

ONDERZOEKS- & ONTWERPRAPPORT

CIRCULAIR BOUWEN

Een kantoorgebouw klaar voor de toekomst.



04
20

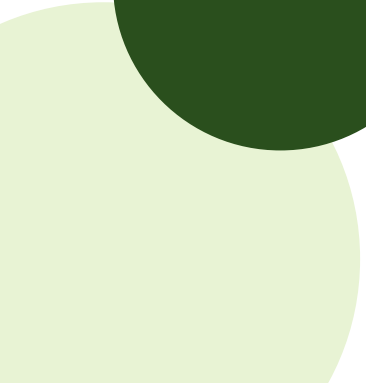
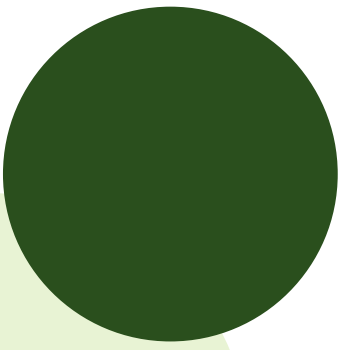


De grootste kansen voor het inpassen van onze gebouwen
in de circulaire economie liggen in het ontwerp-stadium.

Ontwerp zet de circulaire principes om in een vaste vorm die
een opvallende ervaring bewerkstelligt en de weg vooruit
kan laten zien aan onze maatschappij.

Maar dit niet alleen, circulair ontwerpen moet aannemers
helpen sneller te bouwen en architecten en ingenieurs
helpen om slimmere en flexibelere gebouwen te maken
voor haar gebruikers.

- *3XN Architects*



Onderzoeks- en ontwerprapport

Circulair Bouwen

Gegevens

Opdrachtgever

Opdrachtgever:	vector-i architecten
Contactpersoon:	Ben van der Meer
Adres:	Grote Markt 21, 9712 HR Groningen
E-mail:	ben@vector-i.nl

Begeleiding

Organisatie:	Hanzehogeschool Groningen
Opleiding:	Built Environment
Begeleider:	David Gerds
Bezoekadres:	van DoorenVeste Zernikeplein 11
E-mail:	d.e.gerds@pl.hanze.nl

Auteur

Naam:	Bernd de Groot
Studentnummer:	332213
Opleiding:	Built Environment
Major:	Bouwkunde
Adres:	Wielewaalplein 5, 9713 BP Groningen
E-mail:	bernd-de-groot@hotmail.com

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeeronderzoek 'Circulair Bouwen, een kantoorgebouw klaar voor de toekomst'. Dit onderzoeksrapport is voortgekomen uit het afstudeertraject van de opleiding Built Environment, major Bouwkunde aan de Hanze University of Applied Sciences te Groningen. Het afstuderen en de afstudeerstage vinden plaats bij een bedrijf: vector-i architecten. Bij vector-i heb ik voor een periode van 8 maanden kunnen werken aan dit onderzoek, een ontwerp en mijn eigen professionele ontwikkeling in de gebouwde omgeving.

Het onderwerp dat ik gekozen heb is voortgekomen uit mijn interesse en bewustwording voor duurzaam bouwen die zich gedurende de opleiding hebben gevormd. Dit begon bij zogenaamde 'buitenwerkplaatsen' waarbij de focus altijd op duurzaamheid was gericht. In de daaropvolgende jaren heeft dit zich ontwikkeld tot duurzaam en ecologisch tijdens de minoren: Architectural Design en Sustainable Building Transformation waar ik in aanraking kwam met passief bouwen en autarkie. Deze laatstgenoemde minor is voor mij tevens de introductie geweest tot het onderwerp voor mijn onderzoek: circulariteit. Voor mij was juist daarom ook vector-i architecten het beste bedrijf om een stage te lopen. Het bedrijf heeft het Manifest Circulaire Architectuur ondertekend en al een aantal circulaire projecten ontworpen en gebouwd.

Tijdens het werken aan dit onderzoek ben ik vanuit vector-i begeleid door Ben van der Meer en heb ik hulp ontvangen van mijn andere collega's. Ik wil hen allemaal bedanken voor de goede en leerzame stageplek en de hulp die ze mij hebben geboden. Vanuit de Hanze Hogeschool ben ik begeleid door David Gerds, graag wil ik hem bedanken voor de feedback en sturing die hij geboden heeft tijdens de afgelopen periode.

Daarnaast wil ik ook mijn medestudenten: Marijn Wals, Ella Boelens en Aaron Velinga met wie ik gedurende dit afstudeertraject in groepsverband heb samengewerkt bedanken voor hun feedback, hulp en gezelligheid.

Als laatste wens ik u veel leesplezier,

Bernd de Groot

Groningen, 19 mei 2020

Samenvatting

Het gebrek aan bewustzijn en het kostengericht denken in plaats van kansgericht denken over circulariteit zorgt ervoor dat (potentiële) opdrachtgevers projecten niet voortzetten bij vector-i. Daarnaast zorgt het niet circulair uitvoeren van een dergelijk project ervoor dat er te veel (nieuwe) grondstoffen worden gebruikt en de wereldwijde grondstoffenschaarste toeneemt.

Het doel van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan het oplossen van deze toenemende grondstoffenschaarste en het versnellen van de transitie naar een circulaire economie. Hier wordt aan bijgedragen door het vaststellen van de definities, meetbaarheid en methoden van circulair bouwen om dit vervolgens toe te passen in een bestaand of nieuw project van vector-i. Op deze manier wordt er een voorbeeld gegeven aan (potentiële) opdrachtgevers, ontwikkelaars, bouwers en ontwerpers over de noodzaak van circulariteit en het bijgedragen aan meer bewustwording en draagvlak.

Hiervoor is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe kan circulair bouwen worden toegepast op een bestaand schetsontwerp van een kantoorgebouw en vervolgens meetbaar worden vertaald naar een technische uitwerking op VO+ niveau?

De hoofdvraag is opgedeeld in de volgende deelvragen:

1. Wat is de definitie van circulair bouwen?
2. Welke methoden worden toegepast bij circulair bouwen en ontwerpen?
3. Hoe zitten bestaande circulaire (kantoor)gebouwen in elkaar?
4. Hoe ziet de technische uitwerking van een circulair kantoorgebouw er uit?
5. Hoe kan de mate van circulariteit worden gemeten?

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van desk- en fieldresearch om tot de benodigde theoretische kennis en methodieken te komen. Daarnaast zijn er met behulp van casestudies verschillende bestaande (deels) circulaire projecten onderzocht. Als laatste is deze theorie door middel van een ontwerpproces omgezet in een VO+ ontwerp van een circulair kantoorgebouw.

Resultaten

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de definitie van een circulaire economie. In tegenstelling tot onze huidige economie is er in een circulaire economie sprake van meerdere gesloten kringlopen en ligt de focus op waardebehoud en waardecreatie. De noodzaken voor een circulaire economie zijn: de toenemende grondstoffenschaarste, de (on)afhankelijkheid van andere landen en de invloed op het milieu. De Ellen MacArthur Foundation geeft de definitie van circulariteit zoals deze gebruikt zal worden voor het definiëren van circulair bouwen. Het model van de Ellen MacArthur Foundation bestaat uit twee kringlopen: een technische en een biologische waarin waardebehoud en waardecreatie centraal staan (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

In hoofdstuk 4 worden verschillende circulaire bouw- en ontwerpmethodieken beschreven. Dit zijn: Integrale Ontwerpbenadering waarbij vragen zijn geformuleerd die een ingenieur of architect zichzelf kan stellen tijdens het ontwerpproces. De Ladder van Lansink en het 10R-Model die iets zeggen over de hoogwaardigheid van hergebruik. Het

6s-Model dat iets zegt over de mate van losmaakbaarheid van een gebouw. De Circulaire Ontwerpstrategie die ervoor kan zorgen dat er meerdere functies in één gebouw mogelijk zijn. Het Adaptief Vermogen dat iets zegt over het vermogen van een gebouw om zich aan te passen aan de gebruiker en als laatste Trias Materia als methode om als laatste te gebruiken voor er gebruik gemaakt wordt van eindige grondstoffen.

In hoofdstuk 5 worden verschillende circulaire projecten beschreven en geanalyseerd. De belangrijkste bevindingen hieruit zijn:

- De toepassing van het 10R-model zoals beschreven in hoofdstuk 4 helpt om afwegingen te maken omtrent circulariteit tijdens iedere stap van het ontwerpproces;
- Door het goed toepassen van circulariteit kan tijd en geld worden bespaard op materiaal, energie en transport;
- Het ontwerpen van een ruimte zonder functionele beperkingen zorgt ervoor dat een grote variatie aan programma's mogelijk wordt;
- Het gebruik van CLT als bio-based bouw materiaal maakt het mogelijk om grote hoeveelheden CO₂ op te slaan in de constructie van een bouwwerk;
- De mogelijkheid om voor de begane grondvloer gebruik te maken van een uniek systeem voor het eenvoudig koppelen en ontkoppelen van kanaalplaatvloeren;
- Het gebruik van droge verbindingen tussen de kolommen en balken door middel van bouten bevordert de remontabiliteit van het bouwwerk;
- Het gebruik van modules die bestaan uit gelijke componenten. Hierdoor ontstaat uniformiteit en kostenbesparing.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 6 een ontwerpstrategie vastgelegd en vertaald naar een ontwerp van een circulair kantoorgebouw op VO+ niveau. Allereerst is er gebruik gemaakt van de verschillende lagen van 6S-model als structuur voor het ontwerp en ontwerpproces. Door dit te doen wordt de losmaakbaarheid van de verschillende lagen en het geheel gefaciliteerd. Daarnaast wordt in de afzonderlijke lagen ook gebruik gemaakt van andere methodieken zoals het 10R-model, Trias Materia en Adaptief Vermogen. In de eerste laag Site (locatie) wordt er voor gezorgd dat het kantoor gebouw volledige te remonteren is op een ander locatie binnen een straal van 100 km. In de tweede laag: Structure (constructie) wordt gebruik gemaakt van een volledige remontabele, bio-based houten constructie door zo zuinig mogelijk te construeren met hout, in de vorm van CLT. In de derde laag: Services, zijn de installaties op een zodanige manier opgenomen in de constructie dat deze eenvoudig verwijderd kunnen worden. In de vierde laag: Skin (gevel, huid) wordt gefocust op de losmaakbaarheid, er is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een vliesgevel die eenvoudig en snel te monteren en demonteren is. In de vijfde laag: Space Plan (indeling) wordt gebruikt gemaakt van verschillende modules die opgebouwd zijn uit steeds dezelfde componenten. In de zesde en laatste laag: Stuff (spullen) wordt gezorgd voor afvalscheiding ten behoeve pure stromen. Afvalstromen die vervuild raken met een grote verscheidenheid aan soorten afval zijn moeilijker te hergebruiken en belanden hierdoor veelal in de verbrandingsoven.

Discussie

Het onderzoek is opgedeeld in drie delen: een theoretisch onderzoek naar de definitie van een circulaire economie en circulair bouwen, een onderzoek naar beschikbare methodieken die gebaseerd zijn op deze theorieën en een aantal casestudies waarin de methodieken bewezen worden door daadwerkelijke toepassing ervan. Dit zorgt voor een geloofwaardig ontwerp op basis van de theorie, methodiek en casestudies uit het onderzoek. Er is namelijk gebruik gemaakt van theorie afkomstig van betrouwbare bronnen (overheden en organisaties). Deze theorie vormt de basis voor vele methodieken waarvan er enkele zijn gekozen voor het onderzoek. Ook voor deze methodieken geldt dat ze afkomstig zijn van betrouwbare bronnen. Daarnaast kunnen ze geverifieerd worden met de theorie van hoofdstuk 3. Als laatste laten de casestudies nog zien dat ook de methodieken bewezen zijn door toepassing hiervan in gerealiseerd projecten. Er zijn verschillende 'schools of thought' maar de theorieën en methodieken in dit onderzoek zijn verreweg de bekendste en het meest over geschreven.

Er is in het ontwerp vooral gebruik gemaakt van nieuwe (virgin) materialen afkomstig uit de biologische kringloop. Het gebruik van nieuwe materialen daarentegen is te wijten aan het beperkte aanbod van circulaire producten. Maar door het gebruik van virgin materials uit de biologische kringloop is er alsnog gezorgd voor een circulaire manier van bouwen vanwege een positieve milieudruk.

Installaties kunnen nog eenvoudiger worden uitgevoerd en wellicht meer passief. Dit is echter een zeer specialistisch onderwerp, waarmee in dit onderzoek in beperkte mate rekening is gehouden. Om de installaties volledig tot hun recht te laten komen dient er aanvullend onderzoek te worden gedaan door een bouwfysicus.

De constructie kan wellicht nog zuiniger worden geconstrueerd. Deze dient door een constructeur, die ervaren is met soortgelijke houten constructies, geoptimaliseerd te worden. Op deze manier kan de efficiëntie van de constructie en daarmee de R van Reduce gewaarborgd worden.

Als laatste is in dit onderzoek geen rekening gehouden met het verband tussen circulair bouwen en de kosten daarvan. Terwijl ook daar voordelen liggen. Uit een referentie komt naar voren dat door het goed toepassen van circulariteit, tijd en geld kan worden bespaard op materiaal, energie en transport. Daarnaast brengt circulair bouwen ook nog een bepaald comfort met zich mee. Gebouwen die gebouwd zijn volgens circulaire bio-based principes zoals het kantoor worden ervaren als gezond en comfortabel.

Woordenlijst

Adaptief vermogen

De eigenschap van een gebouw om op een duurzame en rendabele manier zijn functionaliteit te houden bij veranderende functionele behoeften en omstandigheden.

Afbreekbaar

Een voorwerp of element dat in een bepaalde tijd, onder bepaalde omstandigheden af kan breken in kleinere losse elementen.

Cascadering

Het gebruiken van een product voor een andere toepassing wanneer dit product daar niet meer toe in staat is.

Circulaire economie

Een economie waarbij de waarde van grondstofstromen wordt behouden zonder het ecosysteem, de leefomgeving en natuurlijke bronnen aan te tasten.

Circulariteit (mate van)

De mate van hoogwaardigheid waarmee producten, of materialen worden hergebruikt.

Demontabel

Het niet-destructief uit elkaar halen van bouwproduct en/of element.

Downcyclen

Het omzetten van gebruikte materialen en/of elementen naar nieuwe maar met mindere functionaliteit, kwaliteit of waarde.

Klimaatneutraal

Wanneer iets niet bijdraagt aan klimaatverandering.

Modulair Bouwen

Het bouwen met in de fabriek samengestelde elementen (modules). Deze kunnen eenvoudig en snel gemonteerd en gedemonteerd worden.

Primair materiaal

Een materiaal wat direct gemaakt is van grondstoffen die uit de aarde opgediept worden.

Secundair materiaal

Een materiaal afkomstig uit eerder gebruik of reststromen.

Terugwinnen	Het verzamelen van onderdelen, materialen of grondstoffen om deze te hergebruiken.
Upcyclen	Het omzetten van gebruikte materialen en/of elementen naar nieuwe maar met een grotere functionaliteit, kwaliteit of waarde.
Waardebehoud	Het hoogwaardig hergebruiken van objecten en/of grondstoffen. Dit wordt gedaan door een vergelijkbare of hoogwaardigere functionaliteit te verkrijgen bij hergebruik.

(Bron: Lexicon Circulair Bouwen, juli 2019)
bijlage 4.

Inhoud

1. Inleiding	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Probleemstelling	12
1.3 Doelstelling	12
1.4 Hoofdvraag	13
1.5 Deelvragen	13
2. Werkwijze en Methodiek	14
2.1 Deelproducten	14
2.2 Eindproduct	14
3. Circulaire economie	16
3.1 Lineair en circulair	16
3.2 Noodzaak voor een nieuw economisch model	18
3.3 De definitie van een circulaire economie	19
3.4 Ellen MacArthur	22
3.5 Conclusie	26
4. Circulair bouwen	27
4.1 Welke methoden worden toegepast bij circulair bouwen en ontwerpen?	28
4.2 Conclusie	37
5. Bestaande circulaire (kantoor)gebouwen	38
5.1 Concours 15 in Groningen	39
5.2 Hoofdkantoor Triodosbank in Zeist	41
5.3 Tijdelijke Rechtbank Amsterdam	42
5.4 Nest we Grow in Takinoue, Japan	45
5.5 Albina Yard in Portland, USA	47
5.6 Longfu Life Experience Center in Puyang, China	49
5.7 Party and Public Service Center in Shiyang, China	50
5.8 Conclusie	53
6. Ontwerpstrategie	55
6.1 Analyse	55
6.1.4 Materialisering	56
6.2 Eisen technische uitwerking	57
6.3 Ontwerpstrategie	58
7. Technische uitwerking	59
7.1 6S-model	59
7.2 Structure	60

7.3 Services	63
7.4 Skin.....	65
7.5 Space plan	66
7.6 Site & Stuff	68
7.7 Conclusie.....	69
8. Conclusie	70
9. Discussie	72
9.1 Betrouwbaarheid en draagvlak.....	72
9.2 Materiaalgebruik	73
9.3 Installaties.....	73
9.4 Constructie	73
10. Bronnenlijst.....	75
11. Bijlage	77

1. Inleiding

Tijdens de stageperiode is circulariteit het centrale thema geweest. Circulariteit is het oneindig hergebruiken van materialen, zodat een kringloop ontstaat, zonder deze af te stoten. Circulariteit is onderdeel van de circulaire economie, een economisch systeem dat bedoeld is om herbruikbaarheid van producten en grondstoffen te maximaliseren en waardevernietiging te minimaliseren. In dit systeem wordt bij elke schakel nagedacht over de waarde voor mens, natuur en economie. Het oneindig kunnen laten circuleren van grondstoffenstromen maakt de economie circulair. Dit is anders dan in het huidige lineaire systeem, waarbij grondstoffen worden omgezet in producten die aan het einde van hun levensduur worden vernietigd. Circulariteit is een relevant en actueel onderwerp met vraagstukken die in de hedendaagse maar ook de toekomstige samenleving terugkomen in de vorm van ontwerpen en bouwen, maar ook vele andere (productie)sectoren.

Vergeleken met de meeste bureaus loopt vector-i voorop. Het bureau heeft samen met enkele andere bureaus het Manifest Circulaire Architectuur van de Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus (BNA) ondertekend. Hiermee onderschrijft vector-i de vijf ontwerpprincipes van het manifest en de ambitie van de overheid om ervoor te zorgen dat de gebouwde omgeving in 2050 in Nederland volledig circulair is.

Ook sluit de thematiek aan bij één van de thema's die volgens de Hanzehogeschool spelen in Noord-Nederland: "Hoe zorgen we voor genoeg?" Dit thema past bij de ambitie om een bijdrage te leveren aan de energietransitie en het verduurzamen en circulair maken van onze leefomgeving door middel van architectuur.

1.1 Aanleiding

De wereldbevolking groeit sterk: de afgelopen 100 jaar is de wereldbevolking verviervoudigd. In 2050 zijn er naar verwachting zelfs ruim negen miljard mensen. De vraag naar grondstoffen neemt hierdoor snel toe, terwijl de beschikbare hoeveelheid afneemt. Daarnaast worden ook veel grondstoffen eenmalig gebruikt en daarna onnodig vernietigd. Om dit op te lossen is er een verandering nodig, een transitie naar een circulaire economie. Vector-i heeft de ambitie aan deze transitie bij te dragen en de gebouwde omgeving circulair te maken door middel van architectuur & ontwerp.

1.2 Probleemstelling

Echter, het gebrek aan bewustzijn en het kostengericht denken in plaats van kansgericht denken over circulariteit zorgt ervoor dat (potentiële) opdrachtgevers en ontwikkelaars projecten niet voortzetten bij vector-i. Daarnaast zorgt het niet circulair uitvoeren van een dergelijk project ervoor dat er te veel (nieuwe) grondstoffen worden gebruikt en de grondstoffenschaarste alleen maar toeneemt.

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan het oplossen van de toenemende grondstoffenschaarste en het versnellen van de transitie naar een circulaire economie. Hier wordt aan bijgedragen door het vaststellen van de definities, meetbaarheid en methoden van circulair bouwen om dit vervolgens toe te passen in een bestaand schetsontwerp (SO) van vector-i. Op deze manier wordt er een voorbeeld gegeven aan opdrachtgevers en ontwikkelaars over de noodzaak van circulariteit en het bijgedragen aan meer bewustwording en draagvlak.

1.4 Hoofdvraag

Aan de hand van bovenstaande aanleiding, probleem- en doelstelling is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe kan circulair bouwen worden toegepast op een bestaand schetsontwerp van een kantoorgebouw en vervolgens meetbaar worden vertaald naar een technische uitwerking op VO+ niveau?

1.5 Deelvragen

De deelvragen die hierbij geformuleerd zijn luiden als volgt:

- Wat is de definitie van circulair bouwen?
- Welke methoden worden toegepast bij circulair bouwen en ontwerpen?
- Hoe zitten bestaande circulaire (kantoor)gebouwen in elkaar?
- Hoe ziet de technische uitwerking van een circulair kantoorgebouw er uit?
- Hoe kan de mate van circulariteit worden gemeten?

2. Werkwijze en Methodiek

2.1 Deelproducten

Hoofdstuk 3: Definitie van circulariteit

Door middel van desk- en fieldresearch wordt onderzoek gedaan naar verschillende definities van circulaire economie, deze worden met elkaar vergeleken. Uit deze vergelijking komt een eenduidige definitie van circulariteit.

Hoofdstuk 4: Circulaire methoden die worden toegepast in het ontwerpproces.

Door middel van desk- en fieldresearch wordt onderzoek gedaan naar verschillende methoden die toegepast worden bij circulaire ontwerpprocessen.

Hoofdstuk 5: Casestudy/analyse van bestaande circulaire en niet circulaire ontwerpopgaven of projecten. Door middel van casestudies van bestaande circulaire projecten kan in kaart gebracht worden hoe deze werken. Daarnaast kan de vergelijking worden gelegd met de reeds onderzochte definitie, waarden en methoden.

Hoofdstuk 6: Technische uitwerking en detaillering van een circulaire variant van het project. Door middel van de opgedane kennis uit onderzoek, het bedrijf en de opleiding wordt een volwaardige bouwtechnische uitwerking gemaakt van het project gebaseerd op circulariteit.

Hoofdstuk 7: Het meetbaar maken van de mate van circulariteit in een ontwerp. Door middel van voorgaand onderzoek, desk- en fieldresearch en casestudies worden voorbeelden en methodieken gezocht waarmee de mate van circulariteit in het project meetbaar wordt.

2.2 Eindproduct

De deelproducten worden geanalyseerd en samengevoegd in een eindrapport dat antwoord geeft op de hoofdvraag:

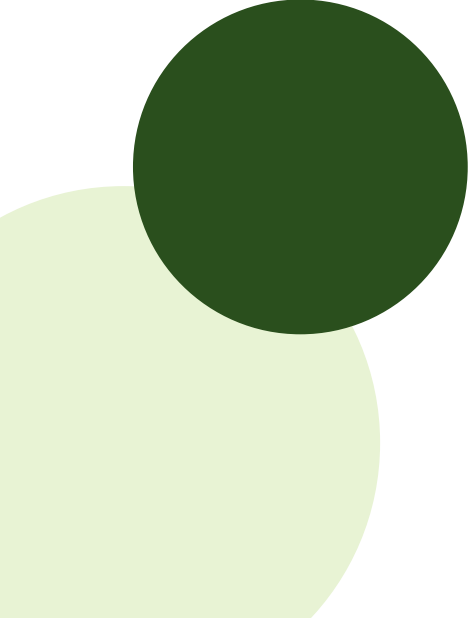
Hoe kan circulair bouwen worden toegepast op een bestaand schetsontwerp van een kantoorgebouw en vervolgens meetbaar worden vertaald naar een technische uitwerking op VO+ niveau?

Het eindproduct bestaat concreet uit de volgende onderdelen:

- Ontwerp in Archicad;
- Technische uitwerking;
 - Bouwkundige uitwerking/analyse van het ontwerp met daarin de gedefinieerde circulariteit verwerkt.
- Detaillering;
 - Bouwkundige details als onderdeel van de technische uitwerking met daarin de gedefinieerde circulariteit verwerkt.
- Circulariteit;
 - De mate van circulariteit weergegeven in een medium dat makkelijk leesbaar is voor (potentiële) opdrachtgevers.
- Rapportage.
 - Een rapportage als aanvulling op de tekeningen.



Onderzoek



3. Circulaire economie

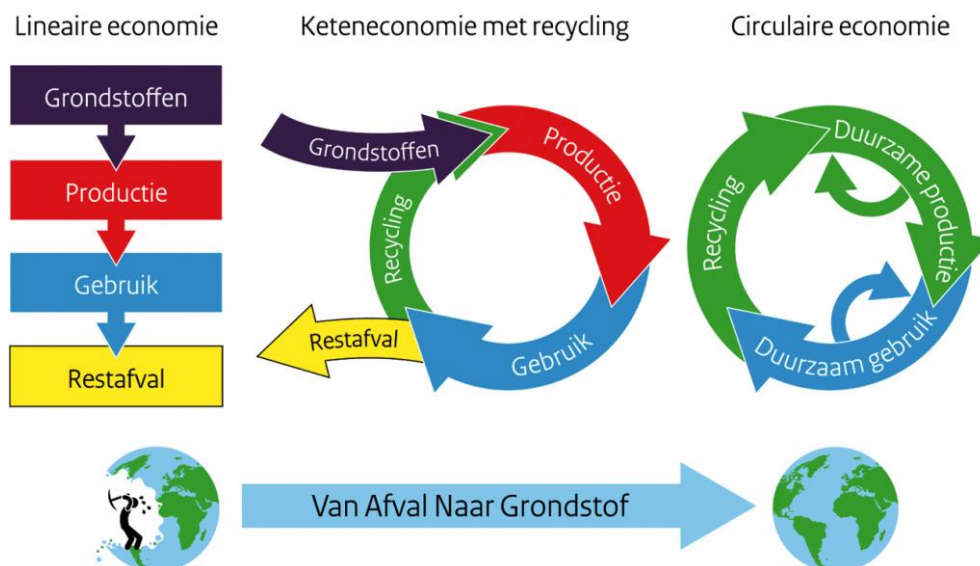
In dit hoofdstuk worden de verschillende fundamenteën van een circulaire economie uitgelegd. De uitleg van het begrip circulair bouwen begint bij het begrijpen van een circulaire economie. Binnen een circulaire economie vindt namelijk circulair bouwen plaats. Daarnaast vormen de principes van een circulaire economie de fundamenteën voor circulair bouwen. Door het geven van voorbeelden uit de bouwwereld wordt getracht een heldere uitleg te geven van deze fundamenteën.

3.1 Lineair en circulair

De huidige lineaire economie is fundamenteel anders dan een circulaire economie. Bij een lineaire economie worden grondstoffen gedolven, verwerkt tot producten, de producten worden gebruikt en na gebruik worden ze weggegooid. In een onderzoek van Ellen MacArthur Foundation (2013) wordt dit het "take-make-dispose" model genoemd, er is hier géén sprake van een kringloop.

In een circulaire economie daarentegen is er wel sprake van een kringloop, meerdere zelfs. Het sluiten van deze kringlopen vergt meer dan alleen recyclen zoals dat in een keteneconomie verloopt (zie figuur 1). Het verandert de manier waarop waarde wordt gecreëerd en behouden. In een circulaire economie wordt getracht waarde te creëren door te focussen op waardebehoud.

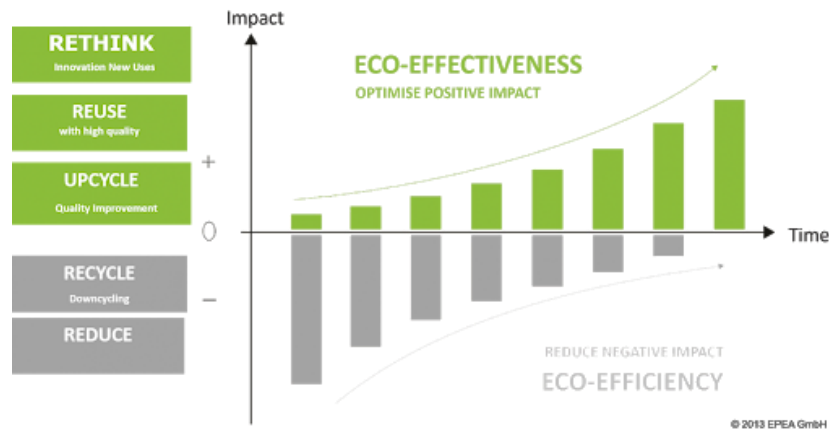
In paragraaf 3.4.1 wordt dieper ingegaan op de verschillende kringlopen en het belang van waardebehoud en waardecreatie.



Figuur 1: Drie soorten economieën. (Bron: Rijksoverheid)

3.1.1 Eco-efficiëntie en eco-effectiviteit

Volgens Het Groene Brein (z.d.) is ook de manier waarop er naar duurzaamheid wordt gekeken in een circulaire economie anders dan in een lineaire economie. In een lineaire economie wordt duurzaamheid gezien als eco-efficiëntie, dit is het minimaliseren van de ecologische impact voor dezelfde input. Door deze eco-efficiëntie wordt de termijn waarop het systeem (de aarde) overbelast raakt verlengd.



Figuur 2: Eco-efficiëntie versus eco-effectiviteit (Bron: EPEA GmbH)

In een circulaire economie wordt duurzaamheid gezocht door het verhogen van de eco-effectiviteit. Dit houdt in dat niet alleen de ecologische impact geminimaliseerd wordt, maar dat de ecologische, economische en zelfs de sociale impact positief wordt (zie figuur 2). Om eco-effectiviteit te kunnen invoeren en optimaliseren is het nodig om reststromen te gebruiken voor een functie die gelijk (functionele recycling) of hoger (upcycling) ligt dan de oorspronkelijke functie van het product of materiaal. Hierdoor blijft de waarde behouden of vermeerderd deze zelfs. In het laatste geval is er sprake van waardecreatie.

Bij eco-efficiëntie ligt dit anders. Eco-efficiëntie wordt getypeerd door het laagwaardig hergebruiken van producten of delen van producten (downcycling). Hierdoor vermindert juist de waarde van het product en wordt hergebruik van het materiaal bemoeilijkt. Het onderstaande voorbeeld illustreert door middel van een scenario uit de bouwwereld nogmaals het verschil tussen beide begrippen.

Eco-efficiëntie

Beton, gewonnen uit gesloopte constructies wordt vernalen tot korrels en verwerkt als verharding onder het asfalt van een wegdek. (downcycling)

Eco-effectiviteit

Beton wordt vernalen tot korrels die gebruikt worden in innovaties om opnieuw dezelfde (functionele recycling) of een sterkere (upcycling) muur te produceren.

3.2 Noodzaak voor een nieuw economisch model

Volgens de Rijksoverheid blijft de wereldbevolking sterk groeien: de afgelopen 100 jaar is de wereldbevolking verviervoudigd en in 2050 zijn er naar verwachting negen miljard mensen. Door deze toename neemt de vraag naar grondstoffen toe, terwijl de wereldwijde voorraad afneemt. Er is sprake van toenemende grondstoffenschaarste.

1. Toenemende grondstoffenschaarste

Door een economie circulair te maken bestaat er geen afval meer, maar enkel nog grondstoffen die steeds opnieuw gebruikt worden. Hiermee kan de toenemende grondstoffenschaarste worden tegengewerkt.

Naast de toename van de wereldbevolking noemt de Rijksoverheid nog een tweetal redenen om over te gaan op een circulaire economie:

2. (On)afhankelijkheid van andere landen

Veel grondstoffen komen momenteel uit het buitenland, magnesium komt bijvoorbeeld uit China. Door een circulaire economie is Nederland minder afhankelijk van deze landen. Grondstoffen, zoals magnesium, worden gewonnen uit producten die voorheen werden weggegooid of vernietigd.

3. Invloed op het milieu

Het winnen van brandstoffen voor auto's, treinen en vliegtuigen heeft veel negatieve invloed op het milieu en zorgt daarnaast voor CO₂-uitstoot. Een circulaire economie heeft minder negatieve invloed op het milieu en zorgt voor een lagere CO₂-uitstoot.

Niet alleen uit bovenstaande punten blijkt dat er noodzaak is voor een nieuw economisch model. Uit onderzoek van Ellen MacArthur Foundation (2013) is gebleken dat er nog meer redenen zijn om niet door te blijven gaan met de huidige economische samenleving. Dit zorgt namelijk voor:

- Economische verliezen en structurele vervuiling. In Europa vormt recycling en waste-based energy slechts 5% van het oorspronkelijk materiaal.
- Prijsrisico's. De fluctuaties in prijzen zorgen voor kwetsbaarheid bij bedrijven. Het afgelopen decennium gold dit vooral voor metalen en agrarische output.
- Trends op gebied van wetgeving. Vanuit Europa volgens steeds meer maatregelen op het gebied van duurzaamheid en circulariteit.
- Innovaties in technologie. Nieuwe uitvindingen maken het mogelijk om sneller en makkelijker circulariteit te implementeren. Een voorbeeld hiervan is een materialenbank met behulp van een BIM-model.

3.3 De definitie van een circulaire economie

Na het doen van deskresearch komen er definities van drie partijen aan het licht die alle drie op een verschillende manier gedefinieerd zijn. Echter, de definities hebben ook een bepaalde samenhang waaruit een gemeenschappelijke deler kan worden gedestilleerd.

CB'23

Volgens de organisatie Platform CB'23 (2013) is de circulaire economie een manier om de wereldwijd toenemende grondstoffenschaarste en productie van afval terug te dringen. Daarnaast draagt deze economie bij aan de integrale duurzaamheidsopgaven zoals: het tegengaan van klimaatverandering, biodiversiteitsverlies en algemene overbelasting van de aarde. Het halen van deze opgaven vergt een verandering van het huidige systeem: de lineaire economie.

Het Groene Brein en Circulair Nederland

Het Groene Brein (z.d.) in samenwerking met Circulair Nederland hebben een website opgezet waarop de volgende definitie van een circulaire economie wordt genoemd: een circulaire economie is een economisch systeem van gesloten kringlopen waarin grondstoffen, onderdelen en producten hun waarde zo min mogelijk verliezen, hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt en systeemdenken centraal staat.

Ellen MacArthur Foundation

Volgens de Ellen MacArthur Foundation (2017) kan de circulaire economie als volgt worden getypeerd: Het is een concept dat gekenmerkt wordt als een steeds herstellende economie die regeneratief is. Het voornaamste doel van deze economie is het ten allen tijde behouden van de waarde van producten, componenten en materialen verdeeld in een technische en biologische kringloop. Het wordt gezien als een continue positieve ontwikkelingscyclus die natuurlijk kapitaal versterkt en behoudt, het putten van bronnen optimaliseert en het risico van het systeem minimaliseert door het beheren van eindige bronnen en hernieuwbare stromen. Het concept werkt op iedere schaal. Het uiteindelijke doel is om de globale economische ontwikkeling los te koppelen van de consumptie van eindige bronnen.

Naast deze drie definities zijn er nog meer dan 100 andere te vinden in wetenschappelijke literatuur en vakbladen (Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017). Hierdoor is het lastig om een eenduidige definitie te formuleren. Wel is het mogelijk om de definities over twee hoofdaspecten te verdelen: **grondstofgebruik** of **systeemverandering**.

3.3.1 Grondstofgebruik

Definities die zich richten op grondstofgebruik zijn geënt op het efficiënter maken van de verschillende grondstoffen die in een economie circuleren. De verschillende definities volgen vaak de 3R-aanpak:

- Reduce (minimaliseren van grondstofgebruik)
- Re-use (maximaal hergebruik van producten en onderdelen)
- Recycle (hoogwaardig hergebruik van grondstoffen)

Het volgende voorbeeld uit de bouw illustreert de 3R-aanpak:

Architecten en ingenieurs die circulaire gebouwen ontwerpen en uitwerken zorgen ervoor dat er minder nieuwe bouwproducten of -componenten worden geproduceerd. Dit vermindert het grondstofgebruik (reduce). Als gebouwen leeg komen te staan, of gesloopt dienen te worden, dan kunnen de componenten van het gebouw (deels) gebruikt worden in andere te bouwen werken (reuse). Als de componenten van het gebouw niet meer hergebruikt kunnen worden dan kan het metaal en kunststof van de componenten omgesmolten worden, zodat er weer nieuwe van gemaakt kunnen worden (recycle).

3.3.2 Systeemverandering

De definities die zich richten op systeemverandering zijn in tegenstelling tot grondstofgebruik meer geënt op waardecreatie. Volgens Korhonen, Nuur, Feldmann & Birkie (2018) wordt in de verschillende definities vaak gesproken over drie elementen:

- Gesloten kringlopen
- Hernieuwbare energie
- Systeemdenken

Gesloten kringlopen

In een circulaire economie zijn alle materiaalkringlopen gesloten. Afval bestaat niet, elke reststroom kan gebruikt worden voor het maken van nieuwe producten. Toxische stoffen worden geëlimineerd en reststromen gescheiden in twee kringlopen: een biologische en een technologische. De producenten nemen de producten na gebruik terug en vinden hier een nieuw gebruik voor. In dit systeem is het niet alleen belangrijk dat materialen op de juiste manier gerecycled worden, maar juist dat producten, onderdelen en grondstoffen in deze kringlopen van een dusdanig hoogwaardige kwaliteit blijven. Er dient waarde te worden gecreëerd.

Hernieuwbare energie

Het circulaire systeem wordt gevoed door hernieuwbare energiebronnen, deze energie moet zo lang mogelijk meegaan in de kringloop. Omdat het recyclen van energie niet mogelijk is, wordt er niet gesproken van energiekringlopen maar van 'cascade type energy flows'. Dit is het ruimtelijk achter elkaar schakelen van energiebehoevende functies. Een voorbeeld hiervan is de coproductie van warmte en energie bij stadsverwarming. De hernieuwbare energie wordt eerst door de industrie gebruikt om bijvoorbeeld elektriciteit te produceren, vervolgens worden huishoudens in hun warmtebehoefte voorzien door middel van restwarmte die vrijkomt bij het productieproces.

Systeemdenken

Naast gesloten kringlopen en hernieuwbare energie vraagt de circulaire economie om systeemdenken. Iedere actor in de economie is verbonden met andere actoren. Dit vormt samen een netwerk waarin acties van een speler invloed hebben op andere spelers. Om rekening te houden met dit effect moeten de consequenties van acties op korte en lange termijn in kaart worden gebracht, evenals de impact van de gehele keten (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

3.4 Ellen MacArthur

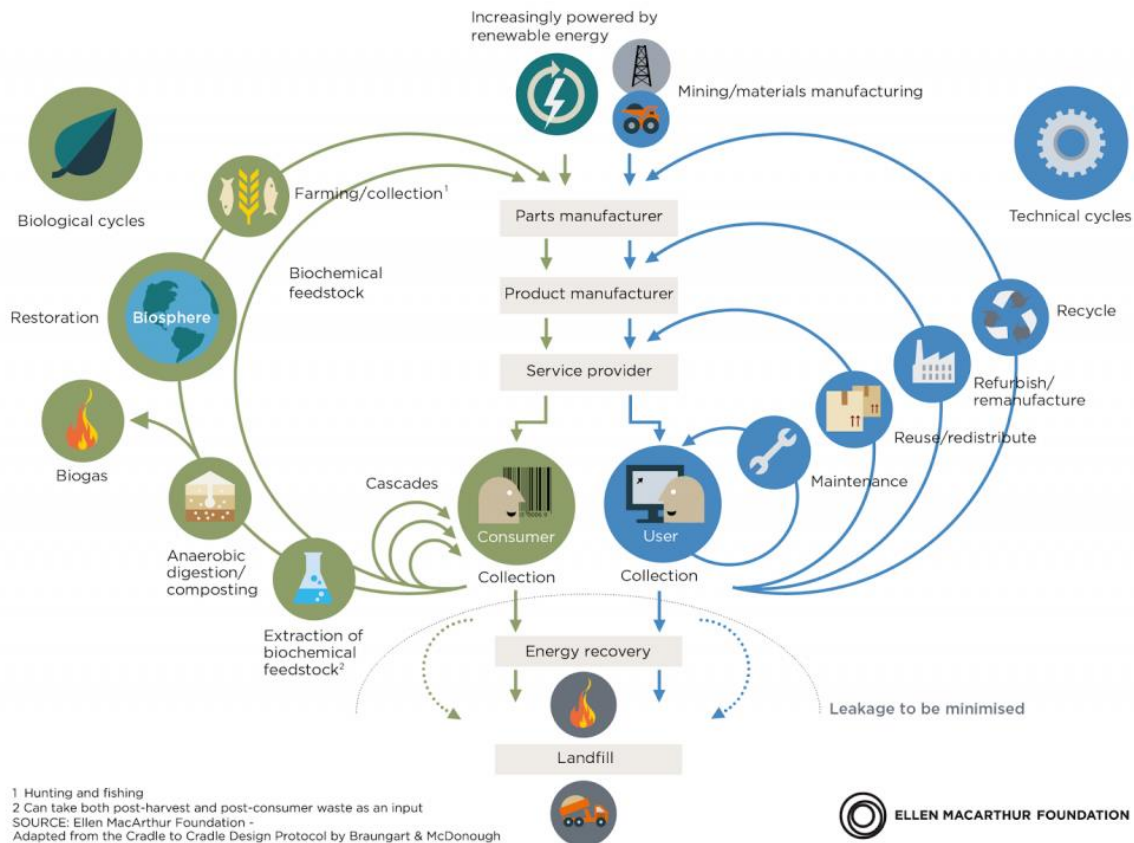
De definitie die gekozen is als fundament voor de verdere uitwerking van dit onderzoek is die van de Ellen MacArthur Foundation. Er is gekozen voor deze definitie omdat deze allereerst de meest uitgebreide is en overlap kent met vele andere definities. Het richt zich namelijk op grondstofgebruik én op systeemverandering.

De circulaire economie rust volgens de Ellen MacArthur Foundation op de volgende 3 principes (Ellen MacArthur Foundation, 2015):

- Het behouden en versterken van natuurlijk kapitaal door het beheren van eindige bronnen en het balanceren van flows van hernieuwbare bronnen.
- Het optimaliseren van bronnen door het circuleren van producten, componenten en materialen met behoud van een zo hoog mogelijke waarde in zowel de technische als de biologische kringloop.
- Het bevorderen van de effectiviteit van het systeem en het 'uit-ontwerpen' van negatieve externe effecten.

3.4.1 Twee kringlopen

In een circulaire economie circuleren materialen, elementen en grondstoffen volgens de Ellen MacArthur Foundation in twee verschillende kringlopen: een technische kringloop en een biologische kringloop (figuur 3).



Figuur 3: Butterfly-diagram (Bron: Ellen MacArthur Foundation)

3.4.2 Technische kringloop

In de technische kringloop circuleren materialen zoals fossiele brandstoffen, kunststoffen of metalen. Deze eindige materialen zijn beperkt beschikbaar en kunnen niet makkelijk opnieuw worden gecreëerd. In de technische kringloop is het van belang dat de voorraden van deze materialen goed beheerd worden. In de circulaire economie worden deze materialen enkel nog gebruikt, in plaats van te worden geconsumeerd. Na het gebruik worden materialen weer met hun oorspronkelijke waarde teruggewonnen uit reststromen, de waarde blijft dus bestaan.

Binnen de kringloop zijn er verschillende niveaus van hergebruik die in het butterfly-diagram van de Ellen MacArthur Foundation aan de rechterkant zijn weergegeven (figuur 3). Er geldt de volgende vuistregel, hoe kleiner de cirkel des te gewenster, omdat deze minder bewerkingsstappen, arbeid, energie en nieuw materiaal kosten om van oorspronkelijke waarde te zijn.

De verschillende vormen van hergebruik in de technische kringloop zijn:

- **Maintenance & Repair**
 - Bijvoorbeeld het onderhouden en repareren van bestaande kozijnen zodat deze zo lang mogelijk meegaan.
- **Reuse/Redistribute**
 - Bijvoorbeeld het direct hergebruiken van kozijnen in een ander gebouw al dan niet via een tussenpersoon, bijv. een circulaire sloper.
- **Refurbish/Remanufacture**
 - Bijvoorbeeld het bewerken van kozijnen voor het ontwerpen en bouwen van een belcel in een kantoorruimte.
- **Recycle**
 - Bijvoorbeeld het ontmantelen van de kozijnen in grondstoffen (kunststof, staal of aluminium) om deze vervolgens opnieuw te gebruiken.

3.4.3 Biologische kringloop

In de biologische kringloop, weergegeven aan de linkerkant van het butterfly-diagram (figuur 3), kunnen zogenaamde bio-based bouwmaterialen zoals hout, isolatie van houtvezel of vlas maar ook voedsel en water worden ondergebracht. Door middel van biologische processen worden deze materialen steeds opnieuw opgenomen in het ecosysteem. Ook kan het ecosysteem deze materialen opnieuw genereren. In de biologische kringloop is het daarom van belang het ecosysteem zo goed mogelijk haar werk te laten doen. Consumptie in deze kringloop is toegestaan zolang de stromen niet besmet raken met toxische stoffen en ecosystemen niet overbelast raken. Alleen op deze manier kunnen hernieuwbare grondstoffen opnieuw worden gegenereerd.

Een goed voorbeeld hiervan is de hutoogst ten behoeve van de bouw. Het hout wordt gewonnen uit duurzame bossen waar meer hout groeit dan wordt gekapt, hierdoor raakt het ecosysteem niet overbelast en ontstaat er een constante stroom van hernieuwbare grondstoffen.

3.4.4 Waardecreatie

Het voornaamste doel van de circulaire economie en circulair bouwen is het te allen tijde behouden van de waarde van producten, componenten en materialen (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Hieronder worden de verschillende kringlopen uitgelegd.

- De binnenste cirkel (figuur 3)
 - Dit refereert naar het idee: hoe kleiner de cirkel des te meer waarde er behouden blijft. Het repareren en onderhouden van bijvoorbeeld een houten vloer zorgt ervoor dat deze de meeste waarde behoudt. Als dit niet mogelijk is dan kan de vloer hergebruikt of gerepareerd worden. Bij deze drie methoden wordt meer waarde behouden dan bij het gewoonweg recyclen van de verschillende materialen. De binnenste cirkels behouden de integriteit, complexiteit, arbeid en energie en daarmee de waarde die er bij het begin in is gestopt.
- Langere cirkels
 - Voor beide cycli geldt dat de levensduur van een product zo lang mogelijk moet zijn. De levensduur van een product kan op twee manieren worden verlengd:
 - Ervoor zorgen dat een product langer gebruikt wordt. Hierdoor wordt het proces van hergebruik vertraagd en energie bespaard.
 - Ervoor zorgen dat er meerdere opeenvolgende cycli van direct hergebruik worden doorlopen. Dit kan door er voor te zorgen dat uitwisselbaarheid en onderhoud van producten wordt gefaciliteerd. Hierdoor gaan producten lang mee zonder dat herstelling nodig is.
- Cascaderen
 - Binnen de biologische kringloop vindt hergebruik plaats in cascades. Cascaderen is het hergebruiken van een product, of een deel van een product, in een andere toepassing. Wanneer een product niet meer in staat is om de initiële functie te vervullen wordt het doorgegeven om opnieuw te worden gebruikt. Tijdens het cascaderen vermindert de kwaliteit van het materiaal en wordt energie verbruikt.

Cascaderen verschilt van hergebruik of recycling op gebied van verandering en de mate van bewerking van het product. Het volgende voorbeeld illustreert het cascaderen van een katoenen T-shirt: Het T-shirt wordt geproduceerd en verkocht in een winkel. Bij hergebruik wordt een gedragen T-shirt verkocht in een tweedehandswinkel. Bij recyclen wordt het T-shirt versnipperd tot katoenvezels die vervolgens worden omgesponnen tot nieuwe garen. Cascaderen is het gebruiken van oude T-shirts als isolatie.
- Pure stromen
 - Als laatste is het faciliteren van pure stromen belangrijk als het gaat om circulariteit. Als de verschillende stromen niet vervuild zijn met andere materialen is het makkelijker om deze te verzamelen en te hergebruiken. Afvalscheiding is een goed voorbeeld van het faciliteren van pure stromen. Dit maakt hergebruik makkelijker. Daarnaast zorgen pure stromen voor een langere levensduur van producten.

3.5 Conclusie

Er kan worden geconcludeerd dat in een lineaire economie grondstoffen worden gedolven, verwerkt tot producten, de producten worden gebruikt en na gebruik worden ze weggegooid. In een variant hierop: de keten economie wordt nog voor een deel gerecycled. In beide gevallen is géén sprake van een gesloten kringloop. In een circulaire economie daarentegen is sprake van meerdere gesloten kringlopen en ligt de focus op waardebehoud en waardecreatie.

Eco-efficiëntie is het minimaliseren van de ecologische impact voor dezelfde input. Eco-effectiviteit houdt niet in dat de ecologische impact geminimaliseerd wordt, maar dat de ecologische, economische en zelfs de sociale impact positief wordt.

Daarnaast worden drie noodzaken benoemd voor een circulaire economie: de toenemende grondstoffenschaarste en afhankelijkheid van andere landen in het huidige economische model. De negatieve invloed op het milieu, welke in een circulaire economie zoveel mogelijk beperkt wordt.

Vervolgens kan geconcludeerd worden dat er veel verschillende definities van circulariteit bestaan. Hierdoor is het lastig om een eenduidige definitie te vormen. Wel zijn de definities te verdelen over twee hoofdaspecten: grondstoffenschaarste en systeemverandering.

Als laatste geeft de Ellen MacArthur Foundation de definitie van circulariteit zoals deze gebruikt zal worden voor het definiëren van circulair bouwen. Omdat deze de grootste overlap kent met de twee hoofdaspecten: grondstoffenschaarste en systeemverandering. Het model van de Ellen MacArthur Foundation bestaat uit twee kringlopen: een technische en een biologische waarin waardebehoud en waardecreatie centraal staan.

Als laatste zijn in de onderstaande lijst, voor de geïnteresseerde, stromingen opgenomen die gerelateerd zijn aan de circulaire economie:

- The functional service economy (performance economy), **Walter Stahel**
- The 'cradle to cradle' philosophy, **William McDonough & Michael Braungart**
- Biomimicry, **Janine Benyus**
- The industrial ecology, **Reid Lifset & Paul Hawken**
- The blue economy, **Gunter Pauli**
- The Donut Economy, **Kate Raworth**
- Regenerative design, **John T. Lyle**

4. Circulair bouwen

In dit hoofdstuk worden de principes van de circulaire economie concreet vertaald naar de bouwwereld. In hoofdstuk 3 is steeds getracht door middel van voorbeelden uit de bouwwereld de begrippen rondom circulaire economie uit te leggen. Maar wat betekent circulariteit voor de bouw?

Circulair bouwen is het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch én ecologisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later (Platform CB'23, 2019).

Deze definitie van circulair bouwen kent overeenkomsten met de definitie van een circulaire economie door de Ellen MacArthur Foundation:

- Het behouden en versterken van natuurlijk kapitaal door het beheren van eindige bronnen en het balanceren van flows van hernieuwbare bronnen.
- Het optimaliseren van bronnen door het circuleren van producten, componenten en materialen met behoud van een zo hoog mogelijke waarde in zowel de technische als de biologische kringloop.
- Het bevorderen van de effectiviteit van het systeem en het 'uit-ontwerpen' van negatieve externe effecten.

De definitie van CB'23 richt zich vooral op het gebruik van natuurlijke, ecologische bronnen. De Ellen MacArthur Foundation doet dat ook in de vorm van een biologische kringloop, maar biedt daarnaast ook nog de mogelijkheid om gebruik te maken van materialen uit de technische kringloop. Daarnaast mist de definitie van CB'23 ook het behoud van waarde. Er is sprake van hergebruik, maar er wordt niets gezegd over de hoogwaardigheid hiervan. Bij de Ellen MacArthur Foundation wordt dit wel nadrukkelijk genoemd.

Voor de bouwsector betekent dit concreet: meer en hoogwaardiger hergebruik van materialen, producten en elementen uit zowel biologische als de technologische kringlopen, en daarnaast ook een andere aanpak in produceren, uitvragen, ontwerpen en uitvoeren van bouwprojecten door zoveel mogelijk waarde te behouden en negatieve externe effecten 'uit te ontwerpen'.

De definitie die CB'23 geeft voor een circulair bouwwerk is een bouwwerk dat:

- Is ontworpen en uitgevoerd conform circulaire ontwerpmethodieken;
- Is gerealiseerd met circulaire producten, elementen en materialen.

4.1 Circulaire methoden

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd welke methoden er beschikbaar zijn voor het circulair ontwerpen en bouwen van gebouwen. Het framework voor circulair bouwen (CB'23) heeft een aantal methoden verzameld die in de loop van de jaren door verschillende bedrijven en instanties zijn ontwikkeld. Daarnaast wordt er een stuk over flexibiliteit toegevoegd wat voortkomt uit een eerder uitgevoerd onderzoek door de auteur. Wat opvalt zijn de verschillende overeenkomsten met de principes die genoemd zijn in hoofdstuk 3.

4.1.1 Integrale ontwerpbenadering

Volgens de organisatie CB'23 is een integrale ontwerpbenadering nodig bij circulair bouwen. Belangrijk daarbij is het volgende stappenplan: starten met **preventie**, vervolgens kijken naar **waardebehoud** en dan kijken naar **waardecreatie**. Deze begrippen zijn ook terug te vinden in de definitie van een circulaire economie door de Ellen MacArthur Foundation (zie hoofdstuk 3, blz. 19).

Daarbij geeft CB'23 nog een aantal vragen die een ontwerper zich kan stellen tijdens het ontwerpproces:

- Hoe verleng ik de levensduur van een gebouw? (Waardebehoud)
- Hoe reduceer ik de totale hoeveelheid materiaal? (Preventie)
- Is dit de juiste keuze (qua materiaal) of heeft een nieuw materiaal een lagere impact? (Preventie)
- Hoe combineer ik logistiek voor een zo laag mogelijke CO₂-uitstoot? (Preventie)
- Hoe reduceer ik niet-hernieuwbare virgin input? (Preventie)
- Hoe ontwerp ik een gebouw met maximaal hergebruik? (Waardecreatie)
- Hoe kies ik voor materialen met maximale recyclebaarheid? (Waardecreatie)
- Hoe realiseer ik een zo laag mogelijke afvalstroom tijdens het bouwproces? (Preventie)
- Hoe recycle ik deze stromen? (Waardebehoud, waardecreatie)

Deze vragen kunnen allemaal gebruikt worden tijdens het ontwikkelen van het VO+ van een circulair kantoorgebouw.

1. Preventie

2. Waardebehoud

3. Waardecreatie

Stappenplan integrale ontwerpbenadering

4.1.2 Ladder van Lansink

Deze werkwijze, in 1979 bedacht door de Nederlandse politicus Ad Lansink, is erop gericht om prioriteit te geven aan de meest milieuvriendelijke verwerkingswijzen. De ladder (figuur 4) is de basis geweest voor hoogwaardig hergebruik in Nederland. Tegenwoordig wordt de ladder nog vaak toegepast bij de beoordeling van circulariteit, hierin komen aspecten als preventie en recycling terug. De lagere niveaus: energie, verbranden en storten zijn in een circulaire economie niet meer gewenst.



Figuur 4: Ladder van Lansink

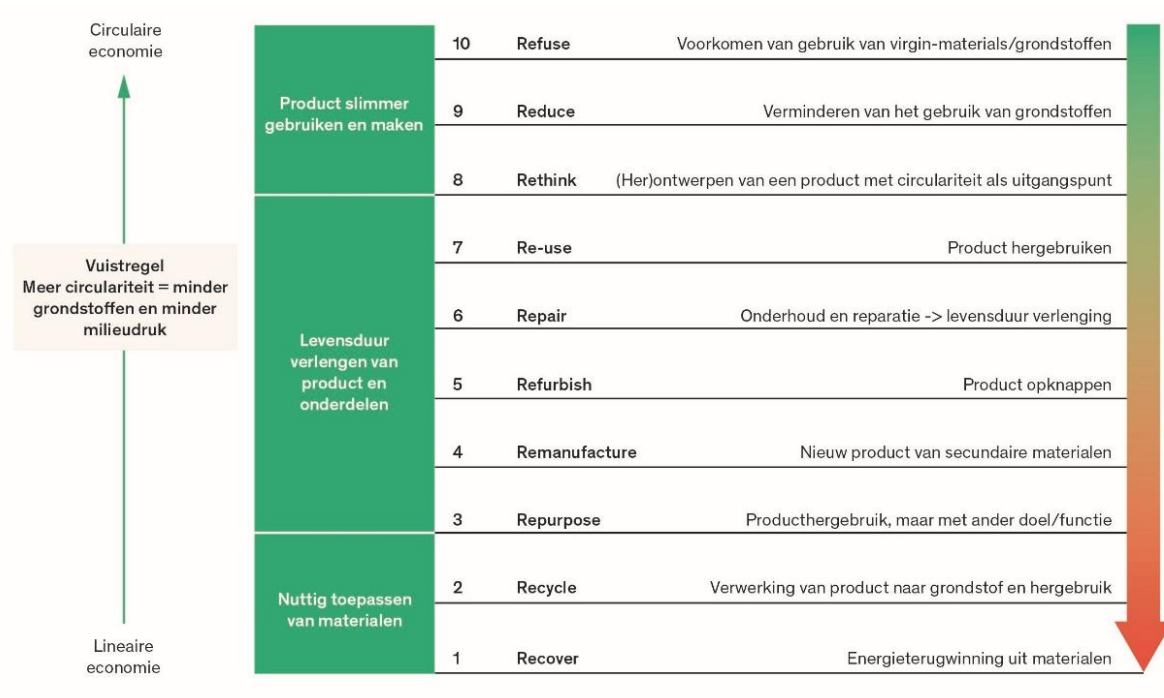
Deze ladder is minder geschikt om toe te passen bij het maken van het VO+ omdat andere ladders uitgebreider en specifiekere zijn.

4.1.3 10R-model

Een model dat verdere verdieping geeft over de hoogwaardigheid van hergebruik is het 10R-model van het Utrecht Sustainability Institute (figuur 5). Het model bestaat uit meerdere aspecten en van deze aspecten zijn verbranden zonder energierugwinning en storten geen onderdeel. Deze horen namelijk bij een lineaire economie. Het voordeel van dit model ten opzichte van de Ladder van Lansink is dat het 10R-model uitgebreider en specifiek is. Ook sluit het 10R-model beter aan op de principes van de Ellen Mac Arthur Foundation die genoemd zijn in hoofdstuk 3. De begrippen waardebehoud en waardecreatie zijn bijvoorbeeld terug te vinden in het model. De nummers 10, 9 en 8 hebben te maken met waardecreatie (upcycling). De nummers 7, 8, 6, 5, 4 en 3 met waardebehoud (functionele recycling). Bij de nummers 2 en 1 is er sprake van downcycling, die moet tijdens het ontwikkelen van het VO+ zoveel mogelijk vermeden worden.

Zoals te zien is in figuur 5 zijn de R'en gerangschikt over een verticale as met de nummers 1 tot en met 10, waarbij tien de meest circulaire optie is en 1 de minst circulaire. Er geldt de volgende vuistregel: meer circulariteit is minder grondstoffen en minder milieudruk. Er wordt voor de verduidelijking bij elk niveau een voorbeeld gegeven.

- **10. Refuse** – het voorkomen van gebruik van nieuwe materialen, bijvoorbeeld het direct hergebruiken van een betonnen constructie of een oude loods in plaats van sloop nieuwbouw;
- **9. Reduce** – verminderen van gebruik van grondstoffen, bijvoorbeeld door zuinig om te gaan met materialen in een ontwerp;
- **8. Rethink** – het herontwerpen van een product, afgeschreven deuren en of kozijnen ontwerpen tot een ander product, bijvoorbeeld een belcel (Afbeelding 1, blz. 35);
- **7. Re-use** – hergebruiken, bijvoorbeeld het direct hergebruiken van bestaande deuren of kozijnen;
- **6. Repair** – onderhoud en reparatie, bijvoorbeeld het goed blijven onderhouden van deuren en kozijnen zodat de levensduur zo veel mogelijk wordt verlengd;
- **5. Refurbish** – product opknappen, bijvoorbeeld het opnieuw laten bekleden van stoelen of een bank. Hierbij worden nieuwe en bestaande materialen gecombineerd;
- **4. Remanufacture** – nieuw product van secundaire materialen, bijvoorbeeld spijkerbroeken die worden vermaakt tot vezels die worden toegepast in isolatiemateriaal;
- **3. Repurpose** – producthergebruik met ander doel/functie, door middel van productieprocessen worden onderdelen vernieuwd en vervangen;
- **2. Recycle** – het verwerken van product naar grondstof voor hergebruik, bijvoorbeeld het omsmelten van afgeschreven aluminium kozijnen om hier vervolgens nieuwe van te maken;
- **1. Recover** – energierugwinning uit materialen, bijvoorbeeld het opwekken van energie uit de verbranding van restafval.



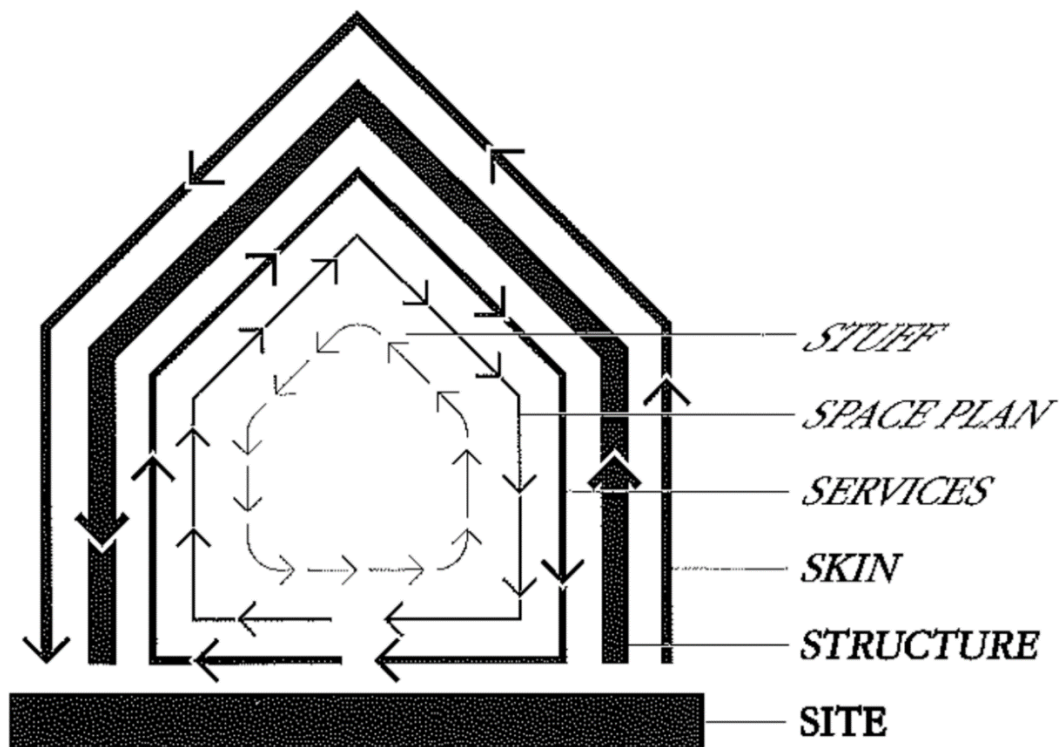
Figuur 5: 10R-model (Bron: technieknederland.nl)

4.1.4 6S-model

Een belangrijk principe bij circulair bouwen is de realisatie dat een gebouw uit meerdere lagen bestaat die ieder een eigen functie en levensduur hebben. Deze 'shearing layers', zoals deze genoemd worden (zie figuur 6), dienen als basis voor een circulaire ontwerpstrategie. De lagen helpen ontwerpers en ingenieurs om waarde te bepalen en te behouden. Het model, ontwikkeld door Stewart Brand in 1994, bestaat uit de volgende lagen:

- **Stuff** (inrichting) Stuff, de spullen in het gebouw. Stoelen, bureau's, foto's, keukenapparatuur. Alle dingen die dagelijks tot maandelijks veranderen. Meubilair wordt niet voor niks mobilia genoemd in het Italiaans.
- **Space plan** (scheidingswanden binnen een gebouw) Space Plan wil zeggen: de indeling van het gebouw: muren, plafonds, vloeren of deuren. Voor sommige functies geldt dat de indeling eens per 3 jaar veranderd. De levensduur voor een woning is vaak langer, 30 jaar.
- **Services** (installaties) De installaties zoals ventilatiekanalen, bekabeling of bewegende onderdelen van een lift zijn de 'werkende' onderdelen van een gebouw. Deze onderdelen slijten of verouderen elke 7 tot 15 jaar. Veel gebouwen worden gesloopt als installaties verouderen en te diep ingebed zijn om los te kunnen vervangen.
- **Skin** (het dak, de buitenwanden en de vloer) De huid van een gebouw verandert volgens het 6S-model eens per 20 jaar, volledig of gedeeltelijk. Dit is vooral te wijden aan de verandering op gebied van thermische weerstand en kierdichting van de schil maar kan ook cosmetisch zijn.
- **Structure** (de constructie) De fundering en dragende constructies van een bouwwerk zijn moeilijk en kostbaar om te vervangen, daarom gebeurt het niet. De levensduur van een constructie varieert tussen de 30 tot 300 jaar, maar de meeste bouwwerken komen nooit voorbij 60.
- **Site** (locatie en grond) Site is de geografische setting, de locatie en wettelijke kavel. De grenzen en context hiervan overleven generaties van, in verhouding, kortstondige gebouwen. Site is eeuwig (eternal).

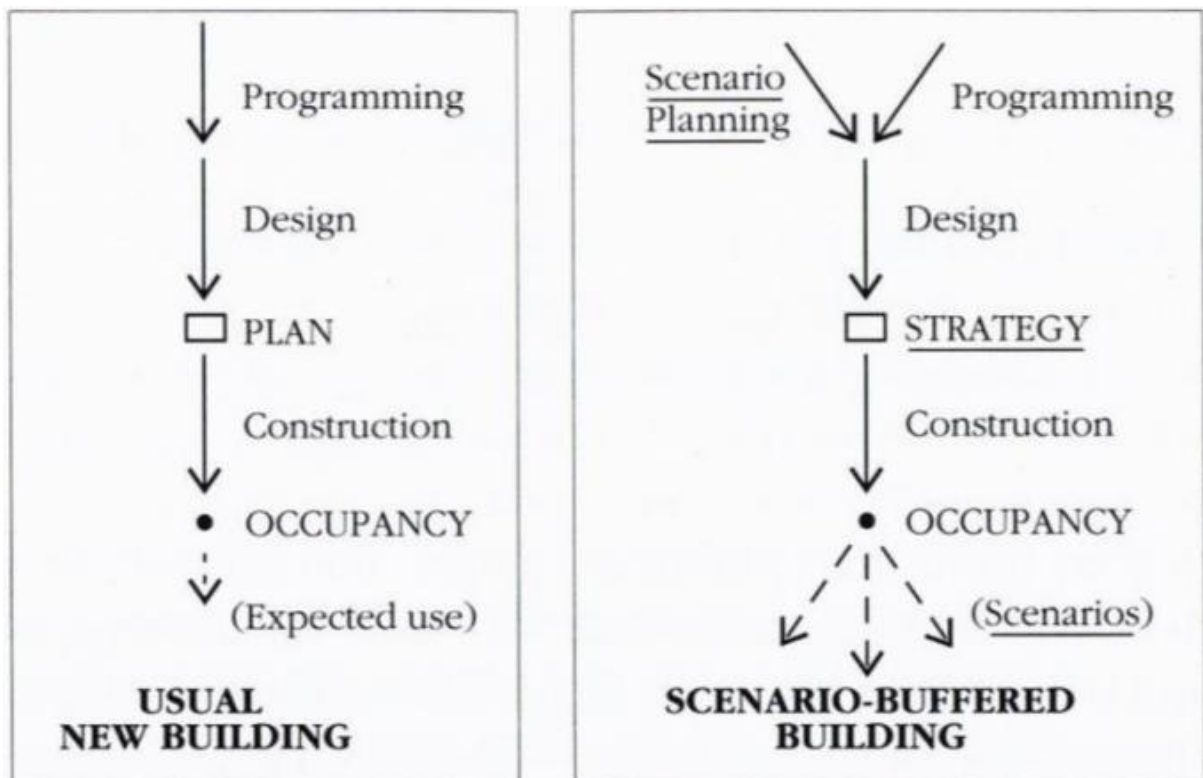
Bij deze lagen is het van belang dat ze los van elkaar te vervangen zijn op basis van functie en levensduur. Door deze losmaakbaarheid wordt waardebehoud gefaciliteerd voor bepaalde schillen als in andere schillen onderhoud of verandering nodig is.



Figuur 6: 6S-model van Stewart Brand (Bron: How Buildings Learn, Brand)

4.1.5 Circulaire ontwerpstrategie

Eveneens ontwikkeld door Steward Brand in 1994 is de circulaire ontwerpstrategie (figuur 7), deze strategie bouwt voort op de verschillende lagen van het 6S-model door ervoor te zorgen dat na het eerste gebruik meerdere scenario's van hergebruik mogelijk zijn. Op deze manier wordt er wederom voor waardebehoud gezorgd. Tijdens de ontwerpfase is rekening gehouden met meerdere functies zodat het gebouw, wanneer deze zijn initiële functie verliest, kan voorzien in andere functies.



Figuur 7: Verschil in totstandkoming van een "gewoon" gebouw en een scenario-gebufferd gebouw (Bron: How Buildings Learn, S. Brand)

4.1.6 Adaptief vermogen

Adaptief vermogen, ook wel flexibiliteit genoemd, zegt iets over de mate van aanpasbaarheid van een gebouw. Deze methode is vergelijkbaar met de methode van S. Brand over scenario gebufferde gebouwen. Volgens de Britse Kennisbasis voor Bouwindustrie (2015) is flexibiliteit ofwel adaptief vermogen op te delen in drie typen: Adaptibiliteit, Transformibiliteit en Convertibiliteit. Per type speelt de mate van permanentie en verandering een rol.

Het eerste type, adaptibiliteit, is het vermogen van een bouwwerk om meerdere functies onder te brengen zonder de constructie aan te passen. De functie van het gebouw verandert maar het gebouw zelf niet. Een voorbeeld hiervan is een multifunctionele ruimte. Dit is een vrij indeelbare ruimte die gemakkelijk ingericht kan worden voor een bijeenkomst of presentatie en de volgende dag weer te gebruiken is als studieplek voor studenten. Een ander voorbeeld is oversizing. Dit is het opzettelijk overdimensioneren van bepaalde ruimtes zodat deze op een later tijdstip gemakkelijk anders ingericht kunnen worden.

Het tweede type, transformibiliteit, is het veranderen van een gebouw als respons op een veranderende behoefte zonder dat hiervoor een ingrijpende verbouwing nodig is. Dit is meestal van tijdelijke aard, maar kan ook permanent zijn. Transformibiliteit kent twee verschillende subvormen: Moveability en Responsiveness.

Moveability willen zeggen dat constructies of delen hiervan eenvoudig verplaatst of tijdelijk aangepast kunnen worden zonder een ingrijpende verbouwing. Voorbeelden hiervan zijn verplaatsbare of vervormbare muren of het werken met units. Denk hierbij aan het box in box principe waar een overkoepelende constructie gevuld is met losse, verplaatsbare units. Deze units kunnen in en uit de 'box' worden gehaald. Met een dergelijk systeem kunnen eenvoudig functieveranderingen worden doorgevoerd.

Gebouwen die responsive zijn kunnen veranderen als reactie op externe prikkels, zoals het weer of geluid. Deze veranderingen zijn vaak maar van tijdelijke duur. Een voorbeeld hiervan is textiel dat transparant wordt als het in contact komt met water of daken die automatisch open en dicht gaan aan de hand van weersinvloeden.

Het laatste type is convertibiliteit. Dit houdt in dat de functie van een gebouw veranderd kan worden door een minimale mate van verbouw. Het implementeren van convertibiliteit tijdens de ontwerpfase zorgt voor het besparen van tijd en geld bij toekomstige verbouw. Convertibiliteit kan van toepassing zijn op een gebouw, maar ook daaromheen. Een voorbeeld hiervan is het reserveren van extra ruimte door het aanbrengen van extra funderingen voor toekomstige uitbreidingen. Ook oversizing kan hier weer gebruikt worden door bijvoorbeeld grote ruimtes te bouwen die op een later tijdstip aangepast kunnen worden.

Flexibiliteit en adaptief vermogen zijn belangrijke maatschappelijke spelers in de steeds veranderende behoefte van mensen en hun gebouwen. In de ontwerpfase van een gebouw zal rekening moeten worden gehouden met flexibiliteit. Door vooraf in kaart te brengen wat de verschillende functies van het gebouw in kwestie kunnen zijn kan flexibiliteit worden doorgevoerd. Hierdoor ontstaan slim ontworpen gebouwen die voor een langere tijd gebruikt kunnen worden.

4.1.7 Trias materia

Ten slotte is er nog de Trias Materia methode om te komen tot een circulair ontwerp. Deze methode is in opzet vergelijkbaar met de reeds bekende methode trias energetica. Echter, het gaat bij trias materia om drie andere stappen (zie figuur 8): allereerst het minimaliseren van materiaalgebruik, vervolgens het maximaliseren van hernieuwbare materialen en als laatste pas het gebruik van nieuwe grondstoffen (virgin materials), als hergebruik niet mogelijk is. Trias Materia dient altijd als laatste methode te worden gebruikt in het ontwerpproces omdat bij deze methode eindige grondstoffen worden geutiliseerd.



Figuur 8: Trias Materia (Bron: ekwadraat)

4.2 Conclusie

Als eerste kan er worden geconcludeerd dat er veel verschillende methoden zijn voor het implementeren van circulariteit in het ontwerpproces.

De eerste methode is de Ladder van Lansink deze methode is minder specifiek en uitgebreid dan andere ladders van circulariteit. Daarom wordt deze methode niet toegepast tijdens het ontwerpproces.

De tweede methode is het 10R-model, dit model biedt een zeer uitgebreid en specifiek overzicht van de verschillende maten van (hoogwaardig) hergebruik. Het voordeel van dit model ten opzichte van de Ladder van Lansink is dat het 10R-model uitgebreider en specifiek is. Ook kan geconcludeerd worden dat het 10R-model beter aansluit op de principes van de Ellen Mac Arthur Foundation die genoemd zijn in hoofdstuk 3. De begrippen waardebehoud en waardecreatie zijn bijvoorbeeld terug te vinden in het model.

Als derde methode is er het 6S-model waarbij wordt geconcludeerd dat een gebouw uit meerdere lagen bestaat die ieder een eigen functie en levensduur hebben. De lagen helpen ontwerpers en ingenieurs om waarde te bepalen en te behouden. Bij deze lagen is het van belang dat ze los van elkaar te vervangen zijn op basis van functie en levensduur. Door deze losmaakbaarheid wordt waardebehoud gefaciliteerd.

De vierde methode is Circulaire Ontwerpstrategie van Stewart Brand. Deze methode bouwt voort op de verschillende lagen van het 6S-model door ervoor te zorgen dat na het eerste gebruik meerdere scenario's van hergebruik mogelijk zijn. Op deze manier wordt er wederom voor waardebehoud gezorgd.

De vijfde methode is Adaptief Vermogen, ook wel flexibiliteit genoemd. Adaptiviteit zegt iets over de mate van aanpasbaarheid van een gebouw. Deze methode is vergelijkbaar met de methode van Stewart Brand over scenario gebufferde gebouwen. Volgens de Britse Kennisbasis voor Bouwindustrie (2015) is flexibiliteit ofwel adaptief vermogen op te delen in drie typen: Adaptibiliteit, Transformibiliteit en Convertibiliteit. Per type speelt de mate van permanentie en verandering een rol. Door vooraf in kaart te brengen wat de verschillende functies van het gebouw in kwestie kunnen zijn kan flexibiliteit worden doorgevoerd. Hierdoor ontstaan slim ontworpen gebouwen die voor een langere tijd gebruikt kunnen worden.

De laatste methode om te komen tot een circulair ontwerp is Trias Materia. Hierbij geldt allereerst het minimaliseren van materiaalgebruik, vervolgens het maximaliseren van hernieuwbare materialen en als laatste pas het gebruik van nieuwe grondstoffen (virgin materials), als hergebruik niet mogelijk is. Trias Materia dient altijd als laatste methode te worden gebruikt in het ontwerpproces omdat bij deze methode eindige grondstoffen worden geïutiliseerd.

Deze conclusies zijn gebruikt voor het maken van de ontwerpstrategie voor het ontwerpen van een circulair kantoorgebouw, het vaststellen van de strategie is terug te vinden in hoofdstuk 6.

5. Bestaande circulaire (kantoor)gebouwen

Na het onderzoeken van de definitie van circulair bouwen en de methoden die hiervoor nodig zijn worden er casestudies gedaan naar bestaande circulaire bouwprojecten in Nederland en de rest van de wereld. Dit moet inzichten opleveren voor de technische uitwerking van het circulaire kantoorgebouw. Er worden zeven verschillende gebouwen geanalyseerd. Elk project wordt in woord en beeld beschreven door middel van foto's en een korte analyse.

De volgende projecten worden bestudeerd:

1. Concours 15 in Groningen, (vector-i Architecten)
2. Hoofdkantoor Triodosbank in Zeist (RAU Architecten)
3. Tijdelijke Rechtbank in Amsterdam (Cepezed)
4. Nest We Grow in Takinoue, Japan (Kengo Kuma + UC Berkeley)
5. Albina Yard in Portland, USA (LEVER Architecture)
6. Longfu Life Experience Center in Puyang, China (LUO Studio)
7. Party and Public Service Center in Shiyang, China (LUO Studio)

Deze gebouwen zijn uitgezocht op basis van de definities die besproken zijn in dit verslag:

- Circulariteit (algemeen)
- Adaptief vermogen en flexibiliteit (in het ontwerp rekening houden met meerdere scenario's van occupatie)
- Circulaire Ontwerpstrategie (is er gebruik gemaakt van verschillende scenario's)
- Biologische kringloop (gebouwen die voornamelijk gebouwd zijn met materialen en grondstoffen uit de biologische kringloop, bio-based)
- Technische kringloop (gebouwen die voornamelijk gebouwd zijn met materialen en grondstoffen uit de technologische kringloop)

Daarnaast wordt er ook gelet op aantal andere eigenschappen naar aanleiding van ervaringen en leermomenten tijdens de werkervaringsperiode bij vector-i architecten.

- De manier waarop circulariteit meetbaar is gemaakt/beschreven in het project.
- IFD (Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen)
- CLT (Cross Laminated Timber)

5.1 Concours 15 in Groningen

vector-i architecten



Afbeelding 1: Telefooncel gemaakt van oude deurkozijnen. (Bron: vector-i architecten)

Projectomschrijving

In opdracht van de Nederlandse Gasunie heeft vector-i architecten in samenwerking met Zwartwoud, Draaijer + partners & Engie twee verdiepingen van het hoofdkantoor in Groningen verbouwd. Bij de verbouwing van de twee verdiepingen was circulariteit het uitgangspunt. Dit had verregaande gevolgen voor zowel het materiaalgebruik als de samenwerking.

Elke afweging in het proces is gemaakt aan de hand van de circulariteitsladder (10R-model, blz. 28). Zo zijn de verdiepingen ontworpen met de bestaande constructies in het achterhoofd (Redesign). Vergadertafels, kasten, verlichting, kabels en akoestische voorzieningen zijn hergebruikt (Reuse) en de bezoekersstoelen zijn opnieuw gestoffeerd met duurzame meubelstof (Refurbish). De oude, niet in hoogte verstelbare bureaus zijn gedemonteerd: de stalen onderstellen worden gerecycled (Recycle) en van de bureaubladen zijn aanland- en ontmoetingsplekken gemaakt (Repurpose). De originele kozijnen hebben een nieuwe plek gekregen in de vorm van telefooncellen (met vilt van gerecyclede petflessen voor de akoestiek) en de ouderwetse postvakjes zijn nu opberglockers (Repurpose). Ook de plafonds en systeemwanden zijn waar mogelijk hergebruikt of worden gerecycled. Net als de duurzame vloerbedekking van Desso, die in haar nieuwe kleurstelling aansluit bij het kenmerkende trappenhuis. Daar waar nieuw materiaal moest worden toegevoegd, is gekozen voor circulair materiaal.

Door consequent circulaire keuzes gemaakt te hebben, zijn er meer uren in het project gestoken dan gebruikelijk. Echter, is het hierdoor niet duurder geworden. Juist omdat er circulaire keuzes zijn gemaakt is er bespaard op materiaalkosten, energie en transport.

Bevindingen

- Toepassing van het 10R-model om afwegingen te maken tijdens iedere stap van het ontwerpproces.
- Door hergebruik en waardebehoud te optimaliseren zijn er zo weinig mogelijk nieuwe materialen ingezet, als dat wel nodig was werd er gekozen voor circulair materiaal.
- Het maken van circulaire keuzes heeft ervoor gezorgd dat er meer uren in het project gestoken dan gebruikelijk. Normaal gesproken wordt het daardoor duurder. Maar juist omdat er circulaire keuzes zijn gemaakt is er bespaard op materiaalkosten, energie en transport.



<i>Project #1</i>	CONCOURS 15
<i>Architect</i>	vector-i architecten
<i>Bouwjaar</i>	2019
<i>Locatie</i>	Groningen
<i>Opdrachtgever</i>	Nederlandse Gasunie
<i>Oppervlakte</i>	1800 m2

5.2 Hoofdkantoor Triodosbank in Zeist

RAU architecten



Afbeelding 2: Hoofdkantoor Triodos Bank Nederland (Bron: RAU Architecten)

Projectomschrijving

In samenwerking met Ex Interiors ontwierpen RAU Architecten in opdracht van Triodos Bank en ontwikkelaar EDGE het eerste grootschalige 100% houten kantoorgebouw. Daarnaast dient het gebouw als eerste tijdelijke materialenbank en is de CO₂-footprint minimaal. Het streven bij de realisatie van het project was een 'gesamtkunstwerk' waarbij optimaal werd samengewerkt en een maximale circulaire potentie werd verleend. De constructie bestaat uit gelamineerde houten spanten en houten CLT-kernen. Ook de verdiepingvloeren zijn uitgevoerd in CLT en worden gedeeltelijk gecamoufleerd door houten sporen en de daarboven gelegen klimaatplafondelementen. In het gebouw zijn 1.615 m³ gelamineerd hout, ruim 1.008 m³ kruislaaghout (CLT) en 5 originele boomstammen verwerkt. Alleen de kelder kent vanwege de waterhuishouding nog een betonconstructie. Verder is de constructie in zijn geheel remontabel opgezet door middel van droge verbindingen in de vorm van schroeven. In totaal zijn er 165.321 schroeven toegepast. Als laatste is op gebied van circulariteit gebruik gemaakt van flexibele binnenwanden en vloeren. De binnenwanden zijn zo geconstrueerd dat ze eenvoudig te verplaatsen of verwijderen zijn wanneer interne veranderingen zich voordoen. De vloeren zijn eveneens opgebouwd zodat deze eenvoudig te demonteren zijn. Het hout, toegepast in zowel het meubilair als de vloeren, is veelal afkomstig van het landgoed. Verder is in het interieur alleen gebruik gemaakt van natuurlijk textiel.

Over circulariteit zeggen RAU Architecten nog het volgende: Wij zien een circulair gebouw als een tijdelijke samenvoeging van producten, componenten en materialen met een gedocumenteerde identiteit. De herkomst en de geplande herbestemming van alle producten, componenten en materialen zijn hierbij nauwkeurig gedocumenteerd om deze in de toekomst eenvoudig een nieuwe huisvesting te kunnen bieden. Belangrijk is om al bij het ontwerp van de gebouwen maximaal te anticiperen op mogelijke aanpassingen door veranderingen in de behoefte van de gebruiker, door verschillen in gebruiksduur van bouwcomponenten of door externe invloeden zoals veranderende regelgeving of klimaatverandering. Het faciliteren van de permanente consequenties van tijdelijkheid is dan ook kenmerkend voor het ontwerp. Door van vastgoed 'losgoed' te maken is een gebouw met maximale circulaire potentie gerealiseerd: remontabiliteit zonder waardeverlies.

Het gebouw wordt gezien als materialenbank, door gebruik te maken van het materialenplatform Madaster (kadaster voor materialen). Hierin worden alle in het gebouw opgeslagen, materialen online gemonitord. Hiermee kan de waarde van materialen in de toekomst balans technisch liquide gemaakt worden en/of fiscaaltechnisch geactiveerd worden.

Bevindingen:

Door gebruik van CLT wordt er veel CO₂ opgeslagen in de constructie.
Onderlinge samenwerking tussen verschillende partijen is van groot belang.
Een circulair gebouw is volgens RAU Architecten een tijdelijke samenvoeging van producten, componenten en materialen met een gedocumenteerde identiteit.
Door van vastgoed 'losgoed' te maken is een gebouw met maximale circulaire potentie gerealiseerd: remontabiliteit zonder waardeverlies.



Project #2	Hoofdkantoor Triodos Bank
Architect	RAU Architecten
Bouwjaar	2011-2017
Locatie	Landgoed de Reehorst, Zeist
Opdrachtgever	Triodos Bank Nederland
Oppervlakte	12.693 m ²

5.3 Tijdelijke Rechtbank Amsterdam

Cepezed



Afbeelding 3: Tijdelijke Rechtbank Amsterdam (Bron: Cepezed)

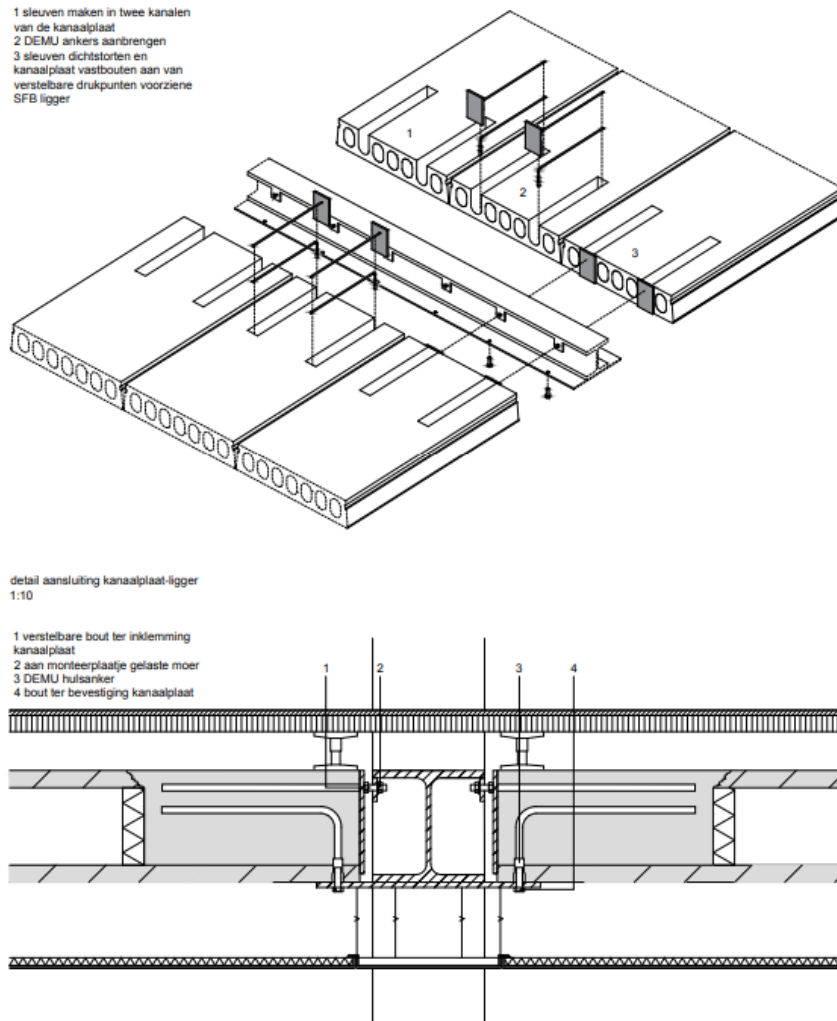
Projectomschrijving

De tijdelijke rechtbank Amsterdam is binnen het consortium dpcp ontwikkeld door cepezedprojects. Cepezed en cepezedinterieur hebben de nieuwbouw van 5.400m² ontwikkeld en gerealiseerd op het terrein van het Parnascomplex naast de bestaande torens E en F, het ontwerp vormt samen met de torens de gehele tijdelijke rechtbank.

Opvallend voor dit tijdelijke project zijn de hoge eisen die eraan zijn gesteld. Zo mag het interim-karakter van het gebouw geen afbreuk doen aan de representativiteit en zijn de condities voor zaken als outillage, complexe logistiek, akoestiek, comfort en veiligheid gelijk aan die van de permanente bouw.

Het Rijksvastgoedbedrijf zette als opdrachtgever hoog in op het voorkomen van verspilling vanwege haar maatschappelijke verantwoordelijkheid. Daarbij was het voorkomen van afval en maximaliseren van de restwaarde van het gebouw belangrijk.

Cepezed heeft op iedere schaal gezocht naar mogelijkheden tot reductie, hergebruik en recycling van materialen. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van een speciaal bevestigingssysteem voor kanaalplaatvloeren (afbeelding 4). Dit systeem maakt het demonteren en hergebruiken van het gebouw zo eenvoudig mogelijk. Daarnaast is ook de rest van het gebouw in zijn geheel herbruikbaar en op een andere locatie te remonteren, eventueel ook in een andere configuratie.



Afbeelding 4: Overzicht van bevestigingssysteem voor kanaalplaatvloeren. (Bron: Cepezed)

Bevindingen

- Uniek systeem voor het eenvoudig koppelen en ontkoppelen van kanaalplaatvloeren. Dit maakt hergebruik eenvoudig en minder kostbaar.
- Mogelijkheid om het gebouw op een andere locatie te remonteren, wel of niet in een andere configuratie.

Project #3	Tijdelijke Rechtbank Amsterdam
Architect	Cepezed
Bouwjaar	2016
Locatie	Amsterdam
Opdrachtgever	Consortium dpcp, Rijksvastgoedbedrijf
Oppervlakte	5.400 m2

5.4 Nest we Grow in Takinoue, Japan

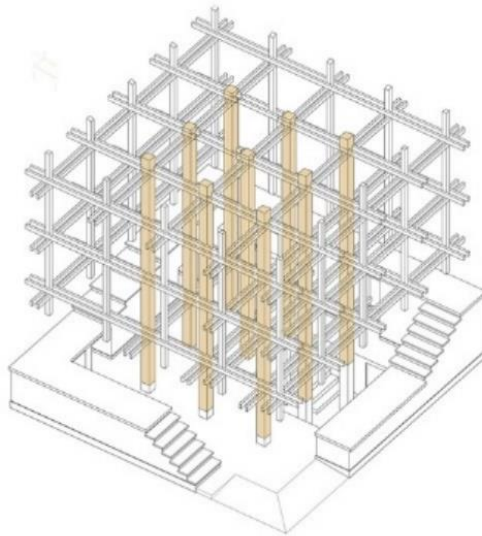
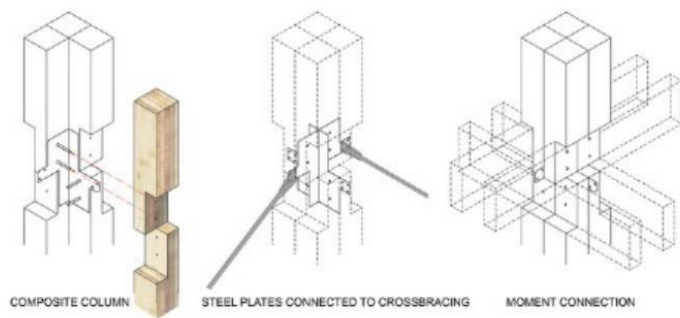
Kengo Kuma & Associates + College of Environmental Design UC Berkeley



Projectomschrijving

Nest We Grow is een vrij toegankelijk en open bouwwerk. Het doel van het bouwwerk is mensen bij elkaar te brengen om voedsel te maken, op te bergen en er samen van te genieten met zicht op het landschap van Hokkaido, Japan.

Kenmerkend aan het gebouw is het gebruik van hernieuwbare/bio-based bouwtechnieken in de vorm van: rammed-earth en constructies met stro. Daarnaast ligt de focus ook op hergebruik van zware houten constructies die hun oorsprong kennen in de Verenigde Staten. Dit principe toegepast in de context van Japan resulteert in composietkolommen, ook wel geclusterde kolommen genoemd. Hierbij vormen meerdere kolommen met een kleinere kopmaat samen een grote kolom. De houten constructie die ontstaat bootst de ruimtelijke ervaring na van een Japans lariks waar volgens traditie voedsel wordt opgehangen om te drogen.



Bevindingen

- Het gebruik van hernieuwbare/bio-based bouwtechnieken in de vorm van: rammed-earth en constructies met stro.
- Het gebruik van zware houten constructies in de vorm van geclusterde kolommen, opgebouwd uit kleinere standaard elementen.
- Het nabootsen van tradities en cultureel erfgoed door de vormgeving van de constructie.
- De droge verbindingen tussen de kolommen en balken door middel van bouten.
- Een duidelijke uitleg van het ontwerp door middel van schema's en axo's.

Project #4	Nest we Grow
Architect	Kengo Kuma +
Bouwjaar	2014
Locatie	Takinoue, China
Opdrachtgever	LIXIL International design-build competition
Oppervlakte	85 m2

5.5 Albina Yard in Portland, USA

LEVER Architecture



Projectomschrijving

Albina Yard is een 1500 m², vier verdiepingen hoog kantoorgebouw met een houten constructie. De constructie is bestaat uit gelamineerde liggers en CLT panelen geprefabriceerd in Riddle, Oregon. Het voornaamste doel van het project was om gebruik te maken van lokaal geproduceerd CLT om zo de weg te openen tot een bredere marktadaptatie voor hernieuwbare constructiematerialen. In het ontwerp zijn de duurzaamheidsstrategieën terug te vinden in de vorm van eenvoud, materiaal expressie en de nauwkeurige integratie van installaties die voor het Douglas hout in het zicht zijn aangebracht.

De constructie bestaat uit twee verschillende systemen: een systeem met een traditionele houten vloer en een systeem wat gebruik maakt van CLT. Door het gebruik van deze hybride constructie, een nauwe samenwerking met ingenieurs en fabrikanten en door details te vereenvoudigen konden kosten geoptimaliseerd worden. Door bijvoorbeeld de eigenschap van CLT om zowel in de breedte als in de lengterichting te kunnen overspannen was het mogelijk om minder gelamineerde liggers te gebruiken. De gehele constructie is geprefabriceerd waardoor deze op de bouw vijfmaal sneller kon worden gemonteerd dan een traditioneel houten systeem.



Bevindingen

- Een project dat goed te vergelijken is met de beoogde ontwerpopgave van een drie verdiepingen hoog kantoorgebouw met dezelfde overspanningen van 7200 mm.
- Het gebruik maken van lokaal CLT als hernieuwbaar materiaal waarmee eenvoudig en rendabel geconstrueerd kan worden en een voorbeeld wordt gegeven aan de markt van kleine kringlopen.
- Een geheel geprefabriceerde constructie waardoor de montage vijf keer zo snel verlopen is.

<i>Project #5</i>	<i>Albina Yard</i>
<i>Architect</i>	LEVER Architects
<i>Bouwjaar</i>	2016
<i>Locatie</i>	Portland, USA
<i>Opdrachtgever</i>	-
<i>Oppervlakte</i>	1500 m2

5.6 Longfu Life Experience Center in Puyang, China

LUO Studio



Projectomschrijving

Dit gebouw is gebouwd als koopcentrum voor onroerend goed. Normaal gesproken is dit architectuur die alleen voor een paar maanden of hooguit een paar jaar kan bestaan, meestal wordt een gebouw met deze functie gesloopt wanneer alles huizen zijn verkocht. Ook wanneer het wel mogelijk is om het gebouw te behouden wordt er meestal nog veel gesloopt aan de binnenzijde. Dit zorgt voor een verspilling van waardevolle en steeds schaarser wordende grondstoffen.

Het Longfu Life Experience Center biedt daarentegen naast een tijdelijk koopcentrum voor onroerend goed ook de potentie voor een variatie aan andere functies. De ontwerpers hebben een ruimte ontworpen zonder functionele beperkingen. Dit is bijvoorbeeld gedaan door alle noodzakelijke onderdelen van het programma op te delen in basismodules. Deze verschillende modules bestaan vervolgens weer uit dezelfde componenten, hierdoor ontstaat een separatie tussen functie en ruimte. Daarnaast ontstaat er ook uniformiteit, hierdoor wordt efficiënt omgegaan met materialen en wordt hergebruik makkelijker.

Wat ook opvalt is het gebruik van hout als natuurlijk (bio-based) materiaal, dit is in het gehele gebouw in standaardmaten toegepast. Dit sluit aan bij de identiteit die de opdrachtgever wil uitstralen. De kolommen met standaardafmetingen zijn samengevoegd om zogenaamde geclusterde kolommen te creëren. Door het gebruik te maken van dit type kolom zijn de ruimte en de sterkte van de constructie geoptimaliseerd.

Als laatste is er vanwege een korte bouwtijd gebruik gemaakt van eenvoudig te monteren constructies. Deze kunnen door vrijwel iedere medewerker op de bouw in elkaar gezet worden, er zijn geen specialisten voor nodig. Daarnaast leverde het een besparing op in tijd en daarmee ook in kosten. Ook hier komt de eerder genoemde uniformiteit weer terug, door gebruikt te maken van modules bestaand uit gelijke componenten kan eenvoudig en snel gebouwd worden.

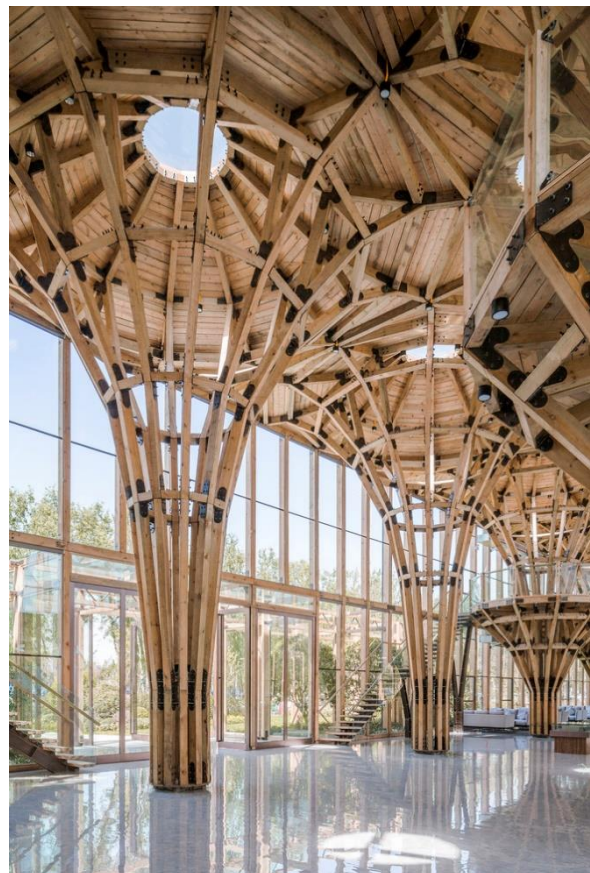
Op de betonnen vloer na is het gebouw in zijn geheel vastgezet met bouten en schroeven en kunnen alle componenten volledig worden gedemonteerd, geïnstalleerd, verplaatst en hergebruikt voor andere constructies, waardoor het gebouw volledig omkeerbaar is.

Bevindingen

- Het gebruik van modules die bestaan uit gelijke componenten. Hierdoor ontstaat uniformiteit.
- Op de begane grondvloer na een volledig remontabele constructie.
- Het veelvuldig gebruik van standaardmaten.
- Het toepassen van hout als bio-based constructie materiaal.
- Het ontwerpen van een ruimte zonder functionele beperkingen, waardoor er een grote variatie aan programma's mogelijk is.

Project #4 Longfu Life Experience Center

<i>Architect</i>	LUO Studio
<i>Bouwjaar</i>	2018
<i>Locatie</i>	Puyang, China
<i>Opdrachtgever</i>	-
<i>Oppervlakte</i>	1588 m2



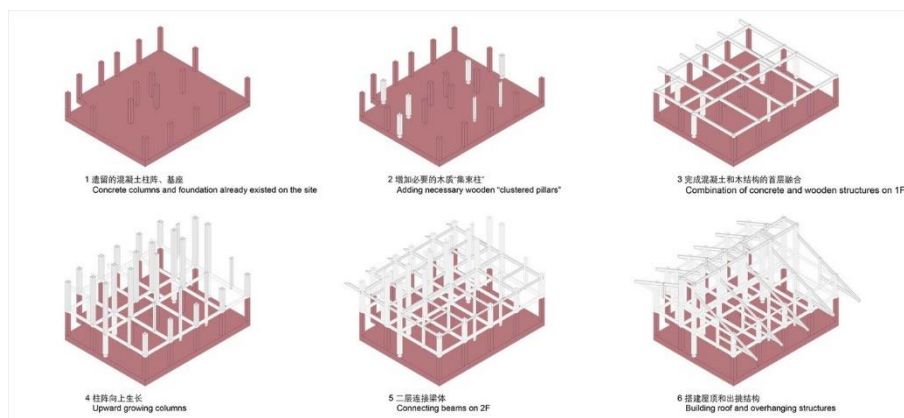
5.7 Party and Public Service Center in Shiyan, China

LUO Studio

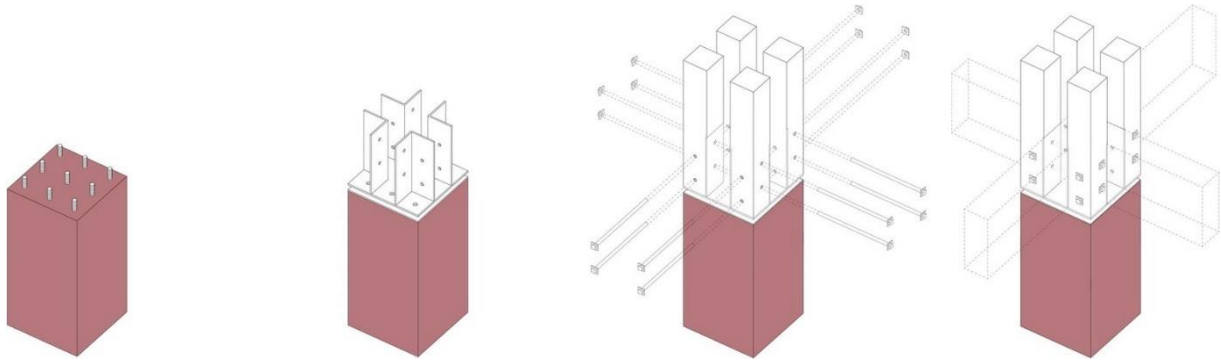


Projectomschrijving

Dit gebouw, eveneens ontworpen door LUO Studio is in 2 maanden ontworpen, gebouwd en afgewerkt. Deze snelle ontwikkeling is te danken aan het gebruik van bestaande funderingen, vloeren en kolommen. Op de plek waar dit centrum gebouwd moest worden stond namelijk al een beginsel van een drie verdiepingen hoge woningen waarvan de bouw stil was komen te liggen. Na een analyse van de staat van de constructie heeft LUO Studio ervoor gekozen om de waarde van de bestaande constructie te behouden door het ontwerp en de bestaande situatie nauwkeurig op elkaar af te stemmen. Hout was hiervoor de ideale oplossing vanwege het lage soortelijk gewicht en het feit dat houten constructies geprefabriceerd kunnen worden en makkelijk en snel te monteren zijn.



Er is in dit ontwerp gebruik gemaakt van geclusterde kolommen, hierdoor zijn de onderlinge verbinding tussen balken en kolommen makkelijker te realiseren. Ook is de bewerking van iedere afzonderlijke kolom minimaal. Deze worden op maat gemaakt en voorzien van gaten.



Bevindingen

- Een duidelijke uitleg van het ontwerp door middel van schema's en axo's.
- Hergebruikt van bestaande onderdelen van andere gebouwen.
- Het gebruik van standaardafmetingen hout in geclusterde kolommen met waardoor verbindingen eenvoudig te realiseren vallen en de bewerking per kolom zo veel mogelijk beperkt wordt, des te minder bewerking des makkelijker is hergebruikt.

<i>Project #4</i>	Longfu Life Experience Center
<i>Architect</i>	LUO Studio
<i>Bouwjaar</i>	2019
<i>Locatie</i>	Shiyan
<i>Opdrachtgever</i>	-
<i>Oppervlakte</i>	550 m2

5.8 Conclusie

Uit de verschillende projecten kunnen de volgende punten worden geconcludeerd:

Circulaire strategieën

De toepassing van het 10R-model zoals beschreven in hoofdstuk vier helpt om afwegingen te maken omtrent circulariteit tijdens iedere stap van het ontwerpproces. Hierdoor worden hergebruik en waardebehoud geoptimaliseerd en zijn er minder nieuwe materialen nodig. Als deze wel nodig zijn wordt er gekozen voor natuurlijke materialen. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat door het goed toepassen van circulariteit tijd en geld kunnen worden bespaard op materiaal, energie en transport.

Een circulair gebouw is volgens RAU Architecten een tijdelijke samenvoeging van producten, componenten en materialen met een gedocumenteerde identiteit. Door van vastgoed 'losgoed' te maken is een gebouw met maximale circulaire potentie te realiseren: remontabiliteit zonder waardeverlies.

Het ontwerpen van een ruimte zonder functionele beperkingen zorgt ervoor dat een grote variatie aan programma's mogelijk wordt.

Materialen

Het gebruik van CLT als bio-based bouw materiaal maakt het mogelijk om grote hoeveelheden CO₂ op te slaan in de constructie van een bouwwerk. Daarnaast is het mogelijk om met CLT eenvoudig en rendabel te construeren. Bij voorkeur dient CLT lokaal te worden geproduceerd om kringlopen zo klein mogelijk te houden.

Albina Yard is een goed voorbeeld om te gebruiken voor de beoogde ontwerp opgave van een drie verdiepingen hoog kantoorgebouw vanwege soortgelijke overspanningen van 7200 mm.

Ook is er nog de mogelijkheid tot gebruik van zware houten constructies in de vorm van geclusterde kolommen, opgebouwd uit kleinere standaard elementen. Het veelvuldig gebruik maken van standaardafmetingen zorgt voor uniformiteit en kostenbesparing.

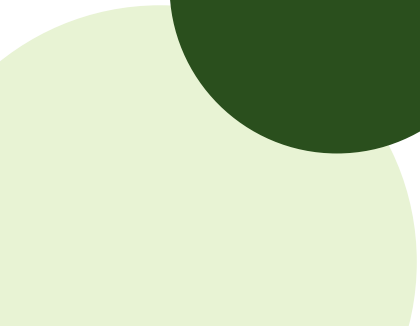
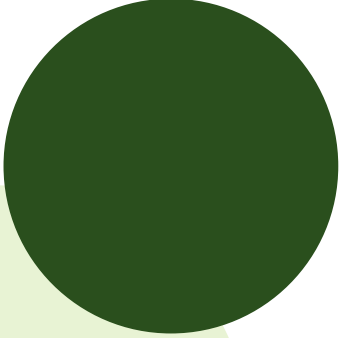
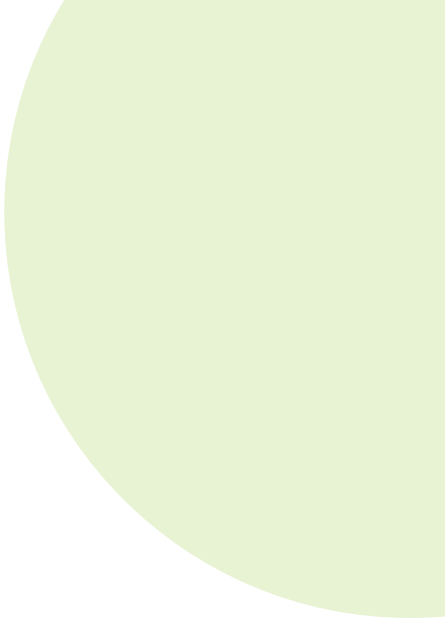
Als laatste is er nog mogelijkheid om voor de begane grondvloer gebruik te maken van een uniek systeem voor het eenvoudig koppelen en ontkoppelen van kanaalplaatvloeren ontwikkeld door Imd en Cepezed. Dit maakt hergebruik eenvoudig en minder kostbaar.

Verbindingen

Tijdens het ontwerpproces moet de mogelijkheid om het gebouw op een andere locatie te remonteren worden onderzocht, wel of niet in een andere configuratie. Door hierbij gebruik te maken van geprefabriceerde constructies kan er tijd en geld worden bespaard.

Het gebruik van droge verbindingen tussen de kolommen en balken door middel van bouten bevordert de remontabiliteit van het bouwwerk. Het gebruik van standaardafmetingen hout in geclusterde kolommen met waardoor verbindingen eenvoudig te realiseren vallen en de bewerking per kolom zo veel mogelijk beperkt wordt, des te minder bewerking des makkelijker is hergebruikt.

Als laatste wordt het gebruik van modules die bestaan uit gelijke componenten genoemd. Hierdoor ontstaat uniformiteit en kostenbesparing.



Ontwerp

6. Ontwerpstrategie

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de ontwerpstrategie voor technische uitwerking van een schetsontwerp (SO) naar een VO+ van een kantoorgebouw ontworpen door vector-i. Als eerste wordt een analyse gedaan van het bestaande SO, vervolgens wordt vastgelegd waaraan het VO+ moet voldoen volgens de De Nieuwe Regeling (DNR). Als laatste wordt aan de hand van voorgaande onderzoeken en casestudies een lijst met geschikte ontwerpmethodieken opgesteld.

6.1 Analyse

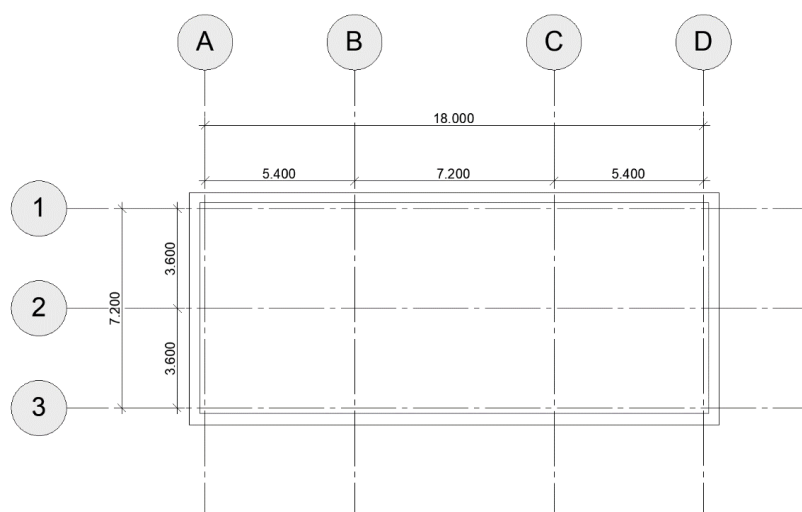
In opdracht van een klimaatbewuste organisatie is een ontwerp gemaakt van een kantoorgebouw zonder vaste verblijfsplaats. De klant koestert de wens om haar toekomstige huisvestingsvraagstukken op te lossen met de remontage van het eigen vastgoed. Het ontwerp van een circulair, niet locatie gebonden en organisatie-adaptief gebouw vraagt om een systematisch ontwerp. De houten draagconstructie is licht en remontabel en heeft een lage CO₂ intensiteit ten opzichte van bouwmethodes met staal en of beton.

Het schetsontwerp wordt geanalyseerd aan de hand van de volgende punten:

- Grid
- Programma
- Energieconcept
- Materialisering

6.1.1 Grid

Het gebouw is ontworpen aan de hand van het grid in figuur 9. In de lengte richting is gekozen voor een maat van 3.600 mm om een korte overspanning te kunnen realiseren waardoor vloeren en balken niet onnodig dik hoeven worden te geconstrueerd waardoor het gebouw hoger wordt, wat weer kostenverhogend werkt. In de breedte is gekozen voor 5.400 mm, 7.200 mm en vervolgens weer 5.400 mm. Dit heeft te maken met het goed inpassen van het programma.



Figuur 9: Grid/stramien VO

6.1.2 Programma

Het programma en grid zijn goed op elkaar afgestemd. Voor kantoorgebouwen is het gebruikelijk om de kantoorruimtes aan de buitenzijde te hebben en de gemeenschappelijke functies aan de binnenzijde. Hierdoor is in het midden van het gebouw meer ruimte nodig dan aan de buitenzijde vandaar ook de afmetingen: 5.400 mm, 7.200 mm en vervolgens weer 5.400 mm. Voor de afmeting 3.600 mm in de lengte geldt deze perfect past bij de minimale afmetingen van een werkplek volgens de ARBO-regelgeving.

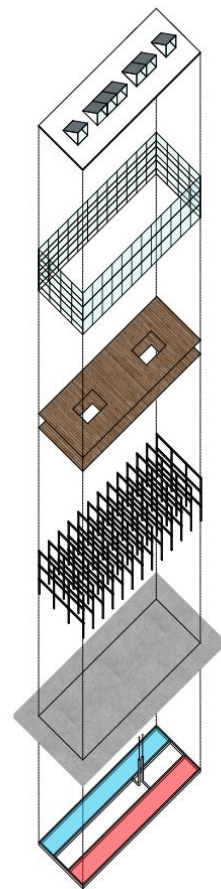


6.1.3 Energieconcept

Het energieconcept maakt gebruik van een WKO-installatie. Hierbij wordt overtollige warmte of koude uit een gebouw opgeslagen in de bodem onder het gebouw. Pas wanneer er vraag is naar een van beide wordt er gebruik van gemaakt.

6.1.4 Materialisering

In het ontwerp wordt gebruik gemaakt van een houten draagconstructie in de vorm van een houtskelet en vloeren van CLT. De begane grondvloer is van beton en de gevel is voor het grootste deel van glas.



6.2 Eisen technische uitwerking

Om de kwaliteit van het VO te waarborgen wordt gebruik gemaakt van de richtlijnen voor dergelijke ontwerpen zoals deze ook in de beroepspraktijk worden gebruikt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van De Nieuwe Regeling. De technische uitwerking van het gebouw (VO) bestaat volgens de DNR uit de volgende onderdelen:

- Het uitwerken van de stedenbouwkundige inpassing van het bouwwerk in de omgeving;
- Het ontwerpen van de functionele en ruimtelijke indeling;
- Het ontwerpen van de architectonische verschijningsvorm;
- Het maken van een conceptueel ontwerp voor de buitenruimte;
- Het uitbrengen en verwerken van richtinggevend advies op het gebied van bouwfysica en akoestiek;
- Het ontwerpen van de hoofdopzet van de draagconstructie, inclusief voorlopige materiaalkeuze en globale dimensionering;
- Het ontwerpen van de hoofdopzet van de installaties, ten behoeve van de inpassing in het bouwproject;
- Het integreren van de deelontwerpen (bouwkundig, constructief, installatietechnisch);

VO+

Aan deze opsomming worden nog enkele aspecten toegevoegd afkomstig uit de fase die volgt op het VO, het Definitief Ontwerp (DO). Hierdoor ontstaat er een zogenaamd VO+.

- Het (globaal) bepalen van toe te passen materialen, afwerkingen en bouwtechnische uitwerking t.b.v. de definitieve beeldvorming.

De onderdelen die genoemd worden door de DNR worden gebruikt als handleiding voor het opstellen van een VO+. Het afgeronde VO+ is opgenomen in bijlage 2.

6.3 Ontwerpstrategie

De ontwerpstrategie is ontstaan voorafgaand en tijdens het ontwerpproces en gebaseerd op het theoretische onderzoek naar methodieken en de lessen uit casestudies.

- **Losmaakbaarheid**

In de casestudies is te zien dat het bij circulaire gebouwen belangrijk is dat ze eenvoudig en snel te demonteren zijn, dit maakt hergebruik van grondstoffen, materialen, componenten of zelfs gehele bouwdelen makkelijk en eenvoudig. Een goede methode om hiervoor te gebruiken is het 6S-Model van Stewart Brand. Door gebruik te maken dit model tijdens het ontwerpproces zorgt de ontwerper ervoor dat er een scheiding wordt aangebracht tussen de zes lagen. Deze lagen dienen afzonderlijk van elkaar gedemonteerd te worden wanneer de levensduur van de desbetreffende laag is verlopen. Ook binnen de lagen is losmaakbaarheid belangrijk. Hierdoor wordt hergebruik gemaximaliseerd.

- **Waardebehoud**

Ook komt uit de casestudies naar voren dat naast losmaakbaarheid ook waardebehoud van belang is. Dit zegt iets over de hoogwaardigheid van de hergebruikte materialen in een nieuw project, maar ook nieuwe materialen in een gebouw die in de toekomst mogelijk gebruikt kunnen worden in een ander project. Een goede methode voor het vaststellen van de hoogwaardigheid van hergebruik is het 10R-Model. Er geldt de volgende vuistregel: meer circulariteit is minder grondstoffen, minder bewerkingen en minder milieudruk. Concreet kan dit model gebruikt worden om toekomstig, hoogwaardig hergebruik te faciliteren. Door tijdens het ontwerp rekening te houden met de verschillende manieren en hoogwaardigheid van hergebruik.

- **Materiaalgebruik**

Waarvoor de casestudies bij uitstek geschikt zijn is: materiaalgebruik. Bij circulaire nieuwbouw dient materiaalgebruik zoveel mogelijk te geschieden in de biologische kringloop. Maar de technische kringloop dient niet vergeten te worden. Het gebruik van de methode Trias Materia is hiervoor geschikt. Bij Trias Materia wordt allereerst het materiaalgebruik zoveel mogelijk beperkt. Daarna wordt gebruik gemaakt van bio-based materialen uit de biologische kringloop en vervolgens wordt als laatste op een zo efficiënt mogelijke manier gebruik gemaakt van niet hernieuwbare grondstoffen uit de technische kringloop.

- **Functie**

De voorgaande drie methoden leggen de focus op de bouwstenen van een gebouw en de losmaakbaarheid, duurzaamheid en het hoogwaardig hergebruik hiervan, in tegenstelling tot de methoden adaptief vermogen en scenario buffering. Bij deze methoden ligt de focus op de functie van een gebouw en de aanpasbaarheid daarvan. In verschillende casestudies is ook dit terug te vinden. Bij zowel scenario buffering als adaptief vermogen wordt in het ontwerpproces rekening gehouden met functieverandering. Door ervoor te zorgen dat na het eerste gebruik meerdere scenario's van hergebruik mogelijk zijn al dan niet door minimale aanpassingen.

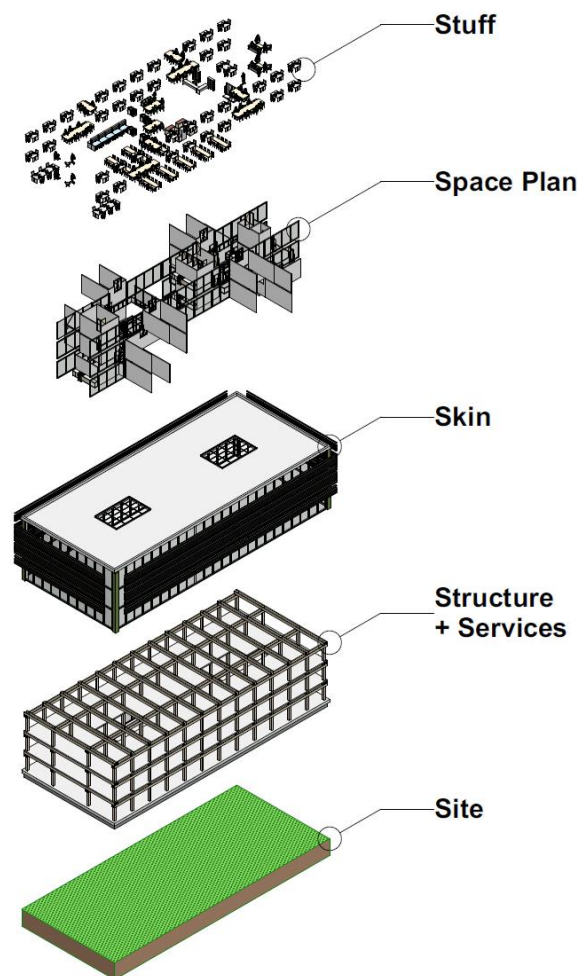
7. Technische uitwerking

Tijdens het ontwerpproces is er gebruikt gemaakt van de verschillende methodieken en casestudies die benoemd zijn in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 gaat dieper in op het ontwerpproces en laat zien hoe deze zijn toegepast en wat de resultaten hiervan zijn.

7.1 6S-model

Het 6S-model is in dit ontwerpproces het meest waardevol geweest. Het geeft een duidelijk structuur aan het gehele ontwerp (figuur 3) en zorgt ervoor dat losmaakbaarheid in iedere laag wordt gefaciliteerd. Voor toepassing van dit model dient er per laag gekeken te worden naar de losmaakbaarheid binnen deze laag, maar ook naar de losmaakbaarheid van de lagen als geheel. Daarnaast is het 6S-Model gebruikt om structuur te geven aan het gebruik van de andere methoden. In iedere laag zijn verschillende methodieken gebruikt. In de ene laag meer dan in de andere.

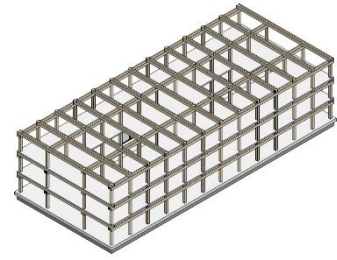
Het gebruik van het 6S-model als structuur voor het ontwerpproces is toegepast omdat losmaakbaarheid het belangrijkste is bij circulair ontwerpen. Dit is hetgeen dat hergebruik eenvoudig en snel maakt. Onderdelen die losmaakbaar zijn kunnen hoogwaardiger worden hergebruikt omdat ze niet beschadigen tijdens demontage. Dit geldt voor materialen uit zowel de biologische als de technische kringloop.



Figuur 3: 6S-model kantoorgebouw

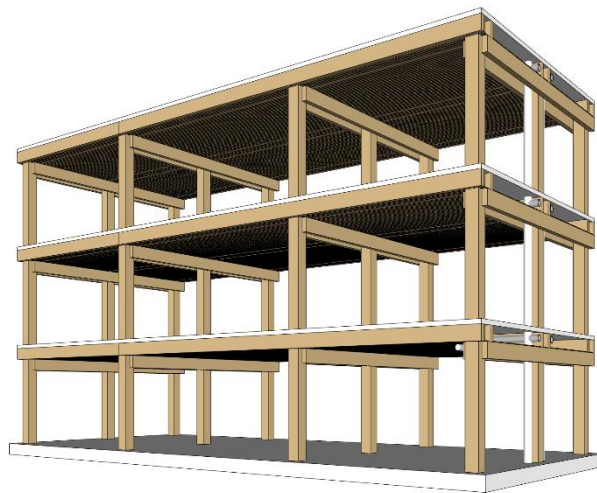
7.2 Structure

De fundering en dragende constructies (structure) van een bouwwerk zijn moeilijk en kostbaar om te vervangen, daarom gebeurt het niet. De levensduur van constructie varieert tussen 30 tot 300 jaar, maar de meeste bouwwerken komen nooit voorbij 60.

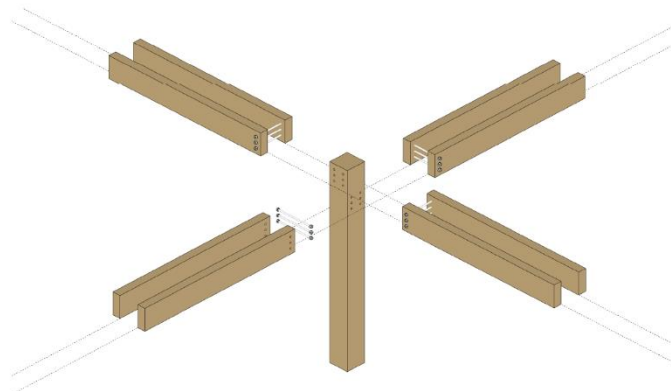


Losmaakbaarheid

Er is een volledig losmaakbare en remontabele houten constructie ontworpen, opgebouwd uit houten kollommen, houten liggers en constructieve houten vloeren van CLT. De losmaakbaarheid wordt gefaciliteerd door gebruik te maken van droge knopen (figuur 5) zoals deze ook in verschillende casestudies terug te vinden zijn in de vorm van geboute verbindingen. Bij deze verbindingen ligt de kracht in de eenvoud. Een eenvoudig te construeren constructie bespaart tijd en geldt omdat er snel en precies geprefabriceerd kan worden en er geen specialisten nodig zijn. Het kan door bijna iedere bouwvakker worden uitgevoerd. Er is getracht uniformiteit te creëren door een constructie te ontwerpen met veel dezelfde overspanningen en grote componenten met veelal dezelfde afmetingen.



Figuur 4: Overzicht constructie



Figuur 5: Eenvoudige geboute verbinding

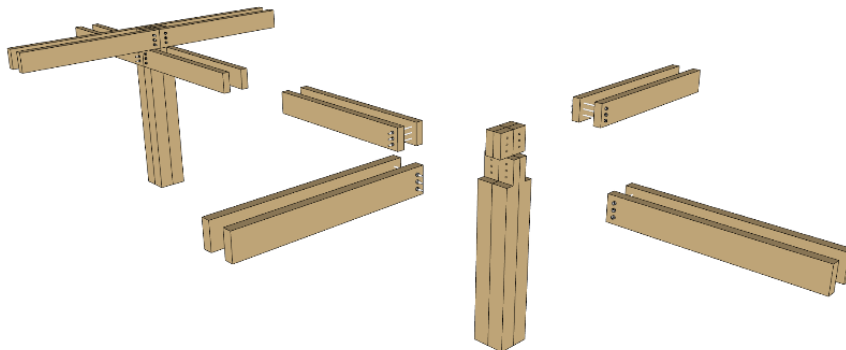
Waardebehoud

De waarde van de constructie blijft behouden door het gebruik van hout als bouw materiaal. Dit is makkelijk en snel te bewerken en daarmee ook gemakkelijk te prefabriceren. Vervolgens worden de verschillende componenten zo weinig mogelijk bewerkt, door de bewerking van de verschillende onderdelen te beperken wordt er gezorgd voor waardebehoud. Een kolom die uitvoerig bewerkt is voor een specifieke constructie is namelijk minder goed te hergebruiken (Re-use, 10R-model) dan een minimaal bewerkte balk (zie figuur 6 en 7).

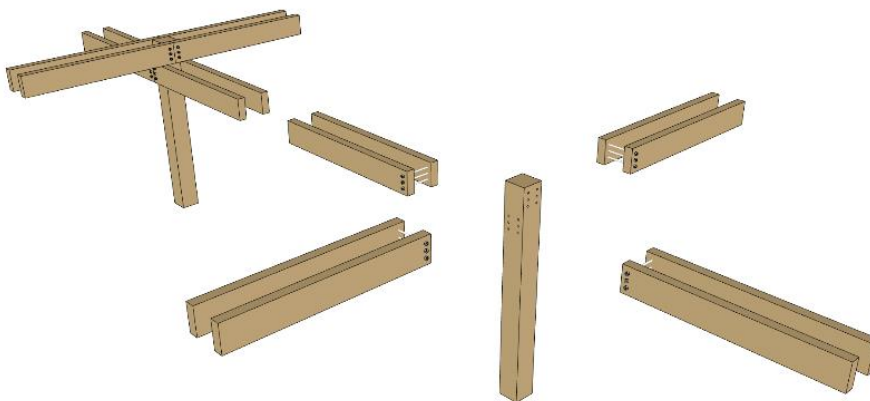
Het is in dit geval niet mogelijk om de hoogst haalbare R toe te kunnen passen: Refuse, het voorkomen van gebruik van virgin materials. Hiervoor zou direct hergebruik van een reeds bestaande constructie moeten plaatsvinden, dit is zeer locatieafhankelijk en vraagt om een nieuw ontwerp waar vanaf de start rekening wordt gehouden met hergebruik van de constructie.

Wel kan er zo zuinig mogelijk geconstrueerd worden om het materiaalgebruik zoveel mogelijk te beperken (Reduce). De korte overspanningen in het stramien van 3.600 mm zorgen ervoor dat er relatief dunne CLT-vloeren met een dikte van 120mm kunnen worden gebruikt, rekening houdend met de belasting van een kantoor. Daarnaast wordt er een dubbele balklaag toegepast om te voorkomen dat er grote balkhoogten worden gebruikt, waardoor het volume van het gebouw toeneemt en daarmee ook de kosten.

Als laatste draagt uniformiteit bij aan waardebehoud. Grote hoeveelheden van dezelfde producten of componenten, in dit geval houten balken zijn doorgaans makkelijker te hergebruiken dan slechts één balk.



Figuur 7: Verbindingen met veel bewerkingen



Figuur 6: Verbindingen met weinig bewerkingen

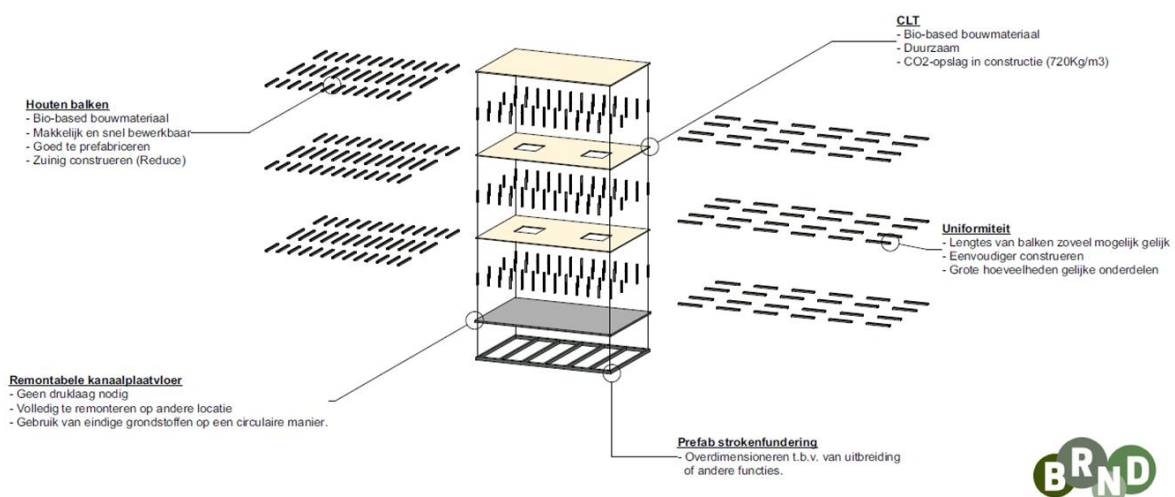
Materiaalgebruik

Op gebied van materiaalgebruik is er volgens Trias Materia als eerste getracht zo zuinig mogelijk te construeren dit sluit ook aan bij de R van Reduce uit het 10R-model, vervolgens is er in de constructie zoveel mogelijk gebruikt gemaakt van hout, een grondstof uit de biologische kringloop. Uit referenties blijkt bouwen met een houten balkconstructie en CLT-vloeren daar een goede manier voor is. Hout laat zich makkelijk en snel bewerken en prefabriceren, daarnaast neemt hout ook nog eens CO₂ op in plaats van dat uit te stoten zoals bij gangbare constructiematerialen zoals metaal of beton, hierdoor is er minder milieudruk, iets wat in het 10R-model gezien wordt als een maatstaaf van circulariteit.

Alleen voor de fundering en begane grondvloer was het niet mogelijk om materialen afkomstig uit de biologische kringloop te gebruiken. Hier is dan ook gebruik gemaakt van de derde stap van Trias Materia: het zo efficiënt mogelijk gebruiken van eindige grondstoffen. Dit is gedaan in de vorm van een remontabele kanaalplaatvloer, ontwikkeld door Cepezed. Voor deze vloer is geen druklaag nodig en dat maakt hem makkelijk te remonteren. Op deze manier wordt er op een efficiënte en circulaire manier omgegaan met niet hernieuwbare grondstoffen.

Functie

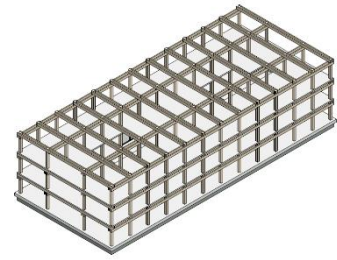
Bij het toepassen van adaptief vermogen is onderzocht welke functies eventueel zouden passen in hetzelfde stramien. Bijvoorbeeld een school met klaslokalen van 7.000 x 7.000 mm. Het realiseren van meerdere klaslokalen in deze constructie is dus goed mogelijk.



Figuur 8: Overzicht circulariteit van structure

7.3 Services

De installaties (services) zoals ventilatiekanalen, bekabeling of bewegende onderdelen van een lift zijn de 'werkende' onderdelen van een gebouw. Deze onderdelen slijten of verouderen elke 7 tot 15 jaar. Veel gebouwen worden gesloopt als installaties verouderen en te diep ingebed zijn om los te kunnen vervangen.

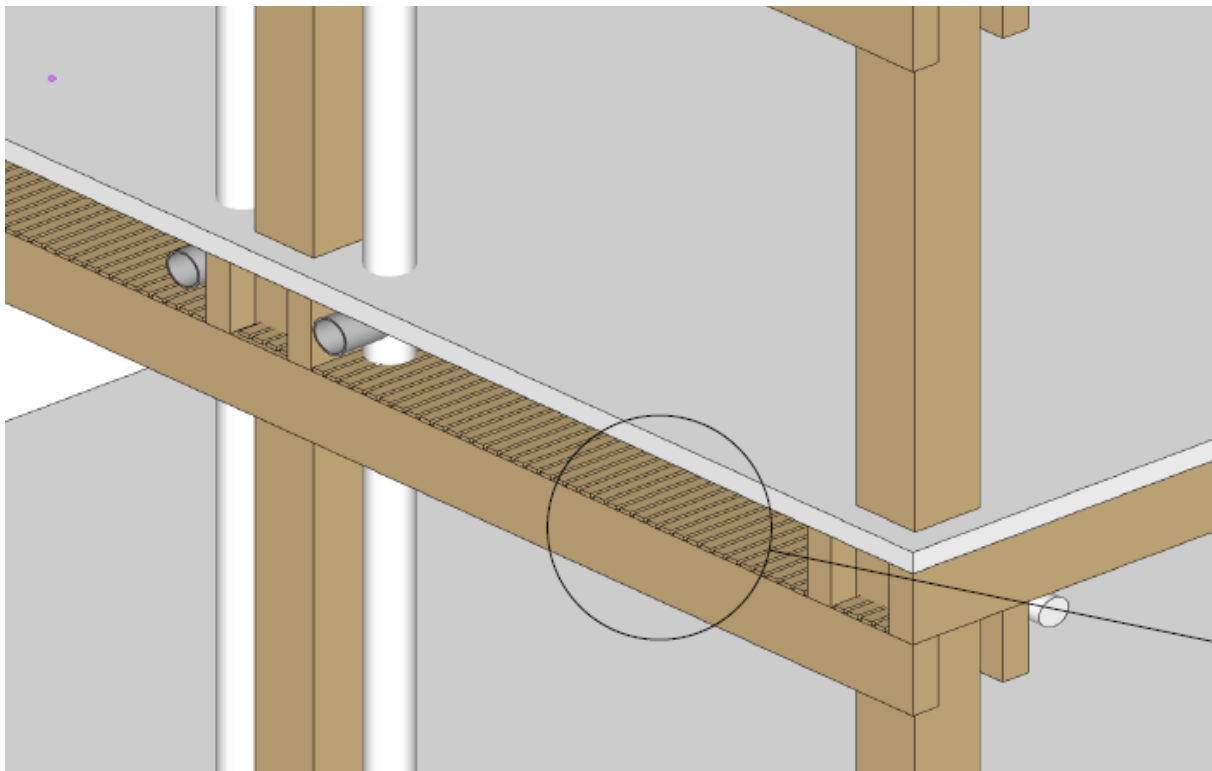


Losmaakbaarheid

Voor de services geldt het volgende: deze zijn op een zodanige manier opgenomen in de constructie dat deze eenvoudig verwijderd kunnen worden. De installaties zijn in samenhang met de constructie ontworpen. Door een dubbele balklaag ontstaat een ruimte voor installaties, deze kunnen hierdoor uit het zicht gemonteerd worden maar nog steeds eenvoudig weer verwijderd worden. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van een remontabel grill plafond (figuur 9).

Waardebehoud

Voor hoogwaardig hergebruik van installaties geldt dat deze heel moeten blijven en tijdens de remontage niet vervuild mogen raken met andere bouwmaterialen. Hierin wordt voorzien door te zorgen voor losmaakbaarheid. De installaties hebben ruimte gekregen in de constructie. Wel zijn de installaties weggewerkt achter een grill-plafond. Dit type plafond is volledige en eenvoudig te remonteren waardoor eventuele vervanging van installaties gemakkelijk kan geschieden.



Figuur 9: Implementatie van GRILL-plafond

Materiaalgebruik

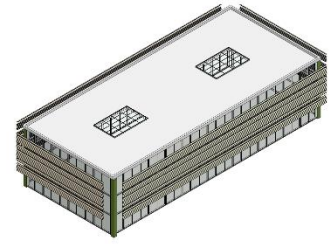
Bij installaties is het vrijwel onmogelijk om materialen te gebruiken uit de biologische kringloop, wel kan er met technische materialen zo zuinig mogelijk worden geconstrueerd. Er is getracht om allereerst zo weinig mogelijk installaties te hoeven gebruiken met het oog op besparing van materiaal en grondstoffen.

Het is zonder uitvoerige berekeningen moeilijk om een installatieconcept te bedenken waarbij zo weinig mogelijk installaties nodig zijn. De oplossing hiervoor moet gezocht worden in passieve installaties en door middel van slim bouwen waardoor minder installaties nodig zijn. Een voorbeeld hiervan is het gebruiken van de zonwering waardoor het gebruik van de zon als warmtebron mogelijk is. Dit ligt echter buiten de expertise van dit onderzoek.

Door een bouwfysicus in te schakelen en slim te bouwen kunnen de installaties minimaal worden toegepast en wordt alles zoveel mogelijk passief geregeld. Hiermee wordt materiaal en energie bespaard en daarmee ook kosten. Voor de installaties die dan nog wel nodig zijn geldt dat ze eenvoudig losmaakbaar moeten zijn.

7.4 Skin

De huid (skin) van een gebouw veranderd volgens het 6S-model eens per 20 jaar, volledig of gedeeltelijk. Dit is vooral te wijden aan de verandering op gebied van thermische weerstand en kierdichting van de schil.



Losmaakbaarheid

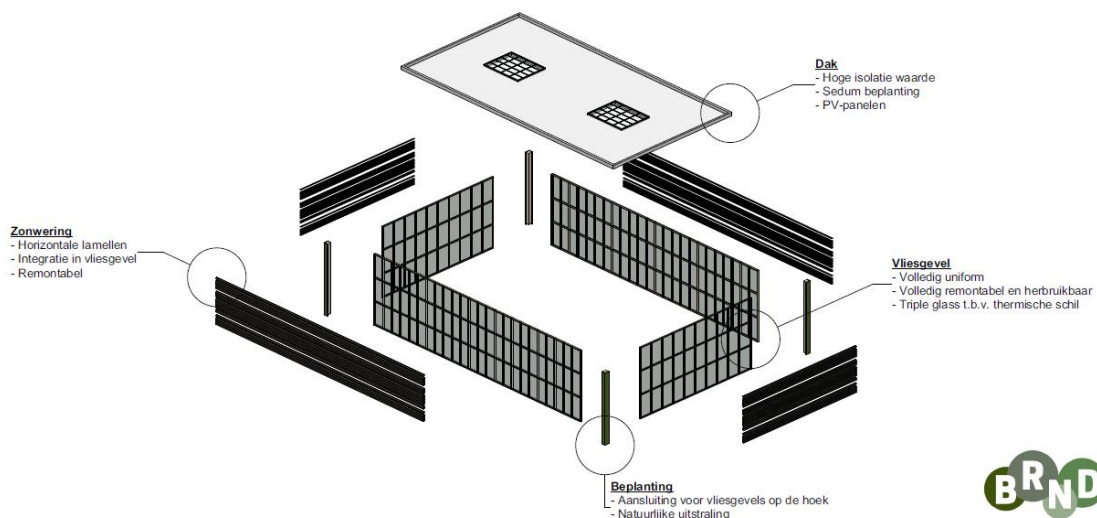
De derde laag van het 6S-model is Skin. De skin is de huid van het gebouw. Ook hier is gekeken naar de losmaakbaarheid, er is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een vliesgevel die eenvoudig en snel te monteren en demonteren is. De zonwering is geïntegreerd met de vliesgevel waardoor deze eveneens makkelijk te demonteren is. Alle verbindingen in de gevel zijn door middel van bouten, er is niks gelijmd of gekit. Ook op de hoeken van het gebouw waar gebruik wordt gemaakt van beplanting. Deze beplanting heeft aanhechting op hergebruikte gaaspanelen. Voor het dak geldt dat er gebruik gemaakt is van een opbouw die los op elkaar ligt en daarmee losmaakbaar is.

Waardebehoud

Waardebehoud wordt hier gefaciliteerd door grote mate van uniformiteit en het gebruik van een volledig uniforme en schroefbare vliesgevel. Grote hoeveelheden van dezelfde producten of componenten, in dit geval vliesgevel elementen zijn doorgaans makkelijker te hergebruiken dan slechts één element.

Materiaalgebruik

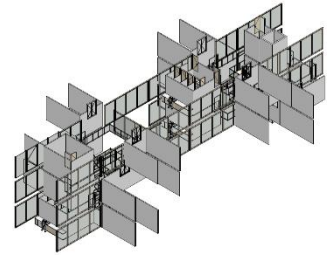
De materialen die gebruikt voor de isolerende werking van het gebouw zijn zoveel mogelijk afkomstig uit de biologische kringloop. Zo wordt er voor dak, gevel en vloer gebruik gemaakt van verschillende typen houtvezel isolatie. Daarnaast is er sedum toegepast op het dak, dit draagt specifiek weer bij aan het beperken van de gebouw gebonden energie.



Figuur 10: Overzicht circulariteit van skin

7.5 Space plan

Space Plan wil zeggen: de indeling van het gebouw: muren, plafonds, vloeren of deuren. Voor sommige functies geldt dat de indeling een per 3 jaar veranderd. De levensduur voor woning is vaak langer, 30 jaar.



Losmaakbaarheid

Bij het maken van interne scheidingen is het belangrijk om losmaakbaarheid te implementeren. Dit is gedaan aan de hand van een les uit een casestudy. Het maken van verschillende modules die opgebouwd zijn uit steeds dezelfde componenten. Ook voor de trappen geldt het volgende: deze zijn zo gemonteerd dat deze op een zodanige manier kunnen worden gedemonteerd dat deze herbruikbaar zijn. Door de lichtstraten waaronder deze zich bevinden. De trap kan op deze manier uit het gebouw gehaald worden zonder dat deze volledig uit elkaar moet worden gehaald.

Waardebehoud

De waarde wordt in het space plan behouden door gebruik te maken van scheidende wanden die afkomstig zijn van een leverancier die een circulair businessplan heeft. Hierbij blijven de wanden eigendom van de leverancier en kunnen deze bij vervangingen of demontage weer worden gebruikt in een ander project.

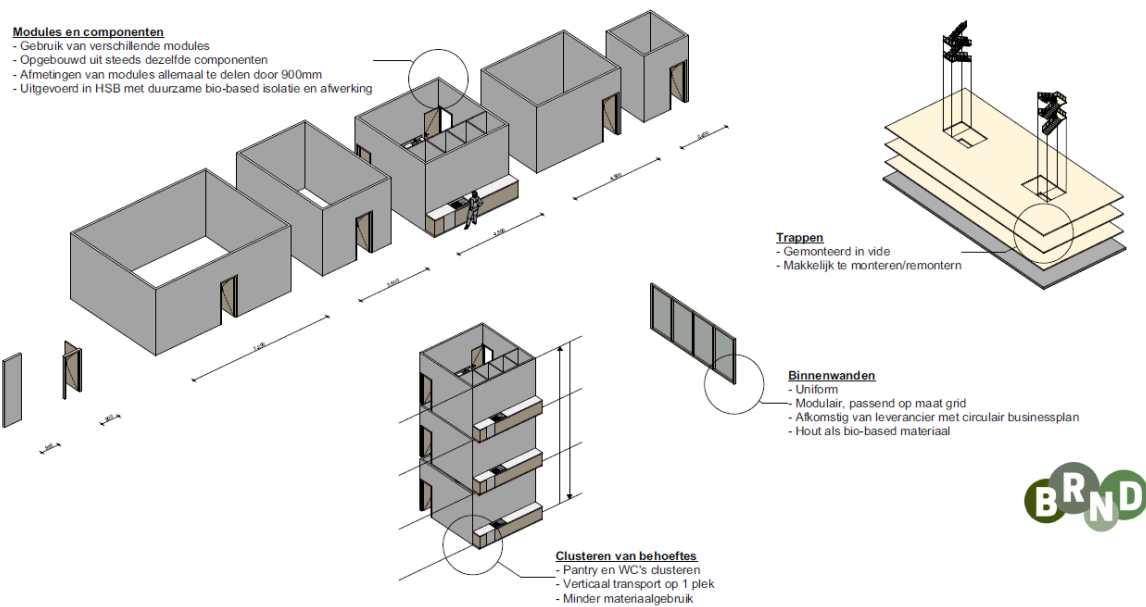
Materiaalgebruik

Voor materiaal gebruik geldt dat alle componenten waaruit de modules zijn opgebouwd uit materialen bestaan afkomstig uit de biologische kringloop. Alleen daar waar dat niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij scharnieren en hang- en sluitwerk. Worden deze uit de technologische kringloop gehaald, hierbij wordt altijd getracht om gebruikt te maken van circulaire oplossingen.

Een andere manier om materiaalgebruik te reduceren is het clusteren van behoeften zoals water voor een pantry, toilet of douche. Door deze functies in het programma zoveel mogelijk samen te voegen ontstaat een besparing op materiaal (Reduce).

Functie

Bij space plan is, door gebruik van modules en componenten mogelijk om functie veranderingen makkelijk te realiseren. Modules kunnen worden aangepast of verwijderd ten behoeve van een andere functie.



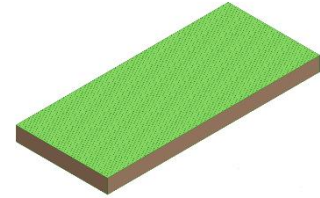
Figuur 11: Overzicht circulariteit van space plan

7.6 Site & Stuff

Als laatste zijn er nog twee lagen: Site en Stuff. Dit zijn de eerste en laatste laag van het 6S-model. Deze zijn hier apart genomen omdat in deze twee lagen de rol van een bouwkundig ingenieur beperkt is.

Site

Site is de geografische setting, de locatie en wettelijke kavel. De grenzen en context hiervan overleven generaties vankortstondige gebouwen. Site is eeuwig (eternal).

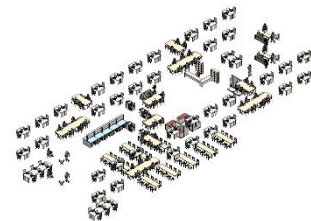


Bij de fundering en omgeving kunnen de verschillende methodieken minder goed worden toegepast. Echter is er wel informatie beschikbaar over toepassing van circulariteit in deze laag.

- Het voorzien van een kleine kringloop door te waarborgen dat het kantoorgebouw binnen een straal van 100 km te remonteren is. Hierdoor vindt geen onnodige transport plaats. Op deze manier is er sprake van een lokale kringloop. Daarbij geldt dat het gewenst is om ook de materialen waaruit het gebouw is geconstrueerd te halen uit deze radius. Hiermee wordt een besparing behaald op zowel geld als CO₂-uitstoot.
- Het lichter construeren door gebruik te maken van hout als constructiemateriaal zorgt ervoor dat er een minder zware fundering wordt toegepast. Op deze manier wordt de impact op de site geminimaliseerd.

Stuff

Stuff, de spullen in het gebouw. Stoelen, bureau's, foto's, keukenapparatuur. Alle dingen die dagelijks tot maandelijks veranderen. Meubilair wordt niet voor niks mobilia genoemd in het Italiaans.



Ervoor zorgen dat meubilair voor het grootste gedeelte uit natuurlijk materialen bestaat. Daarnaast dient er gekeken te worden naar de verschillende R'en van het 10R-model. Met name: Refuse, Re-use, Refurbish en Remanufacture. Hierbij is de rol van een partij als architect belangrijk. Deze kan, door gebruik van een interieurarchitect, meer grip krijgen op deze laag.

In het verlengde van de laag: Stuff staat een zevende laag: Souls. De souls zijn de individuen die het gebouw gebruiken. Deze laag is niet definitief opgenomen in het 6S-model omdat het niet een daadwerkelijk onderdeel is van het gebouw. Maar deze laag wordt wel genoemd in de theorie van Stewart Brand.

- Afvalscheiding ten behoeve pure stromen. Afvalstromen die vervuult raken met een grote verscheidenheid aan soorten afval zijn moeilijker te hergebruiken en belanden hierdoor veelal in de verbrandingsoven.
- Een circulaire bedrijfscultuur past goed bij een circulair kantoorgebouw. Om optimaal gebruik te maken van het kantoor is deze cultuur noodzakelijk.

7.7 Conclusie

Er kan worden geconcludeerd dat het 6S-model het meest waardevol is geweest voor het ontwerp. Het heeft de juiste structuur gegeven aan het ontwerp en heeft er voor gezorgd dat in elke laag rekening is gehouden met de losmaakbaarheid hiervan.

Daarnaast is duurzaam materiaalgebruik belangrijk maar zolang niet-duurzame materialen oneindig kunnen circuleren zonder veel bewerkingen en de behoefte aan nieuwe materialen dan is dat circulair. Hier geldt wel weer de uitzondering dat de bevolking groeit en daarmee de vraag naar gebouwen en dus materialen/grondstoffen. Het gebruik van duurzame materialen wordt daarom wel aanbevolen.

8. Conclusie

In dit hoofdstuk komen theorie, methodiek, casestudies en ontwerp samen en wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Hoe kan circulair bouwen worden toegepast op een bestaand schetsontwerp van een kantoorgebouw en vervolgens meetbaar worden vertaald naar een technische uitwerking op VO+ niveau?

Door onderzoek te doen naar een circulaire economie, circulaire ontwerpmethodieken en casestudies is een ontwerpstrategie gedestilleerd die is toegepast op een schetsontwerp van een kantoorgebouw. Dit is op een navolgbare manier gebeurd. Deze theorie, methodieken en casestudies zijn als volgt toegepast:

Allereerst wordt er gebruik gemaakt van de verschillende lagen van 6S-model als structuur voor het ontwerp en ontwerpproces. Door dit te doen wordt de losmaakbaarheid van de verschillende lagen en het geheel gefaciliteerd. Daarnaast wordt in de afzonderlijke lagen ook gebruik gemaakt van andere methodieken zoals het 10R-model, Trias Materia en Adaptief Vermogen.

In de eerste laag: Site wordt er voor gezorgd dat het kantoor gebouw volledig te remonteren is op een ander locatie binnen een straal van 100 km. Daarnaast wordt er bij het ontwerp rekening gehouden met het gewicht van het bouwwerk om zo licht mogelijk te kunnen funderen waardoor de impact op de site minimaal blijft.

In de tweede laag, Structure, worden installaties op een zodanige manier opgenomen in de constructie dat deze eenvoudig verwijderd kunnen worden. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van losmaakbare droge verbindingen die eenvoudig te monteren zijn. Dit draagt allemaal bij aan het bevorderen van de herbruikbaarheid. Voor de begane grondvloer geldt dat deze niet uitgevoerd kan worden in bio-based materiaal. De vloer wordt daarom opgebouwd uit remontabele kanaalplaten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de methodiek Trias Materia.

Bij de derde laag: Services, worden installaties op een zodanige manier opgenomen in de constructie dat deze eenvoudig verwijderd kunnen worden. Door een dubbele balklaag toe te passen ontstaat een ruimte voor deze installaties. Vervolgens worden deze weggewerkt achter een remontabel grill plafond. Door op deze manier te construeren wordt ervoor gezorgd dat tijdens de remontage de afvalstromen niet vervuild raken met andere bouwmaterialen. Daarnaast is het bij installaties vrijwel onmogelijk om materialen te gebruiken uit de biologische kringloop. Wel kan er met technische materialen zo zuinig mogelijk worden geconstrueerd. Er is getracht om allereerst zo weinig mogelijk installaties te hoeven gebruiken met het oog op besparing van materiaal en grondstoffen.

Vervolgens wordt in laag vier: Skin gefocust op de losmaakbaarheid. Er is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een vliesgevel die eenvoudig en snel te monteren en demonteren is. De zonwering is geïntegreerd met de vliesgevel waardoor deze eveneens makkelijk te demonteren is. Alle verbindingen in de gevel zijn door middel van bouten, er is niks

gelijmd of gekit. Dit geldt ook voor de hoeken van het gebouw waar gebruik wordt gemaakt van beplanting. Deze beplanting heeft aanhechting op hergebruikte gaaspanelen. Voor het dak geldt dat er gebruik gemaakt is van een opbouw die los op elkaar ligt en daarmee losmaakbaar is. Hierbij is een grote mate van uniformiteit toegepast en is al het overige isolatiemateriaal afkomstig uit de biologische kringloop.

Daarna komt laag vijf: Space Plan waarbij gebruikt gemaakt is van verschillende modules die opgebouwd zijn uit steeds dezelfde componenten. Ook voor de trappen geldt het volgende: deze zijn zo gemonteerd dat ze op een zodanige manier kunnen worden gedemonteerd dat ze herbruikbaar zijn. Scheidende wanden zijn afkomstig van een leverancier die een circulair businessplan heeft. Hierbij blijven de wanden eigendom van de leverancier en kunnen deze bij vervangingen of demontage weer worden gebruikt in een ander project. Alle materialen en componenten waaruit de modules zijn opgebouwd zijn afkomstig uit de biologische kringloop. Alleen daar waar dat niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij scharnieren en hang- en sluitwerk, worden deze uit de technologische kringloop gehaald. Om materiaalgebruik te reduceren is het er gebruik gemaakt van het clusteren van behoeften zoals water voor een pantry, toilet of douche. Door deze functies in het programma zoveel mogelijk samen te voegen ontstaat een besparing op materiaal.

In de laatste laag: Stuff wordt door toepassing van speciale prullenbakken en het creëren van bewustwording door educatie gezorgd voor afvalscheiding ten behoeve pure afvalstromen. Afvalstromen die vervuild raken met een grote verscheidenheid aan soorten afval zijn moeilijker te hergebruiken en belanden hierdoor veelal in de verbrandingsoven.

Het ontwerp en de uitleg geven antwoord op de hoofdvraag door de toepassing van circulaire economie en circulair bouwen op een bestaand schetsontwerp te laten zien. Daarnaast dragen dit onderzoek en het ontwerp bij aan de doelstelling: het bijdragen aan het terugdringen van de grondstoffenschaarste en de transitie naar een circulaire economie. Hieraan wordt bijgedragen door opdrachtgevers en ontwikkelaars door middel van dit onderzoek- en ontwerprapport te laten zien wat circulariteit is en hoe dit toegepast kan worden in een ontwerp. Hiermee wordt getracht bewustwording en draagvlak te creëren bij deze groep door ze de kansen en mogelijkheden te laten zien van circulair bouwen.

Want:

Ontwerp zet de circulaire principes om in een vaste vorm die een opvallende ervaring bewerkstelligt en de weg vooruit kan laten zien aan onze maatschappij.

3XN Architects

9. Discussie

Na voltooiing van dit onderzoek is er ruimte voor discussie. In dit hoofdstuk wordt er kritisch gekeken naar de gebruikte methode, het onderzoek en de toepassing hiervan.

9.1 Aanpak en resultaat

Het onderzoek is opgedeeld in drie delen: een theoretisch onderzoek naar de definitie van een circulaire economie en circulair bouwen, een onderzoek naar beschikbare methodieken die gebaseerd zijn op deze theorieën en een aantal casestudies waarin de methodieken bewezen worden door daadwerkelijke toepassing ervan. Dit zorgt voor een geloofwaardig ontwerp op basis van de theorie, methodiek en casestudies uit het onderzoek. Er is namelijk gebruik gemaakt van theorie afkomstig van betrouwbare bronnen (overheden en organisaties). Deze theorie vormt de basis voor vele methodieken waarvan er enkele zijn gekozen voor het onderzoek. Ook voor deze methodieken geldt dat ze afkomstig zijn van betrouwbare bronnen. Daarnaast kunnen ze geverifieerd worden met de theorie van hoofdstuk 3. Als laatste laten de casestudies nog zien dat ook de methodieken bewezen zijn door toepassing hiervan in gerealiseerd projecten. Er zijn verschillende 'schools of thought' maar de theorieën en methodieken in dit onderzoek zijn verreweg het bekendst en er is het meest over geschreven.

9.2 Betrouwbaarheid en draagvlak

In het onderzoek naar theorie en methodieken omtrent circulaire economie en circulair bouwen is gebruik gemaakt van betrouwbare bronnen afkomstig van overheden, professionele auteurs, bedrijven, stichtingen of organisaties. Voor veel informatie geldt ook dat deze overeenkomt met die van andere bronnen, waardoor betrouwbaarheid wordt gewaarborgd. Daarnaast is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van recente bronnen. Circulariteit is een nieuw onderwerp en wordt nog niet op grote schaal toegepast, daarom kunnen de gebruikte theorieën in de toekomst wellicht verbeterd of aangepast worden. Wel is met zekerheid te zeggen dat de grote lijnen een bewezen oplossing zijn voor het probleem.

Voor de casestudies geldt dat deze allemaal daadwerkelijk uitgevoerd en gebouwd zijn, waarmee wordt bewezen dat onderzochte theorieën en methodieken ook in de praktijk werken. De verschillende ontwerpen zijn veelal vergelijkbaar in omvang, materiaalgebruik en functie met het gemaakte ontwerp. Dit zorgt ervoor dat het aannemelijk is dat de verschillende lessen uit de casestudies ook zullen werken bij een eventuele uitvoering van het gemaakte ontwerp voor een circulair kantoorgebouw.

Over het draagvlak voor dit onderzoek kan het volgende worden gezegd: Circulariteit is een relevant en actueel onderwerp met vraagstukken die in de hedendaagse maar ook de toekomstige samenleving terugkomen in de vorm van ontwerpen en bouwen, maar ook in vele andere (productie)sectoren. Daarnaast zien we in de hedendaagse gebouwde omgeving de volgende ontwikkelingen: het Manifest Circulaire Architectuur van de Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus (BNA) welke architectenbureaus zoals vector-i kunnen ondertekenen en daarmee onderschrijven hun projecten circulair uit te voeren. Dit is slechts één van de gevolgen van de ambitie van de overheid om ervoor te zorgen dat de gebouwde omgeving in 2050 in Nederland volledig circulair is.

Als laatste sluit de thematiek van dit onderzoek aan bij één van de thema's die volgens de Hanzehogeschool spelen in Noord-Nederland: "Hoe zorgen we voor genoeg?" Dit

thema past bij de ambitie om een bijdrage te leveren aan de energietransitie en het verduurzamen en circulair maken van onze leefomgeving door middel van architectuur.

9.3 Materiaalgebruik

Er is in het ontwerp vooral gebruik gemaakt van nieuwe (virgin) materialen afkomstig uit de biologische kringloop. Er heeft dus ook weinig hergebruik van bestaande materialen of componenten plaatsgevonden. Dit past dan ook niet bij de Refuse van het 10R-model. Het gebruik van nieuwe materialen daarentegen is te wijden aan het beperkte aanbod van circulaire producten. Wanneer instanties als Madaster geheel uitgerust zijn met veel data en materialen wordt het makkelijker om direct hergebruik te realiseren. Echter, door het gebruik van virgin materials uit de biologische kringloop is er alsnog gezorgd voor een circulaire manier van bouwen vanwege een positieve milieudruk. Bij de toepassing van de verschillende methodieken in dit onderzoek wordt dan ook aanbevolen om bij verbouw, maar ook nieuwbouw gebruik te maken van bestaande onderdelen van het te vervangen gebouw. Als dit niet meer mogelijk is dan kan er overgeschakeld worden op natuurlijke materialen.

9.4 Installaties

Installaties kunnen nog eenvoudiger worden uitgevoerd en wellicht meer passief. Dit is echter een zeer specialistisch onderwerp, waarmee in dit onderzoek in beperkte mate rekening is gehouden. Er zijn globale oplossingen genoemd voor het gebruik van installaties in het ontwerp.

9.5 Constructie

De constructie kan wellicht nog anders worden geconstrueerd. Er is met behulp van referenties, casestudies en ontwerpregels een zo zuinig mogelijk constructie opgezet waarin rekening is gehouden met de eisen voor belasting van gebouwen met een kantoorfunctie.

9.6 Kosten & comfort

Er is in dit onderzoek geen rekening gehouden met het verband tussen circulair bouwen en de kosten daarvan. Terwijl ook daar voordelen liggen. Uit een referentie komt naar voren dat door het goed toepassen van circulariteit, tijd en geld kan worden bespaard op materiaal, energie en transport.

Daarnaast brengt circulair bouwen ook nog een bepaald comfort met zich mee. Gebouwen die gebouwd zijn volgens circulaire bio-based principes zoals het kantoor worden ervaren als gezond en comfortabel.

10. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden aan de hand van de voorgaande discussie nog enkele aanbevelingen gedaan voor aanvullend onderzoek.

10.1 Installaties

Installaties kunnen nog eenvoudiger worden uitgevoerd en wellicht meer passief. Om de installaties volledig tot hun recht te laten komen dient er aanvullend onderzoek te worden gedaan door een bouwfysicus naar de mogelijkheden om zoveel mogelijk passieve installaties te implementeren waarmee bespaard kan worden op materiaal. Een geschikte bron hiervoor is: Architectuur als Klimaatmachine, V. Yanovshtchinsky, K. Huibers, A van den Dobbelsteen (2013)

10.2 Constructie

De constructie kan wellicht nog zuiniger worden geconstrueerd. Deze dient door een constructeur, die ervaren is met soortgelijke houten constructies, geoptimaliseerd te worden. Op deze manier kan de efficiëntie van de constructie en daarmee de R van Reduce gewaarborgd worden.

10.3 Kosten en comfort

Er is in dit onderzoek geen rekening gehouden met het verband tussen circulair bouwen en de kosten daarvan. Terwijl ook daar voordelen liggen. Uit een referentie komt naar voren dat door het goed toepassen van circulariteit, tijd en geld kan worden bespaard op materiaal, energie en transport. Daarnaast brengt circulair bouwen ook nog een bepaald comfort met zich mee. Gebouwen die gebouwd zijn volgens circulaire bio-based principes zoals het kantoor worden ervaren als gezond en comfortabel.

Dit zijn twee punten die voor ontwikkelaars en gebruikers belangrijk zijn. Een aanvullend onderzoek naar kosten en comfort wordt daarom aanbevolen.

11. Bronnenlijst

1. Design flexibility. (2017, 13 juni). Geraadpleegd op 9 januari 2018, van https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_flexibility
2. Brand, S. (1994). How Buildings Learn: What Happens After They're Built. UK: Viking Press.
3. Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy. Geraadpleegd van <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
4. Het Groene Brein. (z.d.). Circulaire economie verschilt van een lineaire economie - maar hoe? Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/kenniskaart-circulaire-economie/is-verschil-circulaire-en-lineaire-economie/>
5. Lachmeijer, R. (2018a, 22 januari). Circulair bouwen in de praktijk: We staan aan het begin. Geraadpleegd op 23 september 2019, van <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/infra/26853/circulair-bouwen-in-de-praktijk-we-staan-aan-het-begin>
6. Lachmeijer, R. (2018b, 11 maart). 5 ontwikkelingen die circulaire bouw versnellen. Geraadpleegd op 1 oktober 2019, van <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/circulaire-economie/27459/5-ontwikkelingen-die-nodig-zijn-om-circulaire-bouw-van-de-grond-te-krijgen>
7. Planbureau voor de Leefomgeving. (z.d.). Waarom een circulaire economie? Geraadpleegd op 1 oktober 2019, van <https://themasites.pbl.nl/circulaire-economie/>
8. Platform CB'23. (2019a). Framework Circulair Bouwen. Geraadpleegd van https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Framework_Circulair_Bouwen_Versie_1.0.pdf
9. Platform CB'23. (2019b). Lexicon Circulair Bouwen. Geraadpleegd van https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Lexicon_Circulair_Bouwen_Versie_1.0.pdf
10. RVO. (z.d.). Circulair bouwen. Geraadpleegd op 1 oktober 2019, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/groene-economie/circulaire-economie/circulair-bouwen>
11. Vos, N. (2018). Bouwen aan een circulaire toekomst. Geraadpleegd van <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/374453/Scriptie%20definitief%20Nathan%20Vos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
12. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

13. Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
14. <http://www.dictionary.com/browse/adaptability>)<http://www.dictionary.com/browse/adaptability>
15. <http://www.dictionary.com/browse/adaptability>)<http://www.dictionary.com/browse/transformable>

12. Bijlage

1. Circulair plan van aanpak
2. VO+ tekeningen
3. Lexicon 'circulair bouwen'