de panelen gemakkelijk kunnen worden verwijderd om ventilatiekokers schoon te maken, of voor een kijkluik onder een badkuip.



Afbeelding 34



Afbeelding 35: (Bron: Systimber)

### 3.2 Indicatoren voor technische omkeerbaarheid

Een gebouw is opgebouwd uit elementen, componenten en materialen die op verschillende manieren met elkaar kunnen worden verbonden. Het doel van technische omkeerbaarheid is het demonteren van een gebouw en zijn onderdelen te vergemakkelijken door de beschadiging van de gedemonteerde en aangrenzende delen te beperken en tegelijk de demontagetijd te beperken. Daarom omvat technische omkeerbaarheid, zoals wordt toegelicht in paragraaf 2.2, veel meer dan het gebruik van omkeerbare verbindingen. Technische omkeerbaarheid houdt rekening met drie niveaus van demontage: functionele demontage, technische demontage en fysieke demontage.

Verscheidene ontwerpaspecten hebben een cruciale impact op de technische omkeerbaarheid van gebouwen.

Zo kunnen we acht indicatoren onderscheiden:

#### Functionele demontage

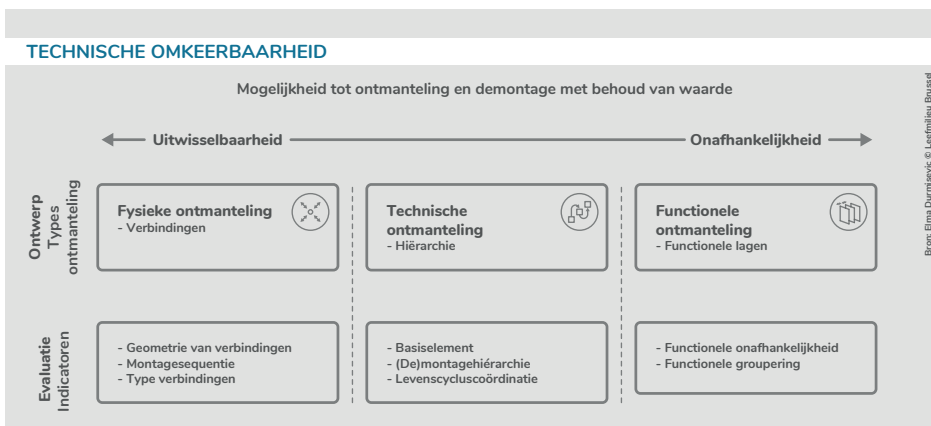
1. Functionele onafhankelijkheid
2. Functionele groepering

#### Technische demontage

3. Baselement
4. (De)montagehiërarchie
5. Levenscycluscoördinatie

#### Fysieke demontage

6. Geometrie van productranden en verbindingen
7. Montagesequentie
8. Type verbindingen



Afbeelding 36: Schematisch overzicht van technische omkeerbaarheid en de bijbehorende types ontmanteling (functioneel, technisch en fysiek), ontwerpparameters en indicatoren.

### 3.2.1 Functionele demontage

Een statische constructie, waarbij de verschillende functionele lagen sterk met elkaar verweven zijn, maakt weinig of geen wijziging of ontmanteling mogelijk. Daarom is het belangrijk om het gebouw en zijn elementen te ontwerpen op basis van een gelaagde aanpak, zodat de verschillende functies onafhankelijk kunnen worden aangepast, gedemonteerd en vervangen. Door de afhankelijkheid ten opzichte van de aangrenzende functies te beperken, is het niet alleen mogelijk om de beschadiging van die delen tijdens aanpassingen en demontages te beperken, maar ook om het demontageproces gemakkelijker, sneller en dus economisch rendabeler te maken.

Functionele onafhankelijkheid en functionele groepering zijn twee indicatoren voor het verbeteren van de functionele gelaagdheid.

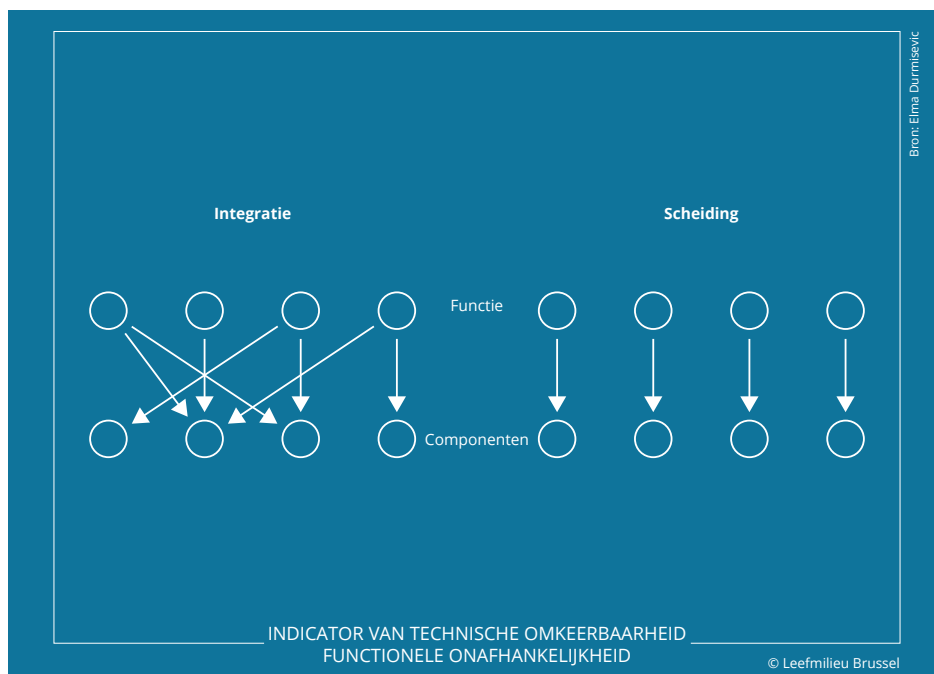
#### 3.2.1.1 Functionele onafhankelijkheid

Functionele onafhankelijkheid is een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerpen van omkeerbare gebouwen. Zoals toegelicht in paragraaf 2.2 zijn zowel het gebouw als zijn elementen opgebouwd uit verschillende functionele lagen. Bij een statische ontwerpbenadering kan eenzelfde element verschillende functies hebben. Een gevel kan bijvoorbeeld als draagstructuur en gebouwschil fungeren. Met het oog op de technische omkeerbaarheid is het echter belangrijk om die functies te scheiden, zodat de gebouwschil bijvoorbeeld kan worden aangepast zonder te raken aan de draagstructuur van

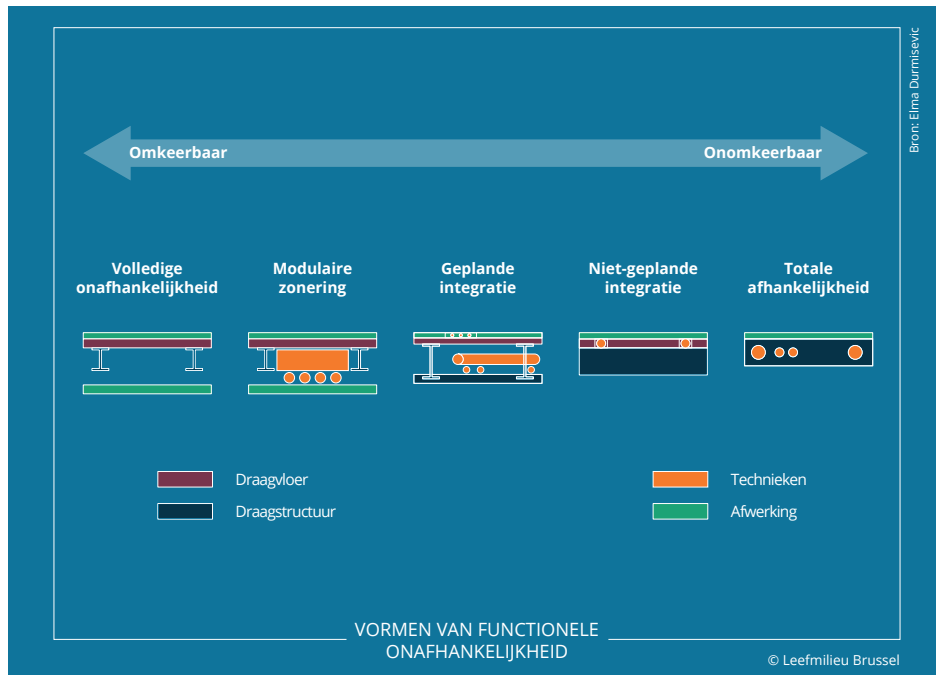
het gebouw. Hetzelfde geldt voor een element an sich, waarbij ook verschillende functies kunnen worden onderscheiden. Zo bestaat een vloer uit een draagstructuur (die zelf eventueel kan worden onderverdeeld in bijvoorbeeld een balk en een draagvloer), een afwerking in de vorm van vloer- en plafondbekledingen en doorgaans ook technieken. Al deze functies hebben eigen kenmerken en vaak verschillende levenscycli, zodat de integratie van twee of meer functies in één component de onafhankelijkheid in gevaar kan brengen en ontmanteling en hergebruik kan bemoeilijken.

Elementen, componenten of materialen kunnen gedemonteerd worden als zij een onafhankelijk onderdeel van het gebouw vormen. Het is dan ook raadzaam om een gebouw te ontwerpen door de verschillende functies te scheiden in onafhankelijke functionele lagen. De voornaamste functionele lagen van een gebouw zijn de draagstructuur, de gebouwschil (wind- en waterdichtheid, isolatie, afwerking...), de technieken en de binnenindeling (scheidingswanden). Elk van deze functies kan worden onderverdeeld in subfuncties. Een draagstructuur kan bijvoorbeeld worden onderverdeeld in funderingen, kolommen, dragende wanden, balken, vloeren...

Er zijn verschillende gradaties van functionele onafhankelijkheid, gaande van volledige onafhankelijkheid, wat een grotere technische omkeerbaarheid ondersteunt, tot volledige integratie, wat de technische omkeerbaarheid belemmert.



Afbeelding 37



Afbeelding 38: Schematische voorstelling van de vijf vormen van integratie.

Zoals in bovenstaand schema is aangegeven, kunnen we vijf vormen van onafhankelijkheid/integratie onderscheiden:

- **Volledige onafhankelijkheid:** de verschillende functies zoals de technieken, de draagstructuur, de afwerking

enzovoort vertonen geen 'doorkruising'. Ze staan volledig los van elkaar en kunnen individueel aangepast of gedemonteerd worden. Denk aan demonteerbare vloersystemen (zie onderstaand voorbeeld).



Afbeelding 39: (Bron: <https://pbsholland.com/toepassingsgebieden/kantoren/>)



- **Modulaire zonering** met doordachte doorkruising en clustering van bijvoorbeeld de technieken, in functie van vlotte toegankelijkheid of aanpassing. De impact op de

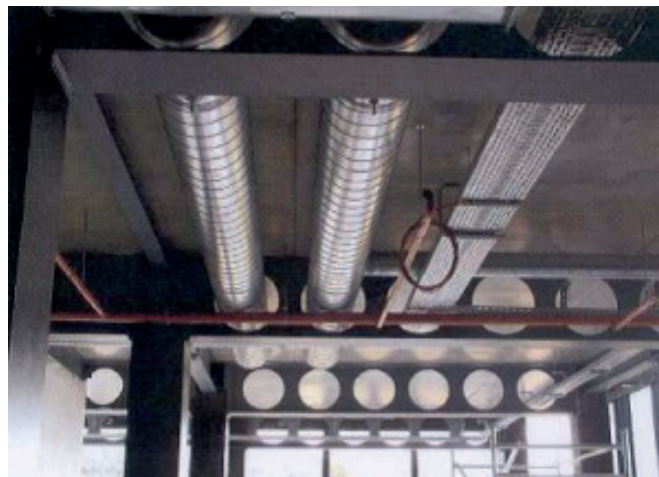
structuur is klein. Denk aan een balk- en kolomstructuur waarbij de technieken geïntegreerd zijn in specifieke ruimtes tussen de structurele liggers.



Afbeelding 40: Ductwork. (Bron: Crowl Marketing + creative courtesy Pro Builder Media <https://www.probuilder.com/>)

- **Geplande integratie** van technieken en structurele elementen. Daarbij is een specifieke zone bestemd voor de technieken en zijn kleine aanpassingen of toevoegingen

mogelijk. Denk aan systematisch gepositioneerde uitsparingen in de dragende liggers en uitsparingen die specifiek bestemd zijn voor de technieken.



Afbeelding 41: (Bron: [www.steelconstruction.info](http://www.steelconstruction.info))

- **Niet-geplande integratie** van bijvoorbeeld technieken en structurele elementen. Daarbij interfereren de technieken met andere functies en laten ze weinig tot geen ruimte voor toekomstige aanpassingen of toevoegingen.

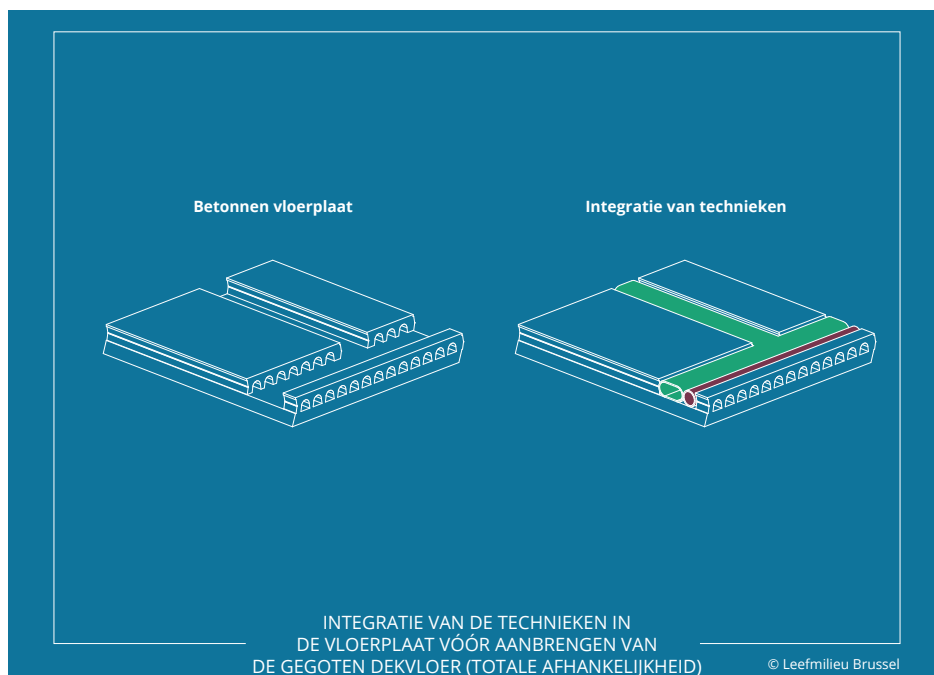
Denk aan het doorboren van een balk om een specifieke leiding te laten doorlopen. De positie van de doorboring beperkt het latere hergebruik.



Afbeelding 42: (Bron: <https://www.bouwwereld.nl/>)

- **Volledige integratie:** daarbij vallen de verschillende functies zoals afwerking, draagstructuur, technieken enzovoort volledig samen met andere functies en zijn ze

louter aan te passen via afbraak of andere destructieve ingrepen. Een voorbeeld hiervan zijn technieken die in een betonvloer gestort zijn.



Afbeelding 43

Volgens een lineaire aanpak kunnen structurele elementen zelfs als onderdeel van de gebouwtechnieken fungeren: de thermische inertie van een betonwand kan gebruikt worden om warmte op te slaan, de draagstructuur kan geluid weerkaatsen of absorberen, delen van de structuur kunnen gevuld worden met water om een actieve vorm van brandveiligheid te voorzien ...

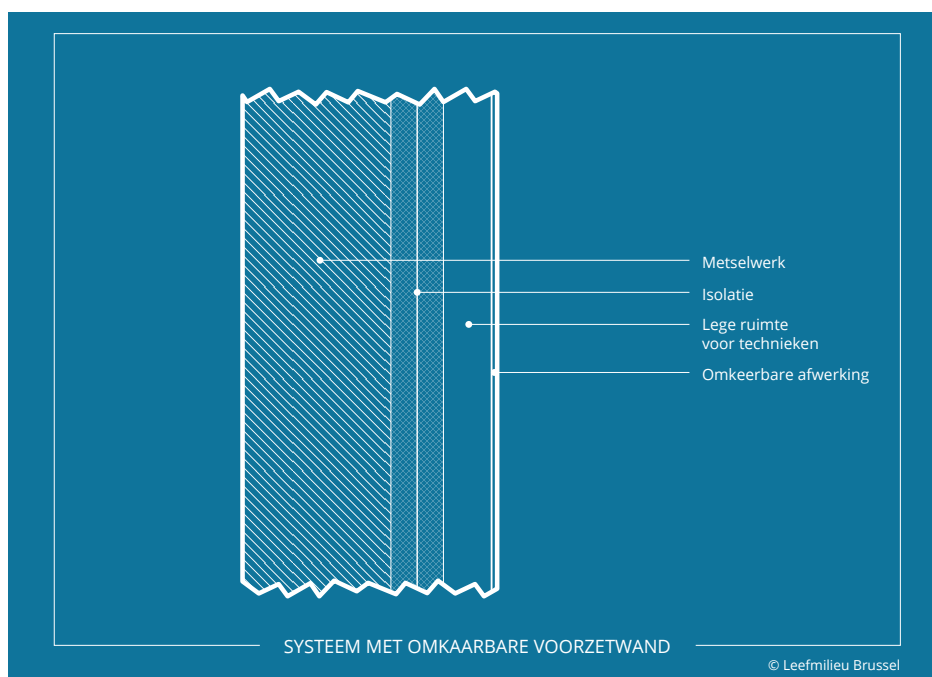
Het is echter belangrijk om na te gaan hoe deze vereisten in het ontwerp kunnen worden opgenomen zonder de functionele onafhankelijkheid te beperken. De omkeerbare vloer die ontworpen werd voor het Project XX in Delft is hier een mooi voorbeeld van. De vloer van de eerste verdieping is opgevat als een holle doos die losstaat van de houten draagstructuur en die kan worden gevuld met zand om thermische inertie te creëren en een betere akoestische isolatie te bieden.



Afbeelding 44: Voor Project XX in Delft werd een omkeerbare vloer ontworpen. (Bron: Project XX, architecte Jouke Post XXarchitecten)

Ook in een renovatieproject kan sprake zijn van onafhankelijkheid tussen de verschillende functionele lagen van een element. Denk aan een binnenmuur die bestaat uit een dragend gedeelte en isolatie, met aan één kant een technische koker die voor de afwerking van de muur wordt geïntegreerd.

Hierdoor ontstaat een tussenruimte voor de technische installaties (elektriciteit, leidingen ...), die bijgevolg kunnen worden aangepast zonder aan de structurele, akoestische of andere kenmerken van de wand te raken. Een dergelijke oplossing werd voorgesteld voor de renovatie van het Clos des Mariés in Elsene, in het kader van het project Usquare.



Afbeelding 45

### Demonteerbare sanitaire cel

Onderstaand voorbeeld van een demonteerbare sanitaire cel illustreert hoe functionele onafhankelijkheid bijdraagt tot de technische omkeerbaarheid van een gebouwelement. De hoofdfuncties zoals de (zelf)dragende structuur van de wand van de sanitaire cel, technische voorzieningen, afwerking en sanitaire accessoires zijn ontworpen als onafhankelijke functionele elementen en zijn louter met elkaar verbonden via (omkeerbare) stalen koppelingen. Daarnaast

garanderen de stalen koppelingen ook de verbinding tussen de (permanente) draagstructuur van het gebouw en de (variabele) elementen van de sanitaire cel.

De functionele onafhankelijkheid tussen de verschillende lagen van de sanitaire wand maakt het onder meer mogelijk om de afwerking te vernieuwen zonder aan de technieken of de draagstructuur van het sanitair blok te raken of sanitaire elementen (bv. wastafel en toilet) te 'verwisselen' zonder aan de andere elementen te raken.



Afbeelding 46: Dit omkeerbare sanitaire systeem is voorzien in het circulaire ontwerp voor de polikliniek van Ziekenhuis Joseph Bracops in Anderlecht. (Bron: archipelago)

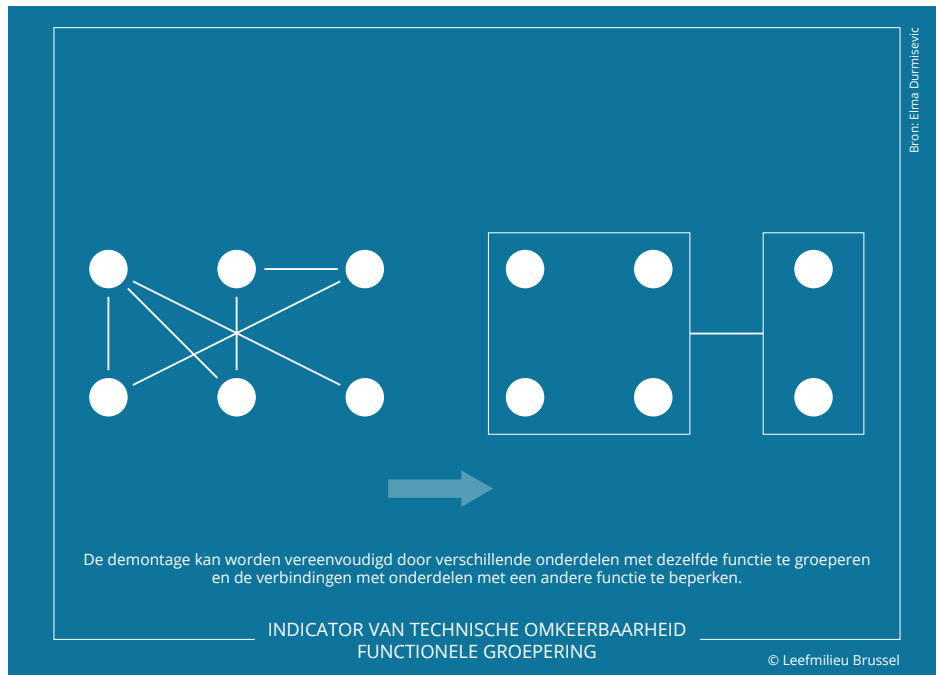
#### 3.2.1.2 Functionele groepering

De (de)montage van een gebouw bestaat uit een opeenvolging van handelingen. Hoe meer opeenvolgende handelingen, hoe complexer en tijdrovender het demonteren van het gebouw zal zijn. Het risico bestaat dat sloop om financiële redenen (meer tussenstappen bij de demontage, met extra arbeidskosten tot gevolg) of technische redenen de voorkeur krijgt op ontmanteling. De demontage kan worden vergemakkelijkt door onderdelen met dezelfde functie te groeperen en de verbindingen met onderdelen met een andere functie te beperken. Hierdoor kan het aantal verbindingen dat bij de ontmanteling moet worden gedemonteerd beperkt worden, wat tijdswinst oplevert en de financiële haalbaarheid vergroot.

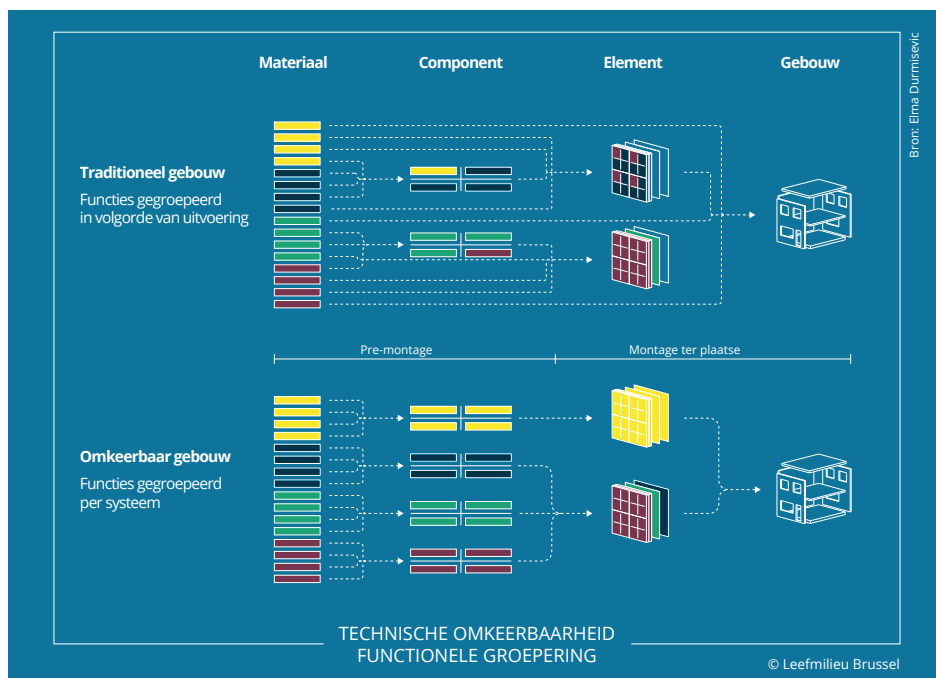
Prefabricage kan in dit verband een belangrijke rol spelen, op voorwaarde dat die prefabricage omkeerbaar is. In een omkeerbare ontwerpbenadering kan de demontage dan in twee fases worden overwogen: eerst worden de elementen

en componenten op de bouwplaats gedemonteerd, met het oog op hergebruik of herconfiguratie. Dit kan worden gevolgd door ontmanteling in de werkplaats, waar de componenten en materialen worden gedemonteerd met het oog op vervanging, reparatie, hergebruik of recyclage. Een hoog niveau van prefabricage kan het aantal tussenstappen voor een snelle ontmanteling van een gebouw dus verminderen en een groot aantal ontmantelingshandelingen in de werkplaats toelaten. Deze aanpak maakt het mogelijk om de kosten te verminderen en de potentiële schade te beperken, aangezien de ontmanteling in een beschermde omgeving gebeurt.

Het is ook belangrijk om op te merken dat deze clusteraanpak het eveneens gemakkelijker maakt om bijvoorbeeld technieken ter plaatse te demonteren met het oog op reparatie of vervanging.



Afbeelding 47



Afbeelding 48: Wil je de technische omkeerbaarheid vergroten, dan is het nuttig om componenten en materialen doordacht te groeperen op de verschillende niveaus. Hoe meer dit het geval is, hoe minder tussenstappen er nodig zijn om gebouwen te demontieren.

### 3.2.2 Technische demontage

Om de demontage te vergemakkelijken en de waarde van de verschillende onderdelen van het gebouw te verhogen, is het ook belangrijk de montage en demontage van de verschillende onderdelen te organiseren op basis van hun bijbehorende functies en levensduur. Deze organisatie moet rekening houden met de volgorde van montage en demontage om te voorkomen dat aangrenzende onderdelen onnodig wor-

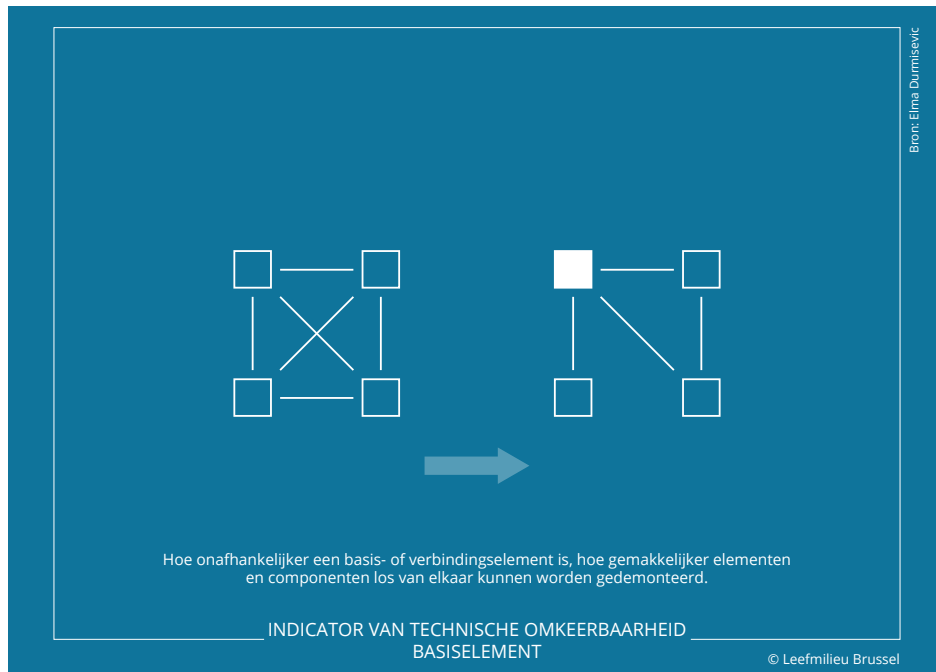
den gedemonteerd om het betrokken onderdeel te kunnen demontieren. Dit beperkt schade en demontagetijd voor herstellingen, vervangingen, verwijderingen, enz.

Het gebruik van basiselementen, de (de)montagehiërarchie en de levenscycluscoördinatie vergroten de technische demontage.

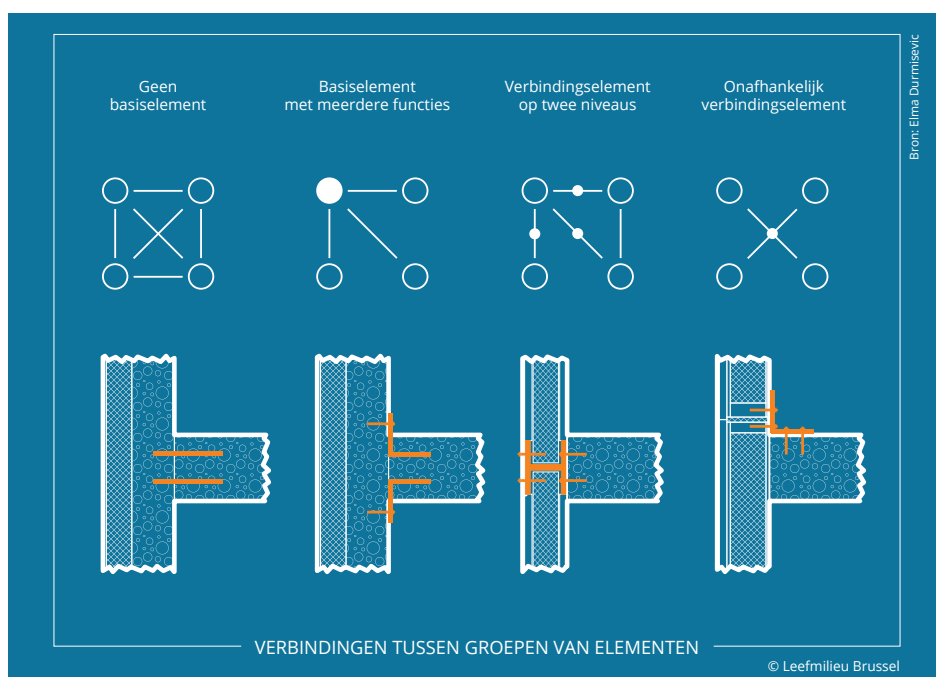
### 3.2.2.1 Basiselement

Om de technische omkeerbaarheid te vergroten, kan een verbindingselement – ook wel ‘basiselement’ genoemd – dienstdoen als verbinding tussen de verschillende elementen of componenten. Hoe onafhankelijker dit basiselement, hoe onafhankelijker de elementen en componenten uit elkaar kunnen worden gehaald. Een voorbeeld is de draagstructuur van een gebouw, die fungeert als basiselement waaraan de gevel, het dak enzovoort zijn verankerd. Een basiselement kan

op elk micro- of macroniveau van een gebouw worden aangetroffen. Om de technische omkeerbaarheid van gebouwen te maximaliseren, is het van belang dat de basiselementen gemakkelijk toegankelijk en demonteerbaar zijn. Onderstaande principes beschrijven de ontwerp oplossingen van minst naar meest omkeerbaar.



Afbeelding 49



Afbeelding 50: Het basiselement specificeert de wijze waarop verschillende componenten, elementen of clusters verbonden zijn.

### Principe 1 : geen basiselement

Het basiselement kan volledig geïntegreerd zijn, waardoor de verbonden delen ‘versmelten’ tot een geheel. Er is dan geen onafhankelijk verbindingselement. Het demonteren van een deel van het gebouw, bijvoorbeeld de gevel, zal dan gevolgen hebben voor de integriteit van de aangrenzende delen, zoals de vloer waarmee de gevel is verbonden. Dit zal leiden tot beschadiging van de verschillende onderdelen.

### Principe 2 : basiselement met meerdere functies

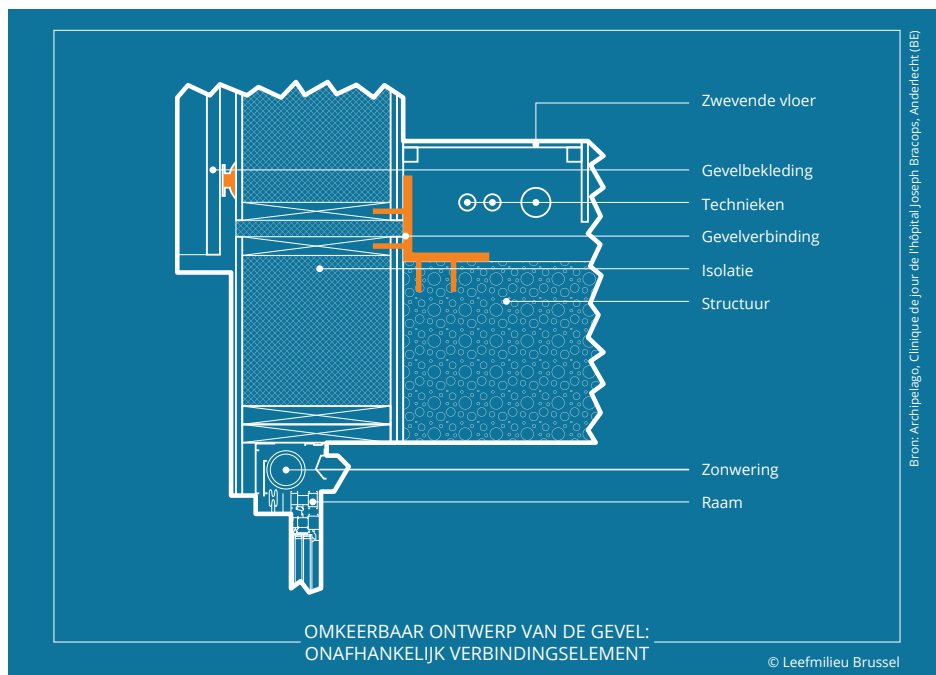
Bij het verbinden van twee verschillende elementen, bijvoorbeeld een gevel en een vloer, kan het basiselement ook worden geïntegreerd in een van de verbonden elementen, bijvoorbeeld in de vloer. De vloer heeft dan twee functies: vloer en verbindingselement. Het basiselement maakt dan integraal deel uit van dit element (vloer), waardoor het minder onafhankelijk is.

### Principe 3 : verbindingselement op twee niveaus

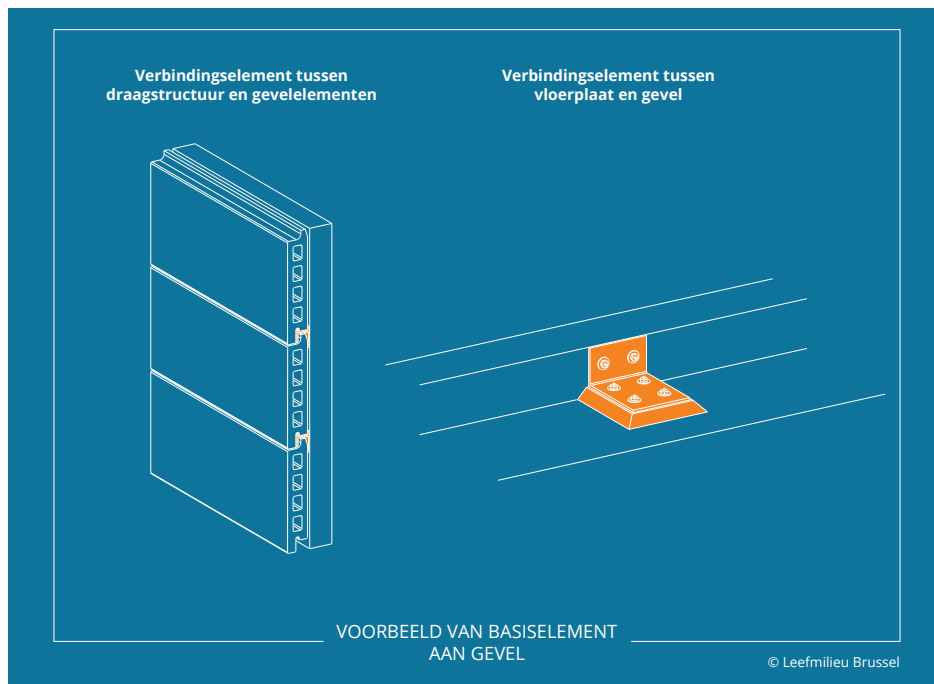
Een basiselement kan tegelijkertijd dienstdoen als verbindingselement op twee niveaus. Enerzijds zorgt het dan voor de verbinding tussen de componenten van een element, bijvoorbeeld tussen de gevelpanelen van de gebouwschil. Anderzijds zorgt datzelfde element ook voor de verbinding tussen twee verschillende elementen, bijvoorbeeld tussen de gevel en de vloer. Het basiselement vervult dan tegelijkertijd een verbindingfunctie op twee verschillende niveaus, namelijk tussen de componenten binnen een element (1) en tussen verschillende elementen onderling (2).

### Principe 4 : onafhankelijk verbindingselement

Tot slot kan een basiselement ook een onafhankelijk verbindingselement op één niveau zijn. Het verbindingselement wordt gebruikt als een onafhankelijk verbindingselement om twee componenten met elkaar te verbinden, bijvoorbeeld de gevelbekleding en de gevelpaneelstructuur. Het basiselement kan worden gebruikt als onafhankelijk verbindingselement om twee elementen met elkaar te verbinden, bijvoorbeeld de gevel en de vloer.



Afbeelding 51: Het omkeerbare ontwerp van de gevel van de polikliniek van Ziekenhuis Joseph Bracops omvat onafhankelijke verbindingselementen als basiselementen. Het basiselement rechts vormt de verbinding tussen de vloerplaat en de gevelpanelen. Het basiselement links verbindt de draagstructuur van de gevelcaissons met de gevelafwerkingspanelen, zodat deze laatste gemakkelijk kunnen worden gedemonteerd. (Bron: archipelago)



Afbeelding 52

### 3.2.2.2 Montagehïerarchie

De montagehïerarchie omvat twee aspecten:

Bij een gelaagde ontwerpbenadering is het van belang om de verschillende functionele lagen als onafhankelijk van elkaar te ontwerpen en de onderdelen met dezelfde functie te groeperen. Dit vergemakkelijkt het monteren en demontieren van de verschillende functies. Het aantal verbindingen tussen de verschillende functionele lagen en 'clusters' moet eveneens worden beperkt om hun afhankelijkheid tijdens het (de)monteren te verminderen.

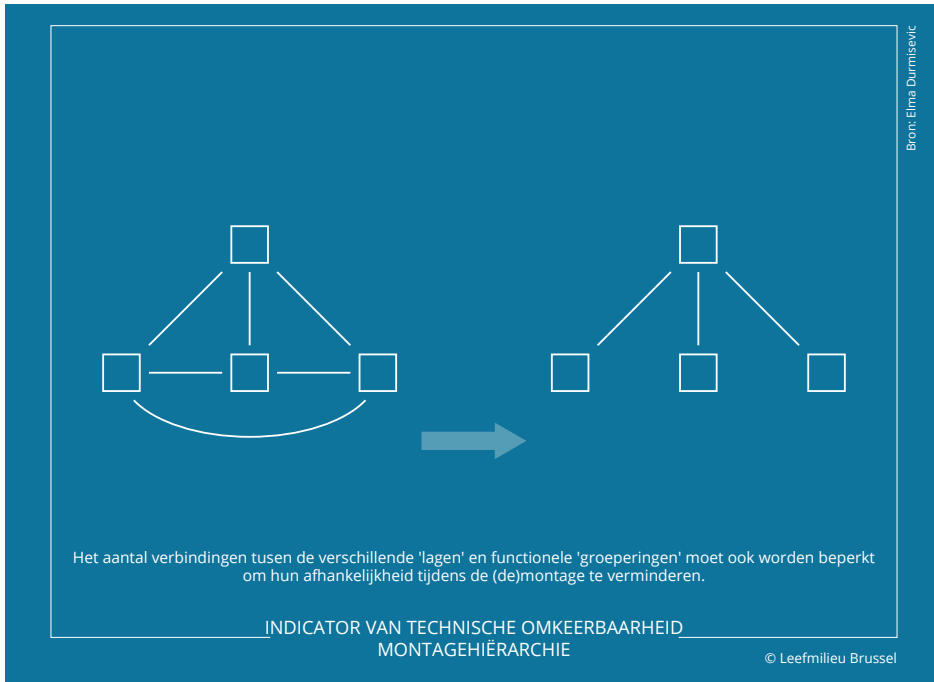
Deze afhankelijkheid op het vlak van (de)montage kan worden weergegeven in een relatiediagram. Dit geeft op de horizontale as de verschillende functionele lagen weer en op de verticale as de assemblage- (en ontmantelings)volgorde.

Om dit te illustreren, wordt in onderstaand relatiediagram het omkeerbare ontwerp van de gevel van de polikliniek van Ziekenhuis Joseph Bracops geanalyseerd en wordt de samenstelling van de verschillende functionele lagen en de relaties (verbindingen) tussen die verschillende lagen beschreven. Die relaties worden weergegeven door een lijn, waarbij het pictogram op de lijn het type verbinding weergeeft. De hierboven (3.2.2.1) beschreven basiselementen worden weergegeven door een groene ruit.

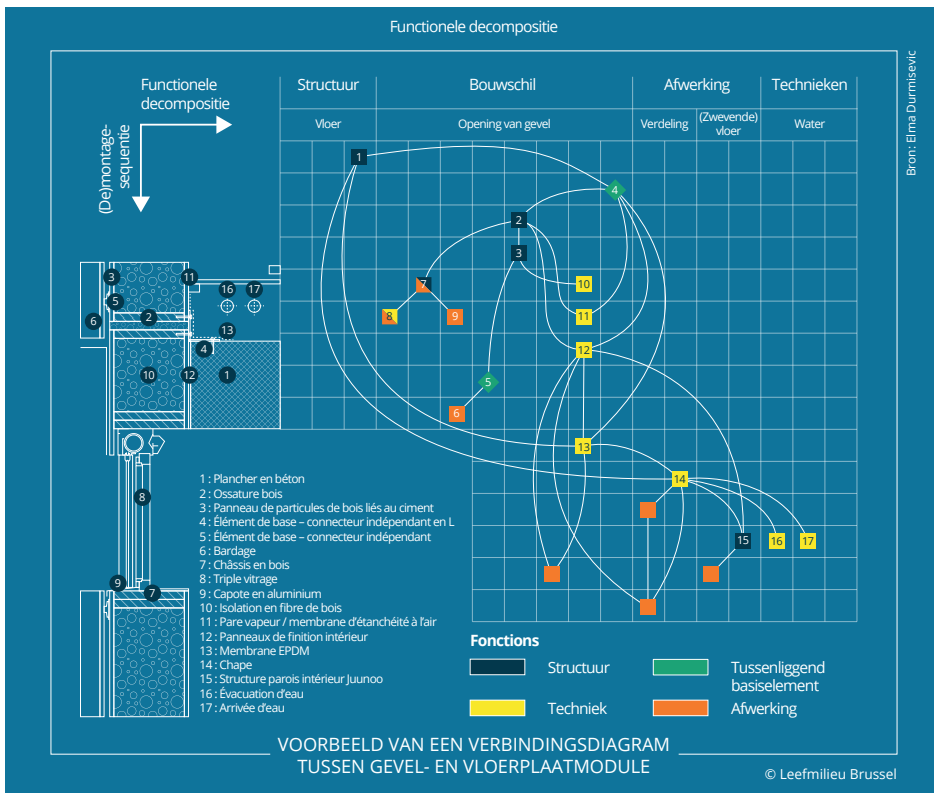
De in het diagram weergegeven functionele lagen zijn de draagstructuur van de vloer, de technieken, de binnenwanden en de gevel. De gestippelde cirkel geeft aan uit welke componenten en materialen het gevelement bestaat.

Wat de volgorde van montage betreft, staan de componenten die het eerst worden gemonteerd en het laatst worden gedemonteerd bovenaan in het diagram. De componenten en materialen die het laatst worden gemonteerd en het gemakkelijkst kunnen worden gedemonteerd, staan onderaan in het diagram.





Afbeelding 53



Afbeelding 54: Relatiediagram dat toont hoe de gevelmodule met de vloerplaat wordt verbonden door middel van een basiselement. Er wordt ook een basiselement gebruikt om de gevelpanelen met elkaar te verbinden.

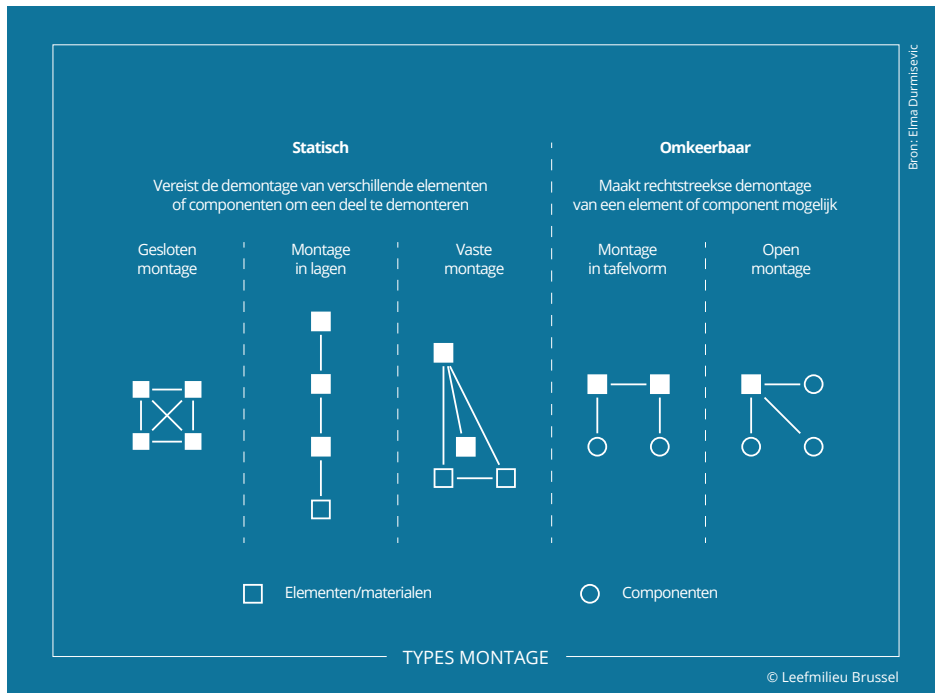
Om de mate van technische demontage te verhogen, is het van belang om rekening te houden met:

1. het soort en het aantal relaties tussen de elementen en componenten (zie 'samenstelling' hieronder)
2. de positie van de verschillende relaties in een relatiediagram.

### Samenstelling

Het demontagegemak en het hergebruikspotentieel worden bepaald door het soort en het aantal relaties tussen de verschillende onderdelen. Om de technische omkeerbaarheid te vergroten, moeten de relaties tussen een component/element en zijn aangrenzende componenten/elementen worden beperkt tot één relatie met slechts één aangrenzend component/element.

In een relatiediagram kunnen we, op basis van het aantal relaties, vijf soorten assemblages onderscheiden:



Afbeelding 55: De vijf verschillende assemblagetypes, van gesloten naar open assemblage.

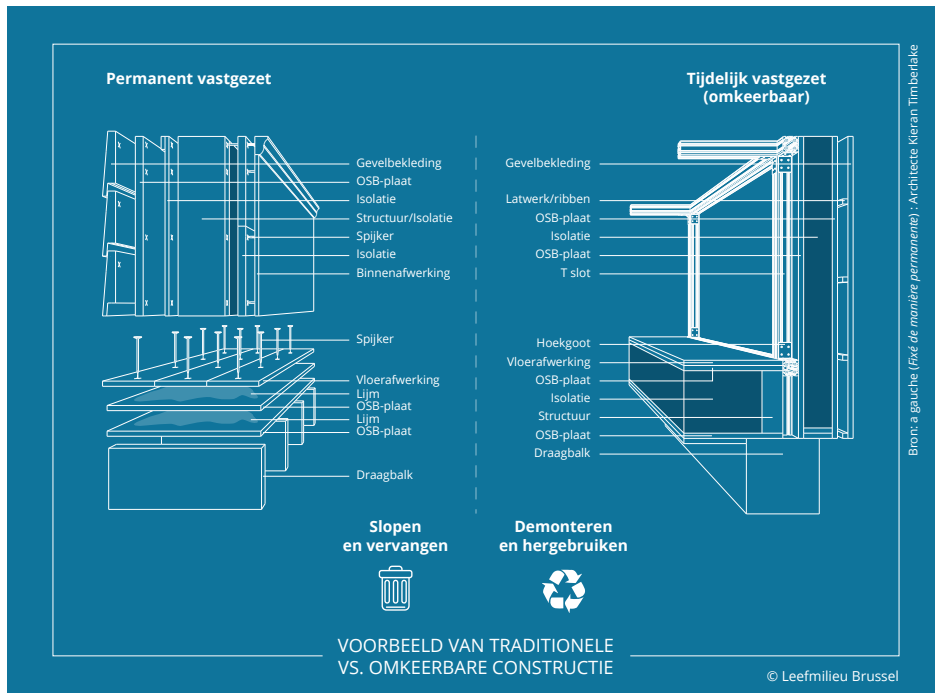
Een statisch, en dus minder omkeerbaar, ontwerp wordt gekenmerkt door gesloten, gestapelde of vaste assemblages. Deze vereisen de demontage van meerdere verbindingen en elementen of componenten om een onderdeel te kunnen demonteren. Het meest omkeerbare ontwerp wordt gekenmerkt door een tabel- of open assemblage. Open assemblages bestaan uit onderdelen die onafhankelijk zijn en die slechts één relatie hebben met een aangrenzend onderdeel, aangezien zij alleen verbonden zijn met het basiselement dat hen koppelt aan de rest van de configuratie.

### Positie

De relaties tussen de verschillende onderdelen kunnen worden weergegeven in een relatiediagram. De relaties tussen de verschillende delen van eenzelfde functie of subfuncties worden 'verticaal' genoemd. De relaties tussen verschillende functies worden als 'horizontaal' gedefinieerd.

Bij een klassieke muur zijn de onderlinge relaties tussen de verschillende delen eerder meervoudig en horizontaal. Dit betekent dat de verschillende onderdelen (en verschillende functies) met een horizontale relatie samen moeten worden geassembleerd en gedemonteerd. Een omkeerbaar ontworpen wandstelsel vertoont daarentegen eerder verticale relaties.

Om een hoge mate van technische omkeerbaarheid te bereiken, is het aangeraden om de horizontale relaties zoveel mogelijk te beperken. Als er toch horizontale relaties vereist zijn, is het best dat ze in het onderste deel van het relatiediagram worden geplaatst, zodat ze tot de eerste relaties behoren die bij het demonteren worden ontmanteld.

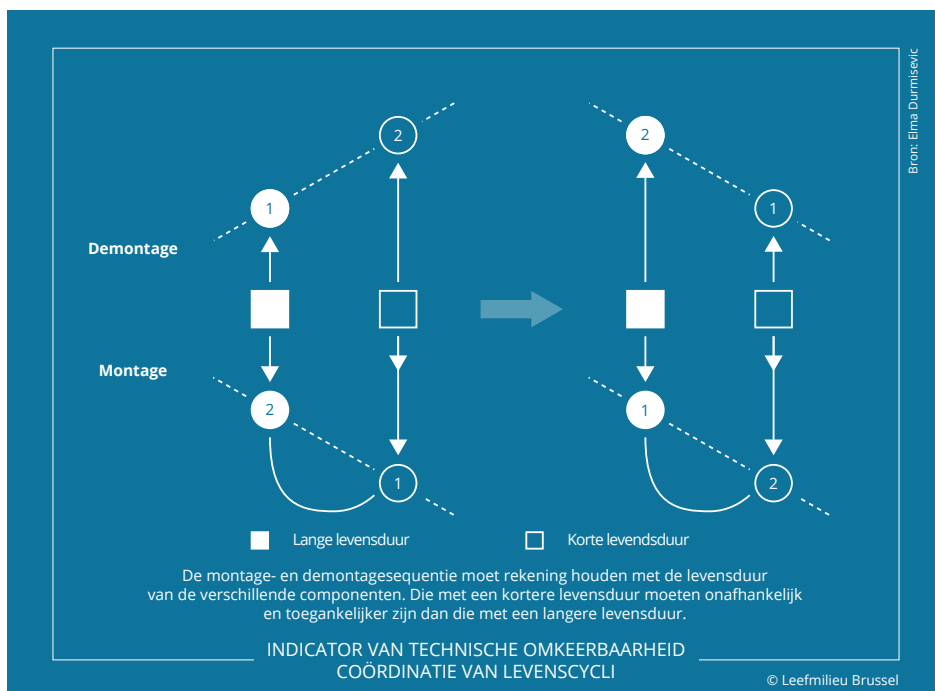


Afbeelding 56: Niet-omkeerbare vloer- en wandconstructie versus omkeerbare vloer- en wandconstructie, waarbij de samenstelling sterk vereenvoudigd is en de relaties tussen de verschillende elementen (in dit geval vloer en wand) en hun onderdelen aanzienlijk beperkt zijn.

### 3.2.2.3 Levenscycluscoördinatie

Om de technische demontage te vergemakkelijken en de 'tijdspadox' tegen te gaan, is het ook van belang om rekening te houden met de levenscyclus en de levensduur van de materialen, componenten en elementen. Afhankelijk van hun aard en functie hebben bouwmaterialen een levensduur van vijf tot 75 jaar. Hoewel materialen vaak een sterk verschillende levensduur hebben, wordt met dit soort informatie weinig (of geen) rekening gehouden bij het bepalen van de volgorde van de opbouw (assemblages).

Het gebeurt bijvoorbeeld vaak dat componenten met een langere levensduur moeten worden gedemonteerd om toegang te krijgen tot materialen en componenten met een kortere levensduur.



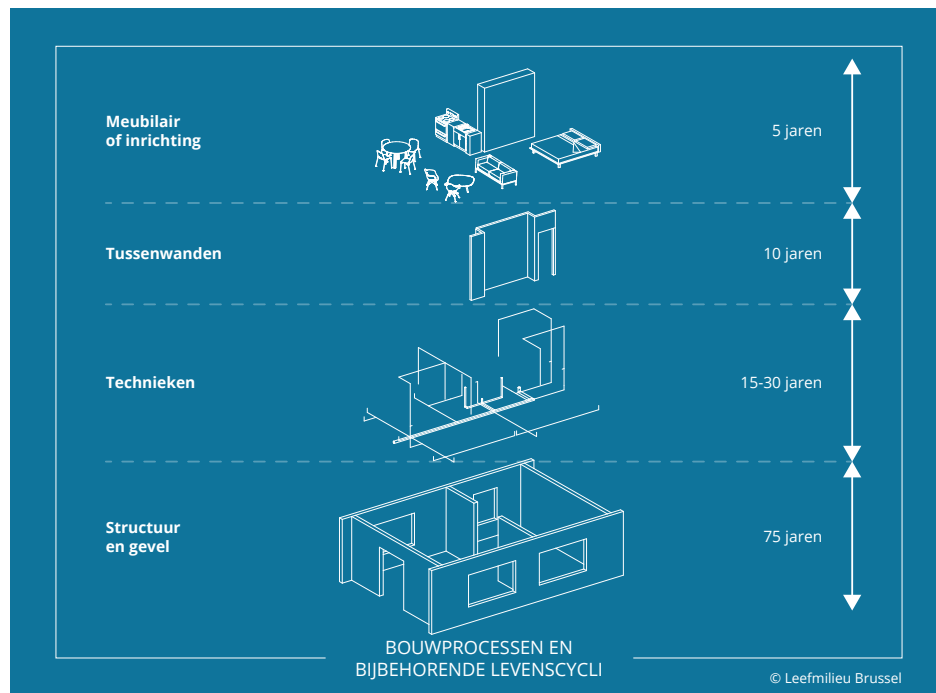
Afbeelding 57

Bij de volgorde van montage en demontage moet dan ook rekening worden gehouden met de levensduur van de verschillende componenten, zodat de componenten met een kortere levensduur **onafhankelijk en beter toegankelijk** zijn dan de componenten met een langere levensduur.

Kortom: de levensduur en de functies van de gebruikte elementen, componenten en materialen kunnen aanzienlijk variëren en worden vaak niet in aanmerking genomen bij

het ontwerp, wat voor onnodige moeilijkheden zorgt op het vlak van waardebehoud en de nuttige toepassing van de elementen en componenten. Ontwerpers kunnen dit vermijden door twee principes toe te passen:

- bouwelementen met verschillende levensduur en functies zoveel mogelijk scheiden;
- de volgorde van montage en demontage afstemmen op hun levenscyclus.

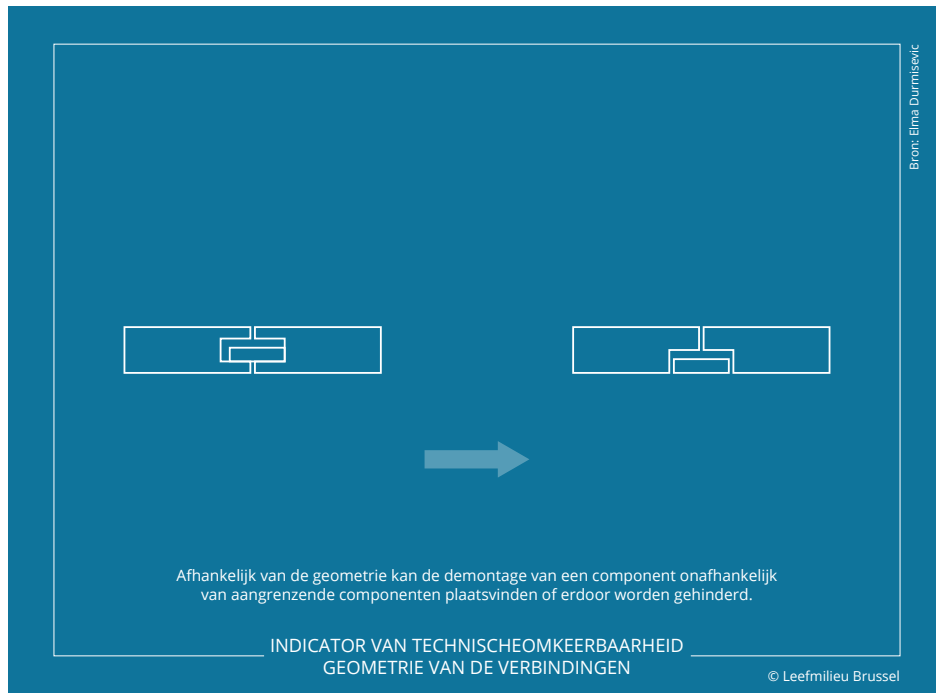


Afbeelding 58: Illustratie van een bouwproces dat de levenscycluscoördinatie volgt: de elementen met een langere levensduur (lees: de draagstructuur en de gevel) worden eerst gemonteerd en laatst gdemonteerd. Elementen met een kortere levenscyclus (lees: de scheidingswanden en de afwerking) komen als laatste aan bod bij de realisatie van een gebouw en zullen als eerste plaatsmaken bij een eventuele transformatie.

### 3.2.3 Fysieke demontage

Naast de onafhankelijkheid van de functionele lagen en de (de)montagehiërarchie zullen ook de geometrie en het type verbinding van invloed zijn op het gemak waarmee de

verschillende onderdelen van het gebouw kunnen worden gdemonteerd.

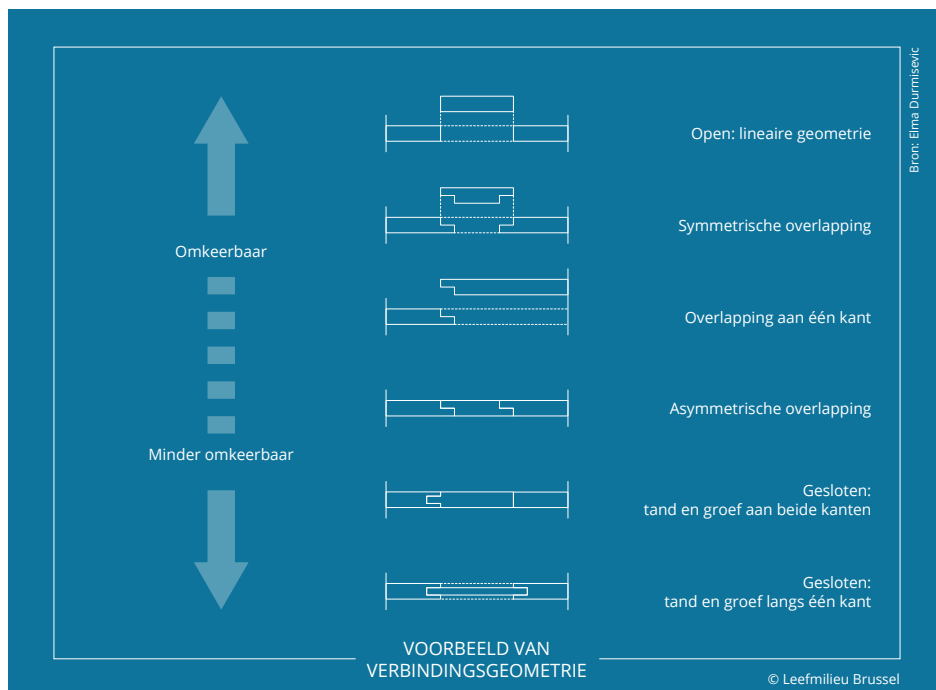


Afbeelding 59

### 3.2.3.1 Geometrie van productranden en verbindingen

De geometrie van de verbindingen tussen de verschillende componenten en materialen is ook van invloed op de volgorde van assemblage en demontage. Naargelang de geometrie kan de demontage van een component onafhankelijk van de aangrenzende componenten worden uitgevoerd of door deze componenten worden belemmerd.

We kunnen zes types verbindingen onderscheiden die bepalen of de bouwelementen al dan niet onafhankelijk kunnen worden gedemonteerd:

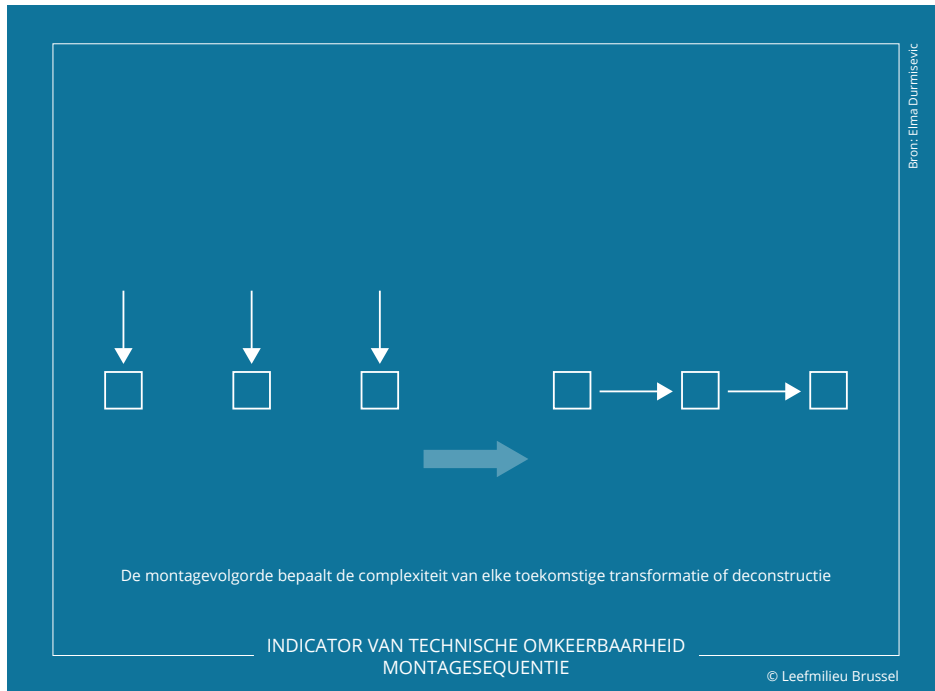


Afbeelding 60: Overzicht van de zes types verbindingen, van onafhankelijk (boven) tot afhankelijk (onder). Het ultieme doel is om elementen te kunnen demonteer zonder ook de omringende elementen te moeten demonteren, wat de omkeerbaarheid bevordert. In het slechtste geval kunnen gebouwelementen enkel in één richting of via afbraak verwijderd worden. (Bron: E. Durmisevic)

### 3.2.3.2 Volgorde van montage

Uit voorgaande paragrafen is gebleken dat er bij het bepalen van de volgorde van assemblage rekening moet worden gehouden met verschillende aspecten, zoals de levensduur van de geassembleerde materialen, het soort materialen, de geometrie van de verbindingen en het type verbindingen. De volgorde van montage bepaalt op zijn beurt de complexiteit van een structuur en de (on)afhankelijkheid van de bouw-elementen. Met andere woorden: de manier waarop een gebouw wordt opgebouwd, zet de toon voor elke toekomstige transformatie of demontage.

Over het algemeen kunnen we twee montagevolgordes onderscheiden: parallelle assemblage en sequentiële assemblage. Bij een parallelle assemblage is de demontagevolgorde onafhankelijk van de montagevolgorde. Dit kan het (de)montageproces versnellen, bijvoorbeeld voor een reparatie of gedeeltelijke vervanging. Dit is bijvoorbeeld het geval voor een visgraatvloer zonder messing- en groefverbinding (man-vrouwverbinding), waarbij een plank kan worden verwijderd en vervangen zonder de aangrenzende planken te moeten demonteren.



Afbeelding 61



Afbeelding 62:

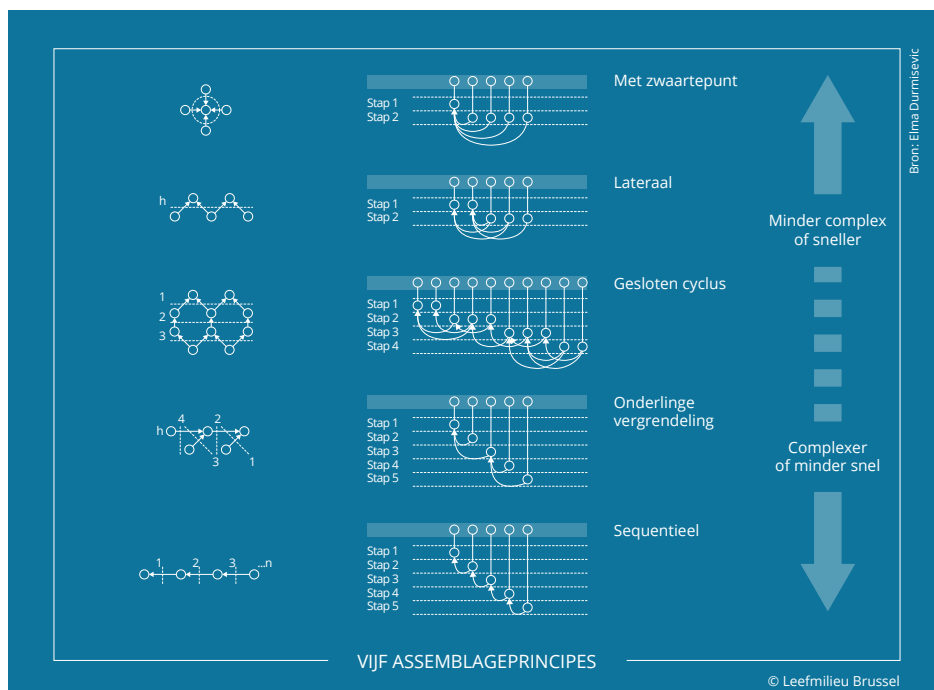
Een sequentiële assemblage creëert directe relaties tussen de geassembleerde elementen en een afhankelijkheid van de demontagevolgorde. Dit maakt het dus ingewikkelder en tijdrovender om de geassembleerde elementen aan het

begin van de assemblagesequentie aan te passen of te vervangen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een vloer met tand- en groefverbinding.



Afbeelding 63

Door parallele en sequentiële assemblage te combineren, kunnen we vijf assemblageprincipes definiëren:

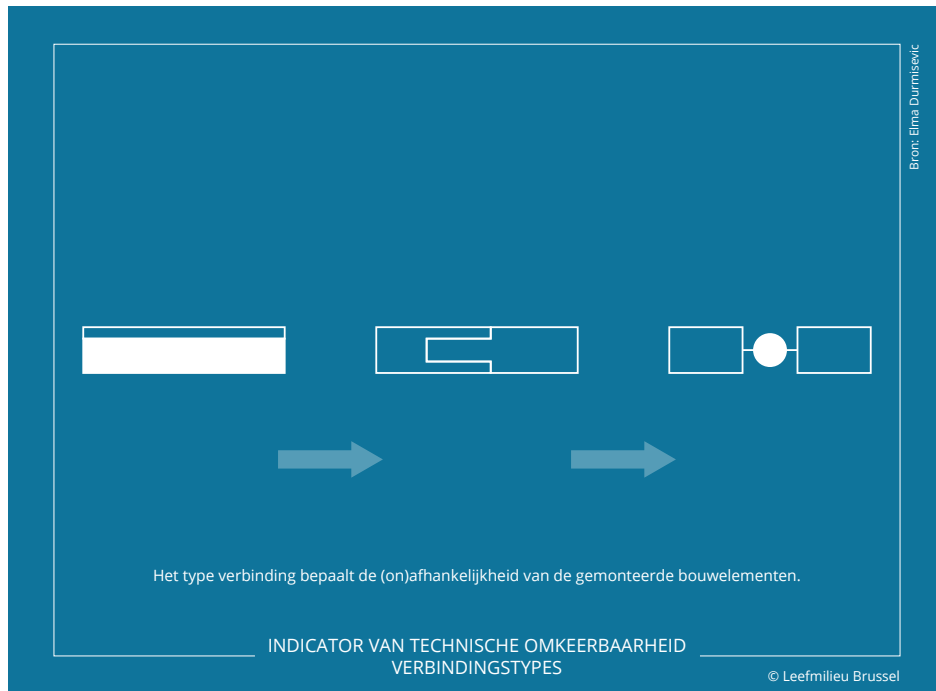


Afbeelding 64: Vijf assemblageprincipes, van volledig omkeerbaar (zwaartekracht) tot complexer en tijdrovender (sequentiële).

### 3.2.3.3 Type verbindingen

De verbindingen bepalen de demonteerbaarheid van de geassembleerde bouwelementen. Over het algemeen kunnen

we twee hoofdtypes onderscheiden: chemische en droge verbindingen.



Afbeelding 65

- **Chemische verbindingen (ook natte verbindingen genoemd):** chemische verbindingen zijn verbindingen die tot stand komen als gevolg van een chemische binding van de materialen. Voorbeelden zijn gelaste verbindingen tussen staalplaten of -balken en -kolommen, metselwerk, gelijmde gelamineerde houten balken ... Dit

is een arbeidsintensieve oplossing, waarbij het meestal vrijwel onmogelijk is om de verbinding ongedaan te maken zonder schade te veroorzaken, behalve met speciale technologieën zoals geavanceerde lasersystemen.

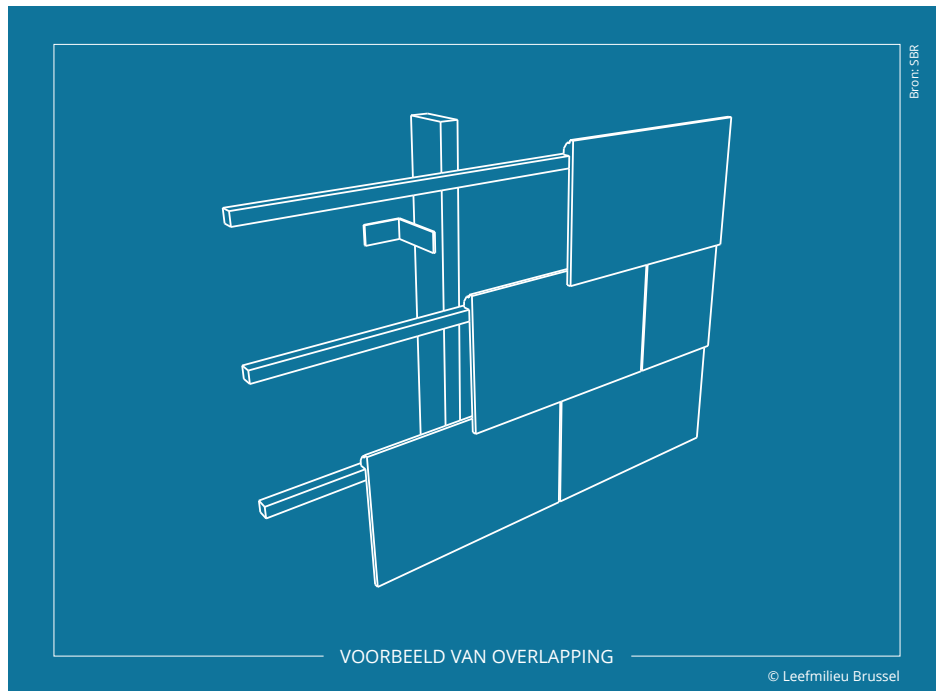


Afbeelding 66: (Bron: vloerbekleding.net)



- **Droge verbindingen:** Qua droge verbindingen kunnen we een onderscheid maken tussen directe en indirecte verbindingen.
- **Directe droge verbinding:** dbij directe droge verbindingen is de verbinding het resultaat van een directe binding tussen de componenten als gevolg

van een overlapping of vergrendeling. Overlappend zie je vaak bij verticale gevelcomponenten of tussen verticale en horizontale componenten. Bij een vergrendelverbinding gaat het om een interne connectie via randen met een verschillende vormgeving (die bijvoorbeeld in elkaar haken).



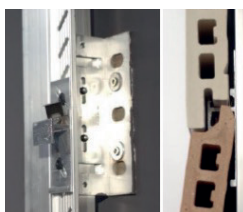
Afbeelding 67



Afbeelding 68: Voorbeelden van vergrendelverbindingen. (Bron: E. Durmisevic)

- **Indirecte droge verbinding:** bij indirecte verbindingen komt de effectieve connectie tot stand via aanvullende onderdelen. Indirecte verbindingen kunnen zowel van het interne als het externe type zijn. Bij het interne verbindingstype wordt het aanvullend onderdeel geïntegreerd in de componenten, wat het voordeel biedt dat de randen van de elementen een identieke vorm kunnen hebben.

Het nadeel is dan weer dat ontmanteling moeilijker is vanwege de sequentiële montagevolgorde. Een extern hulpstuk maakt demontage dan weer een stukeenvoudiger. Denk aan het verbindingselement in de gevel van de polikliniek van het Ziekenhuis Joseph Bracops in Anderlecht, dat de gevelpanelen koppelt aan de draagstructuur van de gevel.



Afbeelding 69: (Bron: E. Durmisevic)



Afbeelding 70: Voorbeelden van indirecte droge verbindingen. (Bron: E. Durmisevic)

Wil je een zo omkeerbaar mogelijk gebouw realiseren, dan kan je maximaal gebruikmaken van demonteerbare verbindingen en volgende drie richtlijnen indachtig houden:

1. Verkiez droge verbindingen boven chemische verbindingen.
2. Hou op voorhand al rekening met de eventuele beschadiging van de componenten om de technische omkeerbaarheid te optimaliseren en hergebruik te bevorderen<sup>18</sup>. Sommige droge verbindingen, zoals gespijkerde verbindingen, leiden tot beschadiging van de componenten en verminderen het hergebruikspotentieel.

Noot: Sommige chemische verbindingen zijn wel degelijk omkeerbaar, maar dat is doorgaans erg arbeidsintensief. Denk aan leempleister, die je kan 'loskloppen' en die je na vermenging met water opnieuw kan gebruiken. Dit moet echter uiterst zorgvuldig gebeuren om de klei niet te vervuilen. Vandaar dat dit erg veel tijd in beslag neemt. Het is dan ook belangrijk om dit in te calculeren in de financiële raming en de planning van de toekomstige demontage.



Afbeelding 71: Afbraak van leempleister in het BRIC-project. (Bron: EFP – Caroline Morizure)

Van 'omkeerbaar' tot 'vast' kunnen we in totaal negen soorten verbindingen onderscheiden:

#### DROGE VERBINDINGEN

**Verbinding met extern hulpstuk:** twee elementen zijn met elkaar verbonden via een derde element, en dat aan de hand van een droge of mechanische koppeling. Demontage van het ene element heeft geen impact op het andere (direct hergebruik en herconfiguratie/aanpassing zijn mogelijk).

Afbeelding 72:  
(Bron: Elma Durmisevic)



Afbeelding 73:  
Le système CIMEDE  
(Bron: l'Atelier de l'Avenir)



Afbeelding 74:  
(Bron: Elma Durmisevic)



**Zwaartekrachtverbinding:** twee elementen zijn louter met elkaar verbonden door middel van de zwaartekracht. Er is dus geen extra fysieke koppeling nodig. Denk bijvoorbeeld aan stapelbare betonblokken.

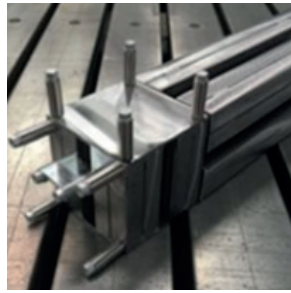
Afbeelding 75:  
(Bron: Elma Durmisevic)



**Vergrendelverbinding:** twee elementen zijn aan elkaar gekoppeld zonder dat er sprake is van beschadiging door verbindingstukken (direct hergebruik en herconfiguratie/aanpassing zijn mogelijk). Zo werd in het kader van het BAMB-project bijvoorbeeld een raamsysteem ontwikkeld waarin de glaspanelen worden geklemd tussen metalen profielen die mechanisch met elkaar zijn verbonden en kunnen worden aangespannen.

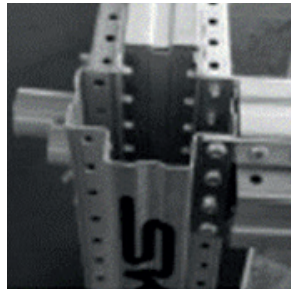
<sup>18</sup> Denk bijvoorbeeld aan vastgeschroefde platen. Als je de perforaties voor de schroefverbindingen niet systematisch aanbrengt, loop je het risico dat de plaat beschadigd raakt bij demontage of dat ze, door deze beschadiging, in minder mate of zelfs helemaal niet herbruikbaar is in een volgend project.

Afbeelding 76:  
(Bron: Elma Durmisevic)



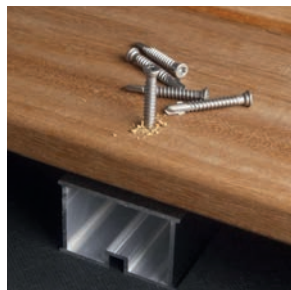
**Koppeling van twee elementen via een derde component**, zij het met een zekere afhankelijkheid bij montage (direct hergebruik is mogelijk, rekening houdend met de sequentiële verbinding).

Afbeelding 77:  
(Bron: Elma Durmisevic)



**Koppeling met behulp van mechanische verbindingsstukken**, die kunnen worden verwijderd zonder de elementen te beschadigen (hergebruik en herconfiguratie/aanpassing zijn mogelijk). De preperforatie van de te verbinden onderdelen maakt het bijvoorbeeld mogelijk om de onderdelen los te koppelen zonder dat er schade wordt berokkend aan het onderdeel bij het verwijderen van de boutverbinding. De preperforaties laten ook verschillende types verbindingen met andere onderdelen toe, wat hergebruik bevordert.

Afbeelding 78:  
(Bron: www.felixwood.com)



**Koppeling via mechanische verankering**: twee elementen zijn verbonden via het aanbrengen van mechanische verankeringen, zoals vijzen of nagels (de elementen zijn aangetast na demontage).

Afbeelding 79:  
(Bron: Rotor)



## CHEMISCHE VERBINDINGEN

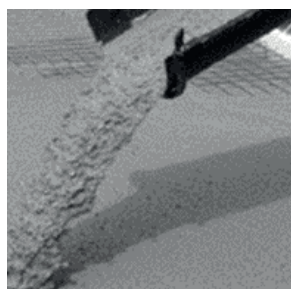
**Directe koppeling met omkeerbare chemische verbinding**: twee elementen zijn verbonden met behulp van zachte chemische substanties, waardoor de verbinding minder sterk is dan de te verbinden materialen, zodat ze nadien kunnen worden verwijderd of gedelamineerd (hergebruik via herstelling is mogelijk). Denk bijvoorbeeld aan tegels die verbonden zijn met kalkmortel.

Afbeelding 80:  
(Bron: Elma Durmisevic)



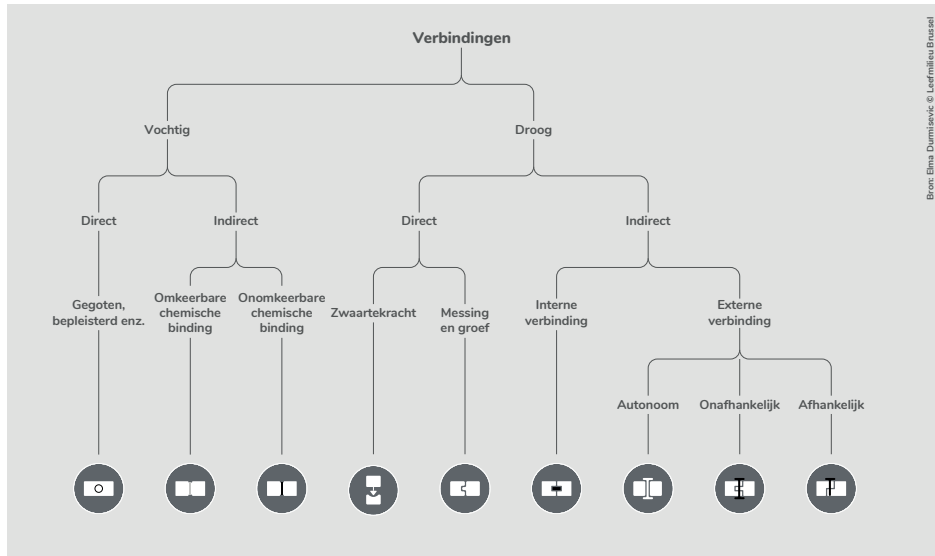
**Indirecte koppeling** met onomkeerbare chemische verbinding die sterker is dan de geconnecteerde elementen/componenten/materialen. Denk bijvoorbeeld aan cementmortel.

Afbeelding 81:  
(Bron: Elma Durmisevic)



**Directe chemische verbinding**: twee materialen zijn permanent aan elkaar gekoppeld via een chemische verbinding (geen hergebruik mogelijk). Denk bijvoorbeeld aan chape op een betonnen vloer of een gegoten gewapende betonnen vloerplaat.

## TYPES VERBINDINGEN



Afbeelding 82: Rangschikking van de negen verschillende soorten verbindingen

## Voorbeeld van demonteerbare vloeren



Afbeelding 83: De tijdelijke rechtbank van Amsterdam (Bron: Leon van Woerkom | cepezed)

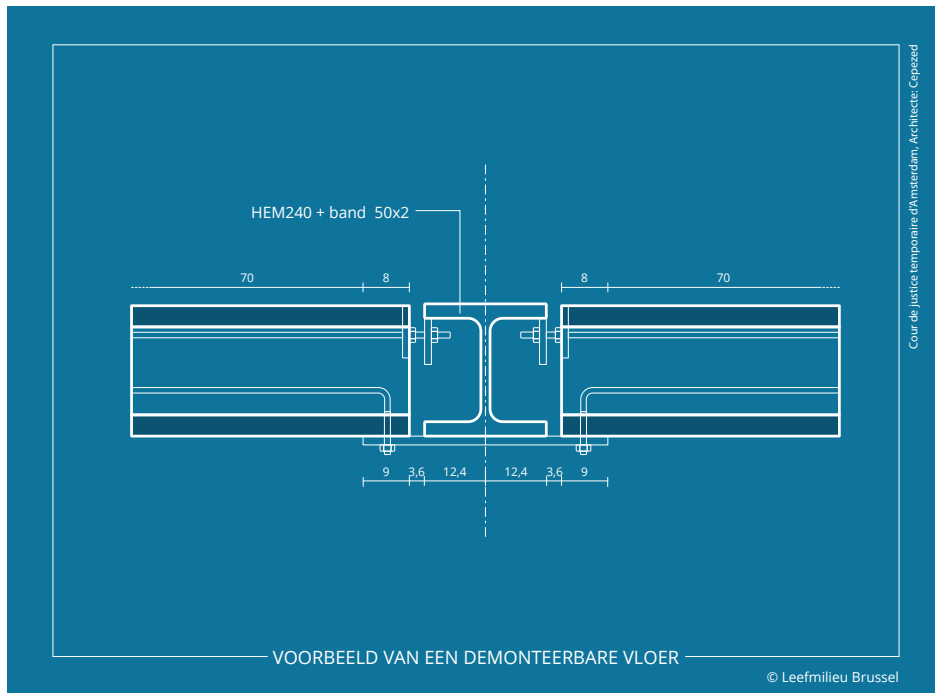
De tijdelijke rechtbank van Amsterdam, een van de eerste praktijkvoorbeelden van circulair bouwen in Nederland, is onder meer opgebouwd uit demonteerbare kanaalplaatvloeren. Deze verenigen vier belangrijke aspecten van technische omkeerbaarheid en bijgevolg demonteerbaarheid:

- Geometrie van de productranden: geen insluiting door omliggende elementen.
- Functionele onafhankelijkheid: geen doorkruisingen

door andere elementen.

- Type verbinding: verbinding met extern hulpstuk tussen kanaalplaatvloer en stalen ligger door middel van bouten.
- Toegankelijkheid verbinding: de verbinding is toegankelijk via extra handelingen met herstelbare schade.

Het gebouw is intussen gedemonteerd en staat sinds begin 2022 in Enschede, waar het de functie van bedrijfsverzamelgebouw vervult.

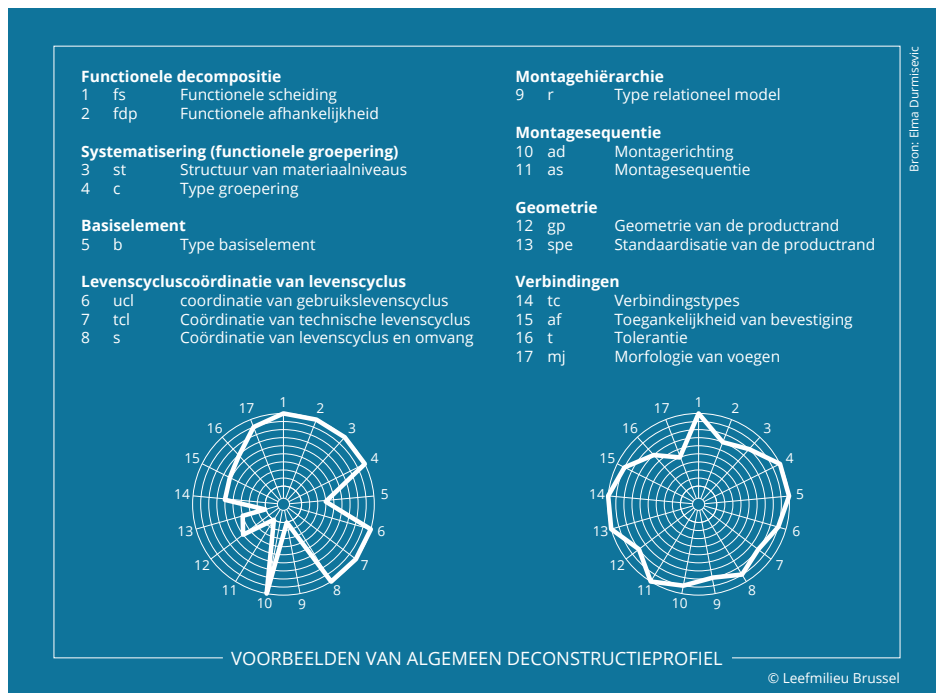


Afbeelding 84

### 3.3 Globaal ontmantelingsprofiel

Als je de acht ontwerpaspecten van technische omkeerbaarheid en de onderliggende invloedsfactoren analyseert, dan kom je tot een globaal 'ontmantelingsprofiel' van een gebouw, element of component. Dit geeft een eerste indicatie van de graad van omkeerbaarheid met het oog op hergebruik en mogelijke optimalisaties die het ontwerp naar een (nog)

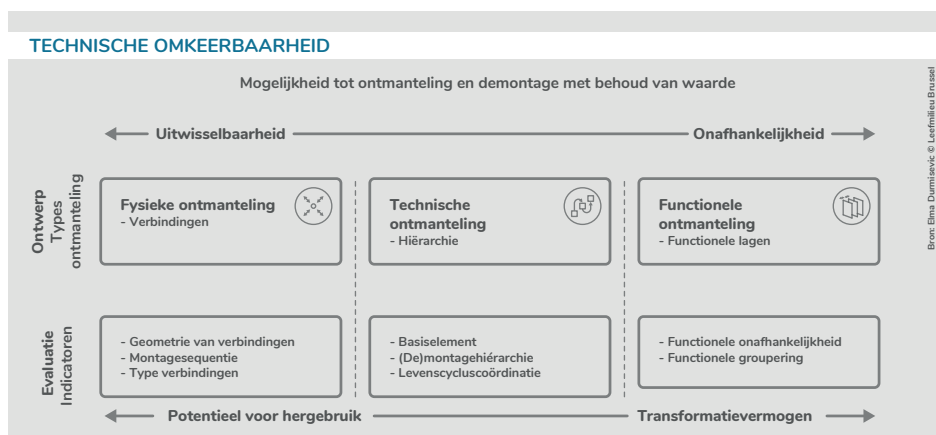
hoger omkeerbaarheidsniveau kunnen tillen. Op basis van een evaluatie van elk ontwerpaspect kan het ontwerpteam nagaan in welk opzicht de technische omkeerbaarheid kan worden verbeterd. Het hergebruikspotentieel van de afzonderlijke elementen kan worden samengeteld om het hergebruikspotentieel op gebouwniveau te bepalen.



Afbeelding 85: Voorbeeld van een globaal ontmantelingsprofiel van een gebouw.

Zoals eerder aangegeven, vloeit de technische omkeerbaarheid van een gebouw voort uit de functionele, technische en fysieke opbouw/decompositie. Functionele onafhankelijkheid en functionele groepering zijn de ontwerpaspecten die samenhangen met functionele opbouw/demontage. Basiselement, montagehiërarchie en levenscycluscoördinatie zijn de indicatoren die samenhangen met technische opbouw/decompositie. Tot slot zijn de geometrie van de verbindingen, de montagevolgorde en de types verbindingen de indicatoren die samenhangen met fysieke opbouw/decompositie.

De prioriteiten met betrekking tot de technische omkeerbaarheid in een bouwproject kunnen uiteraard verschillen. Als de focus vooral op ruimtelijke transformatie ligt, dan zal de functionele opbouw/decompositie van groter belang zijn. En als er vooral nood is aan waardebehoud en toekomstig hergebruik van individuele elementen, componenten en materialen, dan zal de fysieke en technische opbouw/decompositie centraal staan. Maar wat de prioriteiten ook zijn: in het kader van omkeerbaar ontwerpen zijn zowel de functionele als de technische én fysieke opbouw/decompositie van belang!



Afbeelding 86: Samenvattende illustratie van de technische omkeerbaarheid van gebouwen.

### 3.4 Timing: wat is essentieel in welke ontwerpfase?

#### 3.4.1 Programmabepaling

1. Vooraleer de ontwerpopdracht van start gaat, definiëren bouwheren hoe het gebouw moet kunnen worden gebruikt en welke functies het moet kunnen vervullen (bijvoorbeeld woning, kantoren én kinderopvang), op korte en lange termijn. Om zicht te krijgen op mogelijke invullingen op lange termijn, kunnen ze nadenken over relevante **gebruiksscenario's**, bijvoorbeeld op basis van demografische veranderingen in de buurt. Het doel is niet om de toekomst te voorspellen, maar wel om erop te kunnen anticiperen. De werkelijke invulling zal waarschijnlijk ergens tussen al die verschillende gebruiksscenario's in liggen. Het doel is om vanaf de start rekening te houden met eventuele toekomstige aanpassingen, zodat de ruimtelijke eigenschappen van het gebouw deze op de best mogelijke manier ondersteunen. Hoe beter dit gebeurt, hoe langer het gebouw kwalitatief zal kunnen worden gebruikt zonder onnodig afval te genereren.
2. Het gebruik van een gebouw kan overigens ook veranderen zonder gepaard te gaan met een functiewijziging. Denk bijvoorbeeld terug aan de monofunctionele structuren. Voor het ontwerp van het nieuwe Greenbizz II-gebouw anticipeert de bouwheer hier al op door in de technische bepalingen van het bestek ateliers te voorzien die verschillende vormen van gebruik ondersteunen (inclusief veranderingen van afmetingen).
3. Bouwheren kunnen de toekomstige gebruiks- en transformatiemogelijkheden ook enten op de locatie en eventuele voorspellingen inzake economische groei, toekomstige trends op het vlak van wonen en werken (kleinere gezinnen, doorbraak van 'flexwerken', 'meegroeiwoningen' ...) enzovoort. Deze aspecten hebben een rechtstreekse impact op de volumetrie en hoogte van gebouwen, het ontwerp van structurele kernelementen, de technische installatie en de functionele en technische demontagemogelijkheden. De vereisten voor het gebruik van het gebouw en de technische vereisten die hieruit voortvloeien, vormen een essentieel onderdeel van de beschrijving van de ontwerpopdracht.
4. Het is belangrijk om **de ambities en de beoogde accenten van het project te bepalen op basis van de context** (renovatie, nieuwbouw, functies ...). Zo zal een pop-upgebouw voornamelijk inzetten op technische omkeerbaarheid, zodat het op een eenvoudige manier kan worden ontmanteld en de elementen elders kunnen worden hergebruikt in een identieke of andere configuratie. Een mooi voorbeeld hiervan is het BRIC-project<sup>19</sup>. Denk ook aan parkeergarages, die in de toekomst een andere functie zouden kunnen vervullen omdat de mobiliteit mogelijk zal veranderen en het autogebruik zal verminderen. Hun structuur zou zo ontworpen kunnen worden dat er later op dezelfde locatie woningen of kantoren kunnen worden ingericht. Dit zal uiteraard een impact hebben op de ruimtelijke omkeerbaarheid.

#### 3.4.2 Voorontwerpfase

5. In de voorontwerpfase is het – anders dan in klassieke projecten – belangrijk om van in het begin alle actoren bij het proces te betrekken en in een **bouwteam** te werken. Studiebureaus zouden zich bij de uitwerking van het schets- en voorontwerp bijvoorbeeld al over structurele en technische concepten (energie, ventilatie ...) kunnen buigen, vermits de positionering van de vaste kernen en de capaciteit belangrijke aspecten zijn die het toekomstige gebruik bepalen. Belangrijk: de omkeerbaarheid van het ontwerp – met het oog op de verschillende scenario's – moet in elke projectfase worden afgetoetst en verfijnd, in samenwerking met alle betrokken partijen. Dit vergt dus een proactieve aanpak op basis van feedbackloops.
6. Het komt erop aan om het **voorontwerp te enten op de verschillende gebruiksscenario's**, zodat het gebouw effectief verschillende functies zal kunnen vervullen – zowel in ruimtelijk als technisch opzicht. Kleine aanpassingen in het voorontwerp kunnen ervoor zorgen dat de verschillende gebruiksscenario's in de toekomst kunnen worden toegepast.
7. In de voorontwerpfase ligt de focus vooral op **ruimtelijke omkeerbaarheid**. Wat de positie van de **vaste kernen** betreft, zijn dit bijvoorbeeld de cruciale vragen die ontwerpers zichzelf kunnen stellen: met welk minimumaantal vaste kernen en welke afmetingen kan je in een omkeerbaar gebouw zoveel mogelijk ruimtelijke transformatiemogelijkheden garanderen? En hoe kunnen deze vaste kernen zo worden opgebouwd dat ze binnen de context van verschillende gebruiksscenario's zowel de structurele stabiliteit als het gebruikscomfort en de ecologische en energetische performantie garanderen?
8. Technische omkeerbaarheid is in deze fase minder aan de orde. De focus ligt in eerste instantie vooral op de **functionele opbouw en ontmanteling**, met functionele onafhankelijkheid en functionele groepering als centrale indicatoren. Lees: vermijd de integratie van twee of meer functies in één gebouwelement en cluster onderdelen met dezelfde functies.
9. In dit stadium is het vaak belangrijk om al na te denken over de materiaalkeuze. Het TOTEM-instrument is beschikbaar om de milieueffecten van bouwcomponenten te berekenen.
10. Tot slot mag er in functie van het budgettaire plaatje alvast een raming worden gemaakt van de benodigde investering en de exploitatie- en onderhoudskosten gedurende de **volledige levenscyclus**. Aangezien het doel van circulair bouwen een reductie van de milieu-impact van de bouwsector is, komt een inventaris van de beoogde duurzaamheidsmaatregelen en de bijbehorende effecten eveneens van pas.

<sup>19</sup><https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/bric/>.

### 3.4.3 Definitieve ontwerpfase

11. In deze ontwerpfase wordt er logischerwijs een versnelling hoger geschakeld. Wat **ruimtelijke omkeerbaarheid** betreft, zijn vooral de detailleringen essentieel: zijn de technieken effectief **toegankelijk**? Kan er vlot geschakeld worden tussen de **verschillende scenario's**?
12. In deze fase neemt de **technische omkeerbaarheid** de bovenhand. De technische opbouw en decompositie komen aan bod. Lees: stroomlijn de **hiërarchie** en de **(on) afhankelijkheid** van gebouwelementen en reduceer het aantal **(de)montage-ingrepen** om vervanging of transformatie mogelijk te maken. Vandaar dat het – naast de gebruikelijke activiteiten in een ontwerpfase – eveneens van belang is om de montagedetails van architecturale en technische elementen uit te werken.
13. Een belangrijk verschil ten opzichte van 'klassieke projecten' is dat het cruciaal is om alle details op voorhand perfect uit te werken, **in nauw overleg** met de verschillende betrokken actoren van het bouwteam, zodat ze effectief zo kunnen worden uitgevoerd.
14. Qua bouwkosten wordt er een onderscheid gemaakt tussen kosten voor de aankoop van het perceel, constructiekosten en extra kosten en qua exploitatiekosten tussen vaste en variabele kosten (energie, onderhoud, herstellingen ...) evenals renovatie-, demontage- en hergebruikkosten en -winsten. Een belangrijk verschil ten opzichte van 'klassieke' projecten, waarbij doorgaans enkel rekening wordt gehouden met de initiële constructiekosten. **Zowel de gebruikskosten als de mogelijke afbraakkosten** worden dus schromelijk over het hoofd gezien. Nochtans is het wel belangrijk om deze mee in te calculeren. Zeker als een gebouw makkelijk aanpasbaar is, geeft de levensduurkosten (inclusief een inschatting van potentiële renovatiewerken door veranderende eisen) een heel ander beeld van het financiële totaalplaatje dan de initiële constructiekosten. Door ook de toekomstige geschatte kosten in rekening te brengen, kan je een eerlijke vergelijking maken met een 'conventioneel' gebouw.
15. Een opsomming van de mogelijke **gezondheids- en veiligheidsrisico's** is eveneens aan de orde. Om circulair te kunnen bouwen, moet er geopteerd worden voor gezonde materialen die nadien veilig te hergebruiken of te recyclen zijn. Asbestplaten of oude vinylbekledingen zijn perfect te demonteren, maar niet herbruikbaar vanwege hun negatieve impact op onze gezondheid. Het komt er dus op aan om materialen met een laag VOC-gehalte en zonder zware metalen toe te passen, niet alleen vanuit gezondheids- en veiligheidsoverwegingen, maar ook om de kans op hergebruik te maximaliseren.
16. Om zicht te krijgen op de milieu-impact van de ontwerp- en materiaalkeuzes worden ze al vroeg in de voorontwerpfase afgetoetst aan de hand van een levenscyclusstudie (LCA), bijvoorbeeld door de materiaalkeuzes van een gebouw-element af te wegen ten opzichte van enkele alternatieven in TOTEM, de online tool om milieu-impactberekeningen te maken. In de fase van het definitief ontwerp kan het volledige gebouw geëvalueerd en verder geoptimaliseerd worden.
17. In de aanloop naar de uitvoeringsfase komt de focus op de **fysieke opbouw en decompositie** te liggen. Lees: stel de geometrie van de productranden en verbindingen, de montagevolgorde en de types verbindingen op punt om schade bij demontage te vermijden of te reduceren. Dit alles komt tot uiting in gedetailleerde uitvoeringstekeningen en -visualisaties: vloerplannen, structurele details, architecturale details, montagedetails van architectuur, structuur en technieken ...

### 3.4.4 Uitvoering

18. Belangrijk: het is aanbevolen om alle relevante informatie te verzamelen en te updaten, zodat je een soort **'handleiding'**<sup>20</sup> verkrijgt voor het gebruik van het gebouw en de latere demontage. Welke materialen zitten er vervat in het gebouw en in welke hoeveelheden, wat zijn de demontagemogelijkheden, hoe onderhoud je het gebouw ...? Ook de technische informatie van de gebruikte materialen en de gezondheidseffecten mogen in kaart worden gebracht.
19. In deze fase moet er tevens een schatting van de totale (bouw)kosten gemaakt worden. Daarop wordt vervolgens de controle van de uitgaven geënt.

<sup>20</sup> Zie het Vademecum circulair bouwe: [https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/sites/default/files/documents/2022-03/32845-vademecum-circulair\\_bouwen.pdf](https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/sites/default/files/documents/2022-03/32845-vademecum-circulair_bouwen.pdf).





# 4. Casestudies

## 4.1 Build Reversible in Conception (BRIC), Brussel

**Building Reversible in Conception (BRIC) is naast het Circular Retrofit Lab (CRL) het tweede van de zes pilootprojecten van het Europese innovatieproject Building as Material Banks (BAMB) dat gelokaliseerd is in Brussel. Terwijl in het CRL-project de focus lag op renovatie, spitste BRIC zich toe op nieuwbouw. Het B.R.I.C-gebouw werd ontworpen om twee keer te worden gedemonteerd en gehermonteerd en scoort vanzelfsprekend dus goed op veel indicatoren voor technische omkeerbaarheid.**

Het BRIC-project fungeerde als pedagogische tool om docenten, de bouwsector en het onderwijs te sensibiliseren en te informeren over circulair bouwen. Het project, uitgevoerd door het efp, een leerwerkcentrum voor kmo's in Brussel, was evolutief en verschillende sectoren uit de bouw werkten er transversaal aan mee. De volgende beroepen waren betrokken bij het project: de timmerman, de verwarmings-technicus, de tuinder, de elektricien, de interieurarchitect, de verzekeringsmakelaar, de centrale verwarmingsinstallateur, de koeltechnicus, de schilder, de schrijnwerker en de vastgoedmakelaar.

Het project omvatte de realisatie van een gebouw dat twee keer zou worden gedemonteerd om daarna telkens opnieuw te worden gemonteerd met het oog op een andere gebruiksfunctie. Daarom werd er in het ontwerp van BRIC weinig aandacht geschonken aan de ruimtelijke omkeerbaarheid en lag de nadruk vooral op de technische omkeerbaarheid.

Het transformatiescenario om BRIC 1 om te bouwen naar BRIC 2 lag bij de realisatie van BRIC 1, in de winter van 2018, al op tafel. Hoe BRIC 3 er zou uitzien was toen nog niet duidelijk. Wel was er al een functie gedefinieerd waaraan de derde transformatie moest beantwoorden – een akoestisch laboratorium.

Bij de start van het project werden belangrijke strategische criteria vastgelegd:

- elk van de drie constructies moest een andere volume en een andere functie hebben;
- de drie gebouwen zouden dezelfde materialen gebruiken en het hergebruikpotentieel van die gebouwonderdelen zou gemaximaliseerd worden;
- er zou gebruikgemaakt worden van omkeerbare verbindingen om recuperatie, hergebruik en verkoop van de gebruikte materialen aan het einde van het project mogelijk te maken.

Het BRIC-project maakte gebruik van biogebaseerde en hernieuwbare materialen, met de nadruk op hout en houtderivaten. Door zijn textuur, structuur, flexibiliteit en andere technische karakteristieken kan hout immers veel verschil-

lende vormen aannemen. Houten bouwmaterialen kunnen ook zo worden toegepast dat ze herbruikbaar of zelf op te waarderen zijn. Zo veel mogelijk minerale en petrochemische bouwmaterialen werden in het BRIC-project vervangen door op hout gebaseerde bouwmaterialen.

In het academiejaar 2017-2018 was de eerste versie van BRIC klaar, onder de vorm van een kantooruimte. In 2019 werden de componenten aangewend in een andere configuratie en functie om een winkel te vormen. In 2020 vond de transformatie naar BRIC 3, een akoestisch laboratorium dus, uiteindelijk plaats.

De drie gebouwen stonden op dezelfde verwijderbare fundering – schroefpalen in de grond – en bestonden uit structurele holle pakketten waarin cellulose geblazen werd die er terug uitgezogen kon worden. Het geheel werd binnenin telkens met leempleister afgewerkt. Alle drie de gebouwen hadden een goede energieperformantie en een dito luchtdichtheid. Tijdens de twee demontages werden de gerecupereerde materialen telkens opgelijst, gemerkt en gekwantificeerd. Zowel de technieken als de afwerkingsmaterialen waren gemakkelijk terug te winnen. Er waren meer dan 180 efp-studenten betrokken bij de montage en demontage van het eerste BRIC-gebouw. Die toekomstige bouwprofessionals en ondernemers werden begeleid door meer ervaren bouwprofessionals.

We doorlopen de indicatoren voor technische omkeerbaarheid voor BRIC 1, dat in de winter van 2018 werd afgebroken.

### 4.1.1 Technische omkeerbaarheid

BRIC 1 is ontworpen met het oog op een functieverandering maar tevens een vorm- en dimensieverandering van het gebouw. De nadruk werd bijgevolg voornamelijk gelegd op de technische omkeerbaarheid en het demontagepotentieel van de materialen en elementen en hun mogelijkheid ze te herconfigureren zodat nieuwe ruimtes en een volledig nieuw gebouw kunnen ontstaan.

#### 4.1.1.1 Functionele onafhankelijkheid

In het ontwerp van de BRIC 1 – en van de twee andere BRIC-gebouwen – werden functionele lagen zo veel als mogelijk van elkaar gescheiden. Het skelet vormt een stabiele structuur, de materialen daarrond zijn voor de afwerking.

##### • Structuur – buitenschil

De gevel bestaat uit 117 verwisselbare, zelfdragende houten cassettes. Dat modulaire systeem maakt verschillende configuraties van het gebouw en de gevels mogelijk. De structuur en de gevelmodules zijn onafhankelijk van elkaar en kunnen ook onafhankelijk van elkaar worden gedemonteerd.



Afbeelding 87: De draagstructuur en de schil zijn onafhankelijk (Bron: Caroline Morizur, efp)

- **Afwerking klei vs. houten boxen buitenschil**

Drie lagen kleipleister werden aangebracht op een rietmat die op de muur was geschroefd. Dankzij de rietmat kon het pleisterwerk gelijkmatig worden aangebracht. De rieten mat, die mechanisch bevestigd is op de houten gevelmodules en de binnenwanden, zorgt voor een ont koppeling van de klei

en de structuur van de wand. Het systeem werd gedeeltelijk hergebruikt voor BRIC 2: de klei is in BRIC 2 hergebruikt als afwerking, de rieten mat werd gecompoteerd en vervangen door een nieuw rieten mat.



Afbeelding 88: Afwerking in klei op een geschroefde rietmat (Bron: Caroline Morizur, efp)

- **Façadeafwerking: gevelbeplating**

De gevelbekleding bestaat uit gerecycleerde platen die op een lattenwerk op de gevelmodules zijn bevestigd. De gevelbekleding is bijgevolg onafhankelijk van de gevelstructuur.

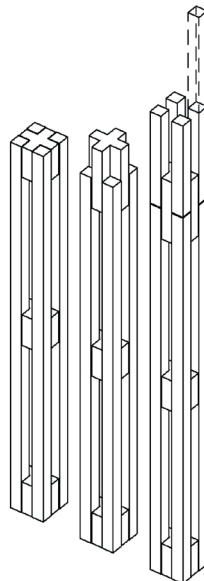


Afbeelding 89: Démontage van de gevelpanelen (Bron: Caroline Morizur, efp)

#### 4.1.1.2 Basiselement

De kolommen die gebruikt werden bestaan uit vier profielen die aan elkaar gekoppeld zijn door een houten verbindingsstuk. Dat verbindingsstuk fungeert als onafhankelijk basiselement.

De balken van de dakstructuur werden tussen de houten profielen van de kolommen bevestigd. De kolom fungeert dan als een basiselement met meerdere functies.



Afbeelding 90: Het ontwerp van de kolommen maakt het mogelijk om hun lengte gemakkelijk aan te passen. (Bron: KARBON' architecture et urbanisme)



Afbeelding 91: Details van een kolom en de verbinding tussen de kolom en een balk (Bron: Caroline Morizur, efp)

De vloer is eveneens met de fundering verbonden via een onafhankelijk basiselement.



Afbeelding 92: Detail van de verbinding tussen vloerplaat en de fundering (Bron: Caroline Morizur, efp)

#### 4.1.1.3 Geometrie van productranden en verbindingen

Er is voornamelijk sprake van een gesloten geometrie van de productranden. De keuze voor die minder omkeerbare geometrie werd gemotiveerd door de tijdelijkheid van de constructies, waarbij punctuele vervangingen of herstellingen gereduceerd zijn, en de snelheid van montage. De geïsoleerde

houten wandconstructie is bijvoorbeeld gemakkelijk te monteren en te demonteren dankzij de symmetrische overlap. Dankzij de geometrie van de verbindingen passen de houten modules perfect in elkaar (zwaartekracht) en zijn bijkomende mechanische verbindingen tot een minimum beperkt.



Afbeelding 93: Assemblage van de gevelelementen (Bron: Caroline Morizur, efp)

#### 4.1.1.4 Montagesequentie

De symmetrische overlap die de houten gevelmodules kenmerkt, resulteert in een sequentiële montage van de gevel. Aangezien het een tijdelijke module betreft die als doel heeft op korte tijd te worden gedemonteerd en heropgebouwd is de voorkeur gegeven aan de snelheid van opbouw die resulteert uit de geometrie van de randen. Het verwijderen van één afzonderlijke module voor onderhoud of herstel, wat bemoeilijkt wordt door de sequentiële montage, is namelijk erg onwaarschijnlijk.

#### 4.1.1.5 Types verbindingen

Er werd in het BRIC-project met het oog op demontage en recuperatie gebruikgemaakt van mechanische verbindingen. Van nagels en lijm is geen sprake.

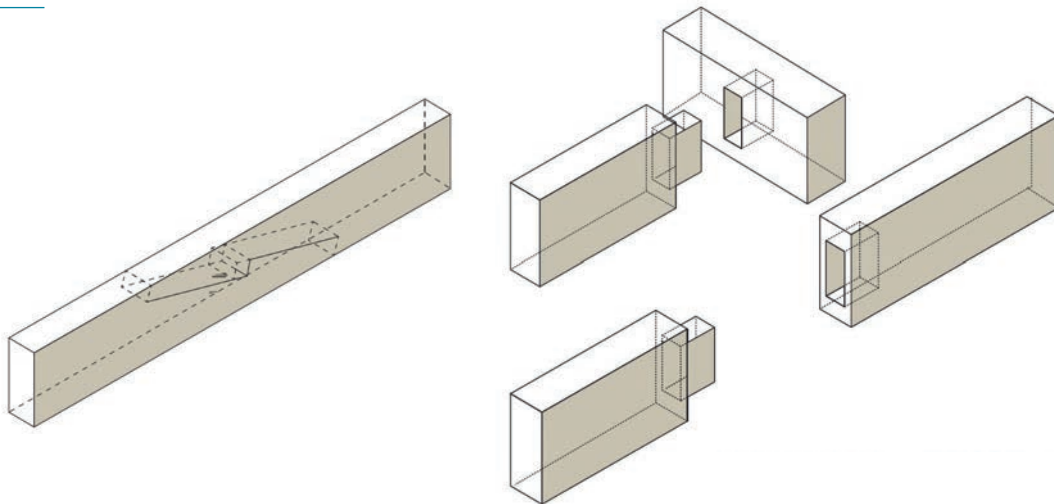
- Kolommen: schroefverbinding tussen de houten componenten waaruit de kolom is opgebouwd;
- balken – dakstructuur: de balken zijn met schroefverbindingen verbonden aan de kolommen;
- vloer: mechanische verbindingen zoals metalen beugels, schroeven en boutverbindingen, maar ook droge houten verbindingen zoals de pen- en gatverbinding, half-hout-kruisverbinding, slisverbinding en tand en groef.



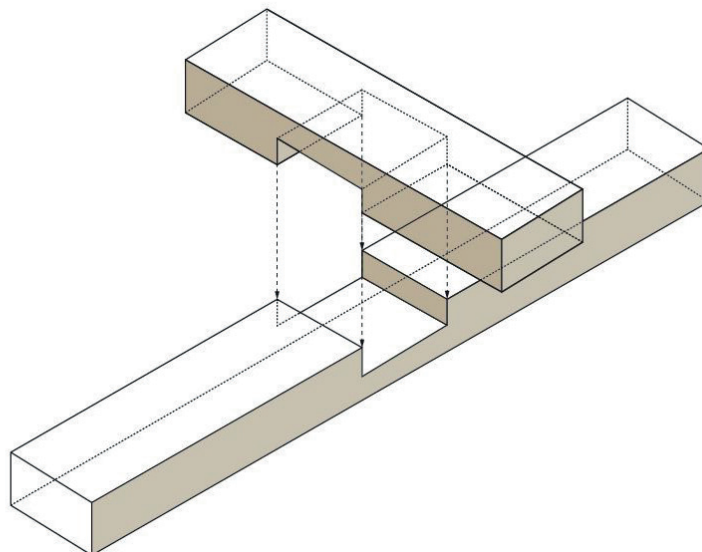
Afbeelding 94: Verbinding in verstek. (Bron: Caroline Morizur, efp)



Afbeelding 95: Balkelementen verbonden met een pen- en gatverbinding. (Bron: Caroline Morizur, efp)



Afbeelding 96: Schuine-haaklas-verbinding (links) ; pen- en gatverbinding (rechts)



Afbeelding 97: Half-hout-kruisverbinding

- isolatiewanden: zwaartekracht. De houten modules zijn opgevuld met cellulose-isolatie. De losliggende isolatie wordt opgezogen om de modules te ledigen voor transformatie;
- buitenafwerking: schroefverbindingen (zie hoger);
- funderingen: schroeffunderingen. De schroeffunderingen, vervaardigd uit gegalvaniseerd staal, zijn aangepast aan de omstandigheden van de locatie – de losse grond, de hellingsgraad en ruimtelijke beperkingen – en bieden tegelijkertijd een volledig omkeerbare oplossing. De spiraalvormige vin maakt het mogelijk de schroefpalen gemakkelijk in de grond te bevestigen.

Hun verwijdering kan snel gebeuren, zonder het genereren van afval en met beperkte impact op de grond – er is immers geen afgraving of grondverwijdering nodig. In de dagelijkse praktijk worden deze schroefbare funderingen meestal gebruikt voor tijdelijke en/of seizoensgebonden constructies.

Om de metalen platen voor dakafwerking aan elkaar vast te maken zodat ze grote overspanningen zouden kunnen overbruggen, werden wel lasverbindingen gebruikt. Maar de platen zijn dus wel droog mechanisch verbonden met de dakconstructie.



Afbeelding 98: Omkeerbare fundering (Bron: Caroline Morizur, efp)

#### 4.1.1.6 Systematisering

De volgorde van assemblage was dermate dat de demontage van BRIC 1 op een logische manier kon gebeuren, in overeenstemming met de verwachte functionele levensduur van de elementen. Er moesten geen talrijke stappen gebeuren om de bouwmaterialen en -componenten terug te winnen.

De demontage begon uiteindelijk bij de elektrische voorzieningen – stopcontacten en dozen. Daarna werd de gevelbekleding losgeschroefd – elke schroef werd teruggewonnen en elk paneel gelabeld. Terwijl kon binnen al beginnen worden met het verwijderen van de leempleister met een hamer van de osb-platen – het leem werd in zakken bewaard om het opnieuw te gebruiken. Vervolgens werden de houtwolmatten losgeschroefd, het osb verwijderd, de cellulosevlokken weer uit de structuur gezogen, de ramen en kozijnen uit de gevels gehaald zonder die te beschadigen ...

#### 4.1.1.7 Coordination des cycles de vie

Het project werkte met een intern materiaalpaspoortstelsel. Dat hielp om in functie van de levensduur van de gebruikte materialen en componenten de (de)montagehiërarchie mee te bepalen.

### TECHNISCHE FICHE

- Opdrachtgever: efp
- Ontwerper: Map Architecture, Karbon
- Studies: Vrije Universiteit Brussel, Pierre Berger
- Timing: 2017-2019



## 4.2 Circular Retrofit Lab, Brussel

Het Circular Retrofit Lab, kortweg CRL, is een experimenteel renovatieproject van de Vrije Universiteit Brussel, ontworpen door de VUB-vakgroep Architectural Engineering in samenwerking met het architectenbureau Kaderstudio. Het gebouw is een toonbeeld van circulaire ontwerpstrategieën en presenteert het gebruik van verschillende veranderingsgerichte bouwsystemen. Het innovatieve resultaat getuigt van een intense samenwerking tussen onderzoek en praktijk, en is mee mogelijk gemaakt dankzij de steun van de Europese Commissie voor het innovatieproject Buildings as Material Banks, BAMB.

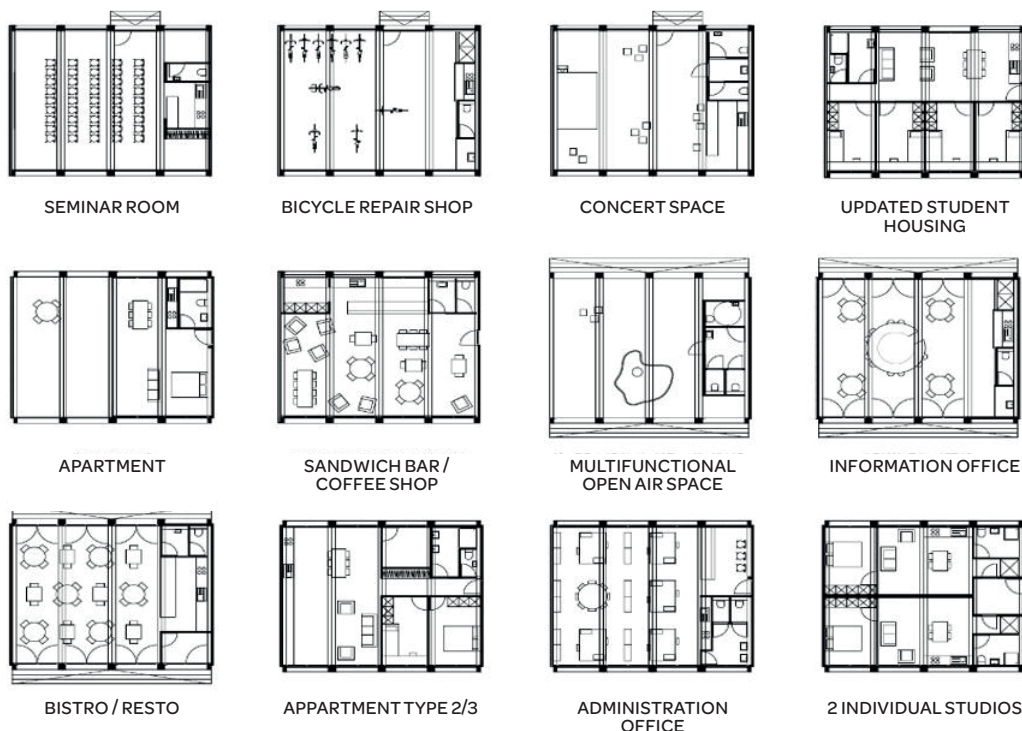
Met het CRL, feestelijk ingehuldigd in mei 2019, had de Vrije Universiteit Brussel een Europese primeur te pakken: het was de eerste keer in Europa dat een circulair en vooral omkeerbaar ontworpen renovatieproject succesvol werd uitgevoerd. In samenwerking met Kaderstudio paste het Transform-team zijn onderzoeksexpertise inzake omkeerbaar ontwerpen toe bij de renovatie van een blok bestaande uit acht voormalige studentenkoten – de iconische prefabstudentenkoten van Willy Van Der Meeren uit de jaren 70 – op de campus in Etterbeek. Het hele gebouw werd gestript, enkel de betonnen draagstructuur bleef overeind.

Scenariobased design met demonteerbare en herbruikbare materialen en omkeerbare verbindingen vormde vervolgens het uitgangspunt bij de verbouwing. Het CRL combineert twee circulaire ontwerpstrategieën: ontwerpen voor een lange(re) levensduur en ontwerpen voor demontage en hergebruik.

Het CRL, dat bestaat uit twee bouwlagen, doet vandaag dienst als uithangbord voor circulair bouwen. Het CRL wordt ook gebruikt als eventruimte en flexibele werkplek. Die vind je respectievelijk op het gelijkvloers en de eerste verdieping. Er werd bij het ontwerpen van het CRL maximaal rekening gehouden met alle indicatoren voor ruimtelijke en technische omkeerbaarheid. Al was het gezien de renovatiecontext niet mogelijk om alle indicatoren te optimaliseren. Zo waren de afmetingen van het gebouw en de vloerhoogtes bijvoorbeeld al vastgelegd en konden de architecten hoogstens nagaan in welke mate ze bepaalde functies toelaten. Er is ook niet specifiek ingezet op demontagehiërarchie.

### 4.2.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid

Om verschillende functies voor het CRL te kiezen, werd een research-by-designmethode toegepast voor de interne configuratie van het gebouw op basis van de bestaande karakteristieken zoals de afmetingen van het gebouw, de vloer-vloerhoogte, de structurele typologie enzovoort. Verschillende functies, die het (studenten)leven van de universiteitscampus ondersteunen, zijn onderzocht. Enkele voorbeelden van mogelijke functies zijn een disseminatieruimte, een ecogastenverblijf, een fietsherstelwerkplaats, een studenteninformatiepunt, een plug-inkantoor en een koffiebar. Zo werden er verschillende gebruiksscenario's gedefinieerd waarop de ruimtelijke omkeerbaarheid van het ontwerp gebaseerd is.



Afbeelding 99: Plannen van de verschillende gebruiksscenario's. (Bron: Architectural Engineering, VUB)

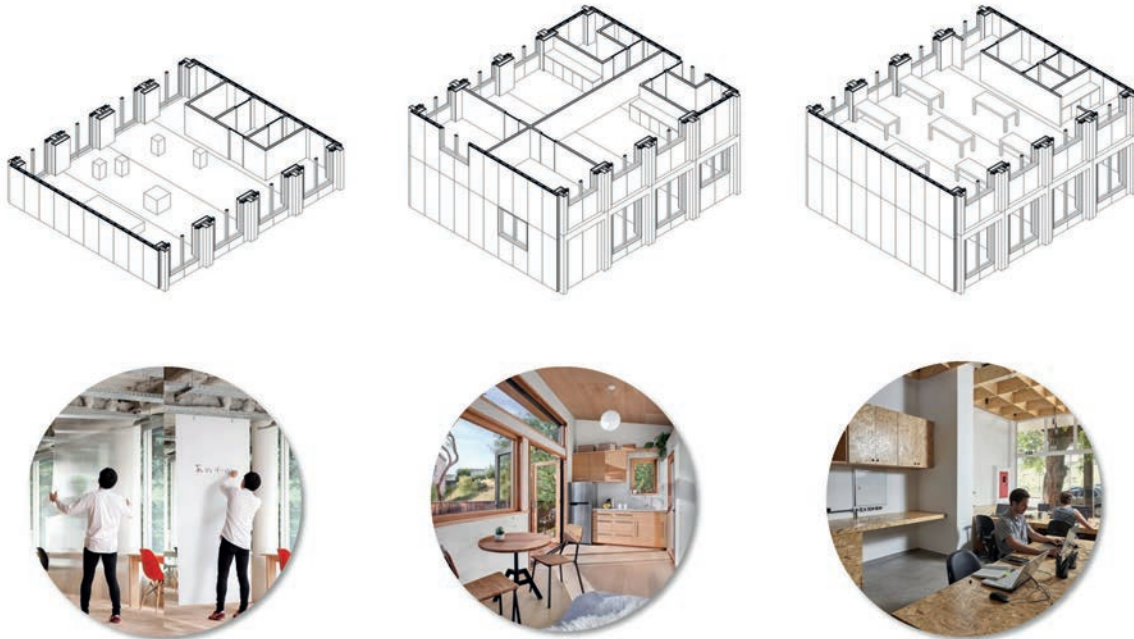
#### 4.2.1.1 Afmetingen

Bij de renovatie van het CRL bleef de oorspronkelijke draagconstructie behouden. Het betonnen Variel-bouwsysteem, ooit ontwikkeld door de Zwitserse architect Fritz Stucky, is modulair. In het project zijn twee keer vier modules gestapeld. Alle ruimtes en ook de grote openingen in de gevel volgen daardoor eenzelfde matenpatroon.

De hoogte van een module – van vloer begane grond tot vloer eerste verdieping – is ongeveer 305 cm. Dat is niet bijzonder veel en beperkt de indeling. Aangezien de hoogte beperkt is, zou het niet aangewezen zijn om het plafond te verlagen om ventilatie weg te werken.

#### 4.2.1.2 Positionering

De positionering van vaste elementen, onder meer de leidingen, werd bepaald op basis van de toekomstige gebruiksscenario's. Het gebouw heeft een open plan, de dragende elementen zitten in de gevel. De technieken werden gebundeld in twee gele modules op de eerste verdieping (zie onderstaande afbeelding), zodat de ruimte vrij ingevuld kan worden, of op termijn zelfs opgesplitst kan worden. De zones met een maximale daglichttoetreding zijn ingevuld met woonruimtes, terwijl alle sanitaire en technische diensten gegroepeerd zijn in donkere zones, waar het gebouw aansluit op een ander gebouw. De verticale circulatie is extern, dus die zou in principe verplaatst kunnen worden.



Afbeelding 100 : Positie van de vaste elementen (Bron: Architectural Engineering, VUB)

#### 4.2.1.3 Capaciteit

Vermoedelijk is het wel mogelijk nog een verdieping hoger te stapelen. Het is sowieso mogelijk om de ruimte te vergroten door horizontaal extra modules bij te plaatsen. Dat kan dankzij het modulaire karakter van de betonnen modules, die bovendien verplaatsbaar zijn. Een horizontale schakeling kan via de zijgevels. Dat zijn voornamelijk blinde gevels die gedemonteerd kunnen worden. Eén groot raam in de zijgevel zou daarvoor moeten wijken. Er is echter voldoende lichtinval via de andere gevels. Dankzij het open karakter van de betonnen modules kunnen op de gelijkvloerse verdieping gemakkelijk nieuwe ingangen gecreëerd worden. De verticale circulatie is extern en kan dus uitgebreid worden om de capaciteit te verhogen. Achter de technische voorzetwand is in principe wel ruimte om extra technieken te voorzien. Ook de verhoogde vloer laat dat toe.

Op de eerste verdieping zijn de ventilatiekokers ontdebeld zodat de kantoorruimte op een eenvoudige wijze kan worden opgesplitst in twee studio's. Die ontwerpkeuze gaat uit van een scenario waarin de kantoorfunctie op korte termijn eenvoudig kan worden omgebouwd naar woningen voor gastprofessoren. Om die reden werden ook twee sanitaire cellen ingepland. Zij bieden de capaciteit om twee zelfstandige wooneenheden te creëren. Deze foto toont hoe de opdeling zou gebeuren:



Afbeelding 101: Illustratie van de toekomstige opdeling van de CRL kantoorruimte in 2 woningen (Bron: Architectural Engineering, VUB)

Opdat de twee verdiepingen, die apart toegankelijk zijn, ook op het vlak van technieken onafhankelijk van elkaar zouden kunnen functioneren, kregen ze elk een eigen ventilatiegroep.

Bij de functiewijziging van kantoor naar studio's verandert de brandcompartimentering. Daarom werden nu al op de juiste plaatsen brandwanden voorzien, zoals bijvoorbeeld tussen de inkom en de natte cellen. Om diezelfde reden hebben de ventilatiekanalen ook al elk een brandklep gekregen waar ze de toekomstige brandcompartimentering kruisen (op de foto is dat de doorgang door de gele blokken. Enkel de bediening/sturing van de ventilatie-unit moet bij de functieverandering nog aangepast worden. Er is ook plaats voorzien om op dat moment akoestische dempers te plaatsen zodat overspraak tussen de studio's kan worden vermeden.

Er zijn ook al twee thermostaten geplaatst, elk met hun eigen afgiftekring, aangesloten op convectoren in de perimeter van de technische vloer. Op die manier kunnen de voorziene studio's ook apart verwarmd worden.

#### 4.2.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel

Afhankelijk van de hoeveelheid en snelheid van toekomstige veranderen die verwacht worden, werden er drie verschillende wandsystemen toegepast: een profielsysteem, een kit-of-parts systeem en een systeem met klittenbandverbindingen. Ook de gevelmodules zijn volledig demonteerbaar. Zo kunnen beglaasde en niet-beglaasde geveldelen op termijn gewisseld worden.



Afbeelding 102: Van links naar rechts: een systeem met klittenbandverbindingen (Bron: Architectural Engineering, VUB; Juunoo), een kit-of-parts systeem (Bron: Geberit) en een profielsysteem (Bron: Architectural Engineering, VUB; Saint-Gobain)

## 4.2.2 Technische omkeerbaarheid

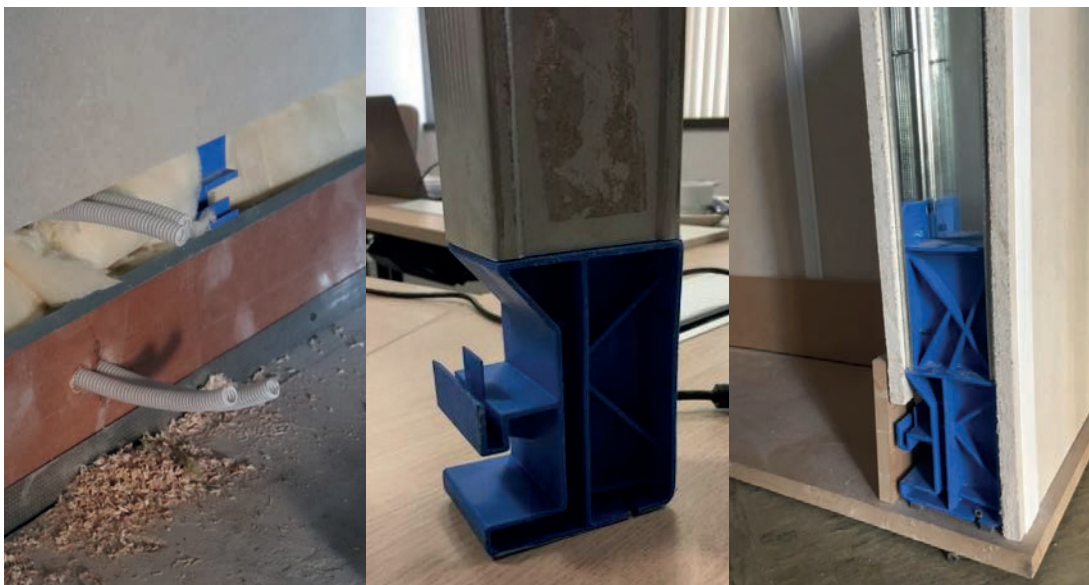
### 4.2.2.1 Functionele onafhankelijkheid

In het project zijn functionele lagen zo veel als mogelijk van elkaar gescheiden. De demontabele binnenwanden bestaan uit een draagconstructie, afgewerkt met platen. De afwerking kan onafhankelijk van de draagconstructie aangepast worden.

Ook technieken kunnen onafhankelijk van de andere lagen aangepast worden. In plaats van de technieken in te storten of in te slijpen, blijven ze toegankelijk, afhankelijk van de gebruikte oplossing, hetzij in een technische spouw achter de demontabele kit-of-parts voorzetwanden (volledige onafhankelijkheid) of onder de verhoogde vloer (volledige onafhankelijkheid). De wegneembare plinten onder de profielwanden (geplande integratie) maken het mogelijk

ook verwijderd van de technische cluster, stopcontacten te voorzien. Via die technische plint kunnen technieken worden aangepast zonder de wand- of wandafwerking te verwijderen.

De technieken werden zoveel mogelijk geclusterd. Op de gelijkvloerse verdieping werden ze samengebracht achter de technische voorzetwandwanden (kit-of-part-wanden). Op de eerste verdieping bieden twee 'slimme' en aanpasbare modules een flexibele, modulaire oplossing die de keuken, badkamer, het toilet, de technische ruimte en opslagruimte bevat. De technische wand en modules zijn ook verticaal gegroepeerd. Van hieruit lopen de technieken uit over het plafond en in de verhoogde vloer.



Afbeelding 103: Geplande integratie: verwijderbare plinten onder profielwanden (Bron: Architectural Engineering, VUB)



Afbeelding 104: Volledige onafhankelijkheid: demonteerbare verhoogde vloer (Bron: Architectural Engineering, VUB)

De sanitaire cellen zijn eveneens opgebouwd met het oog op functionele onafhankelijkheid en kunnen dus aangepast of gedemonteerd worden zonder andere elementen aan te tasten.

De gevelvlakken zijn niet-dragend en kunnen volledig onafhankelijk van de dragende elementen weggenomen, vervangen of aangepast worden.



Afbeelding 105: Niet-dragende gevelelementen (Bron: Architectural Engineering, VUB)

#### 4.2.2.2 Functionele groepering

Voor het project werd een gevelsysteem ontwikkeld van prefabcassettes die in de gevelopeningen geschoven kunnen worden (zie bovenstaande afbeelding).

#### 4.2.2.3 Basiselement

Er zijn hoekprofielen als onafhankelijke basiselementen gebruikt die de gevelpanelen aan de structuur bevestigen.



Afbeelding 106: De gevelpanelen zijn aan de betonnen structuur bevestigd aan de hand van onafhankelijke basiselementen (Bron: Architectural Engineering, VUB)

Op kleinere schaal maakt ook het kit-of-parts wandstelsel dat werd toegepast voor de technische wanden gebruik van een baselement (principe 4). Deze oplossing biedt een

onafhankelijke verbinding tussen de stalen draagprofielen wat het mogelijk maakt de wanden volgens verschillende configuraties samen te stellen.

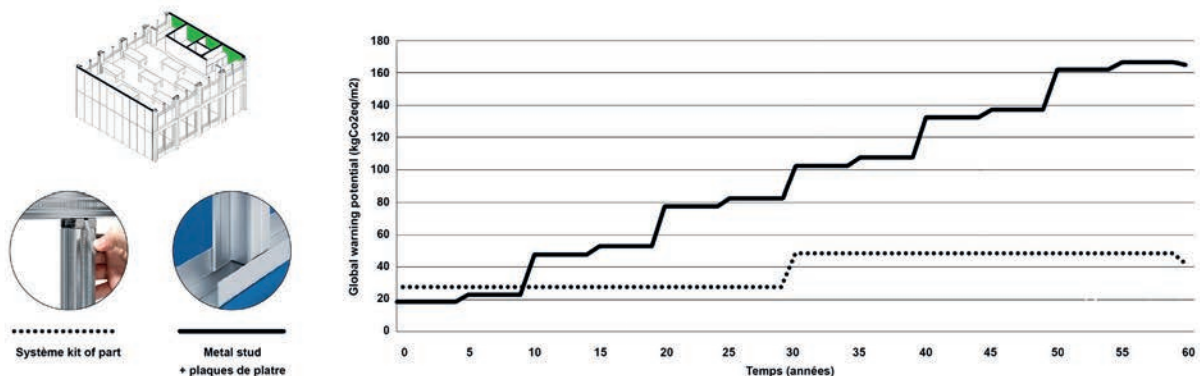


Afbeelding 107: kit-of-parts wandstelsel: onafhankelijk baselement (Bron: Geberit)

#### 4.2.2.4 Levenscycluscoördinatie

In het CRL werden verschillende binnenwandstelsels toegepast. De keuze van die wandstelsels gebeurde aan de hand van de ontwikkelde toekomstscenario's en de verwachte levenscyclus van de wanden. Zo werden verschillende wandtypes in het project geïdentificeerd, elk met een eigen 'ritme'. Aan de voorzetwand aan de binnenkant van de gevels verwachten de ontwikkelaar van het CRL niet snel aanpassingen te moeten doen. De technische wanden daarentegen moeten toegankelijkheid bieden aan de technieken, die aan een sneller tempo aanpassingen of onderhoud vereisen. De woningscheidende wand die op termijn de eerste verdieping in twee studio's zal opsplitsen, moet wegneembaar zijn, maar zal niet elke vijf jaar veranderen. Een levenscyclusanalyse vergeleek zowel de ecologische als financiële kost van verschil-

lendewandstelsels voor deze verschillende types scenario's. Daaruit bleek dat wanden met een initieel hogere kost, zoals bijvoorbeeld het kit-of-part stelsel, wel voordelig zijn over de volledige levenscyclus als ze worden toegepast in een scenario waar op een sneller tempo aanpassingen nodig zijn. Op basis van deze studies werd voor de technische wanden in het project het kit-of-part stelsel geselecteerd dat snel en gemakkelijk gedemonteerd kan worden. Zo wordt, rekening houdend met de levenscyclus van de technieken, dankzij de demontage en hermontage van de afwerkingspanelen, geen afval gegenereerd bij het onderhoud en bij mogelijke vervangingen. De profielwanden zijn volledig demontabel, maar laten minder gemakkelijk kleine aanpassingen toe. Zij zijn echter uiterst geschikt voor de andere voorzetwanden.



Afbeelding 108: LCA van de milieu-impact van het kit-of-parts wandstelsel, die wordt ingezet als technische voorzetwand, in vergelijking met een traditionele niet-omkeerbare wand. (Bron: Architectural Engineering, VUB)

#### 4.2.2.5 Geometrie van productranden en verbindingen

Het profielsysteem heeft een verwijderbaar omega-profiel tussen de afwerkingsplaten.



Afbeelding 109: Detail van de een profielsysteem (Bron: Architectural Engineering, VUB; Saint-Gobain)



Afbeelding 110: Wand die gebruik maakt van het profielsysteem (Bron: Architectural Engineering, VUB)

Daardoor kan je één plaat verwijderen zonder de aangrenzende platen weg te moeten halen. Dit bevestigingssysteem laat toe om de gipsplaten onbehandeld te laten (er werd geen pleisterlaag toegevoegd) en op een omkeerbare wijze te bevestigen. Ook bij het kit-of-part systeem kunnen de

platen parallel worden ontmanteld. In dat systeem worden alle platen afzonderlijk aan de basiselementen – de stalen profielen – bevestigd. Het systeem met klittenbandverbindingen werkt wel met een kleine overlap. Daardoor is het beter daar alle platen in volgorde te verwijderen.

#### 4.2.2.6 Montagesequentie

In dit project werden zowel parallelle als sequentiële montage technieken toegepast. Het type sequentie hangt af van het verwachte aantal en snelheid van wijzigingen. Bij de gevel is het bijvoorbeeld wel belangrijk voorzichtig de buitenlaag te verwijderen vooraleer je de modules begint te verwijderen. Ondertussen kan je wel al beginnen met het demonteren van de binnenafwerking.

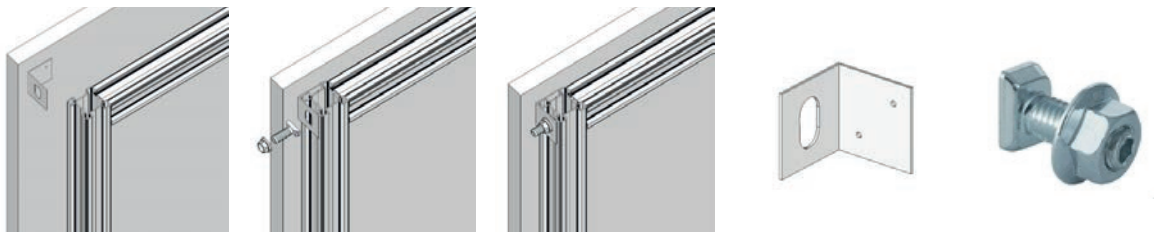
#### 4.2.2.7 Types verbindingen

In het project zijn droge verbindingen gebruikt. De wandsystemen die in het CRL werden toegepast, maken gebruik van verschillende types omkeerbare verbindingen. Het profielsysteem maakt gebruik van een omega-vormig profiel. Dat wordt met schroeven aan de metalen studs bevestigd en klemt zo de gipsvezelplaten. Het voordeel daarvan is dat

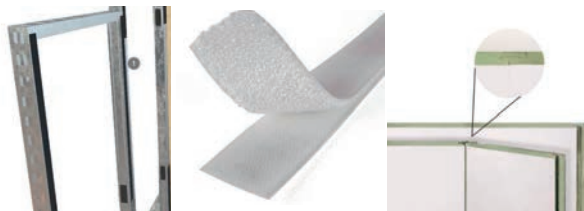
de platen niet beschadigd kunnen worden door herhaaldelijk schroeven. Het kit-of-part systeem is gebaseerd op een metalen klemverbinding. Die maakt het mogelijk de metalen staven op willekeurige plaatsen met elkaar te verbinden onder een hoek van 90°. Het systeem kan worden aangevuld met verschillende andere bevestigingselementen, zoals haakjes maar ook bouten om de beplating te bevestigen. Dat kan tot zowel zichtbare als onzichtbare verbindingen leiden. In het CRL werd de houten afwerking via zichtbare boutverbindingen bevestigd. De wanden met klittenbandverbinding maken dan weer gebruik van een verbinding met Velco. Die verzorgt de verbinding met de vloer en het plafond, waartussen de profielen worden gespannen, en tussen de profielen en de afwerkingspanelen.



Afbeelding 111: Catalogus van de GIS Kit-of-part elementen van Geberit © (Bron: Geberit)



Afbeelding 112: R: Zijdelingse bevestiging van de afwerkingspanelen aan de staalconstructie van het GIS-systeem, met behulp van aangepaste hoekelementen en GIS-bouten (Bron: Architectural Engineering, VUB; Geberit)



Afbeelding 113: Wandsysteem met klittenbandverbindingen (Source: JUUNOO)

#### TECHNISCHE FICHE

- Opdrachtgever: Vrije Universiteit Brussel, VUB Architectural Engineering
- Ontwerper: KADERSTUDIO
- Partners: MK Engineering, Groep Van Roey, Geberit, Reynaers Aluminium, Beneens Alucon, Saint-Gobain, Jaga, Jonckheere Projects, Bao Living, JUUNOO, Lumency, Tarkett en Zehnder Group.
- Timing: 2018 - 2019



### 4.3 Circulair gevelsysteem Jansen VISS in Gare Maritime, Brussel

**Ooit was Gare Maritime, op de site van Tour & Taxis in Brussel, het grootste goederenstation van Europa, vandaag is het een inspirerende plek waar jonge en gevestigde bedrijven hun intrek kunnen nemen, met een aangename publieke ruimte voor grote en kleinere evenementen. In samenwerking met het toenmalige Jan de Moffarts Architecten (nu ALTSTADT) en Bureau Bouwtechniek ontwierp Neutelings Riedijk Architects "de overdekte stad waar het nooit regent" volledig in hout. Daarmee is Gare Maritime een mooi voorbeeld van een duurzame ontwikkeling én momenteel het grootste CLT-project in Europa. Maar het nieuwe Gare Maritime is ook een schoolvoorbeeld van circulair bouwen, onder meer door het circulaire stalen gevelprofielsysteem Jansen VISS, ontwikkeld door Jansen.**

#### 4.3.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid

De ruimtelijke omkeerbaarheid van Gare Maritime werd gemaximaliseerd rekening houdend met de vier indicatoren op dat vlak.

##### 4.3.1.1 Afmetingen

Gare Maritime dateert uit het begin van de twintigste eeuw en is maar liefst 140 meter breed en 280 meter lang. De volledige ruimte onder de zeven aaneengeschakelde stalen kappen, drie grote en vier kleine, is nu publiek toegankelijk gemaakt. Onder de zijbeuken van de bestaande kapconstructie heeft Neutelings Riedijk Architecten twaalf houten paviljoenen geplaatst, die gezamenlijk het nieuwe programma van ruim 45.000 m<sup>2</sup> herbergen en op elk moment weer kunnen worden weggenomen. De modulaire elementen met steeds dezelfde maatvoering verhogen de compatibiliteit en de hergebruikmogelijkheden.

##### 4.3.1.2 Positionering

Het modulaire systeem in Cross Laminated Timber of CLT met een eikenhouten gevelafwerking (FSC) laat zich probleemloos in de bestaande ruimtelijke structuur van spanten en kolommen integreren. De houten paviljoenen zijn opgebouwd uit een gelijkvloers en twee verdiepingen, met onder de nok nog een insteekverdieping. Eikenhouten vitrines op het gelijkvloers vormen ook balkons voor de bovenliggende kantoren. De paviljoenen worden onderling verbonden met enkele sculpturale eiken 'kruistrappen' boven de binnenstraten. Binnen een modulair systeem met vrij indeelbare vloervelden kunnen eenvoudig verschillende functies geacommodeerd worden, zoals kantoren, winkels, showrooms en productieruimtes.

##### 4.3.1.3 Capaciteit

Het gebruik van CLT met een eikenhouten gevelafwerking zorgt voor een enorme reductie van de hoeveelheid cement: in beton zou het gebouw vijf keer zwaarder zijn geweest. Daardoor moesten er geen fundamentele ingrepen aan de draagstructuur van Gare Maritime.

De technieken en circulatie van de nieuwe stad onder de kappen zijn ondergebracht in de ingebouwde paviljoenen en brengen toekomstige nieuwe invullingen van Gare Maritime dus niet in het gedrang.

##### 4.3.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel

Bij de uitwerking is ook toegezien op de circulariteit van de constructie door het ontwerpen van demontabele verbindingen en modulaire bouwelementen. Die verhogen de compatibiliteit en de hergebruikmogelijkheden. Voor de paviljoenen werd voornamelijk gebruikgemaakt van schroeven en bouten. Het stalen vliesgevelsysteem Jansen VISS van Jansen werd ook omkeerbaar verbonden met de houten structuur en bestaande kappen, gebruikmakend van verschillende soorten demontabele verbindingen.

#### 4.3.2 Technische omkeerbaarheid

Uit bovenstaande bleek reeds de technische omkeerbaarheid van de houten paviljoenen, maar ook het daarop bevestigde stalen vliesgevelsysteem Jansen VISS van Jansen speelt dus een grote rol in het circulaire karakter van Gare Maritime.

Het Jansen VISS-vliesgevelsysteem bestaat al ruim een halve eeuw. Doorheen de jaren ontwikkelde Jansen verschillende types van droge T-verbindingen voor dat systeem. Die verbindingen laten, afhankelijk van het type, in meer of mindere mate toe de gevelelementen op eenvoudige wijze van de draagconstructie van een gebouw los te maken.

Voor Gare Maritime was het vanuit het ontwerpteam een wens om omkeerbare verbindingen in de gevelconstructie toe te passen. In plaats van alle verbindingen aan elkaar te lassen, werd er voor dit project geopteerd om met verschillende gelaste elementen te werken, die werden aangevuld met losse stijlen en regels waar de stabiliteit dat toeliet. Als resultaat zijn er diverse gevelconstructies geplaatst die in de toekomst zonder veel moeite kunnen worden gedemonteerd. Hoe die demontage dan precies zal verlopen, toonde Jansen al eens gebruikmakend van de mock-up die het voor het project gemaakt had. Samen met de architecten en montagebedrijven werden alle stappen doorlopen die nodig zijn bij de demontage van het vliesgevelsysteem. De gedemonteerde mock-up van het gevelprofielsysteem voor Gare Maritime, werd daarna, zij het wat ingekort, hergebruikt in een ander project in het Nederlandse Leiden.



Afbeelding 114: Mock-up Gare Maritime voor demontage. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 115 & 116: Mock-up Gare Maritime tijdens demontage. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 117: Mock-up Gare Maritime in opslag. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 118: Mock-up Gare Maritime naar nieuwe werkplaats. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 119: Na opmeting nieuwe locatie opstellen in werkplaats tweede fase. (Bron: Blonkstaal)



Afbeelding 120: Plaatsing draagstructuur tweede fase. (Bron: Blonkstaal)



Afbeelding 121: Plaatsing draagstructuur tweede fase. (Bron: Blonkstaal)



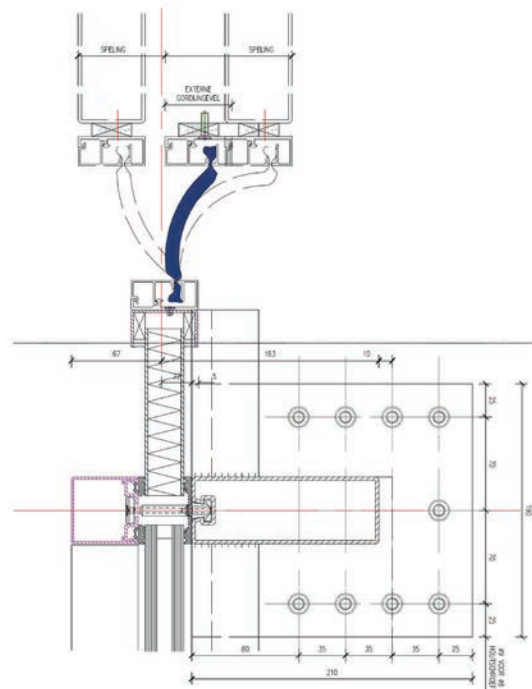
Afbeelding 122: Eindresultaat tweede gebruik cyclus. (Bron: Jansen AG)

We overlopen hoe de indicatoren van technische omkeerbaarheid voor het Jansen VISS-gevelprofielstelsel in Gare Maritime werden toegepast.

#### 4.3.2.1 Functionele onafhankelijkheid

Het gevelstelsel is zo ontworpen dat het onafhankelijk is van andere functies van het gebouw, zoals de structuur of het dak. Het gevelstelsel is met droge verbindingen aan de ruwbouw bevestigd. Dat principe geldt voor de vliesgevels in de langs gevels van Gare Martime, maar ook voor de aan de inpandige CLT-constructies bevestigde stalen gevels. Op de CLT-vloeren zijn de stijlen door middel van koppelplaten bevestigd. De gevelconstructie is niet direct aan de dakstructuur bevestigd. Het dak zet zo'n 11 cm uit in de langse richting, maar beweegt ook in verticale richting. Daarom heeft de gevelconstructie zowel aan de buiten- als aan de binnengevel aan de bovenzijde een flexibele koppeling die die uitzetting kan opnemen.

De aansluiting van de binnengevel met de dakstructuur kan uniek worden genoemd. Op de twee centrale stijlen is een stalen koker bevestigd welke afdraagt op het achterliggende CLT-volume. Daardoor blijft niet alleen de beweging van het dak mogelijk, maar kunnen technieken vrij doorgevoerd worden. Voor thermische en akoestische isolatie is er een soepele dichting voorzien. Voor meer beelden van de flexibele soepele afdichting en afsteunpunten door middel van stalen kokers.



Afbeelding 123: Detail van de soepele voeg. (Bron: Bureau Bouwtechniek)



Afbeelding 124: Buitenzijde van dezelfde gevel met duidelijk beeld van technieken die probleemloos door de gevelaansluiting lopen. (Bron: Tim Fisher)

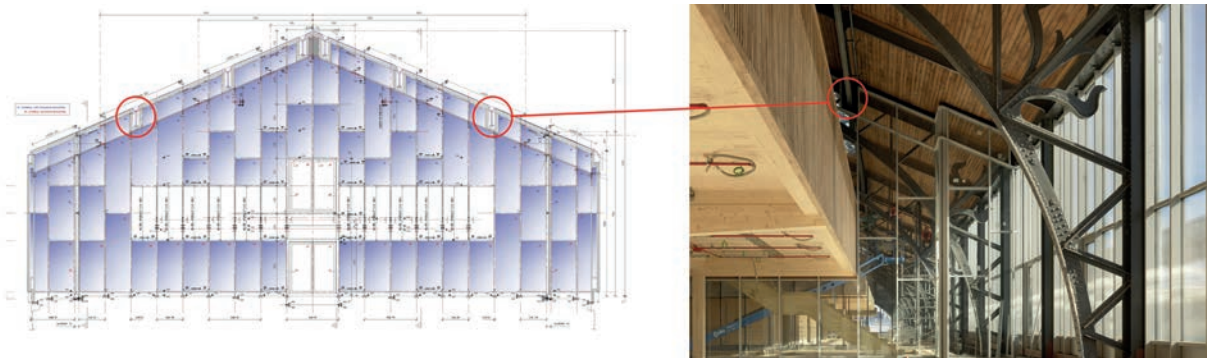


Afbeelding 125: Buitenzijde van dezelfde gevel met aan de achterzijde de stalen koker die ter afsteuning naar het CLT-volume loopt. (Bron: Toon Grobet)



Afbeelding 126: Binnenzijde van dezelfde gevel met langs binnen de stalen koker die ter afsteuning naar het CLT-volume loopt. (Bron: Toon Grobet)

De gevel kan door dat alles in elementen en losse stijlen worden gedemonteerd zonder dat er schade optreedt aan aanleunende delen en functies.



Afbeelding 127: Open flexibele ruimte aan bovenzijde welke toelaat om technieken doorheen de gevel te voeren, zonder dat dit afbreuk doet aan de integriteit en losmaakbaarheid van de gevel. (Bron: Toon Grobet & dessins Lootens)

#### 4.3.2 Systematisering

Hoewel het gevelsysteem de mogelijkheid biedt om complete delen te prefabriceren, werd er in dit project voor geopteerd om met een combinatie te werken van geprefabriceerde

delen (voor de nodige stabiliteit) gecombineerd met losse stijlen en regels. Al de dragende delen werden in de fabriek voorzien van rubbers en bevestigingsboutjes om op de werf het glas te kunnen ontvangen.

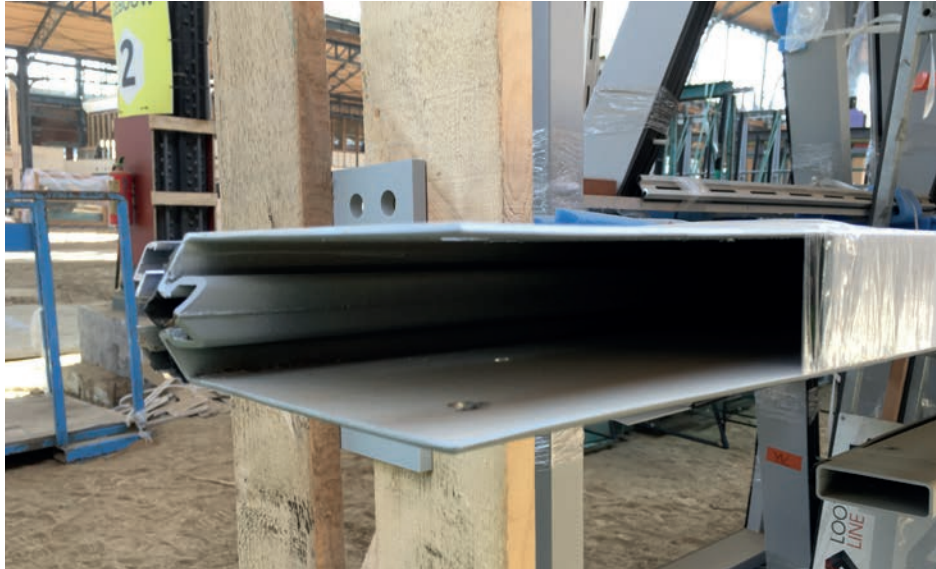


Afbeelding 128: Aankomst geveldelen en -stijlen op de werf. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 129: Geprefabriceerde elementen tijdelijk opgeslagen op de werf. (Bron: Jansen AG)

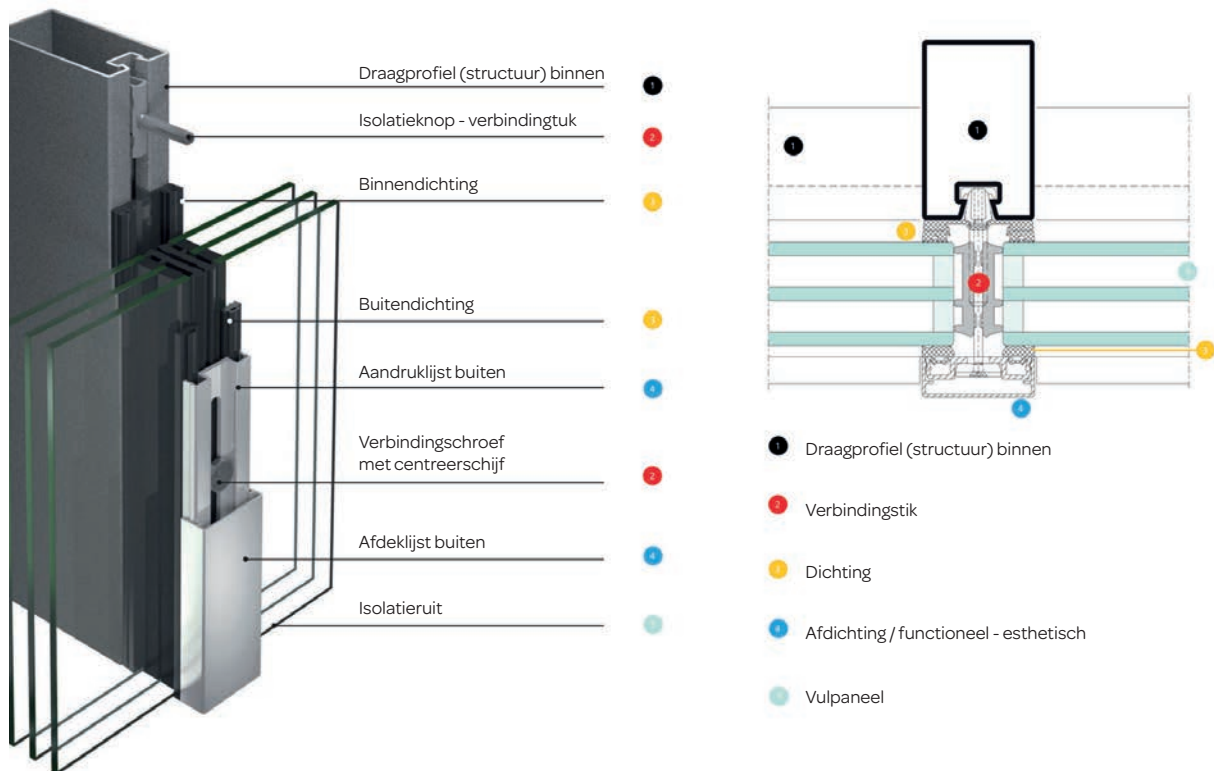




Afbeelding 130: Detail nok van de binnengevel, een geprefabriceerd element. (Bron: Jansen AG)

Het gevelsysteem laat toe dat delen uit de gevel gedemonteerd kunnen worden, zonder andere delen in hun functie te beperken. Zoals hierboven beschreven kan de dragende structuur van de gevel als één geheel worden geplaatst (tegenwoordig niet meer gewenst, volgens Jansen), in gekoppelde elementen of met losse stijlen en regels of als een combinatie van die opties. Daarna volgen beglazing en volle panelen, die op de draagstructuur worden geklemd via schroefverbindingen.

De gevel is als geheel opgebouwd vanuit verschillende onderdelen, zoals vaste beglazing, isolatiepanelen (vaak de borstwering), opengaande delen, technieken zoals zonwering of PV-installaties en hun kabeldoorvoeringen. Al die onderdelen kunnen afzonderlijk worden weggenomen, voor onderhoud of vervanging. In het stalen Jansen VISS-vliesgevelsysteem is ook een hiërarchie toegepast, gebaseerd op de theorie van Stewart Brand. Het draagprofiel binnen fungeert als 'structuur' en de rubbers en beglazing als 'skin'. Die lagen zijn dan ook zo ontworpen dat ze onafhankelijk zijn van elkaar.

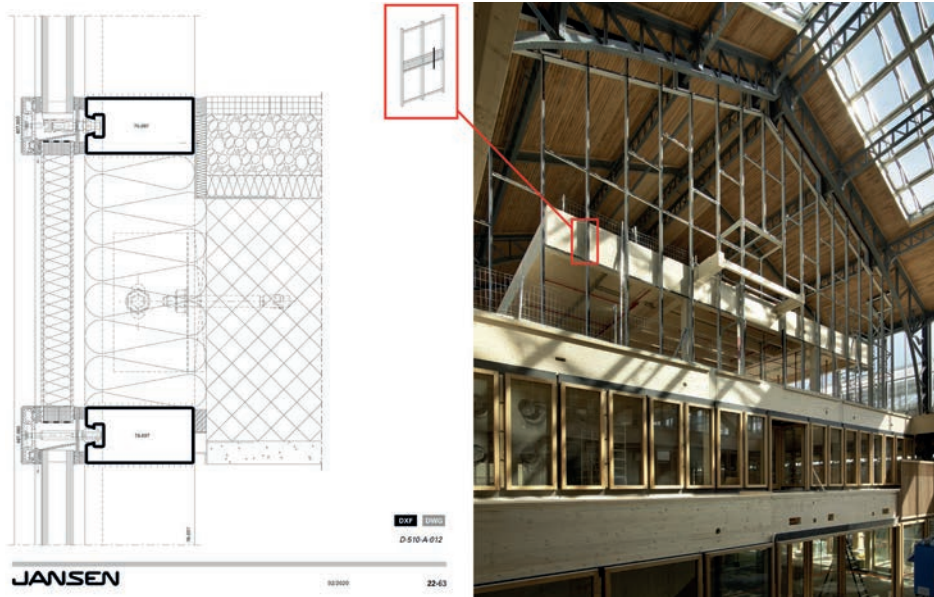


Afbeelding 131: Details 2D & 3D view van de clusters in het Jansen VISS-gevelsysteem. (Bron: Jansen AG)

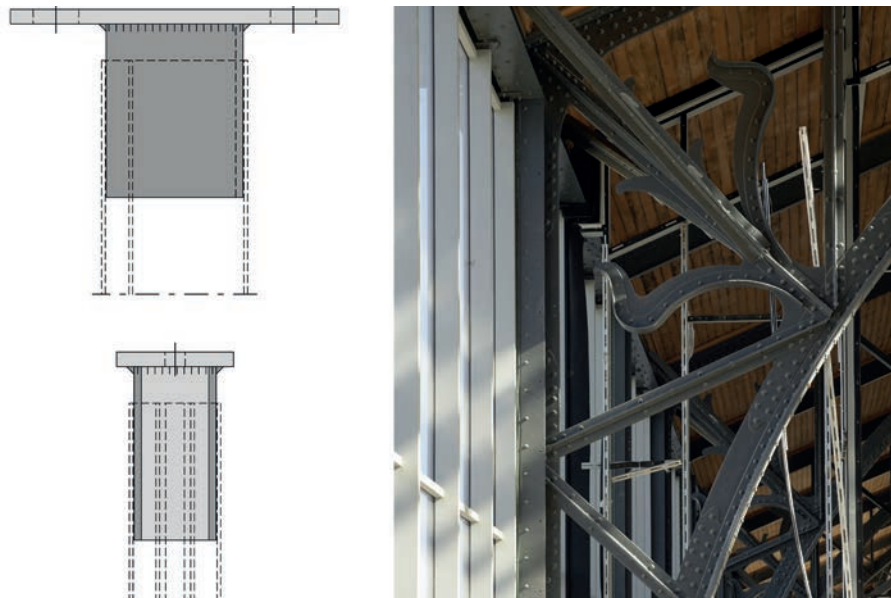
#### 4.3.2.3 Basiselement

Het Jansen VISS-vliesgevelsysteem kan als een onafhankelijk verbindingselement worden beschouwd. Het systeem wordt ook wel gordijngesysteem genoemd en dat verklaart exact wat het doet. Het hangt voor de dragende constructie van een gebouw en het gewicht van het systeem wordt afgedragen op die constructie. De diverse verbindin-

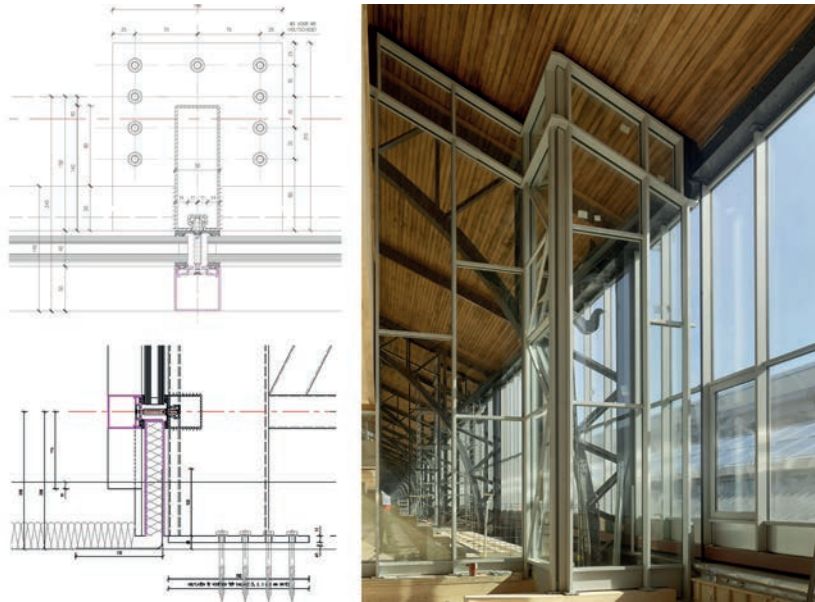
gen kunnen door de architect naar wens en naar vereiste stabiliteit worden gemodelleerd. Tegenwoordig speelt de omkeerbaarheid van deze verbinding een steeds grotere rol. Hieronder worden een paar voorbeelden getoond van deze basisverbindingen. De figuren tonen zowel het theoretische model als de verbinding toegepast in Gare Maritime.



Afbeelding 132: Foto & detail aansluiting op CLT-tussenvloer stalen gordijngesvel en draagconstructie. (Bron: Toon Grobet)



Afbeelding 133: Foto & principedetail aansluiting boven met telescopische verbinding. (Bron: Toon Grobet)



Afbeelding 134: Foto & uitvoeringsdetail aansluiting boven met telescopische verbinding. (Bron: Toon Grobet – Tekening Lootens)

#### 4.3.2.4 (De)montagehiërarchie en levenscycluscoördinatie

De meeste gevelsystemen hebben een montagehiërarchie van binnenuit naar buiten toe, in het geval van het Jansen VISS-gevelsysteem begint die bij het stalen draagprofiel en eindigt die met de afdeklijsten. Bij demontage verloopt dat proces in omgekeerde volgorde, van buiten naar binnen dus.

Aangezien dit systeem al meer dan een halve eeuw bestaat, zijn er inmiddels diverse renovaties en upgrades aan projecten met het Jansen VISS-systeem uitgevoerd. Die toename in gevelrenovaties op het bestaande systeem, heeft in grote mate de circulaire strategie van Jansen bepaald. Het draagprofiel dat in de periode van ruim vijftig jaar onveranderd is gebleven, kan in projecten behouden blijven. Om een energetische renovatie op het systeem door te voeren, dienen slechts glas en dichtingen te worden aangepast. De constructie kan blijven staan en is nog altijd compatibel met nieuwe onderdelen voor afdichting, waardoor de gebouweigenaar budget bespaart en enkel een esthetische- of energetische ingreep kan doen. De bouwkundige constructie blijft bij voorkeur ook onveranderd. Hiermee kan de gebouweigenaar de TCO (total cost of ownership) in gunstige mate beïnvloeden. De restwaarde die dit systeem biedt, kan op financieel vlak worden benut.

#### 4.3.2.5 Geometrie van productranden en verbindingen

De geometrie van de productranden is open. Afhankelijk van de bouwkundige aansluiting, welke de architect bepaalt, laat het gevelsysteem toe om stijlen en regels reversibel te voorzien. Daar dient bij het ontwerp van de gevel de nodige aandacht naar te gaan.

#### 4.3.2.6 Montagesequentie

De gevelelementen worden normaal in een door het ontwerp bepaalde sequentie gemonteerd. De demontagevolgorde wordt hierdoor ook bepaald. In een uitvoering van losse stijlen en regels kan hiervan worden afgeweken en kunnen losse elementen willekeuring worden vervangen. Deze aanpak vergt een nieuwe manier van ontwerpen, waarbij meer naar toekomstig flexibel gebruik van een gebouw wordt ontwikkeld. Hoewel hiernaar onderzoek wordt gedaan, blijven voorbeelden hiervan nog beperkt.

Bij esthetische renovaties is het eenvoudiger. Daar wordt vaak slechts een paneel aan de buitenzijde vervangen.

#### 4.3.2.7 Type verbindingen

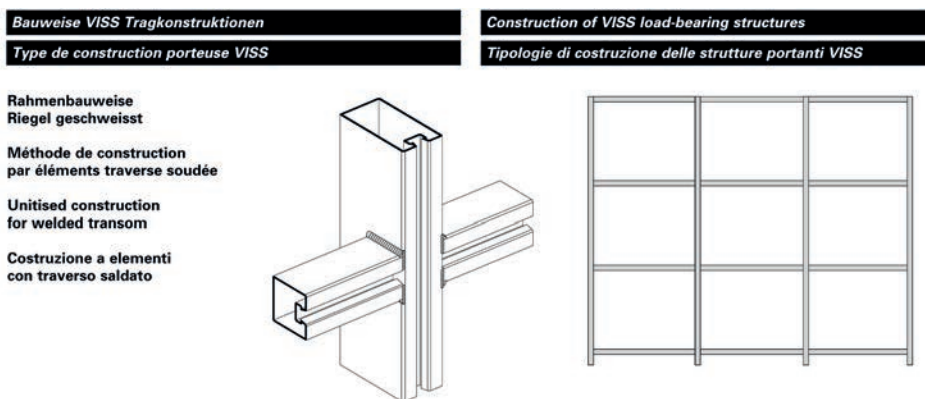
De clusters in het gevelsysteem zijn onderling demontabel met elkaar verbonden. Op element- en componentniveau kan er via het ontwerp een strategie worden bepaald waarbij optimale demontage en uitwisselbaarheid bereikt kunnen worden. Hiervoor dient de architect nauw met de systeemleverancier samen te werken.



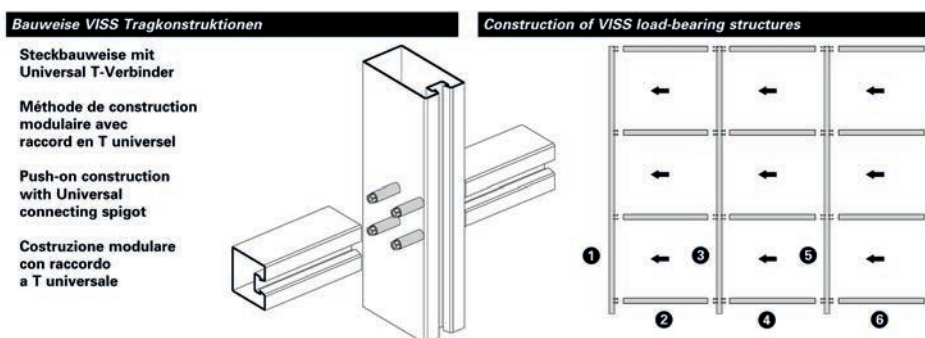
Afbeelding 135: foto van een detail van een Jansen VISS-stijlen -regel voorzien van een demontabele, universele T-verbinding, een mechanische verbinding die voor Jansen VISS-profielen werd ontwikkeld maar ook op standaard stalen buisprofielen past. Ideaal voor circulaire toepassingen. (Bron: Tim Fisher)

Voor Jansen VISS-gevels bestaan er drie benaderingen, waarop ook nog variaties mogelijk zijn. Vroeger werd er in functie van optimale productie of snelheid op de bouwplaats ontworpen. Zo werd er vaak gekozen voor geveldelen die in "ladders" samengelast werden en waartussen regels met een mechanische bevestiging konden worden gemonteerd. Tegenwoordig wordt er ontworpen om faalkosten op de

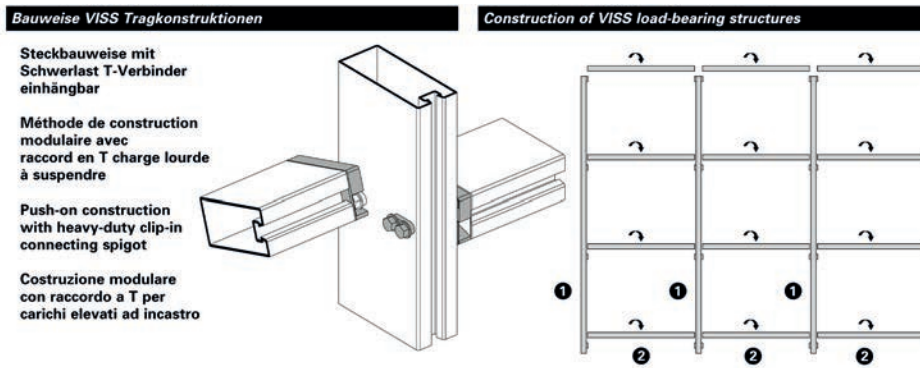
bouwplaats zo veel mogelijk te vermijden en worden er vaak elementen geprefabriceerd en in het project opgehangen. Dit principe werkt ook met losse demontabele stijlen en regels, waarbij het glas in het werk wordt gemonteerd. Het blijft een afweging die vooral in overleg moet worden bepaald. Hieronder worden een aantal van de meest voorkomende methodes afgebeeld.



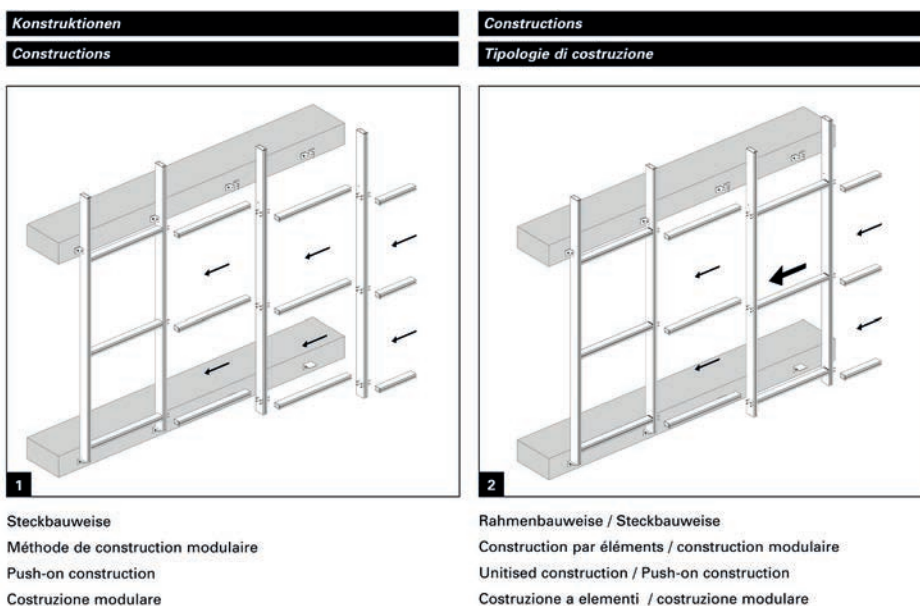
Afbeelding 136: Detail van een Jansen VISS-element compleet in elkaar gelast. Dit dient dan volledig te worden gedemonteerd. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 137: Detail van Jansen VISS-stijlen en -regels met universele T-verbinder mechanisch verbonden. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 138: Detail van Jansen VISS-stijlen en -regels met een inhangbare mechanische verbinding. Die biedt een vrijheid van sequentie bij de montage. Denk ook aan zware installaties die tijdens de bouwfase nog door de gevel dienen te worden verplaatst. De complete gevel kan beglaasd worden en enkel het deel voor tijdelijk transport wordt opgehouden. Vlak voor oplevering wordt dit deel afgewerkt. Tijdens het gebruik biedt deze oplossing ook een hoge mate van flexibiliteit voor de gebruiker. (Bron: Jansen AG)



Afbeelding 139: Detail 1: Jansen VISS als losse stijlen en regels demontabel verbonden. Detail 2 toont dezelfde T-verbinder maar hierbij zijn voorgemonteerde elementen samengesteld uit dezelfde "open binders", welke worden afgewisseld met losse regels tussen de elementen. Dit kan een efficiëntie op de bouwplaats opleveren. (Bron: Jansen AG)

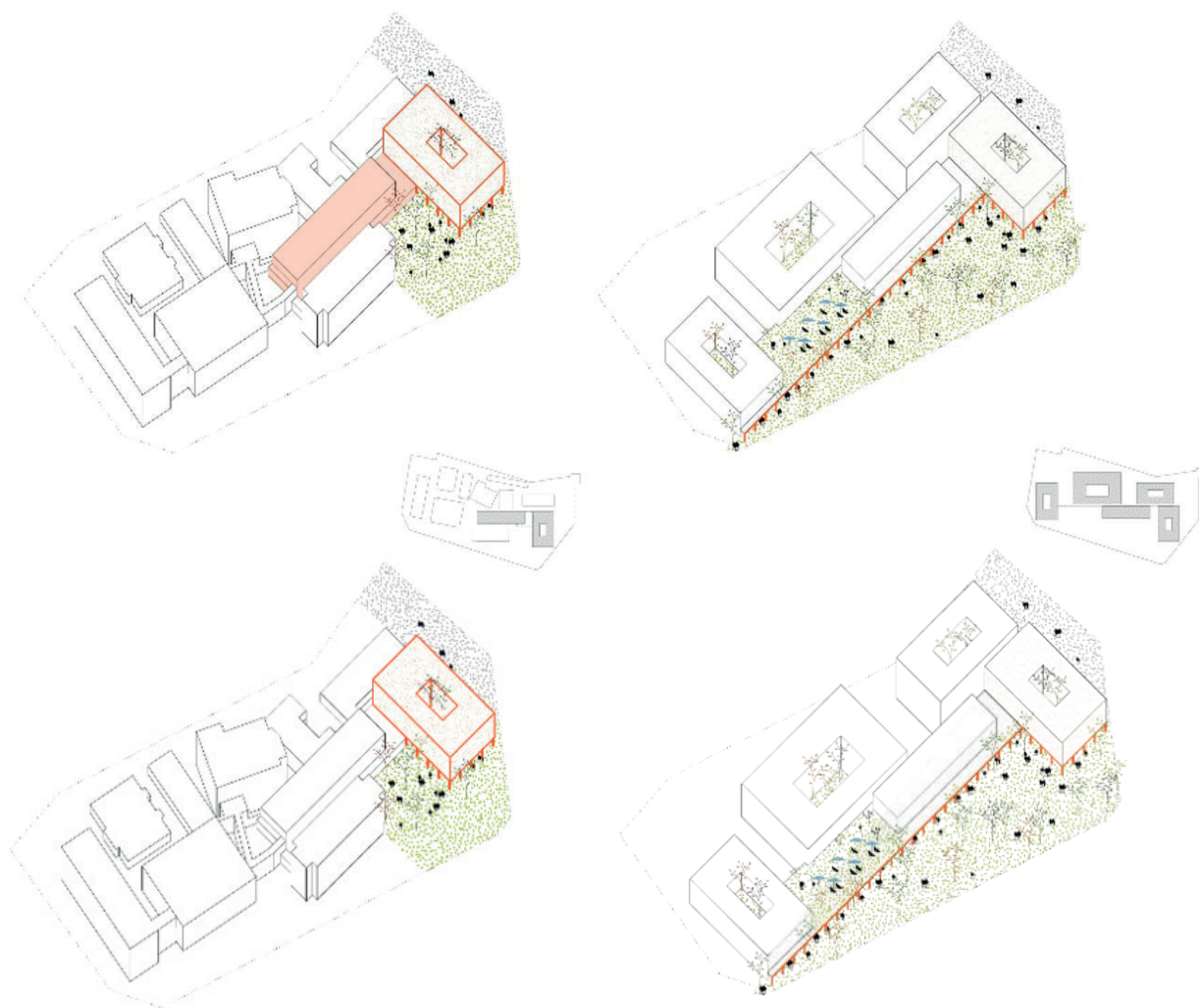
## TECHNISCHE FICHE

- Opdrachtgever: Extensa
- Ontwerper: Neutelings Riedijk Architecten i.s.m. Bureau Bouwtechniek en Jan de Moffarts Architecten (nu ALTSTADT)
- Hoofdaannemer: MBG.
- Studiebureaus: boydens engineering (technieken, EPB), Ney & Partners (stabiliteit), Venac (akoestiek), Bureau Bouwtechniek en FPC (brandveiligheid), OMGEVING (omgevingsaanleg), Bopro (veiligheidscoördinatie, BREEAM)
- Systeemleverancier stalen schrijnwerk: Jansen
- Timing: 2017 – 2020

#### 4.4 Joseph Bracopsziekenhuis, Anderlecht

Het winnende masterplan voor de vernieuwing van het Joseph Bracopsziekenhuis in Anderlecht, van de hand van archipelago en NU architectuuratelier, is integraal geconcipieerd volgens de principes van circulair bouwen: lokale en duurzame materialen, een aanpasbaar ontwerp, het zero energy-principe en een doordachte (de)montagebouw. De ontwikkeling van publieke ruimtes – zowel buiten als binnen de contouren van het ziekenhuis – zorgt ervoor dat het gebouw verweven is met zijn stedelijke context.

Het ziekenhuis, een schakel in het Brusselse ziekenhuisnetwerk Iris Ziekenhuizen Zuid, ligt in het centrum van Anderlecht, op een steenworp van het gekende voetbalstadion. De vernieuwing van de site geldt als een grootschalig pilootproject voor circulair bouwen in de gezondheidszorg. Het hoeft dan ook niet te verbazen dat alle indicatoren voor ruimtelijke en technische omkeerbaarheid geïntegreerd zijn in het ontwerp van de polikliniek.

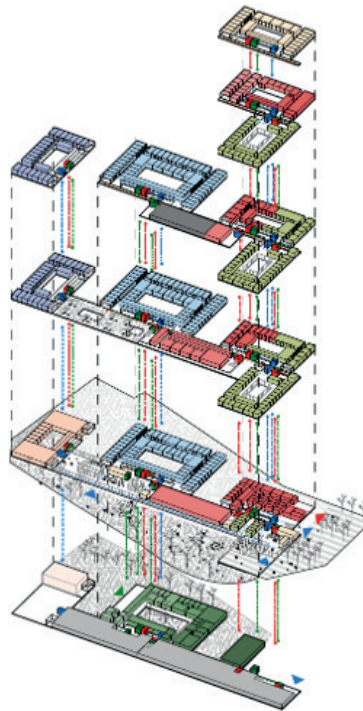


Afbeelding 140: Open masterplan ziekenhuissite Bracops (Bron: archipelago architects)

#### 4.4.1 Ruimtelijke omkeerbaarheid

De polikliniek is ontworpen op basis van gebruiksscenario's die een verandering van gebruik en van functies in de toekomst mogelijk maken. Zo zou het gebouw naast een polikliniek in de toekomst ook ziekenhuiskamers, een woon-

zorgcentrum, studentenkamers en zelfs woningen kunnen herbergen. De ontwerpparameters onder de verschillende indicatoren – afmetingen, capaciteit, positie en demontage – zijn hierop afgestemd.



Afbeelding 141: Open masterplan ziekenhuissite Bracops (Bron: archipelago architects)

##### 4.4.1.1 Afmetingen

De gebouwfmetingen zijn in combinatie met de strategisch ingeplante patio geoptimaliseerd naar daglichttoetreding en afgestemd op de afmetingen van verschillende gebruiksp-

gramma's zoals ziekenhuiskamers, een woonzorgcentrum, serviceflats ... En op het initiële programma van de polykliniek, dat aanleunt bij een kantoorprogramma.



Afbeelding 142: Ruimtelijke aanpasbaarheid (Spatial reversibility): onderzoek naar alternatieve programmatie in het kader van toekomstige gebruik. Bovenaan links: consultatie/dagkliniek. Bovenaan rechts: ziekenhuiskamers. Onderaan links: woonzorgcentrum. Onderaan rechts: appartementen. (Bron: archipelago architects)

Het basisvolume heeft een grondvlak van 30 x 50 meter. Asymmetrischerin is een patio van 15x10 meter voorzien. De diepte van de vloerplaten en de vrije verdiepingshoogte (3,45 meter afgewerkte vloer-onderzijde plaat) zijn afgestemd op

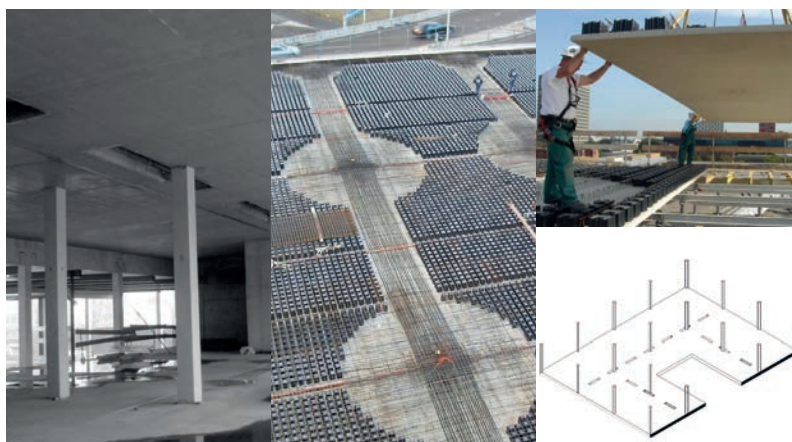
een volledige daglichttoetreding over de hele vloerplaat en op de eisen van de verschillende functies. Die eigenschappen zijn in een vroeg ontwerpstadium bepaald aan de hand van vuistregels en afgetoetst met daglichtsimulaties.



Afbeelding 143: Verticale snede over het dagziekenhuis. (Bron: archipelago architects)

De vloerplaten zijn opgevat als paddenstoelvloeren. Dat heeft een impact op de vloer-vloerhoogte en de locatie van de horizontale technieken zoals de ventilatie, aangezien de technieken niet kunnen worden aangebracht tussen balken onder de vloerplaat. Paddenstoelvloeren hebben als belangrijk voordeel dat ze veel flexibiliteit bieden qua locatie

van de horizontale technieken. Ze hebben echter ook een nadeel, want in vergelijking met een kolom-balksysteem is het moeilijker om in de toekomst delen van de vloer weg te halen om bijvoorbeeld een extra trappenkoker te creëren.



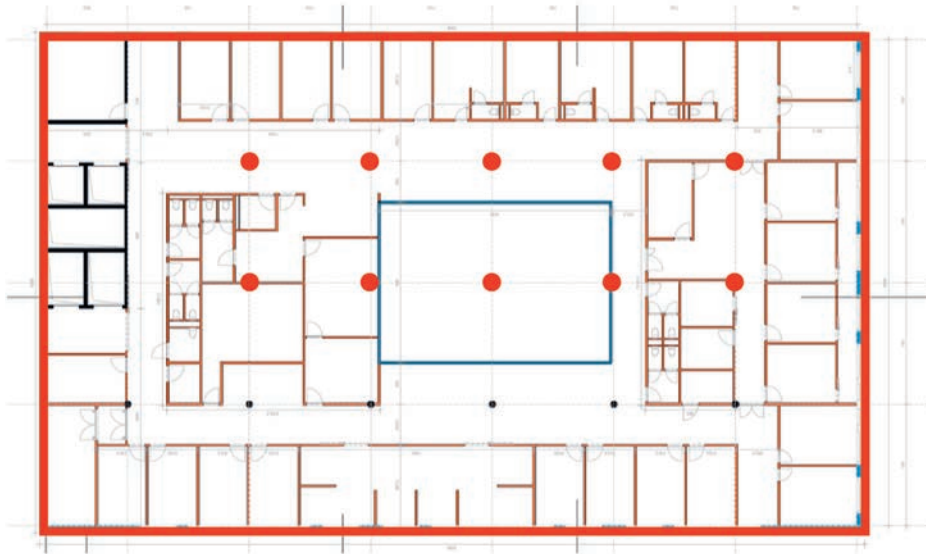
Afbeelding 144: Referentiebeelden paddenstoelvloeren (Bron: archipelago architects)





De kolommen zijn, op een onafhankelijke wijze, gepositioneerd achter de gevel om geveelaanpassingen mogelijk te maken zonder de structuur aan te tasten. Ze zijn toegepast volgens een regelmatig raster van 7,5 x 7,5 meter, afgestemd

op de onderliggende parking. Dit raster kan opgedeeld worden in ruimtes van 7,5 x 7,5 meter of 2 x 3,75 x 7,5 meter of afgeleide maten.



Afbeelding 147: Ontwerpraster (Bron: archipelago architects)

De positie van de horizontale distributie van de technieken is gealigneerd met de circulatiezones en kan, door de padenstoelvloer, eenvoudig van plaats gewisseld worden. Er

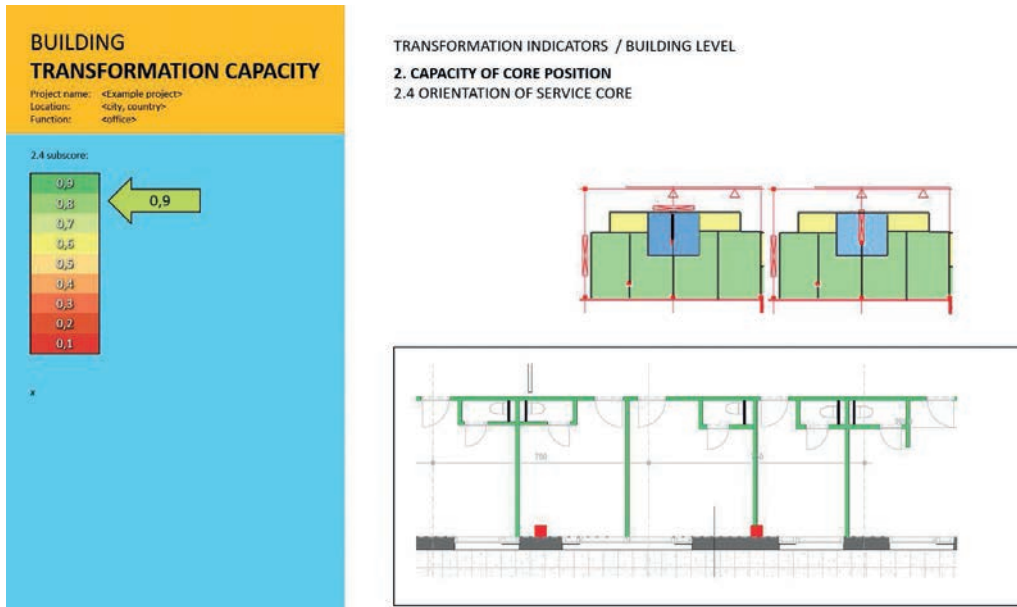
zijn twee verticale hoofdkokers voor de verticale verdeling van de technieken voorzien. Die zijn centraal ingeplant, zodat de kanaallengtes beperkt kunnen blijven.



Afbeelding 148: Positie van het ventilatienetwerk (Bron: archipelago architects)

Daarnaast zijn er in de vloerplaten vooraf uitgespaarde zones voor technische kokers voorzien in functie van toekomstig wijzigend gebruik. Deze uitsparingen zijn naast de draagstructuur geïntegreerd, zodat de vaste kernen gegroepeerd zijn

en niet hinderen bij herbestemming. De oriëntatie van de technische kokers en structuur staat loodrecht op de gevel en de circulatiezones, zodat een uitbreiding van de lokalen niet wordt belemmerd.

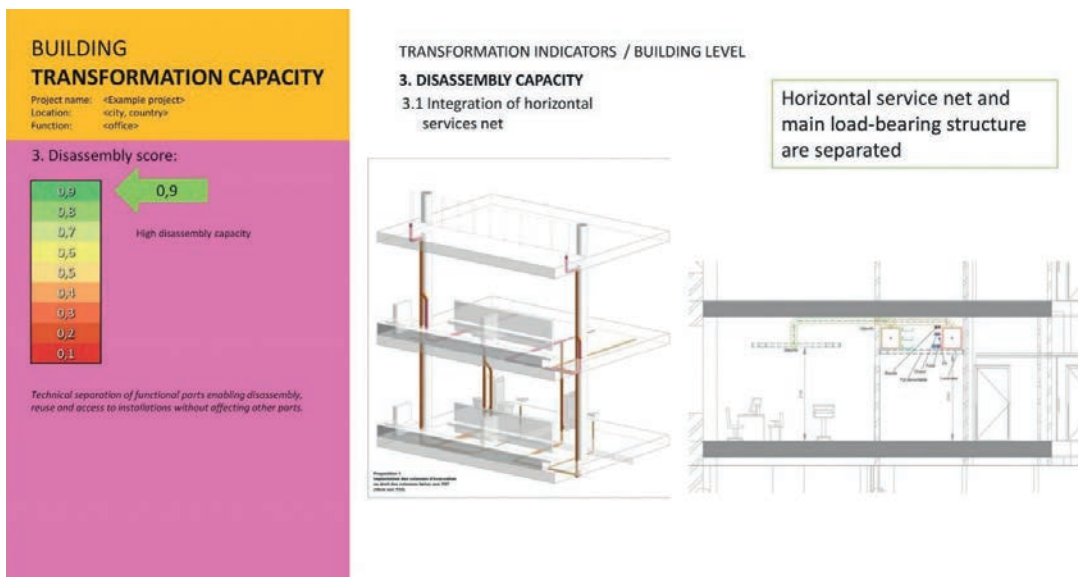


Afbeelding 149: Analyse van de positie van de technische schachten (Bron: archipelago architects)

#### 4.4.1.3 Capaciteit

De zones voor de technieken, zowel in verticale als horizontale distributie, zijn overgedimensioneerd, zodat er later nog technieken kunnen worden toegevoegd en/of de huidige

technieken eenvoudig kunnen verwijderd of aangepast worden. De vrije hoogte tussen de vloerplaten is dermate dat er ruimte is voor bijkomende technieken aan het plafond.



Afbeelding 150: De technische leidingen en kanalen zijn gescheiden van de dragende structuur, zodat deze eenvoudig kunnen aangepast worden. De ruimte voor horizontale en verticale distributie is overgedimensioneerd, zodat latere aanpassingen mogelijk zijn. (Bron: archipelago architects)

De structurele belasting van de vloerplaten is gedimensioneerd op basis van het ziekenhuisprogramma (3,0 kN/m<sup>2</sup> vaste last en 5,0 kN/m<sup>2</sup> nuttige last), waardoor de meeste overige courante bouwprogramma's ook mogelijk zijn.

Er zijn 2 diametraal tegenover liggende trappenhuizen voorzien, met elk een nuttige breedte van 120 cm. Hierdoor zijn zowel de vluchtafstanden geschikt voor de meeste types bezetting en biedt ook de vluchtcapaciteit ruimte voor andere bezettingen. Gezien de huidige functie zijn 3 personenliften voorzien én 2 beddenliften. Ook hier is ruime capaciteit voor andere bouwprogramma's.

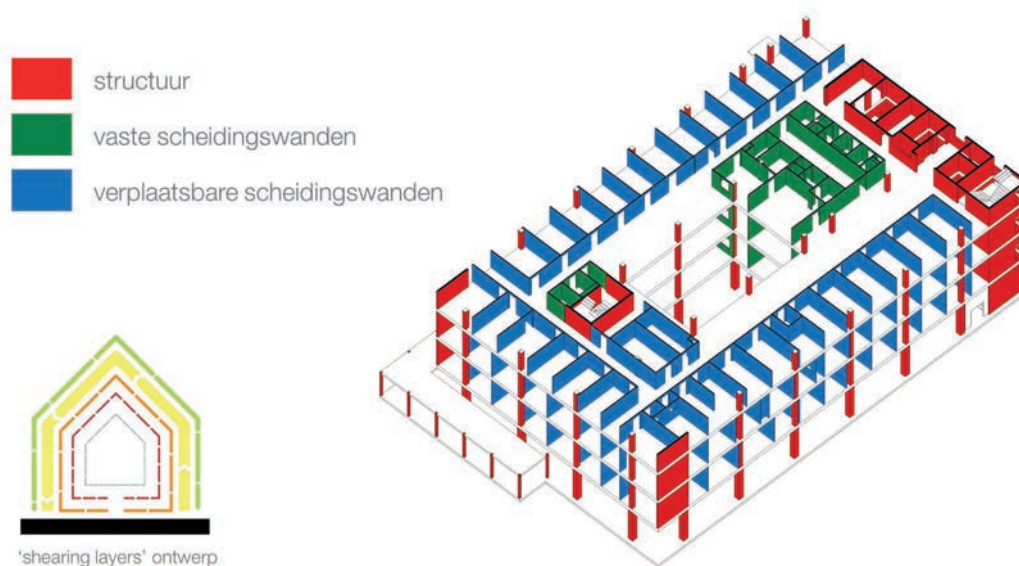
#### 4.4.1.4 Demontage- en hergebruikpotentieel

- toegankelijke technieken: alle technieken zijn vrij toegankelijk via het verlaagde plafond. De technieken zijn geclusterd in de circulatiezones en in de verticale hoofdleidingkokers;
- sanitair: de voorziene sanitaire elementen zijn volledig modulair en zijn onafhankelijk van de wanden, een zo-

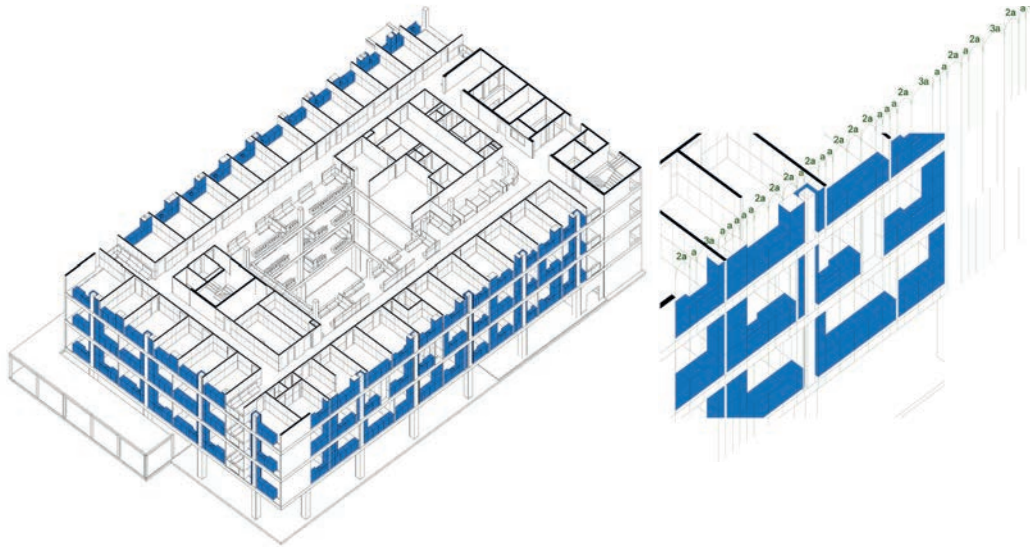
genaamd Invisible Piping System. De elementen kunnen eenvoudig gedemonteerd en geherpositioneerd worden. Zie voorbeeld in [paragraaf 3.2.1.1](#) (functionele onafhankelijkheid) over een demonteerbare sanitaire cel;

- demontage en inwisselbaarheid indeling: De JUUNOO-binnenwanden zijn vrijstaand en eenvoudig te verplaatsen. De positie van de deuren in de binnenwanden zijn afgestemd op de module van de afwerkingsplaten van de verplaatsbare binnenwanden. De inrichting van de kantoren is modulair, eenvoudig te monteren en te demonteren en uitwisselbaar tussen de verschillende kantoor-/consultatieruimtes;
- Meubilair: het meubilair van de wachtzones is modulair en eenvoudig herconfigureerbaar in functie van de diverse noden.

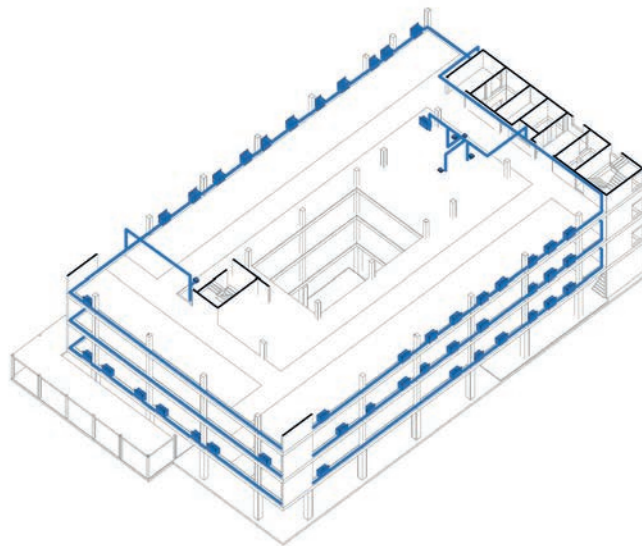
In functie van het bouwprogramma, een dagziekenhuis, zijn robuuste afwerkingsmaterialen voorzien, die zich lenen tot hergebruik.



Afbeelding 151: In functie van de voorziene functionele levensduur is het type wand gediversifieerd. (Bron: archipelago architects)



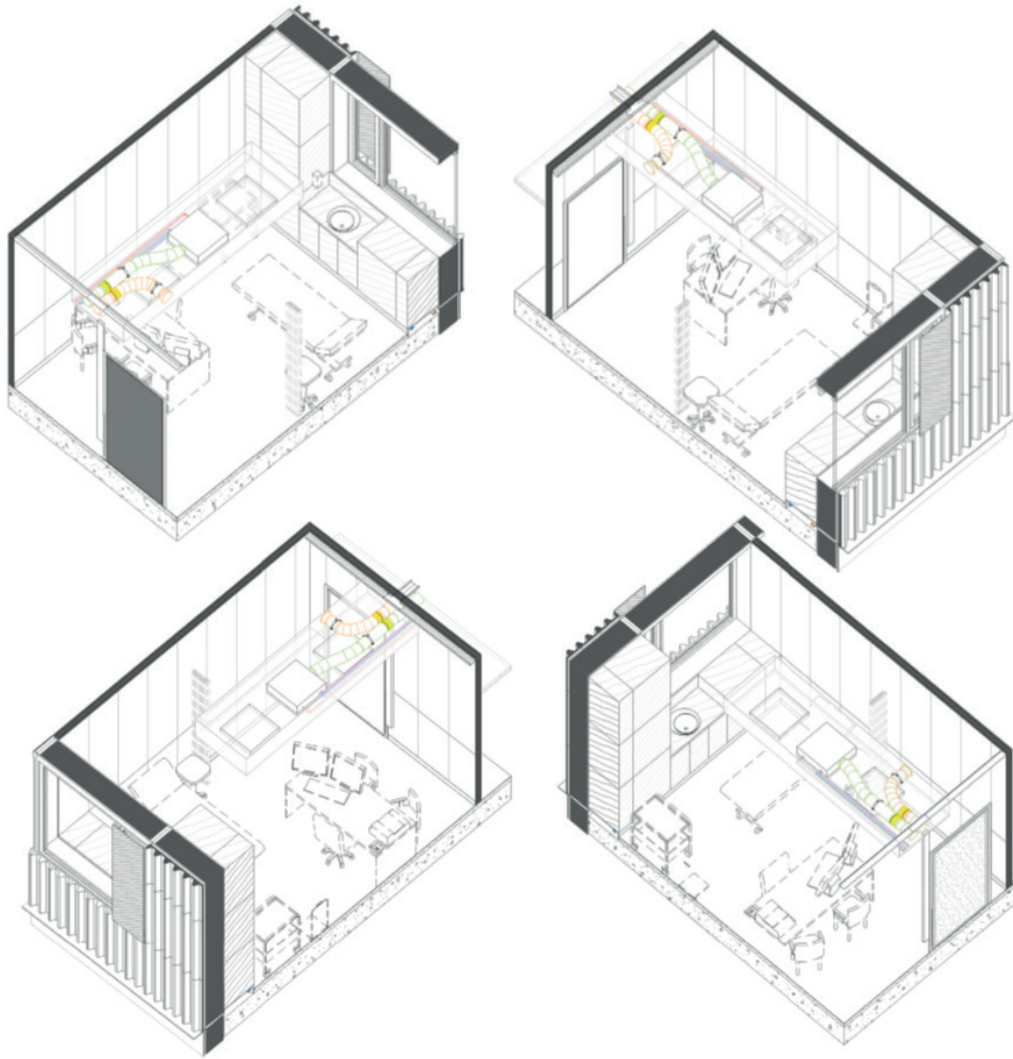
Afbeelding 152: De 'vaste' uitrusting is georganiseerd langs de gevelzone is modulair en volledig demonteerbaar. (Bron: archipelago architects)



Afbeelding 153: De toevoer en afvoeren van de sanitair voorzieningen zijn volgens een 'plug and play' principe voorzien langs de gevelzone. (Bron: archipelago architects)



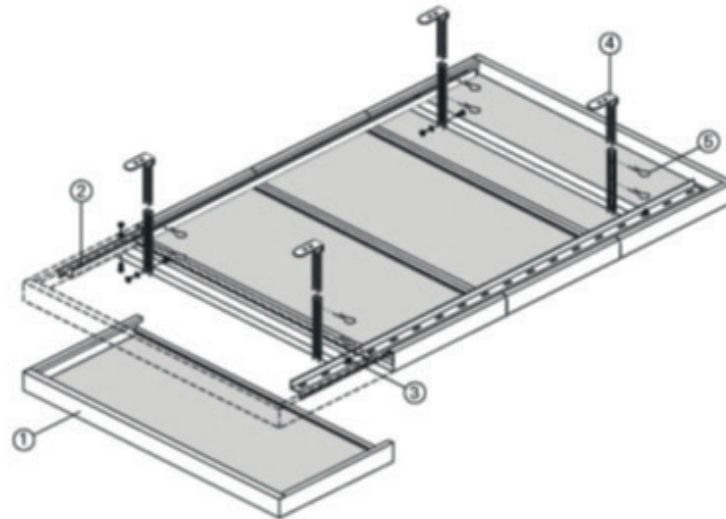
Afbeelding 154: Een modulair element, waarin wastafels geïntegreerd zijn. (Bron: archipelago architects)



Afbeelding 155: Axonometrie van de modulaire consultatieruimtes. (Bron: archipelago architects)



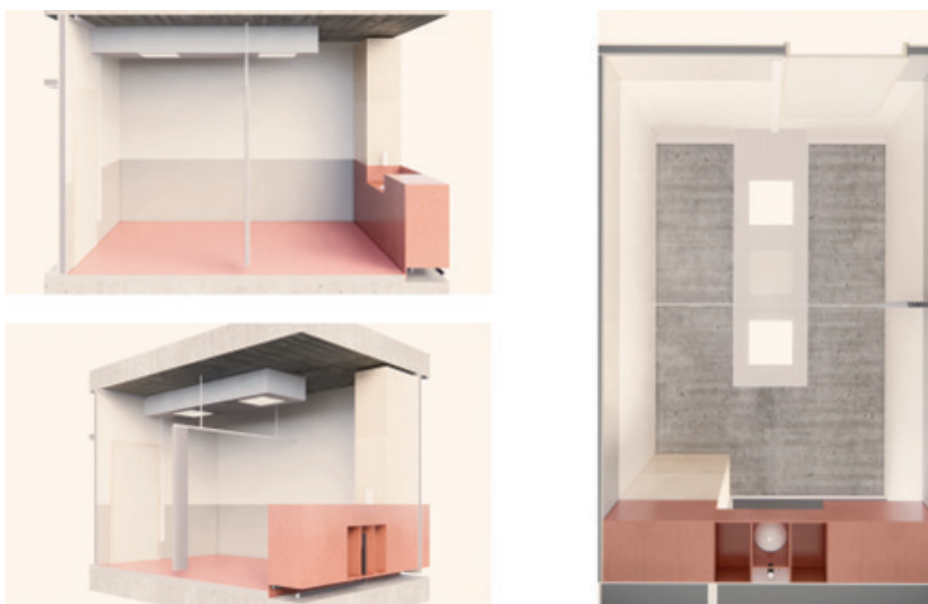
Afbeelding 156: Gestandaardiseerde technisch eiland bevat alle technische uitrustingen zoals verlichting en ventilatie (Bron: archipelago architects)



Afbeelding 157: Gestandaardiseerde technisch eiland is eenvoudig te demonteren voor onderhoud en herstellingen (Bron: archipelago architects)



Afbeelding 158: Geperforeerd afwerkingsmateriaal (Bron: archipelago architects)

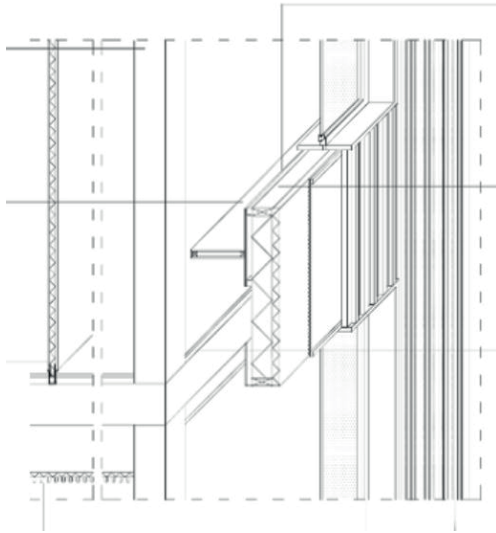


Afbeelding 159: Gestandaardiseerde technisch eiland dat alle noodzakelijke technische uitrustingen bevat en volledig demonteerbaar is (droge, geschroefde verbindingen en clickpanelen). Door de toepassing van een eiland wordt de thermische massa beschikbaar gehouden en kunnen tussenwand vrij weggenomen of bijgeplaatst worden. (Bron: archipelago architects)

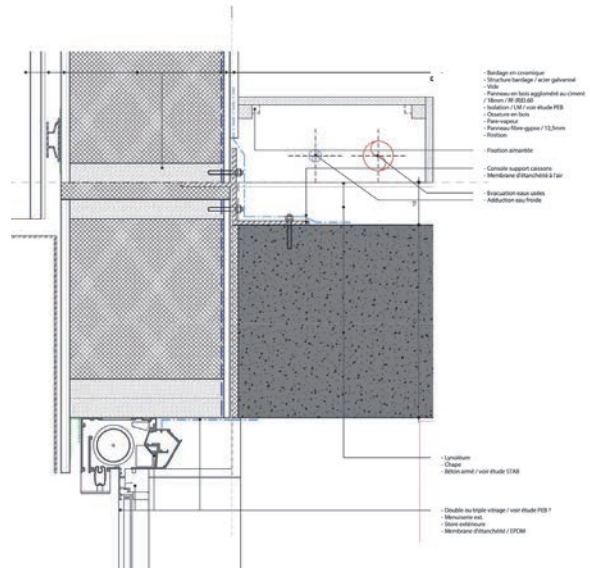
## 4.4.2 Technische omkeerbaarheid

### 4.4.2.1 Functionele onafhankelijkheid

De gevel is geconcipieerd uit geprefabriceerde elementen, die met droge verbindingen aan de hoofddragstructuur zijn bevestigd. De gevelstructuur is dus volledig ontkoppeld van de dragende structuur. De technieken zijn eveneens als on-



afhankelijk van de gevelmodules ontworpen en opgenomen in een 'technische sokkel' die langs de gevel in een modulair (afwerkings)element kan worden ingewerkt.



Afbeelding 160 : Droge verbinding van gevelelementen aan draagstructuur. Mits beperkte interventie in de afwerking zijn deze verbindingen vlot toegankelijk. (Bron: archipelago architects)

De binnenwanden zijn volledig onafhankelijk en losstaand van de dragende structuur. De binnenwanden zijn opgebouwd uit een onafhankelijk draagsysteem, waaraan – op een losmaakbare manier – afwerkingspanelen bevestigd zijn, het JUUNOO-systeem. De afwerkingspanelen kunnen eenvoudig verwijderd en vervangen worden, met behoud van het draagsysteem.

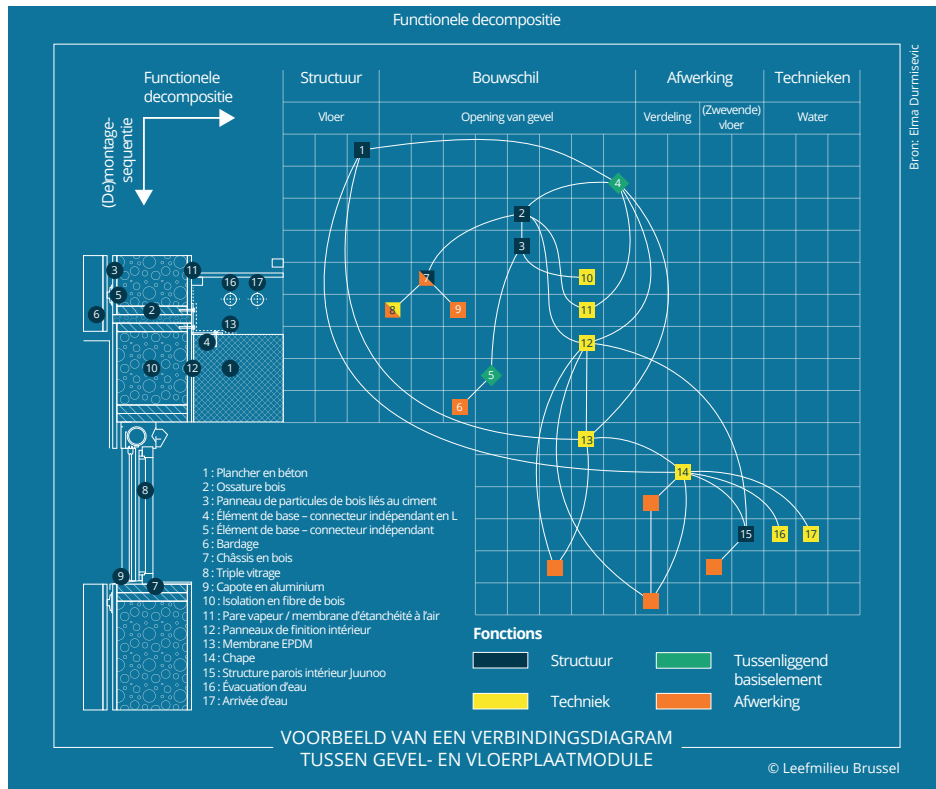
Het horizontale distributienet van de technieken is volledig gescheiden van de draagstructuur en zo gepositioneerd dat de verplaatsing van de binnenwanden niet wordt belemmerd.

### 4.4.2.2 Functionele groepering

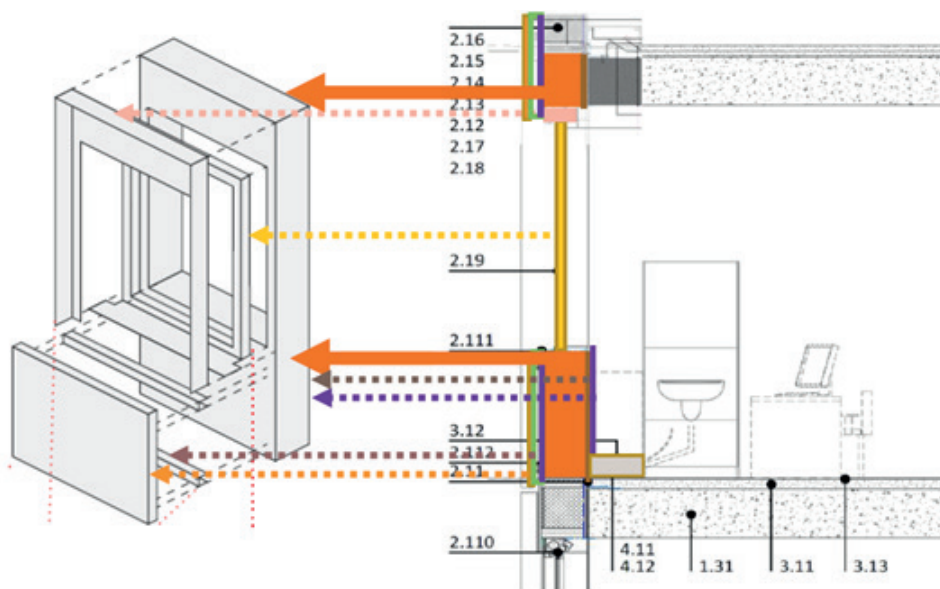
Het gebouw werd uitgedacht als een systeembouw, met een hoge mate van prefabricatie. Met uitzondering van het betonskelet bestaan alle elementen uit prefabsystemen. De volgorde van assemblage is dermate dat demontage achteraf op een logische manier kan gebeuren, in overeenstemming met de verwachte functionele levensduur van de elementen.

De omkeerbare gevel bestaat uit een prefabgevelmodule, waarbij zaken als buitenschrijnwerk en zonwering reeds in de prefabmodule voorzien zijn. Die elementen kunnen dan ook in hun geheel gedemonteerd worden, zonder fundamenteel te moeten raken aan de andere onderdelen van het gebouw. Op elementniveau impliceert dat bijvoorbeeld dat een raam kan worden gedemonteerd uit een gevel zonder dat de binnen- en/of buitenafwerking moet worden verwijderd. Dat geldt ook voor de binnenwanden, de plafondsysteem, de kastenwanden, de sanitaire blokken ... De elementen en componenten waaruit het gebouw bestaat, zijn dus op een doordachte wijze gegroepeerd op basis van hun functie, zodat aanpassingen eenvoudig kunnen worden uitgevoerd, zonder impact op de aanpalende functies.





Afbeelding 161: Bouwelementen en -onderdelen worden dus op een doordachte manier gegroepeerd, rekening houdend met hun functie, zodat wijzigingen gemakkelijk kunnen worden aangebracht, zonder gevolgen voor aangrenzende functies.

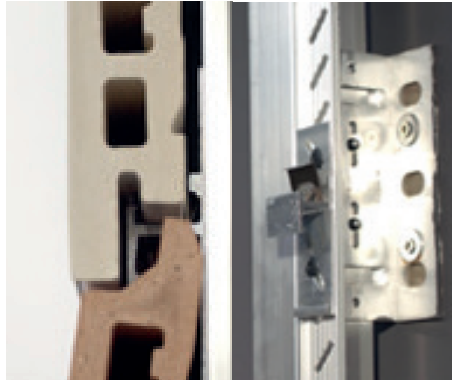


Afbeelding 162: Prefabricage maakt het mogelijk de elementen te groeperen volgens hun functies en vergemakkelijkt de montage en demontage ter plaatse. (Bron: Archipelago architects)

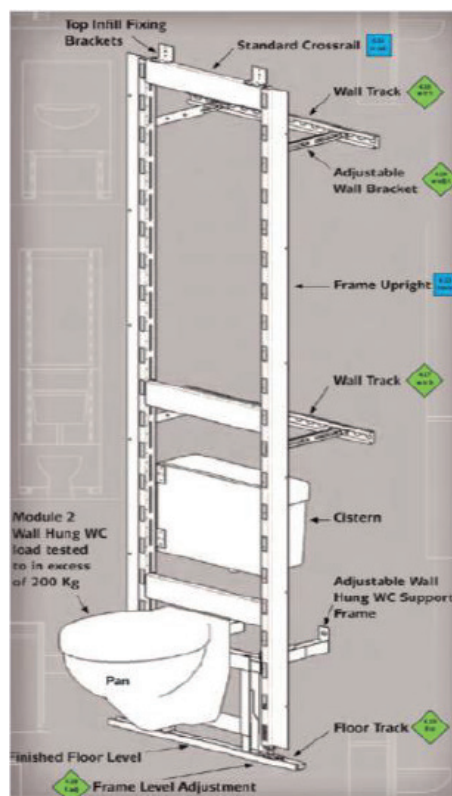
#### 4.4.2.3 Baselement

Een hoekprofiel fungeert als onafhankelijk baselement (type 4, zie [paragraaf 3.2.2.1](#)) en maakt de verbinding tussen de structuur (vloerplaat) en de gevelpanelen. Alle overige

elementen zijn er op een demonteerbare manier aan verbonden. De montage van het baselement gebeurt bijna overal rechtstreeks op het betonskelet, zodat er een lage afhankelijkheid is bij demontage.



Afbeelding 163: Baselement gebruikt om de gevelbekleding met de gevelmodule te verbinden (Bron: Archipelago architects, Elma Durmisevic)



Afbeelding 164: Baselementen gebruikt voor de aansluiting van het sanitair systeem op devloer en de dragende muur (Bron: Archipelago architects, Elma Durmisevic)

#### 4.4.2.4 (De)montagehiërarchie

De (de)montage gebeurt in functie van de verwachte functionele levensduur van de verschillende elementen (zie hoger). Daar waar een ingreep moet gebeuren op een element met een langere verwachte levensduur is ervoor gezorgd dat ook deze verbindingen eenvoudig bereikbaar zijn. Zo zijn de verbindingen eenvoudig bereikbaar via de convectieputten.

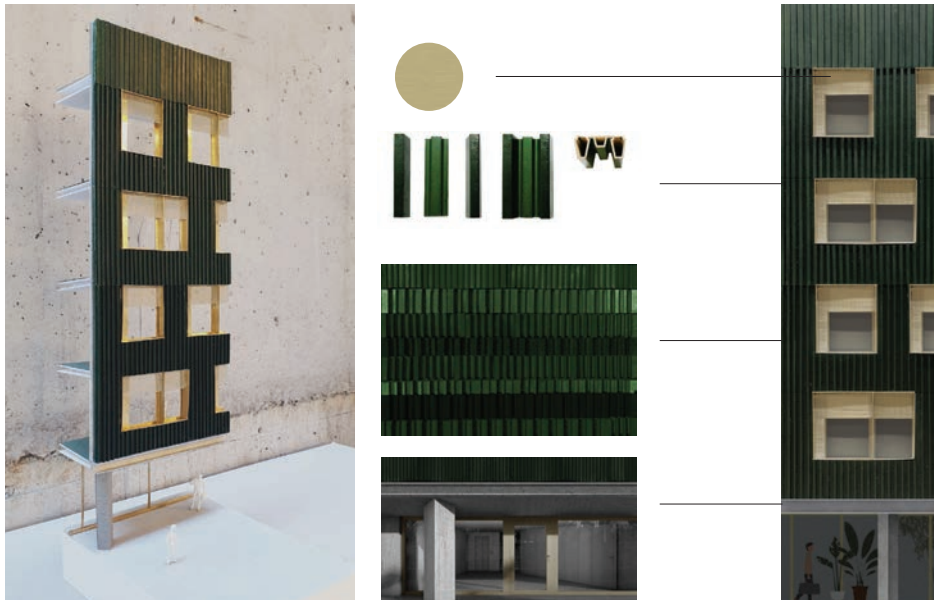
Er is gestreefd naar een maximale onafhankelijkheid van de elementen. De elementen en de verschillende functies zijn maximaal van elkaar gekoppeld, zodat elk materiaal meestal slechts één functie vervult en er geen combinatie is van bijvoorbeeld dragende en scheidende functie. Een voorbeeld

hiervan is de niet-dragende prefabgevel, opgebouwd uit scheidbare onderdelen die elk focussen op één functie en die demonteerbaar van elkaar en van het betonskelet zijn gemonteerd.

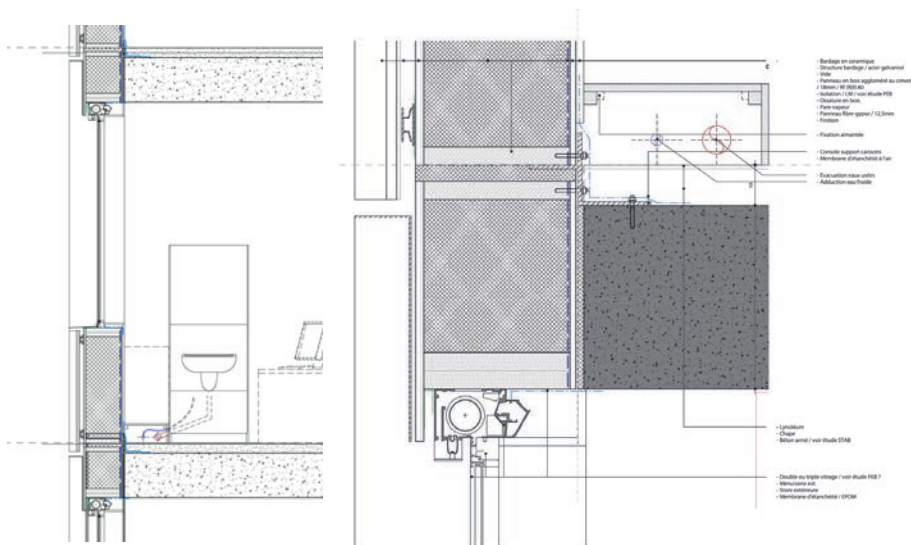
#### 4.4.2.5 Geometrie van verbindingen

De binnenwanden zullen frequent gedemonteerd moeten worden. De JUUNOO-wanden (zie hoger) hebben een open lineaire configuratie van de productranden, aangezien de afwerkingsplaten koud naast elkaar geplaatst worden en bevestigd zijn met industriële klittenband.

De gevelafwerking is voorzien in keramische gevelpannen, die zonder overlap geplaatst worden en droog bevestigd worden. Ook deze elementen hebben een open lineaire configuratie.



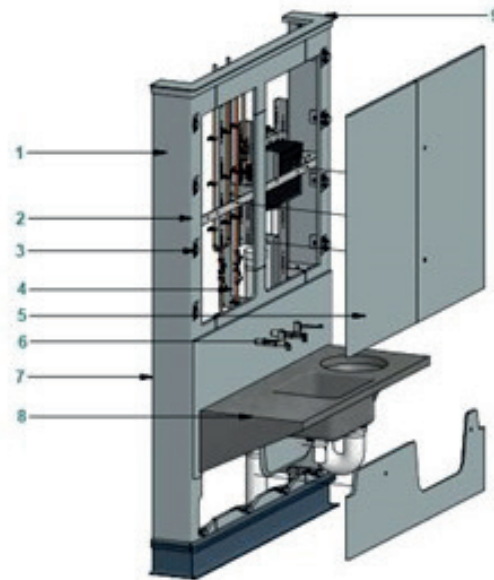
Afbeelding 165: De gevelafwerking bestaat uit geprefabriceerde houten cassette-elementen, afgewerkt met keramische tegels. Zowel op elementniveau als op componentniveau is ingezet op maximale demonteerbaarheid. Alle verbindingen worden geschroefd uitgevoerd. (Bron: archipelago architects/NU architectuurstudio)



Afbeelding 166: Detail van de gevel op element- en op componentniveau. (Bron: archipelago architects)

#### 4.4.2.6 Montagesequentie

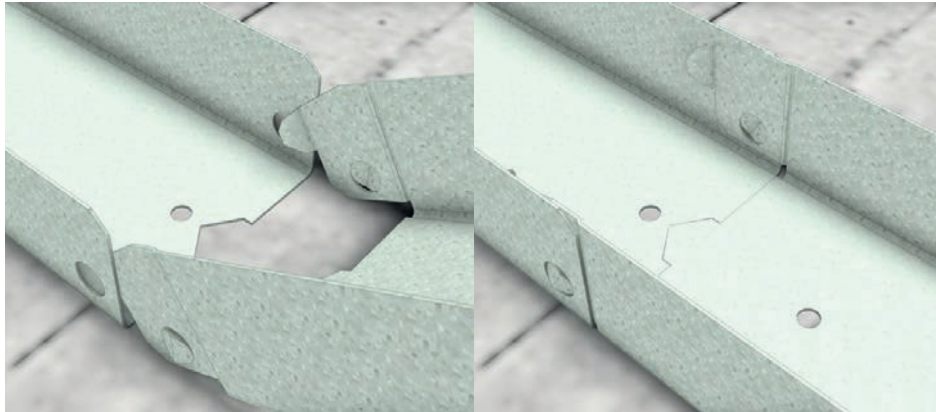
De meeste elementen zijn rechtstreeks met het basiselement verbonden en hebben een lage afhankelijkheid van andere elementen, waardoor er sprake is van een parallelle montage en demontage.



Afbeelding 167: Modulair en demonteerbaar sanitair systeem. Dergelijke systemen staan autonoom ten opzichte van de wanden en zijn volledig demonteerbaar. (Bron: IPS systems)



Afbeelding 168: Modulair en demonteerbaar binnenwandsysteem. Montage van de draagconstructie van de wand met in hoogte verstelbare standers. (Bron: JUUNOO)



Afbeelding 169: Modulair en demonteerbaar binnenwandsysteem. Droge klik-verbinding (Bron: JUUNOO)



Afbeelding 170: Modulair en demonteerbaar binnenwandsysteem. De panelen zijn bevestigd met klittenband en passen in elkaar (Bron: JUUNOO)

### TECHNISCHE FICHE

- Opdrachtgever: Iris Ziekenhuizen Zuid
- Opdrachtgever: Iris Ziekenhuizen Zuid
- Studiebureaus: BUUR, Ellyps, MATRIciel MC-carré, COSEP
- Hoofdaannemer: nog niet bekend
- Timing: aanbesteding 2022



02 775 75 75 · LEEFMILIEU.BRUSSELS



**Publicatiedatum:** juni 2023

**Verantwoordelijke uitgever:** Leefmilieu Brussel, Havenlaan 86C/3000 - 1000 Brussel

**Redactie:** Gebaseerd op het werk 'Design strategies for reversible buildings' van Dr. Elma Durmisevic. De inhoud van deze publicatie (inclusief teksten, ontwerp, handelsmerken, illustraties, logo's, afbeeldingen, gegevens en soortgelijke elementen) is beschermd door intellectuele eigendomsrechten. De intellectuele eigendomsrechten behoren toe aan Leefmilieu Brussel en/of andere rechthebbenden. Het gebruik van deze gids houdt geen overdracht van de intellectuele eigendomsrechten in. Leefmilieu Brussel kent aan de gebruikers een gratis, wereldwijd, niet-exclusief en levenslang recht toe om deze gids te gebruiken, te raadplegen, te downloaden, mee te delen aan het publiek en gratis te verspreiden, op voorwaarde dat de rechthebbenden en de bron van de inhoud worden vermeld. Alle afbeeldingen in dit boek zijn gereproduceerd met medeweten en toestemming van de betrokken artiesten, en de producent, uitgever of drukker aanvaarden geen verantwoordelijkheid voor enige inbreuk op de auteurs- of andere rechten die voortvloeit uit de inhoud van deze publicatie. Alles is in het werk gesteld om ervoor te zorgen dat de credits overeenkomen met de verstrekte informatie.

De verleende gebruikslicentie omvat niet het recht om deze publicatie aan te passen of te vertalen. Het is verboden om deze gids te wijzigen of afgeleide werken te creëren zonder de voorafgaande, uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van Leefmilieu Brussel. Dergelijke aanvragen kunnen worden gericht aan [batimentreversible@environnement.brussels](mailto:batimentreversible@environnement.brussels). De rechthebbenden kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor directe of indirecte schade die kan voortvloeien uit de raadpleging of het gebruik van informatie op deze site, of op externe sites waarnaar deze site verwijst. Het verlenen van rechten onder deze licentie kan daarom op geen enkele wijze de aansprakelijkheid van de rechthebbenden beïnvloeden. Elk gebruik van de site en de checklist is geheel voor eigen risico van de gebruiker. Tot slot kunnen de rechthebbenden niet verantwoordelijk worden gesteld voor problemen met de beschikbaarheid van informatie als gevolg van technische fouten of onderbrekingen.

**Coördinatie:** Caroline Henrotay et Molly Steinlage

**Herleescomité:** Nathalie Perrault, Ibram Nobels, Emilie Gobbo, Sophie Bronchart, Anne Paduart

**Foto's cover (in wijzerzin):** Patch22 in Amsterdam door Lemniskade, Foto: Luuk KRAMER ; Gare Maritime in Bruxelles door EXTENSA, Neutelings Riedijk Architecten, ALTSTADT, Bureau Bouwtechniek, Foto: Toon GROBET ; Gare Maritime in Brussel door EXTENSA, Neutelings Riedijk Architecten, ALTSTADT, Bureau Bouwtechniek, Foto: Jansen AG ; Het paleis van justitie van Amsterdam door cepezed, Foto : Leon VAN WOERKOM ; Circular Retrofit Lab in Brussel door KADERSTUDIO, Foto : Architectural Engineering, VUB.

Gare Maritime in Brussel door EXTENSA, Neutelings Riedijk Architecten, ALTSTADT, Bureau Bouwtechniek, Foto: Toon GROBET ; Tila Housing Block in Helsinki door Talli Architecture & Design, Architect : Pia ILONEN, Foto : Stefan BREMER ; Tila Housing Block in Helsinki door Talli Architecture & Design, Architect : Pia ILONEN, Foto: Stefan BREMER ; Circular Retrofit Lab in Brussel door KADERSTUDIO, Foto : Architectural Engineering, VUB.

Fig 4: p.8 VMRG; Fig 8, p.13 gettyimages; Fig 17: p.19 Stefan BREMER; Fig 19: p.20 Annick VERMINDEN; Fig 21 & 22: p.21 Luuk KRAMER; Fig 29: p.26 Architectural Engineering, VUB; Fig 34 : p.29 gettyimages; Fig 35: p.30 Systimber; Fig 39: p.32 PBS Holland; Fig 40: p.33 Crowl Marketing & Pro Builder Media; Fig 41: p.33 steelconstruction.info; Fig 42: p.34 Bouwwereld.nl; Fig 44: p.35 Jouke Post XXarchitecten; Fig 62: p.46 gettyimages; Fig 63: p.47 gettyimages; Fig 66: p.48 vloerbekleding.net; Fig 68: p.49 Elma DURMISEVIC; Fig 69: p.49 Elma DURMISEVIC; Fig 70: p.49 Elma DURMISEVIC; Fig 71: p.50 Caroline MORIZUR; Fig 72: p.50 Elma DURMISEVIC; Fig 73: p.50 l'Atelier de l'Avenir; Fig 74: p.50 Elma DURMISEVIC; Fig 75: p.50 Elma DURMISEVIC; Fig 76: p.51 Elma DURMISEVIC; Fig 77: p.51 Elma DURMISEVIC; Fig 78: p.51 FelixWood; Fig 79: p.51 Rotor; Fig 80: p.51 Elma DURMISEVIC; Fig 81: p.51 Elma DURMISEVIC; Fig 83: p.52 Leon VAN WOERKEM; Fig 87: p.59 Caroline MORIZUR; Fig 88: p.59 Caroline MORIZUR; Fig 89: p.60 Caroline MORIZUR; Fig 90: p.60 KARBON; Fig 91: p.61 Caroline MORIZUR; Fig 92: p.61 Caroline MORIZUR; Fig 93: p.62 Caroline MORIZUR; Fig 94: p.62 Caroline MORIZUR; Fig 95: p.63 Caroline MORIZUR; Fig 98: p.64 Caroline MORIZUR; Fig 99: p.65 Architectural Engineering, VUB; Fig 100: p.66 Architectural Engineering, VUB; Fig 101: p.67 Architectural Engineering, VUB; Fig 102: p.67 Juunoo, Geberit, Saint-Gobain, Architectural Engineering, VUB; Fig 103: p.68 Architectural Engineering, VUB; Fig 104: p.68 Architectural Engineering, VUB; Fig 105: p.69 Architectural Engineering, VUB; Fig 106: p.69 Architectural Engineering, VUB; Fig 107: p.70 Geberit; Fig 108: p.70 Architectural Engineering, VUB; Fig 109: p.71 Saint-Gobain, Architectural Engineering, VUB; Fig 110: p.71 Architectural Engineering, VUB; Fig 111: p.72 Geberit; Fig 112: p.72 Geberit, Architectural Engineering, VUB; Fig 113: p.72 JUUNOO; Fig 114: p.74 Jansen AG; Fig 115 & 116: p.74 Jansen AG; Fig 117: p.75 Jansen AG; Fig 118: p.75 Jansen AG; Fig 119: p.76 Blonkstaal; Fig 120: p.76 Blonkstaal; Fig 121: p.77 Blonkstaal; Fig 122: p.77 Jansen AG; Fig 123: p.78 Bureau Bouwtechniek; Fig 124: p.78 Tim FISHER; Fig 125: p.79 Toon GROBET; Fig 126: p.79 Toon GROBET; Fig 127: p.79 Lootens, Toon GROBET; Fig 128: p.80 Jansen AG; Fig 129: p.80 Jansen AG; Fig 130: p.81 Jansen AG; Fig 131: p.81 Jansen AG; Fig 132: p.82 Toon GROBET; Fig 133: p.82 Toon GROBET; Fig 134: p.83 Lootens, Toon GROBET; Fig 135: p.84 Tim FISHER; Fig 136: p.84 Jansen AG; Fig 137: p.84 Jansen AG; Fig 138: p.84 Jansen AG; Fig 139: p.85 Jansen AG; Fig 140: p.86 archipelago architects; Fig 141: p.87 archipelago architects; Fig 142: p.87 archipelago architects; Fig 143: p.88 archipelago architects; Fig 144: p.88 archipelago architects; Fig 145: p.89 archipelago architects; Fig 146: p.89 archipelago architects; Fig 147: p.90 archipelago architects; Fig 148: p.90 archipelago architects; Fig 149: p.91 archipelago architects; Fig 150: p.91 archipelago architects; Fig 151: p.92 archipelago architects; Fig 152: p.93 archipelago architects; Fig 153: p.93 archipelago architects; Fig 154: p.93 archipelago architects; Fig 155: p.94 archipelago architects; Fig 156: p.94 archipelago architects; Fig 157: p.95 archipelago architects; Fig 158: p.95 archipelago architects; Fig 159: p.95 archipelago architects; Fig 160: p.96 archipelago architects; Fig 162: p.97 archipelago architects; Fig 163: p.98 archipelago architects, Elma DURMISEVIC; Fig 164: p.98 archipelago architects, Elma DURMISEVIC; Fig 165: p.99 archipelago architects, NU architectuuratelier; Fig 166: p.99 archipelago architects; Fig 167: p.100 IPS systems; Fig 168: p.100 Juunoo; 169: p.101 Juunoo; 170: p.101 Juunoo.

p. 57: Patch22 in Amsterdam door Lemniskade, Foto: Luuk KRAMER; BRIC in Brussel door efp, Map Architecture, Karbon, Foto : Caroline MORIZUR; Gare Maritime in Brussel door EXTENSA, Neutelings Riedijk Architecten, ALTSTADT, Bureau Bouwtechniek, Foto: Toon GROBET; Circular Retrofit Lab in Brussel door KADERSTUDIO, Foto: Architectural Engineering, VUB; Het paleis van justitie van Amsterdam door cepezed, Foto: Leon VAN WOERKOM; BRIC in Brussel door efp, Map Architecture, KARBON, Foto: Caroline MORIZUR.

Leefmilieu Brussel: Fig 1: p.6, Fig 2: p.7, Fig 3: p.8, Fig 5: p.10, Fig 6: p.11, Fig 7: p.12, Fig 9: p.13, Fig 10: p.14, Fig 11: p.14, Fig 12: p.15, Fig 13: p.16, Fig 14: p.16, Fig 15: p.17, Fig 16: p.19, Fig 18: p.20, Fig 20: p.21, Fig 23: p.22, Fig 24: p.23, Fig 25: p.23, Fig 26: p.24, Fig 27: p.25, Fig 28: p.25, Fig 30: p.26, Fig 31: p.27, Fig 32: p.28, Fig 33: p.29, Fig 36: p.30, Fig 37: p.31, Fig 38: p.32, Fig 43: p.34, Fig 45: p.35, Fig 46: p.36, Fig 47: p.37, Fig 48: p.37, Fig 49: p.38, Fig 50: p.38, Fig 51: p.39, Fig 52: p.40, Fig 53: p.42, Fig 54: p.41, Fig 55: p.42, Fig 56: p.43, Fig 57: p.43, Fig 58: p.44, Fig 59: p.45, Fig 60: p.45, Fig 61: p.46, Fig 64: p.47, Fig 65: p.48, Fig 67: p.49, Fig 82: p.52, Fig 84: p.53, Fig 85: p.54, Fig 86: p.54, Fig 96: p.63, Fig 97: p.63, Fig 161: p.97.

Back Cover: Circular Retrofit Lab à Bruxelles par KADERSTUDIO, Photo: Architectural Engineering, VUB.

Bezoek onze website: [www.leefmilieu.brussels](http://www.leefmilieu.brussels)  
© Leefmilieu Brussel - september 2023