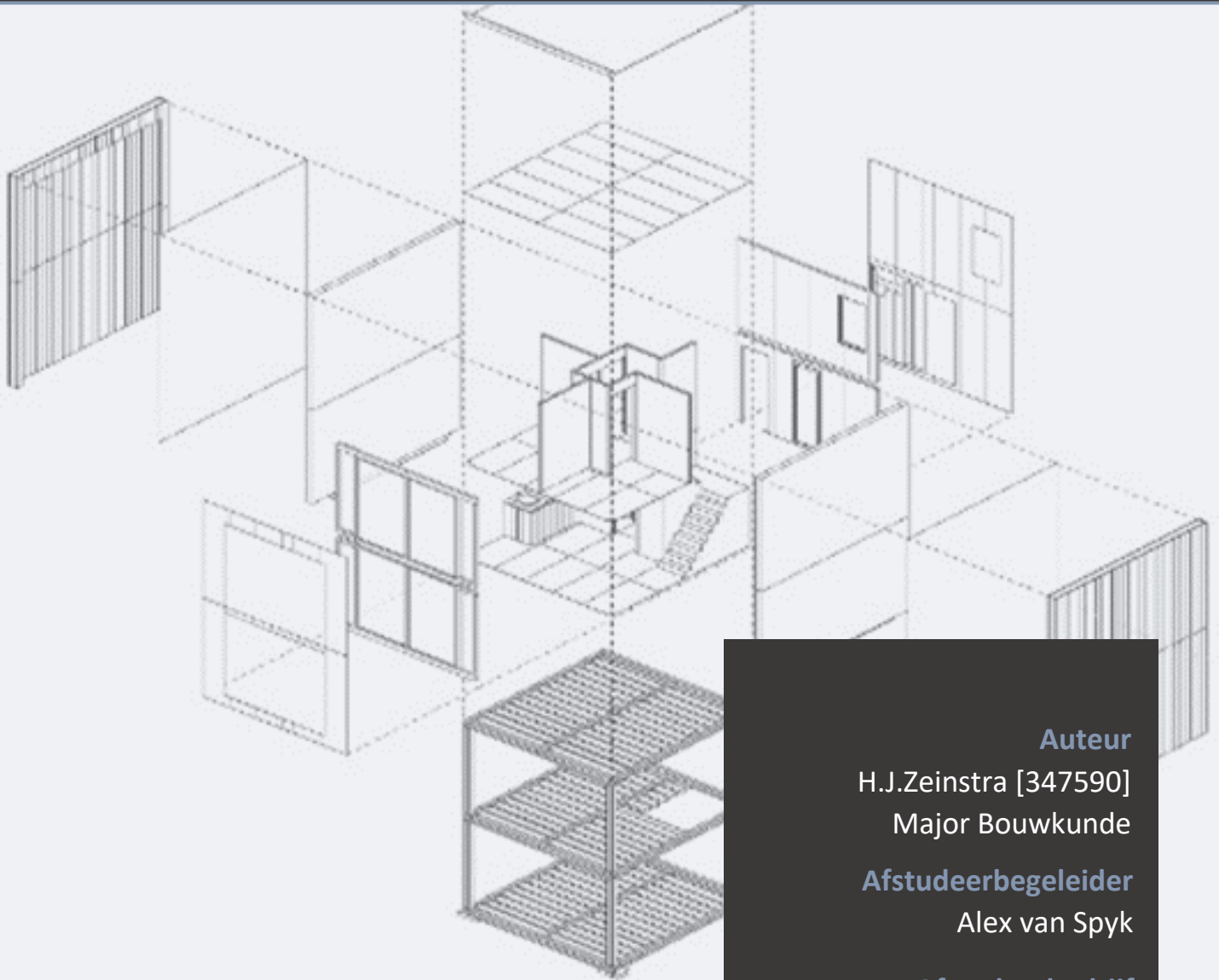


Basismodel Circulair bouwen

**Auteur**

H.J.Zeinstra [347590]
Major Bouwkunde

Afstudeerbegeleider

Alex van Spyk

Afstudeerbedrijf

Onix NL, Groningen

Afstudeerperiode

September 2018 – Juli 2019

Versie

1.5

PROJECTINFORMATIE

Auteur

Naam	Hindrik Zeinstra
Studentnummer	347590

Opleiding

Onderwijsinstelling	Hanzehogeschool
Adres	Zernikeplein 11, 9747 AS
Locatie	Groningen, provincie Groningen
Opleiding	Built Environment, Bouwkunde
Afstudeerjaar	2018 - 2019

Bedrijf

Opdrachtgever	Onix NL
Contactpersoon	Lamia Towalski en Marek Boekholt
Adres	Hereplein 6, 9711 GA
Locatie	Groningen, provincie Groningen
telefoon	050 529 0252
Email	info@onix.nl
Website	www.onix.nl

Begeleiding

Afstudeerbegeleider	<i>Alex van Spyk</i>
Email	-
Telefoon	-
Afstudeercoördinator	Mevr. M. Scholten-Bouwman
Email	m.j.scholten-bouwman@pl.hanze.nl
Telefoon	050 - 595 45 87

VOORWOORD

Dit rapport is geschreven in het kader van afstuderen aan de opleiding Built Environment aan de Hanzehogeschool Groningen. Dit is bedoeld als afsluitend onderzoek van de studie om de opgedane kennis toe te passen in de praktijk. Onderzocht is hoe Circulair bouwen inzichtelijker gemaakt kan worden. Het onderzoek heeft plaatsgevonden tijdens een stageperiode bij Onix NL, een architectenbureau in Groningen. Het onderzoek is verricht in de periode September 2018 tot en met Mei 2019.

Voorafgaand aan de start van het onderzoek is een afstudeervoorstel gemaakt. Tijdens het proces heeft het onderzoek een andere wending gekregen dan beschreven staat in het afstudeervoorstel. Eerst was het doel om te verdiepen in de term embodied energy. Echter er is besloten dat een toepasbaar model voor praktijkgebruik een gewenster resultaat is.

Het afstudeeronderwerp 'Circulair Bouwen' is vastgesteld in overleg met de stageplek en voedt uit de wil om ervaringen uit volbrachte minors in jaar 3, namelijk Smart energy en Architectural design, te combineren in een afstudeerthema.

SAMENVATTING

Na de levensfase van een product gaan de grondstoffen vaak grotendeels verloren. Onze grondstoffen zijn eindig en het produceren van deze producten kost energie, dit is dus niet een toekomstbestendige manier om met onze grondstoffen om te gaan. Door het toepassen van een circulaire economie kan er wel toekomstbestendig worden omgegaan met de grondstoffen. In een circulaire economie ligt de focus op het behouden van de waarde van grondstoffen. Hierbij worden materialen hergebruikt in plaats van gebruikt.

De bouw is als sector een van de grootste grondstof gebruikers van Nederland. Een transitie naar een circulaire economie is dus hoogstnoodig. Hierbij wordt er gestreefd naar een circulair patroon, waarbij na de sloop (demontage) materialen weer opnieuw gebruikt kunnen worden. oftewel het *circulaire bouwen*. Circulair bouwen bestaat al enige tijd en wordt steeds meer toegepast. Echter is het nog steeds niet een algemeen bekende term binnen de bouw en bevind hiermee zicht toch in een beginstadium. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk de onzekerheid die rond het begrip heerst. Er bestaat niet echt een definitie en er zijn een eisen waaraan getoetst kan worden. Het doel van dit onderzoek is om hier meer inzicht in te krijgen.

Dit is gedaan door het ontwerpen van een analytisch model: *Het Circulaire Basismodel*. Het model is geïnspireerd op de trias energetica en volgt ook drie stappen die in dit geval leiden tot een circulair ontwerp. Deze *Trias Circulus* bestaat, zoals eerder gezegd, uit drie stappen namelijk:

- Minimaliseren van materiaalgebruik
- Gebruiken van materialen met een lage milieubelasting
- Mogelijk maken van hergebruik na de levensfase

Om verder invulling te geven aan deze deelvragen is per stap uitgezocht hoe dit bereikt kan worden. Hierbij zijn 'sub-stappen' onderzocht die leiden tot het behalen van een van de drie hoofdstappen. Per hoofdstap is een deelvraag opgesteld. Deze zijn als volgt:

Deelvraag I: Hoe kan het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd worden?

Deelvraag II: Welke materialen hebben een lage milieubelasting?

Deelvraag III: Hoe kan een bouwwerk na zijn levensduur makkelijk worden hergebruikt?

Om de toepasbaarheid van de trias circulus te testen is een praktijkvoorbeeld genomen die circulair zal worden herontworpen met behulp van het model. Het gaat hierbij om de Cubestee van Onix NL. Hiervoor is ook een deelvraag opgesteld:

Deelvraag IV: Hoe kan de Cubestee circulair herontworpen worden rekening houdend met circulair bouwen?

Uit deze deelvraag is daadwerkelijk een circulair herontwerp gekomen. In hoofdstuk 8: *Verbeterscenario*, zal verder worden ingegaan op het ontwerp en het ontwerpproces. Met de combinatie tussen het praktijk gerelateerde herontwerp en het circulaire basismodel, de trias energetica, wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Hoe kan circulair bouwen inzichtelijk gemaakt worden waarbij de toepassing in de praktijk wordt bevorderd?

Deelvraag 1

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd kan worden. Hieruit zijn drie sub-stappen gekomen: *Gebruik product as a service, hergebruik bestaande bouwwerken* en *optimaliseer de beschikbare bouwruimte*. De beste manier om minder materiaal te gebruiken is om het niet te gebruiken maar te lenen. Hier komt het zogenaamde Product as a Service model van pas. Hierbij koop je een gewenst resultaat in plaats van een apparaat die dat gewenst resultaat kan bieden. Op deze manier blijft de producent eigenaar van hun producten en worden zo gestimuleerd om hoogwaardige en duurzame producten te maken. Hiernaast kan er gekeken worden of er ook een mogelijkheid is voor het hergebruik van bestaand vastgoed. Door bestaande gebouwen te herbestemmen kan het bouw materiaal bespaard worden dat anders zou worden gebruikt voor nieuwbouw. Uiteindelijk is het optimaliseren van de beschikbare bouwruimte belangrijk. Door het gebruik van aanpasbare, opnieuw configureerbare systemen waardoor nieuwe ruimtes gemakkelijk gecreëerd of aangepast kunnen worden, wordt er ingespeeld op het multifunctioneel gebruiken van bouwwerken.

Deelvraag II

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe je materialen met een lage milieubelasting kunt toepassen. Hieruit zijn drie sub-stappen gekomen: *Hergebruik uit sloop of andere toepassingen, gebruiken van biobased materialen* en *overige materialen met een lage milieubelasting*. Hierbij moet er begonnen worden met het hergebruiken van materialen uit sloop of andere toepassingen. De bruikbare aanwezige materialen kunnen een alternatief bieden voor het gebruiken van nieuwe, dure en schaarse grondstoffen. Als er geen hergebruikte materialen beschikbaar zijn is de volgende stap het kiezen van biobased materialen. Als we dus niet meer verbruiken dan dat er groeit, zullen we nooit met uitputting geconfronteerd worden. Als beide hergebruikte materialen en biobased materialen niet beschikbaar zijn kan het beste gekozen worden voor een materiaal met een zo laag mogelijke milieubelasting. Deze milieubelasting wordt bepaald aan de hand van een LCA vastgesteld.

Deelvraag III

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe een bouwwerk na zijn levensfase hergebruikt kan worden. Hieruit zijn drie sub-stappen gekomen: *demontage zonder materiaalschade, standaard maten en prefab gebruiken* en *het inzichtelijk maken van materiaalgebruik*. Hierbij moet als eerste gekeken worden naar demontage zonder materiaalschade. Er zal veel aandacht aan de detaillering geschonken moeten worden, specifiek op de droge verbindingen. standaard maatvoering moet zoveel mogelijk worden toepassen. Hierbij gaat het met name om standaard verbindingen zodat uitwisselbaarheid van elementen wordt vergemakkelijkt. Als laatste moet materiaalgebruik inzichtelijk gemaakt worden. Dit kan doormiddel van een materialen paspoort. Op deze manier is er bekend welke materialen er in het gebouw zijn gebruikt en zouden deze materialen kunnen worden teruggewonnen uit het object aan het einde van de levensduur.

Deelvraag IV

Na een analyse van de ontwerpdoelen van de huidige Cubestee is deze circulair herontworpen. Hierbij lag de focus vooral op het gebruiken van materialen met een lage milieubelasting in combinatie met het behouden van de demontabelheid. Hierbij is gebruik gemaakt van Oogstkaart en Marktplaats. Van het uiteindelijke ontwerp zijn tekeningen gemaakt die in de bijlagen te zien zijn.

INHOUDSOPGAVE

1.	FIGUREN EN TABELLENLIJST	0
2.	LIJST MET AFKORTINGEN.....	0
3.	INLEIDING	0
4.	PROBLEEMSTELLING.....	1
5.1	Toepassing circulair bouwen	1
5.1.1	Alliander kantoor in duiven	1
5.1.2	Gemeentehuis in Brummen	1
5.1.3	Stadskantoor Venlo	2
5.2	Trias Energetica	2
5.3	Trias Circulus.....	3
6	METHODOLOGIE.....	4
6.1	Data verzameling.....	4
7	ONDERZOEKSRESULTATEN	5
I	Hoe kan het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd worden?	5
7.1.1	Gebruik product as a service	5
7.1.2	hergebruik bestaand vastgoed	6
7.1.3	optimaliseer bouwruimte.....	7
7.1.6	conclusie	8
II	Welke materialen hebben een lage milieubelasting?	9
7.2.1	Hergebruik uit sloop of andere toepassingen	9
7.2.2	Gebruik biobased materialen	10
7.2.3	Bepaal milieubelasting	11
7.2.4	Conclusie	12
III	Hoe kan een bouwwerk na zijn levensduur makkelijk worden hergebruikt?	13
7.3.1	demontage zonder materiaalschade.....	13
7.3.2	standaard maten en prefab.....	14
7.3.3	maak materiaalgebruik inzichtelijk.....	15
7.3.4	conclusie	16

IV Hoe kan de Cubestee circulair herontworpen worden rekening houdend met circulair bouwen?	17
7.4.1 Ontwerpdoelen Cubestee	17
7.4.2 GPR/MPG berekening huidig ontwerp	18
7.4.3 MPG verbeterpunten	18
7.4.4 Aangepast ontwerp Cubestee	20
8 VERBETERSCENARIO	21
8.1 Ontwerp	21
8.2 Materiaalgebruik	22
8.3 Demontabelheid	24
9 CONCLUSIE	25
13 literatuurlijst	27
BIJLAGE I	28
BIJLAGE II	29
BIJLAGE III	30

1. FIGUREN EN TABELLENLIJST

Figuur 3: Alliander kantoor in duiven.....	1
Figuur 4: Gemeentehuis in Brummen	2
Figuur 5: Trias energetica	2
Figuur 6: Stads kantoor Venlo	2
Figuur 7: Trias Circulus	3
Figuur 8: bouwstenen analyse-beroepsproduct	4
Figuur 9: Gebruiksfunctie en leegstand door CBS.....	6
Figuur 10: Oude situatie, politiebureau	6
Figuur 11: Nieuwe situatie, Opvanghuis Veilige Veste.....	7
Figuur 12: Cubestee.....	8
Figuur 13: Minimaliseren materiaalgebruik	8
Figuur 14: kinder- en jeugdkliniek Emergis in Kloetinge.....	10
Figuur 15: District kantoor Rijkswaterstaat Terneuzen.....	10
Figuur 16:Tandartspraktijk Middenmeer	11
Figuur 17: Materialen met een lage milieubelasting	12
Figuur 18: Tijdelijke rechtbank Amsterdam ..	13
Figuur 19: Detail verbinding vloer met liggers	14
Figuur 20: materialen; steen, glas, hout, plastic, organisch, metaal, onbekend	15
Figuur 21: Lagen: locatie, constructie, omhulling, installatie, afbouw, interieur, onbekend	16
Figuur 22: Fasering; huidig, sloop, casco, nieuwe materialen, definitief	16
Figuur 23: Hergebruik na gebruiksfase	16
Figuur 24: Begane grond Cubestee.....	17
Figuur 25: Eerste verdieping Cubestee	17
Figuur 26: Cubestee in Eindhoven op Dutch Design Week	17
Figuur 27: GPR berekening	18
Figuur 28: Samenstelling Circulaire Cubestee	20
Figuur 29: Noordgevel	21
Figuur 30: Zuidgevel.....	22
Figuur 31: Begane Grond	22
Figuur 32: Eerste verdieping	22
Figuur 33: Verdiepingsvloer Detail Herontwerp	24
Figuur 34: Dakdetail Circulair Herontwerp ...	24

2. LIJST MET AFKORTINGEN

[illegible]

3. INLEIDING

Het begrip 'duurzaamheid' is al enige tijd een actueel onderwerp in onze samenleving. Mede door het veranderende klimaat en de snelle bevolkingsgroei is het van belang dat we gaan werken aan een duurzame toekomst. In het lineaire systeem waar onze economie zich nu in bevindt, hebben we te maken met grote waardeverliezen. Na de levensfase van een product gaan de grondstoffen grotendeels verloren. Doordat onze grondstoffen eindig zijn en het produceren van producten een hoeveelheid aan energie vergt is dit niet een toekomstbestendige manier om met onze grondstoffen en energie om te gaan. Door dit economisch systeem op een nieuwe manier in te richten kan de levenskwaliteit van de huidige en de toekomstige generaties worden behouden en zelfs worden verhoogd. Dit nieuwe economische systeem staat bekend als circulaire economie.

In een circulaire economie ligt de focus juist op het behouden van de waarde van grondstoffen. Hierbij worden grondstoffen hergebruikt in plaats van verbruikt. Alle grondstoffen, producten en afvalstoffen zullen zo goed en lang mogelijk worden benut, wat energiebesparing en een vermindering van broeikasgasemissies zal opleveren (Naar een circulaire economie | Europese Commissie, 2015). De bouw is als sector een van de grootste grondstofgebruikers in Europa. Het is dus cruciaal dat ook in de bouwsector deze transitie plaatsvindt. Hierbij wordt er gestreefd naar een circulair patroon, waarbij na de sloop (demontage) materialen en elementen weer een nieuw leven kunnen beginnen in een andere toepassing.

Circulariteit in de bouw bevindt zich tot nu toe slechts in een beginstadium. Een rede voor de beperkte groei zou kunnen zijn dat de wil naar duurzaamheid (circulariteit) nog niet bij iedereen in de mindset zit. Hiervoor is scholing en stimulering noodzakelijk. Echter hiernaast

is de grootste oorzaak waarschijnlijk dat veel bedrijven nog niet weten hoe ze circulariteit in hun projecten kunnen toepassen. Er bestaan geen specifieke richtlijnen voor circulair bouwen en er wordt vaak op verschillende manieren naar gekeken. De verschillen in definities van circulaire economie kunnen leiden naar de ineenstorting van het concept circulair bouwen. Hiermee loop je het risico dat circulair bouwen net zo'n term wordt als duurzaamheid, wat inmiddels een mooi verhaal is geworden zonder echte betekenis. Daarnaast is het risico op een mismatch tussen theorie en praktijk heel groot. De ontwerper kan goede bedoelingen hebben met een demontabel ontwerp, echter op het werkveld kan alles alsnog dicht gekit worden en de opdrachtgever kan beslissen dat het te duur wordt. Er licht ook een belang bij het interesse en kennis kweken bij deze partijen.

Het doel van dit onderzoek is om duidelijkheid te genereren omtrent de term circulair bouwen. Dit zal niet gedaan worden door een nieuwe definitie toe te voegen aan de rijen omschrijvingen die er al liggen. Dit omdat de juiste definitie hoogstwaarschijnlijk al staat omschreven in een samenstelling van een aantal huidige definities. Nuttiger is om juist te onderzoeken hoe deze theorieën over circulair bouwen toegepast kunnen worden in de praktijk. Om dit inzichtelijk te maken wordt een analytisch/basis model opgesteld wat ondersteuning biedt tijdens het ontwerpproces.

4. PROBLEEMSTELLING

5.1 Toepassing circulair bouwen

Als we kijken naar de huidige toepassing van circulair bouwen komen we een aantal 'icoonprojecten' tegen. Dit zijn bekende projecten in Nederland die bestempeld worden als circulair. Ieder gebouw heeft echter zijn eigen focus gekend en daarmee zijn eigen definitie van circulair bouwen gevormd.

5.1.1 Alliander kantoor in duiven

VolkerWessels Vastgoed bv en RAUarchitecten herhuisvesten voor Netwerkbedrijf Liander op circulaire wijze 1.550 medewerkers op het bedrijventerrein Nieuwgraaf in Duiven. (Anon n.d.) Hierbij is een complex van vijf bestaande gebouwen uitgebreid en overkapt door een 'klimaatkas' met een zwevend dak. Het gebouwencomplex voorziet in meer dan haar eigen energiebehoefte en levert daardoor energie aan de omgeving gegarandeerd voor 15 jaar. Het gebouw is volgens het design build and maintain principe gebouwd. De klimaatkas zorgt ervoor dat het gebouw het overschot aan warmte op een nuttige manier kwijt kan raken, zonder dat het verloren gaat. Hiermee word de kas verwarmd en kan het fungeren als een gebruikruimte.

Er is een grondstoffenpaspoort opgesteld om aan te tonen dat alle grondstoffen die zijn toegepast op een goede manier gewonnen zijn van het milieu of hergebruikt zijn uit bestaande stromen en dat ze in de toekomst herbruikbaar zijn. In het project zijn onder andere hergebruikt pallet hout, betongranulaat, hergebruikte WC-potten en bestaande staalconstructies toegepast

Het project komt in aanmerking voor een BREAAAM certificaat, het streven is daarbij om een BREAAAM outstanding certificaat te halen. Het certificaat houdt in dat je het hele proces van ontwerp tot uitvoering en oplevering strenge protocollen volgt. Deze protocollen gaan bijvoorbeeld over thema's als: afvalscheiding, goed omgaan met de

bouwplaats en communicatie met de omgeving. Bij het project wordt er gebruik gemaakt van een design build and maintain contract. Hierbij is de afspraak dat ook na de oplevering de locatie nog voor 15 jaar wordt onderhouden.



Figuur 1: Alliander kantoor in duiven

5.1.2 Gemeentehuis in Brummen

In Brummen is door een samenwerking tussen de gemeente, BAM, RAU en Turntoo het eerste gebouw als grondstoffendepot gerealiseerd. De gemeente Brummen zocht een semi-permanente huisvesting met een levensduur van minimaal 20 jaar. (Rijkswaterstaat and RIVM 2015) Door ervoor te zorgen dat de materialen aan het einde van de gebruiksduur weer opnieuw gebruikt kunnen worden, kan er kwalitatief hoogwaardig doch tijdelijk gebouwd worden.

Tijdens het ontwerpproces hebben de architect, aannemer BAM, Turntoo en verschillende toeleveranciers meegedacht hoe na de geplande gebruiksperiode het gebouw weer uit elkaar gehaald zou kunnen worden. De waardevolle grondstoffen en bouwelementen worden na gebruik door hun leveranciers en fabrikanten teruggenomen. Uiteindelijk is ruim 90 procent van het ontwerp demontabel opgeleverd.

RAU heeft ervoor gekozen om de monumentale villa uit 1890 in oude luister te herstellen en daar een U-vormige hedendaagse tweelaagse uitbreiding omheen te plaatsen. De nieuwbouw vervangt de bestaande uitbreiding uit de jaren '80. De compacte en flexibel indeelbare nieuwbouw omarmt de monumentale villa.



Figuur 2: Gemeentehuis in Brummen

5.1.3 Stads Kantoor Venlo

Bij het Stads Kantoor Venlo stelde in zijn ontwikkeling het gebruik van Cradle-to-Cradle-materiaal centraal. Alle gebruikte materialen kunnen na hun leven in het ene product nuttig kunnen worden ingezet in het andere product, het verschil met conventioneel hergebruik is dat er geen kwaliteitsverlies is, er zijn geen restproducten die alsnog gestort worden. Voorbeelden van C2C gecertificeerde materialen die zijn toegepast zijn: demontabele bureaustoelen, Holz 100 binnengevel, bureaus van rubberwood en vloerbekleding die fijnstof weert.

De noord gevel bestaat uit groenbeplanting, meerdere planten zorgen elk seizoen voor een andere uitstraling. De planten zetten koolstofdioxide om naar zuurstof. Filteren fijnstof en absorberen stikstofdioxide en ozon. Hiermee wordt de lucht van de weg en de spoorlijn naast het gebouw gezuiverd. Het vormt ook een natuurlijke isolatie tegen hitte, kou en geluid. Een zonneshoorsteen zorgt voor een natuurlijke luchtstroom. De zon warmt de schoorsteen op het dak op zodat er trek ontstaat. Hierdoor wordt de lucht iedere

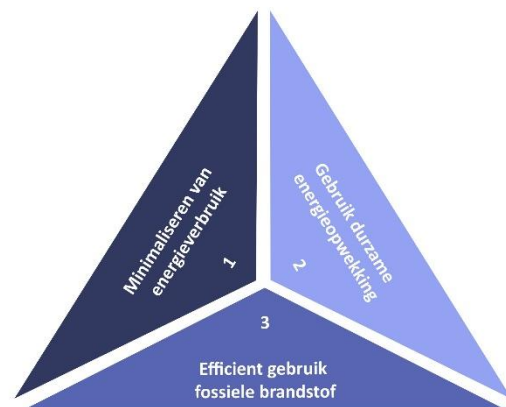
2 uur ververs. Door Zonnepanelen als zonwering en op het dak te gebruiken wordt er meer dan voldoende energie opgewekt om het gebouw te voorzien



Figuur 4: Stads Kantoor Venlo

5.2 Trias Energetica

Bij al deze projecten licht de focus van 'circulair bouwen' vooral op het materiaalgebruik. Met name op het gebruiken en hergebruiken van duurzame bouwmaterialen. Echter Circulair bouwen betekent meer dan dat.



Figuur 3: Trias energetica

Wat circulair bouwen omvat kunnen we baseren op de trias energetica. De Trias Energetica is een driestappenstrategie om een energiezuinig ontwerp te maken. Deze strategie is in 1979 ontwikkeld door de studiegroep StadsOntwerp en Milieu aan de TU Delft onder leiding van Kees Duijvestein. De drie stappen van de trias energetica zijn:

- Beperk het energieverbruik door verspilling tegen te gaan
- Maak maximaal gebruik van energie uit duurzame bronnen
- Maak zo efficiënt mogelijk gebruik van fossiele brandstoffen om in de resterende energiebehoefte te voorzien.

Als we kijken naar de trias energetica, zien we dat de eerste stap het verminderen van energieverbruik is. Deze eerste stap is het belangrijkste om dat als je een energiezuinig ontwerp wil maken moet je beginnen met het verminderen van het energieverbruik door energieverpilling tegen te gaan. Hierdoor hoef je minder duurzame energie toe te passen om het energieverbruik te compenseren. Dit zelfde geldt ook voor het Circulair Bouwen. Door het verminderen van het materiaalgebruik hoef je minder materiaal 'circulair' toe te passen.

De tweede stap van de trias energetica is het maximaal gebruiken van duurzame energieopwekking. Dit kan door het gebruik van duurzame bronnen zoals wind-, water-, en zonne-energie; bijvoorbeeld door de installatie van een zonneboiler of een zonnepaneel. Deze stap kan je bij circulair bouwen zien als het toepassen van materialen uit hernieuwbare bronnen. Oftewel er voor zorgen dat de materialen die je toepast een lage milieubelasting hebben. De derde stap bij de trias energetica is het efficiënt gebruiken van de fossiele brandstof. Dit houdt in dat de resterende energiebehoefte, welke moet worden ingevuld door fossiele brandstof, op een zo effectief mogelijke manier gebeurt. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruiken van een warmtepomp en vloerverwarming. In circulair bouwen resulteert het effectief gebruiken van de materialen in het mogelijk maken van hergebruik na de gebruiksfase.



Figuur 5: Trias Circulus

5.3 Trias Circulus

Uit deze toepassing van de trias energetica op het circulaire bouwen zijn drie stappen gekomen die het circulair bouwen goed omvatten. Deze drie stappen kunnen samengevoegd worden en fungeren als een soort trias energetica van de circulaire bouw, oftewel de *Trias Circulus*. De trias circulus bestaat net als de trias energetica dus uit drie stappen, deze zijn:

- Minimaliseren van materiaalgebruik
- Gebruik materialen met een lage milieubelasting
- Zorg voor hergebruik na de gebruiksfase

De trias circulus kan gebruikt worden als model voor het definiëren van circulair bouwen maar ook als 'tool' die ondersteuning biedt tijdens het ontwerpproces. In de rest van dit onderzoek zal onderzocht worden hoe er invulling geven kan worden aan de drie benoemde stappen. Hiermee wordt uiteindelijk een model mee opgebouwd. Dit model zal toegepast worden bij een circulair herontwerp van een bouwwerk.

6 METHODOLOGIE

Dit onderzoek zal als product een analyse opleveren. Dit in de vorm van een analytisch model. Voor een analyse als beroepsproduct zijn vier 'bouwstenen' vastgesteld. Dit zijn: Vraagdefinitie, analyse, verbeterscenario en advies. het onderzoek is in deze bouwstenen of fasen ingedeeld. In de vraagdefinitie fase wordt de probleemstelling geformuleerd. In de analyse fase worden het onderzoek uitgevoerd. In de verbeterscenario fase worden de resultaten uit de analyse fase toegepast in een praktijkscenario. In de advies fase wordt de conclusie gegeven en wordt de discussie en de aanbevelingen opgesteld.

6.1 Data verzameling

De benodigde kennis wordt verzameld door vier onderzoeksmethodes. Deze vier onderzoeksmethodes zijn: Literatuuronderzoek, Deskresearch, Interviews en referentieprojecten.

Literatuuronderzoek

Literatuuronderzoek is een methode om bestaande kennis over een onderwerp of de probleemstelling te verzamelen. Deze kennis vind je in verschillende bronnen, zoals wetenschappelijke artikelen, boeken, scripties en archiefmateriaal. Literatuuronderzoek is met name toegepast in de vraagdefinitiefase en de analyse fase.

Deskresearch

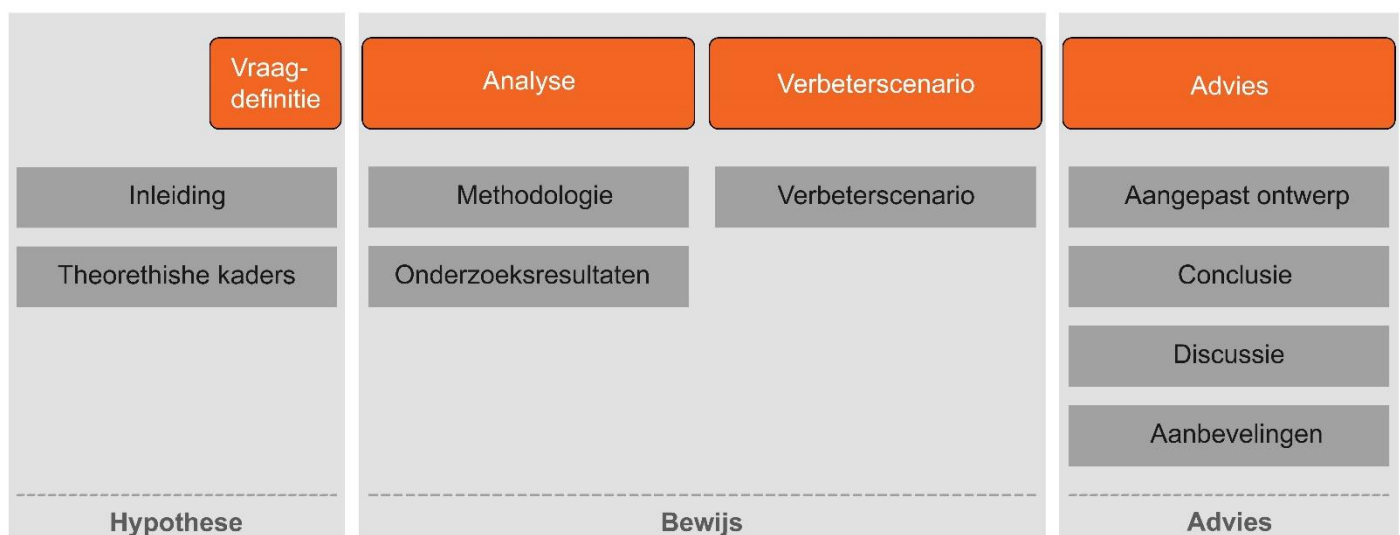
Deskresearch wordt soms ook wel literatuuronderzoek genoemd, maar dit is niet helemaal hetzelfde. Literatuuronderzoek is vooral gericht op het verkrijgen van theoretische kennis over een begrip of onderwerp, terwijl deskresearch wordt gebruikt voor het verzamelen van feitelijke gegevens en bestaande onderzoek data ter beantwoording van je verklarende onderzoeksvragen. Deskresearch is met name toegepast in de vraagdefinitiefase en de analyse fase.

Interviews

Een interview, ook wel vraaggesprek genoemd, is een gesprek waarbij een of meer personen worden ondervraagd door een of meer interviewers. Het is een methode om een persoon systematisch kennis van een ander te laten vergaren. Tijdens het onderzoek zal vooral gebruik gemaakt worden van kwantitatief onderzoek hierdoor zullen het gestructureerde/semigestructureerde interviews zijn. Interviews zijn met name toegepast in de vraagdefinitiefase en de analyse fase.

Referentieprojecten

Referentieprojecten zijn projecten in een vergelijkbare situatie of die een vergelijkbaar resultaat hebben geboekt. In deze projecten kan gekeken worden hoe er met problemen zijn omgegaan. Dit kan meegenomen worden naar je eigen project. referentiestudies zijn met name toegepast in de analyse fase en de verbeterscenario fase.



Figuur 6: bouwstenen analyse-beroepsproduct

7 ONDERZOEKSRESULTATEN

Om verder invulling te geven aan de Trias Circulus zal in dit hoofdstuk 'onderzoeksresultaten' de resultaten besproken worden uit een studie naar de drie gestelde pijlers van het circulair bouwen. Deze zijn: *het minimaliseren van materiaalgebruik, het gebruiken van materialen met een lage milieubelasting en het zorgen voor hergebruik na de gebruiksfase*. Voor elk van deze pijlers is een deelvraag opgesteld die zal worden beantwoord in de komende hoofdstukken.

I Hoe kan het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd worden?

Als eerste is onderzocht hoe het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd kan worden. Dit is een logische eerste stap omdat door het verminderen van het materiaalgebruik er minder materiaal circulair toegepast hoeft te worden. Hiermee wordt de footprint, de impact van het bouwwerk op zijn omgeving, veel kleiner. Uit het onderzoek naar deze vraag zijn drie kernpunten gekomen die in dit hoofdstuk verder toegelicht zullen worden. Deze kernpunten betreffen: *Gebruik product as a service, hergebruik bestaande bouwwerken en optimaliseer de beschikbare bouwruimte*.

7.1.1 Gebruik product as a service

"Past generations wanted to own; future generations will just want to use." Aldus Nils Herzberg, senior vice president in SAP's IoT (internet of things) divisie. Binnen de ICT is het al een bekend begrip, het zogenaamde product as a service (PAAS). Het PAAS-model laat consumenten een gewenst resultaat kopen in plaats van een apparaat te kopen die het gewenste resultaat kan leveren. (Anon n.d.) Nils vergelijkt het met het schrijven van een liedje:

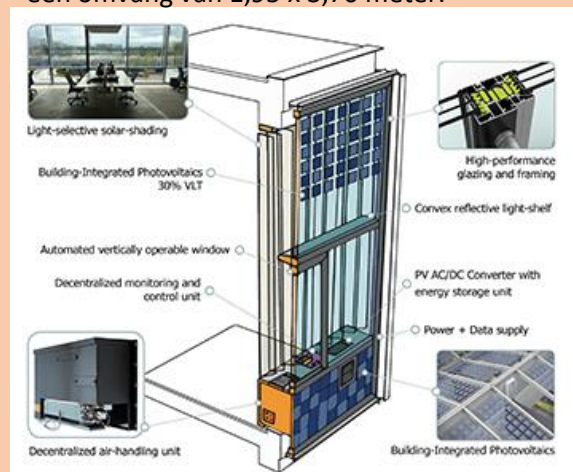
'Als jij een liedje zou schrijven en opnemen, dan zou jij de rechten van het liedje hebben, en de studio die het liedje heeft de rechten van de

opname. Als bijvoorbeeld een restaurant jouw liedje wil spelen, moeten ze royalties betalen aan jou en de opnamestudio.'

Hierdoor betaal je eigenlijk voor een dienst, het kunnen afspelen van muziek, zonder dat je de nummers hoeft te kopen (of zelf moet schrijven). Deze trend van gebruiken in plaats van bezitten komt ook steeds meer voor in de gebouwde omgeving. Een bekend voorbeeld is Philips die voor kantoren geen lampen verkoopt maar licht levert. Je betaald hierbij voor een minimale hoeveelheid lumen die je wilt hebben om je woning of werkplek te verlichten. Op deze manier blijft Phillips eigenaar van hun producten en worden zo gestimuleerd om hoogwaardige en duurzame producten te maken, omdat zij dan minder onderhoud hoeven te plegen. (Anon n.d.) Dit resulteert in het besparen van grondstoffen.

Leasen van gevelonderdelen

Een goed voorbeeld van hoe PaaS gebruikt kan worden bij bouwmaterialen is het leasen van gevelonderdelen. Onderzoekers van de faculteit Bouwkunde van de TU Delft hebben een concept bedacht waarbij gebruikers gebouwonderdelen niet in bezit krijgen, maar leasen. (Anon n.d.) De betrokken partijen hebben een robuust aluminium frame ontwikkeld welke is in te vullen met flexibele modules met klimaattechnologie. De gevel wordt geleverd inclusief service, onderhoud en terugname aan het einde van de levenscyclus. De vier ontwikkelde panelen waarmee de proef wordt uitgevoerd hebben een omvang van 1,95 x 3,70 meter.



7.1.2 hergebruik bestaand vastgoed

In Nederland staan ruim 247 duizend gebouwen leeg. Dit blijkt uit cijfers van de landelijke leegstandsmonitor, uitgevoerd door CBS in 2017. Al deze gebouwen samen vormen een oppervlakte van zo'n 10.000 voetbalvelden bij elkaar opgeteld. Van alle leegstaande panden staan woningen het meest leeg echter verhoudingsgewijs kampen industrieel vastgoed en kantoren het meest met leegstand. Vaak wordt er door de leegstandbeheerders gekozen voor een tijdelijke invulling van deze panden. Studenten starters, ZZP'ers, ondernemers en kunstenaars die op zoek zijn naar tijdelijke woon- en werkruimten kunnen hun intrek nemen, voor een betaalbare prijs.* Echter een betere optie is het transformeren of het herbestemmen van deze panden. Met als grootste reden: als hergebruik écht goed gebeurt, kan de uiteindelijke kwaliteit hoger zijn dan van nieuwbouw, en dat vaak tegen lagere kosten. (Anon n.d.) Bovendien is hergebruik bijna altijd duurzamer dan nieuwbouw.

BAG-functie	Aantal	Leegstand	Leegstand (%)
Woningen ³	7.578.746	140.080	2%
Winkels	152.575	20.318	13%
Industrie	228.120	41.834	18%
Kantoren	103.837	28.166	27%
Logies	6.634	611	9%
Bijeenkomsten	65.646	8.441	13%
Onderwijs	14.859	1.780	12%
Gezondheid	25.152	4.630	18%
Sport	8.619	1.236	14%

Figuur 7: Gebruiksfunctie en leegstand door CBS

Door bestaande gebouwen te herbestemmen kan het bouw materiaal bespaard worden dat anders zou worden gebruikt voor nieuwbouw. In de ontwerpfase bij bestaande bouw is de constructie bijna altijd leidend. De constructie bepaalt niet alleen hoeveel gewicht er kan worden toegevoegd, maar ook welke delen kunnen worden verwijderd. Het is daarom noodzakelijk de bestaande draagstructuur goed te 'lezen'. Dit is een vak apart en is uiteindelijk doorslaggevend voor het succes van hergebruik. Het rekenen aan een

bestaand gebouw is heel wat anders dan aan nieuwbouw. De huidige en vroegere voorschriften en richtlijnen spelen daarbij een belangrijke rol.

Opvanghuis Veilige Veste, Leeuwarden

Een goed voorbeeld van een herbestemmingsproject van een kantoorpand is het opvanghuis Veilige Veste in Leeuwarden. Het politiebureau in Leeuwarden kreeg destijds een nieuwe locatie waardoor het oude pand vrij kwam te staan. In 2012 is het gebouw herbestemd tot een opvanghuis voor slachtoffers van eengerelateerd geweld. De opgave was het kantoorpand te transformeren tot een prettige leefbare 'veilige veste'. Het gebouw is verdeeld in twee functies. Er komen 1600 m² kantoren, vergader- en behandelkamers op de begane grond.

Het politie bureau is onderverdeeld in een vierhoekig patroon met horizontale en verticale stramienen van 360 cm. Het uitgangspunt van het ontwerp is de repetitie van dit vierkant raster. Dit wordt benadrukt met een bekleding van diagonaal geknikte, vierkante elementen. Het gebouw gebruikt zeer weinig energie door optimale isolatie, kierdichting en zo min mogelijk installaties. Bij aanvraag van het project bleek dat de gehele draagconstructie een grote koudebrug was doordat de draagconstructie buiten de gevel staat, dit is opgelost door het gehele gebouw in te pakken, de gevel is hierdoor op de breedste punten wel 950 mm dikker geworden.



Figuur 8: Oude situatie, politiebureau



Figuur 9: Nieuwe situatie, Opvanghuis Veilige Veste

7.1.3 optimaliseer bouwruimte

We grijpen nog even terug op het vorige hoofdstuk met als thema het herbestemmen van leegstaand vastgoed. Een van de oorzaken van deze leegstand is het niet flexibel en aanpasbaar zijn van de gebouwen die wij hebben gerealiseerd in het verleden. Flexibel en aanpasbaar bouwen moet daarom de basis zijn van ieder gebouw dat we realiseren. Een flexibele woning kan vlot inspelen op veranderende wensen. Dit geeft de woning een belangrijke meerwaarde voor de toekomst en maakt haar geschikt voor een breder publiek.

In flexibel bouwen bevindt zich een tegenstrijdigheid tussen de technische levensduur en de functionele levensduur. De frequentie van verandering is normaal gesproken bij de functionele levensduur hoger dan bij de technische levensduur. De verandercyclus bij de technische levensduur is afhankelijk van de desbetreffende bouwlaag. De technische levensduur van de verschillende gebouwlagen is in het proefschrift van Roel Gijsbers (2011) als volgt omschreven:

- constructie 75-100 jaar
- schil 25-75 jaar
- installaties 10-50 jaar
- afbouw 5-25 jaar

De functionele levensduur, wordt volgens Stewart Brand (1994) heel anders omschreven en ervaren. Volgens hem verandert de vraag met betrekking tot de afbouw maandelijks of zelfs dagelijks, de installaties om de zeven jaar en de vraag naar aanpassing in de schil en constructie om de vijftien jaar.

Een aanpassing in zo'n laag leidt natuurlijk niet tot een gehele verandering van de bouwlaag, echter is het wel een aanpassing van de bestaande situatie. Het is dus van belang om de technische en de functionele levensduur van de verschillende elementen op elkaar af te stemmen. Hierin komt het circulaire verhaal ook meer naar voren. Door het gebruik van aanpasbare, opnieuw configureerbare systemen waardoor nieuwe ruimtes gemakkelijk gecreëerd of aangepast kunnen worden, wordt er ingespeeld op het multifunctioneel gebruiken van bouwwerken. Wat resulteert in het verminderen van materiaalgebruik. Daarbij kan en ook verstandig met de beschikbare ruimte omgegaan worden door bijvoorbeeld de totale gebouw grootte te verkleinen door de functionele relaties tussen de ruimtes te optimaliseren. (Anon n.d.) Dit kan gedaan worden door functies te combineren in een ruimte en ervoor te zorgen dat het percentage verblijfsruimte zo hoog mogelijk is. Hiernaast moet er nog wel rekening gehouden worden met de gebruiksmaten en het behouden van persoonlijke ruimtes.

Cubestee

Een goed voorbeeld van een flexibel en multifunctioneel ontwerp is de Cubestee van Onix NL. Vanuit de basisvorm van 6x6x6 meter zijn er vele mogelijkheden. Niet alleen kan de indeling zelf bepaald worden, er zijn ook variaties mogelijk in gevelafwerking, interieurafwerking en energieprestatie. Daarnaast zijn de mogelijkheden tot uitbreiding eindeloos. Aanleiding voor het ontwikkelen van de Cubestee is de groter wordende vraag naar Tiny Houses vanuit de huidige markt. De doelgroep loopt uiteen van zzp'ers, studenten, kunstenaars tot

vluchtelingen, starters, ouderen, mensen in aardbevingsgebied. De Cubestee heeft al verschillende functies gediend, zo fungeert het nu als woning, als kunstexpositieruimte en als presentatieruimtes.



Figuur 10: Cubestee

configureerbare systemen waardoor nieuwe ruimtes gemakkelijk gecreëerd of aangepast kunnen worden, wordt er ingespeeld op het multifunctioneel gebruiken van bouwwerken. Wat resulteert in het verminderen van materiaalgebruik.

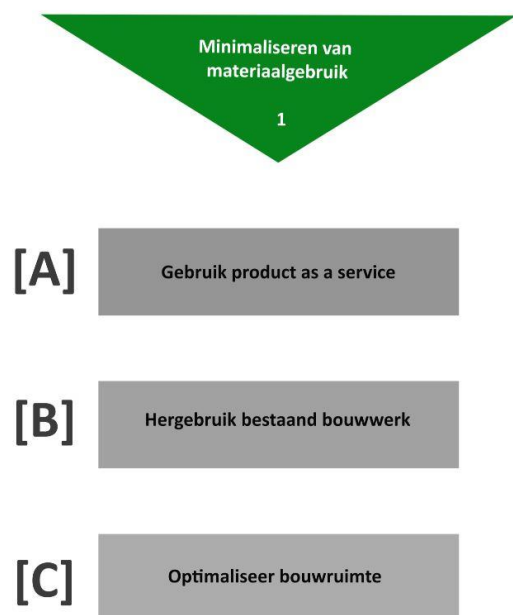
Deze drie stappen samen resulteren in een minimale aanpak van materiaalgebruik en komt dus het grondstoffentekort ten goede. Hieruit kan voor dit hoofdstuk een schema gemaakt worden waarin de stappen zijn weergegeven. Zie onderstaande afbeelding.

7.1.6 conclusie

Het verminderen van het materiaalgebruik is een logische eerste stap omdat door het verminderen van het materiaalgebruik er minder materiaal circulair toegepast hoeft te worden. De beste manier om minder materiaal te gebruiken is om het niet te gebruiken maar te lenen. Hier komt het zogenaamde Product as a Service model van pas. Hierbij koop je een gewenst resultaat in plaats van een apparaat die dat gewenst resultaat kan bieden. Op deze manier blijft de producent eigenaar van hun producten en worden zo gestimuleerd om hoogwaardige en duurzame producten te maken.

Na PaaS is de tweede stap kijken of er ook een mogelijkheid is voor het hergebruik van bestaand vastgoed. Door bestaande gebouwen te herbestemmen kan het bouw materiaal bespaard worden dat anders zou worden gebruikt voor nieuwbouw. In de ontwerpfase bij bestaande bouw is de constructie bijna altijd leidend. Hier dient tijdens het ontwerpproces rekening mee gehouden te worden.

Als derde en laatste stap is het optimaliseren van de beschikbare bouwruimte belangrijk. Door het gebruik van aanpasbare, opnieuw



Figuur 11: Minimaliseren materiaalgebruik

II Welke materialen hebben een lage milieubelasting?

Na het verminderen van het materiaalgebruik, als eerste stap, is de tweede stap er voor zorgen dat de materialen die je toepast een lage milieubelasting hebben. Milieubelasting betekend een indicatie van de maatschappelijke kosten voor het bestrijden van de gevolgen, zoals emissie en uitputting, van een desbetreffend materiaalgebruik. In dit hoofdstuk zal middels drie kernpunten beschreven worden hoe een lage milieubelasting kan worden gehaald met het materiaalgebruik. Deze kernpunten betreffen: *Hergebruik uit sloop of andere toepassingen, gebruiken van biobased materialen en overige materialen met een lage milieubelasting.*

7.2.1 Hergebruik uit sloop of andere toepassingen

Het grootste leegstaande kantoorgebouw van Nederland, het voormalige CBS-kantoor in Voorburg, is vorig jaar circulair gesloopt en bleek een goudmijn te zijn.* Het complex van ruim 60.000 vierkante meter zat vol met nog prima bruikbare bouwmaterialen. Deze materialen worden door de gebiedsontwikkelaars in een nabijgelegen nieuwe wijk hergebruikt. Het Circulair slopen is een methode die bij steeds meer gebouwen wordt toegepast. De bruikbare aanwezige materialen kunnen een alternatief bieden voor het gebruiken van nieuwe, dure en schaarse grondstoffen. Hierdoor draagt deze methode fors bij aan de CO2-reductie.

Toch is het principe nog lang niet algemeen geaccepteerd. Aan circulair slopen kleeft het imago dat het duurder zou zijn dan traditioneel slopen. Want het zou arbeidsintensiever zijn en alle bruikbare spullen moeten met zorg en aandacht worden verwijderd. Toch hoeft dit niet per se tot hogere kosten te leiden. Volgens Bram Kroon, teamleider sloopmanagement bij IDDS, het ingenieursbureau dat het prestatiebestek voor de sloop van het CBS-gebouw schreef, is het

een kwestie van de juiste rekensommetjes maken. “De materialen die je uit een pand haalt, zijn geld waard. Je kunt ze zelf hergebruiken of doorverkopen aan leveranciers. Er ontstaat steeds meer belangstelling voor.”

Belangrijk hierbij is om te kiezen voor ervaren slopers op het gebied van circulair slopen. Het is een kunst om te zien wat er nog gebruikt kan worden en het er daarna ook heelhuids uit het gebouw kunnen krijgen. Gelukkig hebben steeds meer sloopbedrijven hier ervaring in, met name het sloopbedrijf New Horizon is hier ver in. ‘urban mining’ zo noemt Michel Baars, New Horizon’s directeur, het circulair slopen. Oftewel bestaande gebouwen beschouwen als mijnen die grondstoffen leveren voor nieuwe gebouwen.(Anon n.d.)

Er bestaan tegenwoordig platformen die zijn ontwikkeld specifiek voor het professioneel hergebruik van restmaterialen. Met behulp van bijvoorbeeld Madaster of Oogstkaart kan materiaal specifiek gezocht worden of de gewenste materialen beschikbaar zijn.

kinder- en jeugdkliniek Emergis

Een goed voorbeeld van het hergebruiken van materialen uit sloop is het project kinder- en jeugdkliniek Emergis in Kloetinge. Het voormalig districtskantoor van Rijkswaterstaat in Terneuzen stond in 2017 al een tijd leeg en moest uiteindelijk plaatsmaken voor een nieuwe sluis. In plaats van het pand te slopen slopen werd het pand ontmanteld en kregen de materialen een nieuwe bestemming: de nieuw te bouwen kinder- en jeugdkliniek van Emergis in Kloetinge een paar kilometer verder op. New Horizon is gevraagd om het sloopproces goed te begeleiden en uit te voeren. Bij de ‘demontage’ zijn onder andere delen van de constructie, kozijnen, gevelbekleding en de deuren hergebruikt.



Figuur 13: District kantoor Rijkswaterstaat Terneuzen



Figuur 12: kinder- en jeugdkliniek Emergis in Kloetinge

7.2.2 Gebruik biobased materialen

Als er voor bepaalde toepassingen geen hergebruikte materialen beschikbaar zijn, is de volgende stap het gebruiken van biobased materialen. Biobased bouwen is een manier van bouwen die op de natuur gebaseerd is. Meestal wordt er onder verstaan dat er gebouwd wordt met bouwmaterialen die gegroeid zijn. (Anon n.d.)

Biobased materialen kunnen in twee categorieën worden ingedeeld. Als eerste de natuurlijke gegroeide materialen. De meest bekende is hout. Deze kan nauwelijks bewerkt worden toegepast als kolom of verzaagd worden tot bijvoorbeeld planken, waarbij de reststukken tot spaanplaat gemaakt kunnen worden en het zaagsel tot isolatiemateriaal geperst kan worden. Ook bamboe is een biobased materiaal met heel veel toepassingsmogelijkheden. Daarnaast zijn diverse restproducten als vlas- en hennepvezels en stro geschikt als bouw materiaal.

De tweede soort zijn de artificieel gemaakte materialen, gebaseerd op natuurlijk gegroeide materialen. Hier zijn inmiddels ook aardig mooie voorbeelden van. Zoals de plantaardige dakbedekking *Derbipure* van Derbigum, de EPS-achtige *BioFoam* van IsoBouw is gebaseerd op plantaardige biopolymeren en plaatmaterialen als *Singhboard* en *Resysta* welke zijn gebaseerd op vezelrijke plantenresten.

Deze materialen zullen oneindig aanwezig zijn, omdat ze nagroeibare grondstoffen zijn/hebben. Als we dus niet meer verbruiken dan dat er groeit, zullen we nooit met uitputting geconfronteerd worden. (Veen van der and Peschier 2017) De gedachte van de circulaire economie is ook gebaseerd op het principe dat we nooit met uitputting geconfronteerd worden, omdat het materiaal oneindig her te gebruiken is. Belangrijk is wel dat sommige producten chemisch zwaar bewerkt om het de gewenste eigenschappen te geven, dit wil wel eens de behaalde milieuwinst geheel teniet doen. Biobased hoeft dus niet milieuvriendelijker te zijn, maar kan dat wel zeer goed zijn.

Tandartspraktijk Middenmeer

Een goed voorbeeld van een biobased project is de tandartspraktijk in Middenmeer. Deze tandartspraktijk wilde zijn patiënten in een gezonde en natuurlijke omgeving behandelen. ORGA architect ontwierp voor hem een ecologisch gebouw, opgebouwd uit natuurlijke en biobased materialen. De kerngedachte achter het ontwerp is het creëren van een 'healing environment', met levend groen en natuurlijk licht, zodat het herstelproces voorspoediger verloopt.

De structuur wordt gedragen door massieve spanten van Nederlands larsen hout uit de bossen van Staatsbosbeheer. Het gebouw is verder opgetrokken in vuren houtskeletbouw met een dampopen detaillering. Materialen als PUR en steenwol zijn vervangen door een natuurlijk isolatiemateriaal op basis van houtvezel. Alle kozijnen zijn van hout en de

grote zonweringspanelen bestaan uit lamellen van Western Red Cedar. Er is naar gestreefd om zoveel mogelijk inlands hout te gebruiken en al het gebruikte hout heeft een FSC keurmerk of gelijkwaardig. Het gebouw laat zien dat je hout op diverse wijzen kan toepassen: in de massieve houten spanten, in de wandbekleding, in het interieur, in de markante zonwering, et cetera.



Figuur 14: Tandartspraktijk Middenmeer

7.2.3 Bepaal milieubelasting

Als je materialen moet toepassen die niet herbruikbaar kunnen zijn of biobased kan het beste gekozen worden voor een materiaal met een zo laag mogelijke milieubelasting. Deze milieubelasting kan bepaald worden met een Levenscyclus analyse. De levenscyclusanalyse (LCA) is een methode om de totale milieubelasting te bepalen van een product gedurende de hele levenscyclus, dat wil zeggen: winning van de benodigde grondstoffen, productie, transport, gebruik en afvalverwerking. Zo'n LCA bestaat uit vier fasen. Deze zijn:

1. Doelbepaling (Het vastleggen van onderwerp en diepgang van de studie)
2. Inventarisatie van de milieugegevens (De Instromen en de uitstromen vastleggen)
3. Beoordeling van effecten (Selectie van milieueffecten)
4. Interpretatie (Resultaten evalueren en conclusies trekken)

Tegenwoordig zijn van de meeste materialen en van de materialen die nieuw op de markt komen LCA analyses gemaakt. Voor Nederland

worden de schaduwkosten van materialen uit de LCA's verzameld in de Nationale MilieuDatabase. Deze database wordt beheerd door de Stichting BouwKwaliteit (SBK). Hierbij wordt de totale som van de schaduwkosten gedeeld door de levensduur en door het bruto vloeroppervlak van een gebouw. De MPG wordt vervolgens uitgedrukt in de schaduwkosten per vierkante meter bvo per jaar. Daarnaast heb je ook vrij toegankelijke LCA databases zoals de ICE (The Inventory for Carbon and Energy) database die wordt gepubliceerd door de Sustainable Energy Research Team (SERT) van de universiteit van Bath. (Ice et al. n.d.) Hierin worden de schaduwkosten weergegeven als Embodied Energy (EE) oftewel de hoeveelheid energie die nodig is om een kilogram of een liter van het materiaal te produceren.

Probeer er dus voor te zorgen dat wanneer je geen hergebruikte of biobased materialen kunt toepassen je gaat voor een materiaal met een zo laag mogelijke milieubelasting. Te bepalen via de bovengenoemde methodes.

Milieubelasting verschillende bouwmaterialen

In bijlage I staat een tabel weergegeven waarin de gemiddelde hoeveelheid embodied energie staat uitgezet tegen de gemiddelde levensduur van veelgebruikte bouwmaterialen in Nederland. Deze gegevens zijn afkomstig uit *The Inventory of Carbon and Energy* van SERT. Natuurlijk gaar het hier om het gemiddelde en kunnen dus materialen variaties hebben met een hogere of een lagere hoeveelheid embodied energy (De ICE geeft meerdere types per materiaal weer). Als we kijken naar het diagram zien we dat de metalen zoals aluminium en messing een hoge EE hebben, door het intensieve productieproces. Terwijl de meer natuurlijke materialen zoals hout, baksteen en gips een lage EE hebben. Als we kijken naar de levensduur schiet staal er bovenuit met gemiddeld 150 jaar terwijl materialen als glas, linoleum en verf blijven steken rond de 20 jaar.

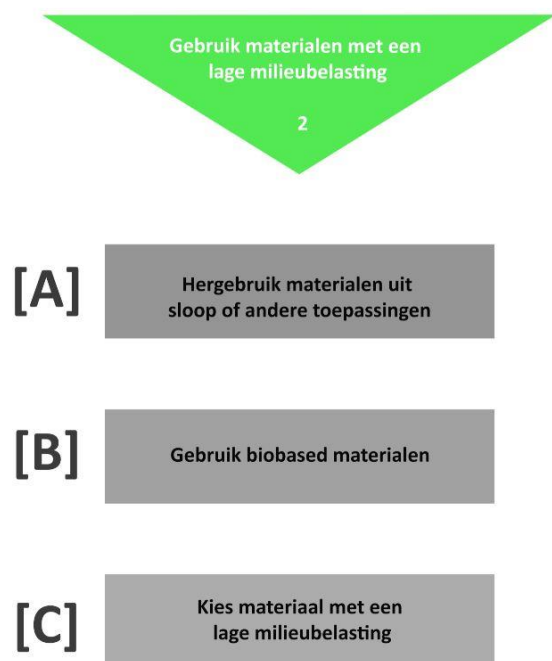
7.2.4 Conclusie

De tweede stap is er voor zorgen dat de materialen die je toepast een lage milieubelasting hebben. Hierbij moet er begonnen worden met het hergebruiken van materialen uit sloop of andere toepassingen. De bruikbare aanwezige materialen kunnen een alternatief bieden voor het gebruiken van nieuwe, dure en schaarse grondstoffen. Hierdoor draagt deze methode fors bij aan de CO₂-reductie. Een belangrijk punt is dat de sloopprojecten gedaan moeten worden door bedrijven met ervaring in het circulair slopen. Nu word vooral door de overheid of ontwikkelaar gekeken naar de goedkoopste weg om een gebouw te slopen, echter op de lange termijn worden hierdoor heel veel bruikbare materialen weggegooid. Bedrijven als New horizon hebben ervaring in het circulaire slopen en hiermee zal dus een samenwerking gezocht moeten worden.

Als er geen hergebruikte materialen beschikbaar zijn is de volgende stap het kiezen van biobased materialen. Deze materialen zullen oneindig aanwezig zijn, omdat ze nagroeibare grondstoffen zijn/hebben. Als we dus niet meer verbruiken dan dat er groeit, zullen we nooit met uitputting geconfronteerd worden. wat het doel is van de circulaire economie. Belangrijk is wel dat sommige producten chemisch zwaar bewerkt om het de gewenste eigenschappen te geven, dit wil wel eens de behaalde milieuwinst geheel teniet doen.

Als beide hergebruikte materialen en biobased materialen niet beschikbaar zijn kan het beste gekozen worden voor een materiaal met een zo laag mogelijke milieubelasting. Deze milieubelasting wordt aan de hand van LCA's verzameld in de Nationale MilieuDatabase. Deze database wordt beheerd door de Stichting BouwKwaliteit (SBK). Hier kan dus de beste mogelijkheden worden geselecteerd.

Deze drie stappen samen resulteren in een materiaalkeuze met een lage milieubelasting. Hieruit kan voor dit hoofdstuk een schema gemaakt worden waarin de stappen zijn weergegeven. Zie onderstaande afbeelding.



Figuur 15: Materialen met een lage milieubelasting

III Hoe kan een bouwwerk na zijn levensduur makkelijk worden hergebruikt?

Na het minimaliseren van het materiaalgebruik als eerste stap en bij de materialen die je wel toepast er voor zorgen dat ze een zo laag mogelijke milieubelasting hebben als tweede stap, is het herbruikbaar maken van het bouwwerk de derde stap. Dit is belangrijk omdat er voor gezorgd moet worden dat de materialen die worden toegepast niet verloren gaan na de gebruiksfase. Het idee van een circulaire economie is juist ook het herbruikbaar maken van de grondstoffen. In dit hoofdstuk zal middels drie kernpunten beschreven worden hoe hergebruik na de levensfase van een bouwwerk mogelijk gemaakt kan worden. Deze kernpunten betreffen: *demontage zonder materiaalschade, standaard maten en prefab gebruiken en het inzichtelijk maken van materiaalgebruik*.

7.3.1 demontage zonder materiaalschade
Gebouwen bouwen we tegenwoordig voor 50 tot 70 jaar. Na deze periode komen dus een heleboel materialen weer vrij. Deze bouwwerken worden echter vaak gerealiseerd met robuuste materialen die gelijmd, gestort en gekit worden. Hierdoor zijn de aanwezige materialen na de levensfase moeilijk te demonteren en gaan dus verloren. Het sloopafval dat wel vrijkomt bestaat vaak uit meerdere grondstoffen die gemengd zijn of aan andere materialen vastzitten.

Om materialen te kunnen hergebruiken moeten ze demontabel zijn, terug te brengen naar componenten die waardevast zijn en hoogwaardig toegepast kunnen worden. Om tot een duurzame, robuuste en comfortabele buitenschil te komen die ook nog eens demontabel is, zal veel aandacht aan de detaillering geschonken moeten worden. (Anon n.d.) Vooral een lage luchtdoorlatendheid is een belangrijke voorwaarde voor laag energieverbruik, geen

tochtklachten, goede geluidwering en een waterdichte gevel. Als de

luchtdichting niet met kit, en aanverwante materialen gerealiseerd mag worden moet er goed over de detaillering van diverse aansluitingen nagedacht worden. Dit moet dus met droge verbindingen zoals schroeven en bouten.

Daarnaast moet de aansluiting zodanig ontworpen zijn dat er een demontabele luchtdichting aangebracht kan worden. Tapes kunnen alleen aan de binnenzijde toegepast worden en moeten om esthetische redenen weggewerkt worden. Zwelband kan alleen op een vlakke ondergrond, in een aanslag worden toegepast zodat compressie aanwezig is. Dit vraagt in materiaalgebruik en vormgeving net even een stapje verder denken dan het 'standaarddetail'.

Tijdelijke rechtbank Amsterdam

Een praktijk voorbeeld van het demontabel bouwen is de tijdelijke rechtbank Amsterdam door Cepezed. (Amsterdam 2017) Het oude pand van de rechtbank Amsterdam, uit 1978, was aan vernieuwing toe waardoor is besloten om een groot gedeelte te vervangen voor nieuwbouw. Om in de tussentijd de rechtspraak door te laten gaan was er een tijdelijke rechtbank nodig. Dit met als belangrijkste aandachtspunt het demontabel maken van het bouwwerk.

Na gebruik en demontage kunnen de bouwonderdelen geremonteerd worden op een andere locatie en ruimte bieden aan een nieuwe invulling. Om dit mogelijk te maken hebben de architecten enkele slimme innovaties toegepast. Zo is de gevel afgewerkt met gespannen kunststofdoek en de staalconstructie is zo gemaakt dat wanden en vloeren eenvoudig te ontkoppelen zijn.



Figuur 16: Tijdelijke rechtbank Amsterdam

Hiernaast zijn de kanaalplaatvloeren droog verbonden met stalen liggers. In de kanaalplaatvloer zijn op de bouwplaats DEMU-ankers bevestigd. Aan de liggers worden boutgaten en verstelbare drukpunten aangebracht. Op de bouwplaats worden de onderdelen door middel van een boutverbinding eenvoudig aan elkaar gekoppeld.



Figuur 17: Detail verbinding vloer met liggers

7.3.2 standaard maten en prefab

Als je eenmaal een demontabel gebouw hebt, wil je graag dat de materialen en elementen die uit het gebouw worden gehaald na de levensfase toepasbaar zijn in nieuwe projecten. Deze uitwisselbaarheid zorgt voor een mogelijkheid tot nieuwe levensloop, wat het circulaire proces voorstelt. Maatvoering en standaardisering spelen in deze discussie een belangrijke rol als het gaat om universaliteit en uitwisselbaarheid. (Anon n.d.)

Op materiaalniveau is standaardisering de gewenste situatie, dit betekent namelijk dat alle producten uit die categorie, zoals bijvoorbeeld deurklinken, uitwisselbaar zijn. Als een gebouw verandert en er komen deurklinken vrij op de ene verdieping kunnen ze bijvoorbeeld probleemloos worden toegepast op een andere verdieping of zelfs in een ander gebouw. Dit betekent ook dat producenten minder verschillende ontwerpen hoeven uit te voeren dus efficiënter materiaalgebruik kunnen toepassen. Van een standaardproduct kan ook de demontage en verwerking sneller en beter worden geregeld.

Standaardisering faciliteert dus uitwisselbaarheid echter het beperkt ook ontwerp vrijheid. De standaardisering zou beperkingen opleggen voor een ontwerper/architect. Hierdoor kan er een vermindering optreden in de diversiteit van de gebouwde omgeving. Binnen de standaardisering zijn echter wel variaties mogelijk die de ontwerper meer vrijheid kunnen geven. Zo heeft Jouke Post, XX Architecten, dit probleem opgelost door in zijn ontwerp voor de woonwijk Living 4C in Berkel en Rodenrijs niet de gebouw maatvoering te standaardiseren, maar juist rekening te houden met toekomstige veranderingen. En met name op de verbindingen tussen de elementen.

Om verandering te faciliteren moeten elementen kunnen worden verplaatst, verwijderd of toegevoegd. Deze verbindingen zouden bij voorkeur standaard zijn zodat uitwisselbaarheid van elementen wordt vergemakkelijkt, zoals ook geformuleerd in de theorie van 'LEGOLisering'. Als je LEGO als voorbeeld neemt, waar miljoenen verschillende kleuren en vormen steentjes van zijn, zie je dat ze allemaal op elkaar passen omdat de verbindingen standaard zijn. Hier moeten we dus ook naar toe in de bouw. Met een systeem als deze raakt de ontwerp vrijheid van de architect en het gevarieerde staatbeeld niet op, maar zijn de materialen of elementen die uit gebouwen worden gehaald wel meer uitwisselbaar.

Prefab bouwen

Naast standaard maatgeving speelt prefabricage ook een grote rol in de herbruikbaarheid van een bouwwerk. Als de prefab elementen demontabel zijn uitgevoerd kunnen ze gemakkelijk gedemonteerd worden en ergens anders worden opgebouwd. Hiernaast wordt restafval op de bouwplaats ook voorkomen.

Doordat de elementen in een fabrieksomgeving op maat gemaakt worden, kan het restmateriaal meteen weer terug in

het productieproces gestopt worden in de fabriek. Hierdoor wordt de bouwplaats niet onnodig belast met bouwmaterialen. Naast het verminderen van restafval heeft prefabricage ook andere voordelen. Zo gaat de montage snel als de elementen eenmaal op de bouwplaats zijn. En is er geen last van ongunstige weersomstandigheden waardoor het bouwproces vertraagd wordt.

7.3.3 maak materiaalgebruik inzichtelijk

Als je grondstoffen wil hergebruiken in de kringloop, dan kan het helpen om deze herkenbaar en inzichtelijk te maken. Grondstoffen zijn maar zelden in natuurlijke toestand in producten verwerkt. In vrijwel alle gevallen is er sprake van homogeen samengestelde materialen. Deze samengestelde materialen moeten eerst gescheiden worden in basismaterialen die vervolgens rechtstreeks of na een verdere bewerking kunnen worden hergebruikt in het productieproces.

Een Materialenpaspoort haalt materialen uit de anonimiteit. Hiermee worden de bouwmaterialen gedurende de levensduur van een gebouw geregistreerd op basis van onder andere financiële waarde, levensduur en kwaliteit. Het Materialenpaspoort wordt opgesteld met zoveel mogelijk grondstoffen die 100% recyclebaar zijn en dus opnieuw als grondstof gebruikt kunnen worden. Op deze manier is er bekend welke materialen er in het gebouw zijn gebruikt en zouden deze materialen kunnen worden teruggewonnen uit het object aan het einde van de levensduur. Zo kan er tijdens en voor het sloop (demontage) proces gericht gezocht worden naar herbruikbare materialen en al gekeken worden waar deze toegepast kunnen worden.

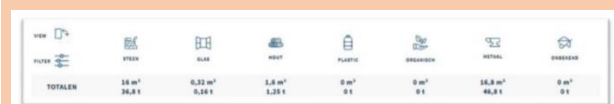
Een bekend voorbeeld van een materialenpaspoort is Madaster, het is geïnitieerd door Thomas Rhau van RHAU architecten en fungeert, zoals de naam al zegt, als kadaster voor materialen. Het doel van

Madaster is om afval te elimineren door materialen een identiteit te geven. Het Madaster platform fungeert als een publieke, online bibliotheek van materialen in de gebouwde omgeving. Het koppelt materiaal-identiteit aan locatie en legt dit vast in een materialenpaspoort. Op basis van een BIM model kan er door Madaster een materialen paspoort worden gegenereerd.

Zijn er geen obstakels? Natuurlijk. Hoewel een materiaalpaspoort in essentie een helder concept is, zitten er aan de technische uitwerking nog wel haken en ogen. Welke informatie elementen moet het grondstoffenpaspoort wel en niet bevatten en welke definities moeten daarbij gehanteerd worden? Het belang van vertrouwelijkheid en hoe de informatie te ontsluiten en actueel te houden zijn ook belangrijke zaken waar nog geen duidelijke afspraken over zijn.

Madaster

worden, zodat je met alle werknemers van een bedrijf in een portfolio kan. Nadat het portfolio is aangemaakt kan een gebouw toegevoegd worden. In Madaster kunnen drie verschillende types bestanden worden geüpload. Ten eerste de bronbestanden, de bestanden, de bestanden waarin de materialen, de producten en de hoeveelheden van een gebouw worden aangegeven. Dit kunnen IFC bestanden zijn uit BIM modellen zoals die in Revit en Archicad, of een Excel template van madaster kan handmatig worden ingevuld en worden geüpload.



VIEW	STUUK	GLAS	HOUT	PLASTIC	ORGANISCH	METAL	ONBEKEND
TOTAAL	18 m³	0,02 m³	1,8 m³	0 m³	0 m³	16,8 m³	0 m³
	36,8 t	0,04 t	3,24 t	0 t	0 t	45,6 t	0 t

Figuur 18: materialen; steen, glas, hout, plastic, organisch, metaal, onbekend

Daarnaast kunnen nog algemene bestanden worden toegevoegd waarin informatie staat over het gebouw welke niet als bronbestand geüpload kunnen worden, zoals 2D werktekeningen. Daarnaast kunnen ook nog persoonlijke bestanden worden geüpload, deze bestanden kunnen gezien worden als

bijvoorbeeld rapportages, product-handleidingen of verslagen. De materiaaldata uit de IFC-bestanden worden vergeleken en gekoppeld met de database van materialen in het Madaster-platform. Madaster maakt gebruik van zes materiaalgroep-codes en een groep waarin de onbekende materialen terechtkomen.



Figuur 19: Lagen: locatie, constructie, omhulling, installatie, afbouw, interieur, onbekend

De materialen worden ook gecategoriseerd naar het gebouwdeel waar zij zich in bevinden. Zo wordt er inzichtelijk gemaakt hoeveel materialen zich waar in het gebouw bevinden. Daarnaast kan er ook worden aangegeven wanneer er sprake is van een gedeeltelijk gerenoveerd of gesloopt gebouw.



Figuur 20: Fasering; huidig, sloop, casco, nieuwe materialen, definitief

7.3.4 conclusie

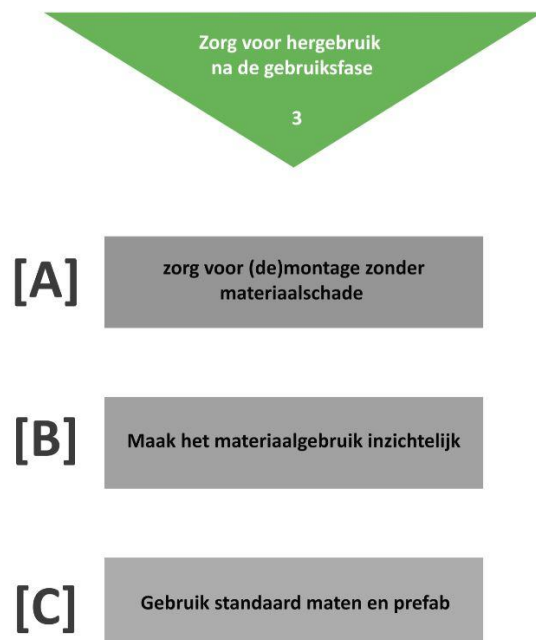
De derde stap in het circulair bouwen is het mogelijk maken van hergebruik na de levensfase. Dit is belangrijk omdat er voor gezorgd moet worden dat de materialen die worden toegepast niet verloren gaan na de gebruiksfase. Hierbij moet als eerste gekeken worden naar demontage zonder materiaalschade. Om tot een duurzame, robuuste en comfortabele buitenschil te komen die ook nog eens demontabel is, zal veel aandacht aan de detaillering geschonken moeten worden. Deze demontabele elementen zullen verbonden en gedicht moeten worden met droge toepassingen zoals zoals schroeven, bouten, tapes en zwelbanden.

De tweede stap is een standaard maatvoering toepassen. Hier gaat het met name om standaard verbindingen. Deze verbindingen

zouden bij voorkeur standaard zijn zodat uitwisselbaarheid van elementen wordt vergemakkelijkt.

Als laatste is het ook belangrijk om het materiaalgebruik inzichtelijk te maken. Dit kan doormiddel van een materialen paspoort. Op deze manier is er bekend welke materialen er in het gebouw zijn gebruikt en zouden deze materialen kunnen worden teruggewonnen uit het object aan het einde van de levensduur. Er licht hier ook een belangrijke rol voor de leveranciers. Het liefst gaan de materialen na de gebruiksfase weer terug naar de fabrikant zodat zij de opnieuw kunnen inzetten. Dit zal voor het aanschaffen van een materiaal contractueel vastgelegd moeten worden. (Anon n.d.)

Deze drie stappen samen resulteren in een herbruikbaar bouwwerk na zijn levensfase. Hieruit kan voor dit hoofdstuk een schema gemaakt worden waarin de stappen zijn weergegeven. Zie onderstaande afbeelding.



Figuur 21: Hergebruik na gebruiksfase

IV Hoe kan de Cubestee circulair herontworpen worden rekening houdend met circulair bouwen?

Uit de vorige hoofdstukken is een model ontstaan waarmee circulair bouwen gedefinieerd kan worden. Hiermee kan het ook een tool zijn tijdens het ontwerpproces waarmee de ontwerper zijn bouwwerk mee kan controleren en vormgeven. Om een voorbeeld te geven van hoe dit model in de praktijk kan worden toegepast ga ik in dit hoofdstuk een bekend bouwwerk van Onix NL circulair 'herontwerpen'.

Het doel hierbij is om de originele ontwerpdoelen en schaal niet uit het oog te verliezen maar juist te waarborgen om uiteindelijk het herontwerp hier ook aan te toetsen. Daarbij zal er wel ruimte vrijgemaakt worden om buiten de kaders te treden, waarbij de circulaire interventies de vormgeving van het bouwwerk wel mogen veranderen.

7.4.1 Ontwerpdoelen Cubestee

Het bouwwerk dat circulair zal worden herontwerpen is de Cubestee van Onix NL. Aanleiding voor het ontwikkelen van de Cubestee is de groter wordende vraag naar Tiny Houses vanuit de huidige markt. (Anon n.d.) De Cubestee is een modulaair, schaalbaar, schakelbaar en demontabel bouwconcept, waarmee wordt gereageerd op een duurzame, vrij indeelbare en betaalbare woonvraag. De doelgroep loopt uiteen van zzp'ers, studenten, kunstenaars tot vluchtelingen, starters, ouderen, mensen in aardbevingsgebied.



Figuur 24: Cubestee in Eindhoven op Dutch Design Week

Vanuit de basisvorm van 6x6x6 meter zijn er vele mogelijkheden. Niet alleen kan de indeling zelf bepaald worden, er zijn ook variaties mogelijk in gevelafwerking, interieurafwerking en energieprestatie. Daarnaast zijn de mogelijkheden tot uitbreiding eindeloos. De basis variant heeft een woonkamer, keuken en toilet op de begane grond en 2 slaapkamers en een douche op de verdieping.



Figuur 22: Begane grond Cubestee



Figuur 23: Eerste verdieping Cubestee

Om de originele ontwerpdoelen van de Cubestee tijdens het circulair herontwerp te bewaken zijn er een aantal doelen/eisen opgesteld deze zijn:

- Het bouwwerk moet demontabel zijn
- Het bouwwerk moet schakelbaar zijn
- Het bouwwerk moet ongeveer de zelfde schaal behouden (6x6x6 meter)
- Het bouwwerk moet de zelfde soorten ruimtes bevatten als de originele Cubestee

7.4.2 GPR/MPG berekening huidig ontwerp

Nu de ontwerpdoelen zijn vastgesteld kan er worden gekeken naar hoe de Cubestee circulair kan worden herontworpen op het gebied van: Minimaliseren van materiaalgebruik, Herbruikbaarheid en de Milieubelasting van materialen. Om inzicht te krijgen in welk van deze aspecten een verbetering kan zitten word er gebruik gemaakt van een GPR berekening. De GPR berekening (Gemeente praktijk richtlijnen) is een complexe berekening waarmee de totale duurzaamheid van een gebouw wordt aangetoond op het gebied van 5 thema's:

- Energie
- Milieu
- Gezondheid
- Gebruikskwaliteit
- Toekomstwaarde

Uit deze berekening komt per thema een cijfer uit tussen de nul en de tien. Hiermee kunnen met ontwerpkeuzes in een vroeg stadium de duurzaamheid van een gebouw zichtbaar gemaakt worden. De Cubestee scoort met de GPR berekening op alle thema's rond de 7,5 met het thema toekomstwaarde als uitschieter met een 8,4. Als we verder inzoomen op het thema milieu zien we dat het kopje milieuprestatie laag scoort met een 5,0. De milieuprestatie wordt berekend met de MPG methode (Milieu Prestatie Gebouwen) en beschrijft de milieubelasting van de materialen die in een gebouw zijn toegepast.

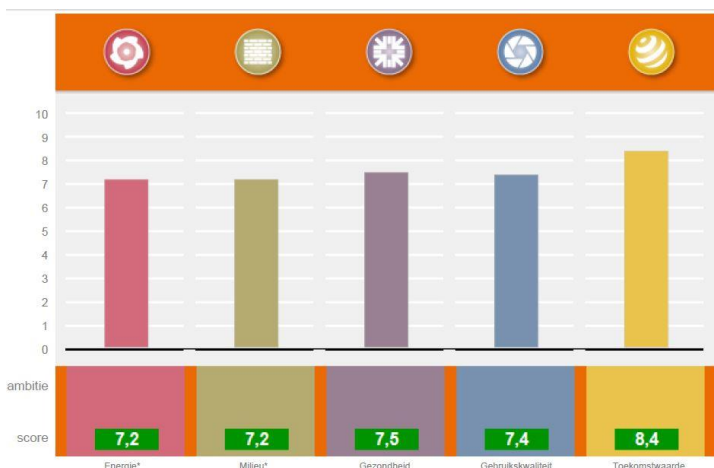
De MPG van een gebouw is de som van de schaduwkosten van alle toegepaste materialen in een gebouw. Om de schaduwkosten van een enkel materiaal te bepalen, wordt een Levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd. Voor Nederland worden de schaduwkosten van materialen uit de LCA's verzameld in de Nationale MilieuDatabase. Deze database wordt beheerd door de Stichting BouwKwaliteit (SBK). De totale som van de schaduwkosten wordt gedeeld door de levensduur en door het bruto vloeroppervlak van een gebouw. De MPG wordt vervolgens uitgedrukt in de schaduwkosten per vierkante meter bvo per jaar.

Milieu														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	score	weging
	Milieuprestatie												5,0	50%
	Circulair materiaalgebruik												9,5	30%
	Water												9,0	20%

7.4.3 MPG verbeterpunten

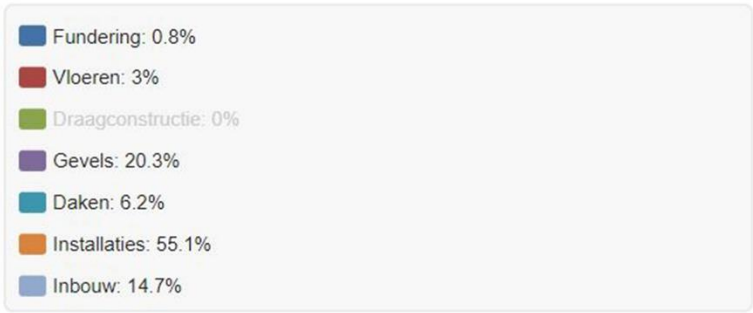
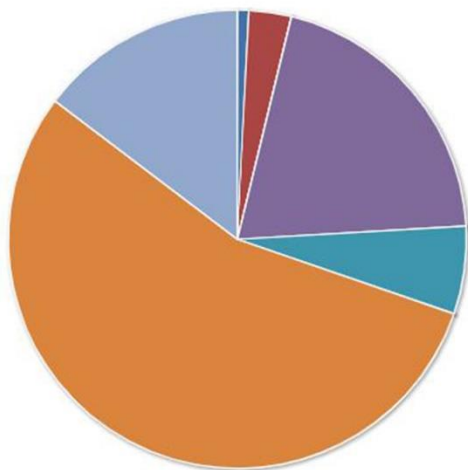
Uit de GPR berekening kunnen we halen dat er hoog gescoord wordt op het gebied van minimaliseren materiaalgebruik en herbruikbaarheid door de goede score op het thema's toekomstwaarde en het kopje circulair materiaalgebruik bij milieu. Echter op het gebied van materialen met een lage milieubelasting wordt een laag cijfer gehaald op het kopje milieuprestatie. Dit betekent dat er bij het herontwerp van de Cubestee gekeken moet worden hoe meer herbruikte of biobased materialen toegepast kunnen worden in het ontwerp.

In het diagram op de volgende pagina kan gezien worden welke onderdelen het meeste bijdragen aan de lage milieuprestatiescore. Met name de installaties, de gevels en de inbouw maken hier een groot deel vanuit. De installaties valt zo hoog uit vanwege de zonnepanelen. Echter verdient deze zijn schaduwkosten weer terug tijdens zijn levensloop. Echter de gevels en de inbouw vallen zo hoog uit vanwege de vele arbeidsintensieve materialen die zijn toegepast.



Figuur 25: GPR berekening

Cubestee - Bijdrage gebouwonderdelen aan MPG



A. Daken



B. Installaties



C. Inbouw



D. Gevels



E. Fundering



F. Vloeren



E.1 Elektrische installatie



F.1 Binnenwanden



C.1 Gevels, dicht



Zo is bijvoorbeeld Arauco Radiata Pine, een soort underlayment, toegepast als wandbekleding. Underlayment bestaat uit meerdere lagen fineer die aan elkaar worden bevestigd door een laag lijm. Vervolgens worden deze lagen samengeperst onder hoge druk en tot een hoge temperatuur verwarmd zodat de verschillende lagen fineer aan elkaar hechten. Dit resulteert in een hoge energievraag bij het productieproces. Daarbij komt ook dat het houtsoort Radiata Pine afkomstig is uit het westen van de Verenigde Staten, wat dus een in hoge transporttijd en -kosten resulteert

7.4.4 Aangepast ontwerp Cubestee

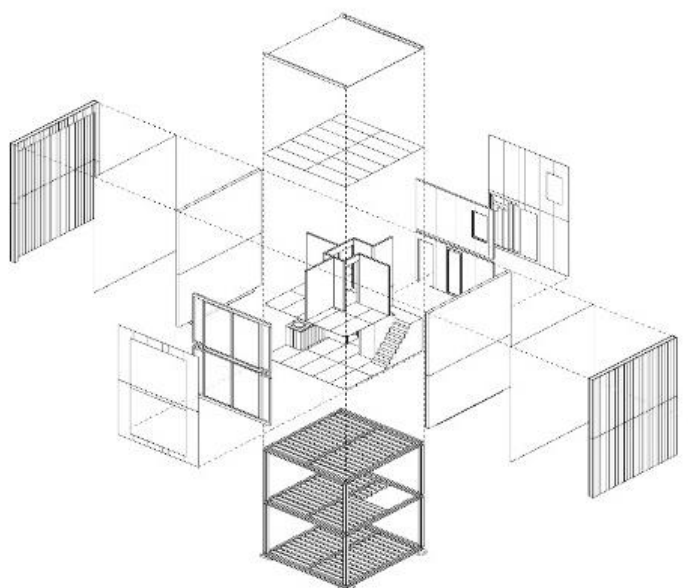
Met het circulaire herontwerp van de Cubestee lag de focus vooral op het gebruiken van materialen met een lage milieubelasting in combinatie met het behouden van de demontabelheid. De eerste stap was om hergebruikte materialen te vinden die voor het herontwerp bruikbaar konden zijn. Hiervoor heb ik Oogstkaart en marktplaats gebruikt. Ik de keuze in materialen gemaakt door te selecteren op een aantal criteria. Deze zijn:

- Het materiaal is regelmatig beschikbaar
- Het materiaal moet in relatief grote oplagen beschikbaar zijn
- Het materiaal moet een zijn of uit sloop gewonnen
- Het materiaal moet demontabel zijn
- Het materiaal moet voor een zo laag mogelijke prijs overneembaar zijn

Ik heb een selectie hierin gemaakt van de materialen die het beste scoren op de criteria. Een verdere toelichting op het materiaalgebruik is te vinden in hoofdstuk 8: verbeterscenario. Uiteindelijk is er gekozen voor een stalen constructie van hergebruikte HEA 160 profielen. Deze zijn aan elkaar verbonden via boutverbindingen. Op het stalen frame kunnen verschillende elementen gemonteerd worden. Ik heb er voor gekozen om op de zijkant een HSB element van het

biobased materiaal *singhboard* te plaatsen. Hierop wordt de waterafstotende folie geschroefd en daaroverheen komen de planken. De vloeren zijn gemaakt door herbruikte constructiehoutenbalken tussen de stalen profielen te leggen hierop en -onder plaatmateriaal te bevestigen. Tussen de balkenlaag wordt hergebruikte steenwol geplaatst. In de binnen afwerking is vooral gebruik gemaakt van *resysta biobased plaatmateriaal* met een houten look. De voor en achterkant van het gebouw hebben als gevelbekleding hergebruikte HPL platen van Trespa. De kozijnen en deuren komen van oogstkaart.

Als we kijken naar de ontwerpdoelen van de Cubestee, die we eerder hebben vastgesteld, zien we dat aan alle gestelde doelen voldaan wordt. Het gebouw is 100% demontabel en er is geprobeerd om met zo veel mogelijk standaard maten te werken. De combinatie van de stalen constructie en de HSB elementen zorgt er ook voor dat in het uiterlijk van de kubus te variëren is, ook in verschillende composities. Als laatste is de kubus ongeveer in de zelfde schaal gebleven, hij is iet kleiner geworden met 6 x 5,5 x 5,7 meter. Dit is een resultaat van de stalen constructie die gebruikt is. In het volgende hoofdstuk zal verder worden ingegaan op het ontwerp en de maatvoering.



Figuur 26: Samenstelling Circulaire Cubestee

8 VERBETERSCENARIO

In het hoofdstuk verbeterscenario wordt het Ontwerp en het materiaalgebruik, van het circulaire herontwerp van de Cubestee, verder toegelicht. Eerst zal worden ingegaan op het ontwerp en de samenstelling van ruimtes. Daarna zullen de materialen verder toegelicht worden en als laatste zal de demontabelheid besproken worden.

8.1 Ontwerp

Het gebruik van hergebruikte materialen is leidend geweest bij het herontwerp van de Cubestee van Onix NL. Het doel was om de beschikbare materialen zo min mogelijk aangepast te gebruiken. Hierdoor zijn de uiteindelijke maten van de woning een gevolg van het materiaalgebruik. Het grootste aandeel hierin is de constructie geweest. Op oogstplaats is een constante hoeveelheid aan stalen HEA 160 profielen gevonden van elk 5 meter lang. Deze 10 meter lange profielen worden in helften en kwarten gezaagd wat resulteert in profielen van 5 en 2,5 meter. Met deze profielen is de constructie gebouwd. Besloten is om de zijgevels te monteren op de constructie in plaats van in de constructie om nog extra ruimte te winnen.

Zoals al eerder is benoemd worden op de zijkanten van de constructie HSB prefab elementen geplaatst. Dit zijn vier verdiepingshoge elementen die op elkaar, aan wederzijden geplaatst worden. De reden om voor een HSB element te kiezen is de mogelijkheid om de thermische schil op een relatief gemakkelijke manier buiten de constructie te plaatsen (of eigenlijk te klemmen). Daarnaast is het HSB element goed demontabel uit te voeren en waren de benodigde materialen (stijlen, regels en plaatmateriaal) in veelvoud beschikbaar, zowel als hergebruikt als in biobased.

De HSB elementen resulteren in twee duidelijke schijven aan weerszijde van het bouwwerk. Doordat je als bewoner door deze schijven als het ware wordt ingesloten benadruk je het geborgen gevoel. Daarnaast ontstaat er hiermee ook een mooi patroon als de kubussen seriematig, springend in diepte, naast elkaar worden geplaatst. Door deze zijkanten te bekleden met houten planken wordt een bijna identiek beeld gecreëerd aan de huidige Cube stee, hiermee blijft het natuurlijke en robuuste uiterlijk van de Cubestee gedeeltelijk behouden.



Figuur 27: Noordgevel

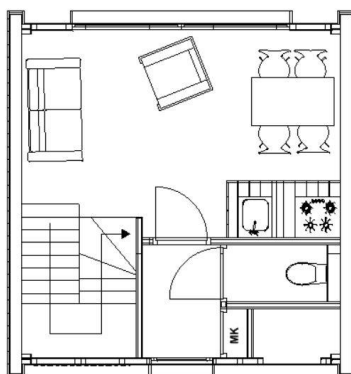
Tussen de schijven, aan de voor en achterkant, worden HPL platen van Trespa gebruikt als gevelafwerking. Deze worden toegepast omdat ze ten eerste veelvoudig beschikbaar zijn maar ook omdat ze een speels contrast bieden met de houten gevelbekleding aan de zijkanten. Hierbij vormen de strakke, bijna klinische platen een tegenstelling met de robuuste, natuurlijke (steiger)houten gevel. Daarnaast zijn de platen in vele verschillende kleuren, hergebruikt, beschikbaar. Hiermee kan bij een seriematige toepassing elke woning een eigen kleur of karakter krijgen. Om het grote HPL trespa vlak toch nog een beetje te breken is naast de deur en over het raam boven de trap een metalen countourplaat geplaatst. Hij zorgt hierbij voor een interessante lichtinval boven de trap.

De kozijnen zijn omsloten met een enkele houten plank, dit om de zoninval tijdens de zomer wat te beperken en om een soort 'schilderij' effect te maken vanuit de woning.

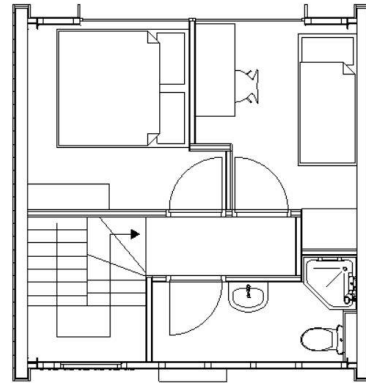


Figuur 28: Zuidgevel

Een van de ontwerpdoelen die van te voren was vastgesteld is het behouden van de ruimtes in de huidige Cubestee. Over het algemeen is de kamer indeling vrijwel hetzelfde gebleven er zijn alleen enkele verschillen in grootte en plaatsing doorgevoerd. De begane grond heeft een keuken, woonkamer/ eetkamer, toilet en installatieruimte. De verdieping heeft twee slaapkamers, een twee persoons en een één persoons kamer. Daarnaast is er ook een badkamer gelegen op de eerste verdieping met een douche, toilet en wasbak. De ruimtes zijn wel kleiner geworden, echter plek voor twee personen is voldoende aanwezig.



Figuur 29: Begane Grond



Figuur 30: Eerste verdieping

8.2 Materiaalgebruik

In dit hoofdstuk zullen de toegepaste materialen kort worden besproken. Dit wordt per bouwlaag gedaan.

Constructie

HEA Profielen

De constructie wordt voornamelijk gemaakt van stalen HEA 160 profielen. Deze zijn gevonden op oogstkaart en zijn afkomstig uit de sloop. Aan de uiteinden wordt nog een kopplaat gemonteerd voor gemakkelijke bevestiging. De profielen worden met elkaar verbonden door boutverbindingen.

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Constructie	Hergebruikt	Metaal	

Constructiehout

Tussen de HEA liggers in de vloer worden houten balken van 40 x 140 mm geplaatst hierop worden de plafond en vloerbeplating gemonteerd. Deze materialen zijn afkomstig van marktplaats.

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Constructie	Hergebruikt	Hout	

Omhulling

Singhboard

Voor de HSB elementen aan de zijkanten van de Cubestee is Singhboard gebruikt, Singhboard is een biobased plaatmateriaal en gebaseerd op het hergebruiken van vezelrijke plantenresten. Aan de zijkanten van de woning fungeert het ook als binnen afwerking

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Omhulling	Biobased	Organisch	

Steigerplanken

Om de natuurlijke materialen die ook in de originele Cubestee zitten terug te brengen in de Circulaire versie is er gekozen voor hergebruikte steigerplanken. Deze zijn afkomstig van marktplaats en hebben een afmeting van 200 x 32 mm.

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Omhulling	Hergebruikt	Hout	

HPL Trespa

Aan de voor en achterkant zijn HPL Trespa platen gebruikt als gevelbekleding. Deze hebben een afmeting van 2800 x 910 mm en zijn 8 mm dik. Ze zijn afkomstig uit sloop

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Omhulling	Hergebruikt	Plastic	Constant

Waterkerende membraan

Om het bouwwerk ook waterdicht te maken wordt er een waterdicht membraan toegepast van Fatra. Het membraan wordt aangebracht op de gevels en het dak en kan mechanisch bevestigd worden met schroeven en sluitringen. Na demontage kan het weer hergebruikt worden.

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Omhulling	Herbruikbaar	Plastic	Constant

Contourplaten

Naast de voordeur en over het raam boven de trap is een metalen Countourplaat geplaatst. Dit is het restproduct van een pers dei seriematig vormen uit een metalen plaat perst. In deze toepassing hoeft het niet omgesmolten te worden. Het materiaal is afkomstig van Oogstkaart

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Afbouw	Restproduct	Metaal	Continu

Afbouw

Resysta biobased plaatmateriaal

Voor de afwerking van de binnenwanden en vloeren is Resysta biobased plaatmateriaal gebruikt. Dit plaatmateriaal wordt gemaakt van rijststulzen, minerale olie en steenzout en wordt geleverd in natuurlijke houten textuur. De afmetingen zijn 2440 x 1220 mm met een dikte van 16 mm.

Laag	Status	Soort	Beschikbaar
Afbouw	Hergebruikt	Plastic	

Installatie

Tijdens het ontwerp is niet gekeken naar hergebruikte of biobased installaties. Er zal gezocht moeten worden naar tweedehands zonnepanelen en elektrische boilers inclusief leiding en kabelwerk.

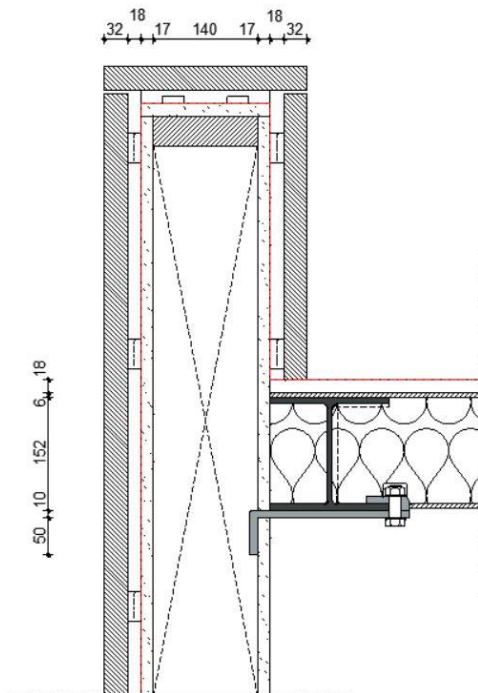
Interieur

Tijdens het ontwerp is niet gekeken naar hergebruikte of biobased interieur. Er zal gezocht moeten worden naar tweedehands bedden, stoelen, kasten, tafels en toilet. Daarnaast kan het licht wellicht in een PaaS constructie worden aangeschaft.

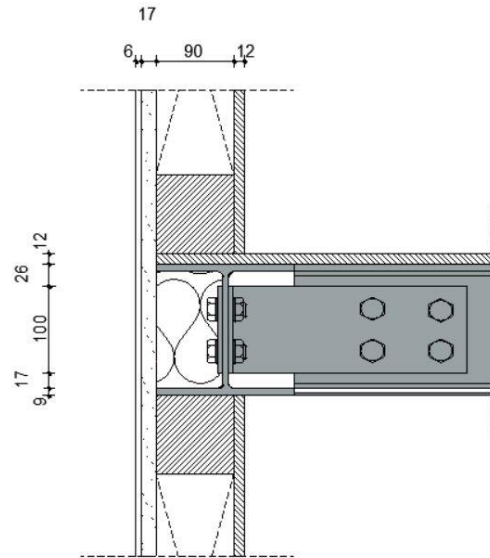
8.3 Demontabelheid

Een ontwerpdoel van het circulaire herontwerp van de Cubestee was de demontabelheid. Het herontwerp is grotendeels demontabel en kan door de droge verbindingen makkelijk uit elkaar gehaald worden. De belangrijkste verbindingen zitten tussen de HEA profielen onderling en de verbinding tussen de HEA profielen en de HSB elementen. In dit hoofdstuk zal verdere toelichting gegeven worden op deze verbindingen.

De HSB elementen zijn verbinden met de stalen constructie door middel van klemmen. Zie afbeelding. Eerst wordt er een soort beugel door de HSB element aangebracht en daarna wordt met een ander stukje de ligger ingeklemd door een boutverbinding. Dit wordt een aantal keer herhaald over de lengte van de ligger zodat de krachten goed zijn verdeeld.



Figuur 32: Dakdetail Circulair Herontwerp



Figuur 31: Verdiepingsvloer Detail Herontwerp

De HEA profielen onderling worden met elkaar verbonden door middel van stalen beugels. Deze beugels worden op de stalen liggers vastgezet met bouten. Met dit systeem kunnen ook seriëmatig Cubestees geplaatst worden.

9 CONCLUSIE

Het onderzoek is opgesteld aan de hand van de een hoofdvraag. Deze hoofdvraag is samengesteld door de probleemstelling: 'Inzichtelijk maken Circulair bouwen'. De hoofdvraag van het onderzoek luidt:

Hoe kan circulair bouwen inzichtelijk gemaakt worden waarbij de toepassing in de praktijk wordt bevorderd?

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn er een aantal deelvragen opgesteld. Door het onderzoeken van de aparte deelvragen is er meer inzicht verkregen. De conclusies die zijn getrokken zijn als volgt:

Deelvraag I: *Hoe kan het materiaalgebruik in een bouwwerk verminderd worden?*

De beste manier om minder materiaal te gebruiken is om het niet te gebruiken maar te lenen. Hier komt het zogenaamde Product as a Service model van pas. Hierbij koop je een gewenst resultaat in plaats van een apparaat die dat gewenst resultaat kan bieden. Op deze manier blijft de producent eigenaar van hun producten en worden zo gestimuleerd om hoogwaardige en duurzame producten te maken. Hiernaast kan er gekeken worden of er ook een mogelijkheid is voor het hergebruik van bestaand vastgoed. Door bestaande gebouwen te herbestemmen kan het bouw materiaal bespaard worden dat anders zou worden gebruikt voor nieuwbouw. Uiteindelijk is het optimaliseren van de beschikbare bouwruimte belangrijk. Door het gebruik van aanpasbare, opnieuw configureerbare systemen waardoor nieuwe ruimtes gemakkelijk gecreëerd of aangepast kunnen worden, wordt er ingespeeld op het multifunctioneel gebruiken van bouwwerken.

Deelvraag II: *Welke materialen hebben een lage milieubelasting?*

Hierbij moet er begonnen worden met het hergebruiken van materialen uit sloop of

andere toepassingen. De bruikbare aanwezige materialen kunnen een alternatief bieden voor het gebruiken van nieuwe, dure en schaarse grondstoffen. Als er geen hergebruikte materialen beschikbaar zijn is de volgende stap het kiezen van biobased materialen. Als we dus niet meer verbruiken dan dat er groeit, zullen we nooit met uitputting geconfronteerd worden. Als beide hergebruikte materialen en biobased materialen niet beschikbaar zijn kan het beste gekozen worden voor een materiaal met een zo laag mogelijke milieubelasting. Deze milieubelasting wordt bepaald aan de hand van een LCA vastgesteld.

Deelvraag III: *Hoe kan een bouwwerk na zijn levensduur makkelijk worden hergebruikt?*

Hierbij moet als eerste gekeken worden naar demontage zonder materiaalschade. Er zal veel aandacht aan de detaillering geschonken moeten worden, specifiek op de droge verbindingen. standaard maatvoering moet zoveel mogelijk worden toepassen. Hierbij gaat het met name om standaard verbindingen zodat uitwisselbaarheid van elementen wordt vergemakkelijkt. Als laatste moet materiaalgebruik inzichtelijk gemaakt worden. Dit kan doormiddel van een materialen paspoort. Op deze manier is er bekend welke materialen er in het gebouw zijn gebruikt en zouden deze materialen kunnen worden teruggewonnen uit het object aan het einde van de levensduur.

Deelvraag IV: *Hoe kan de Cubestee circulair herontworpen worden rekening houdend met circulair bouwen?*

Bij het herontwerpen van de Cubestee is uitgegaan van de drie stappen van de trias circulus. Er is met name veel aandacht besteed aan het materiaalgebruik en de demontabelheid. Door het gebruiken van hergebruikte materialen van Oogstkaart en Marktplaats en het gebruik van biobased materialen, is een erg lage milieubelasting gehaald. Bij projecten met een grotere schaal is het belangrijk dat sloop gedaan wordt door

bedrijven die ervaring hebben met circulair slopen. Deze bedrijven weten wat ze kunnen hergebruiken en hoe ze het kunnen verwijderen. Als dit grootschalig wordt gedaan zullen er meer materialen beschikbaar komen voor grotere projecten.

Door het demontabel maken van de Cubestee kan hij makkelijk hergebruikt worden op een andere locatie. Desnoods kan hij in zijn oorspronkelijke materialen ontleed worden en in afzonderlijke projecten ingezet worden.

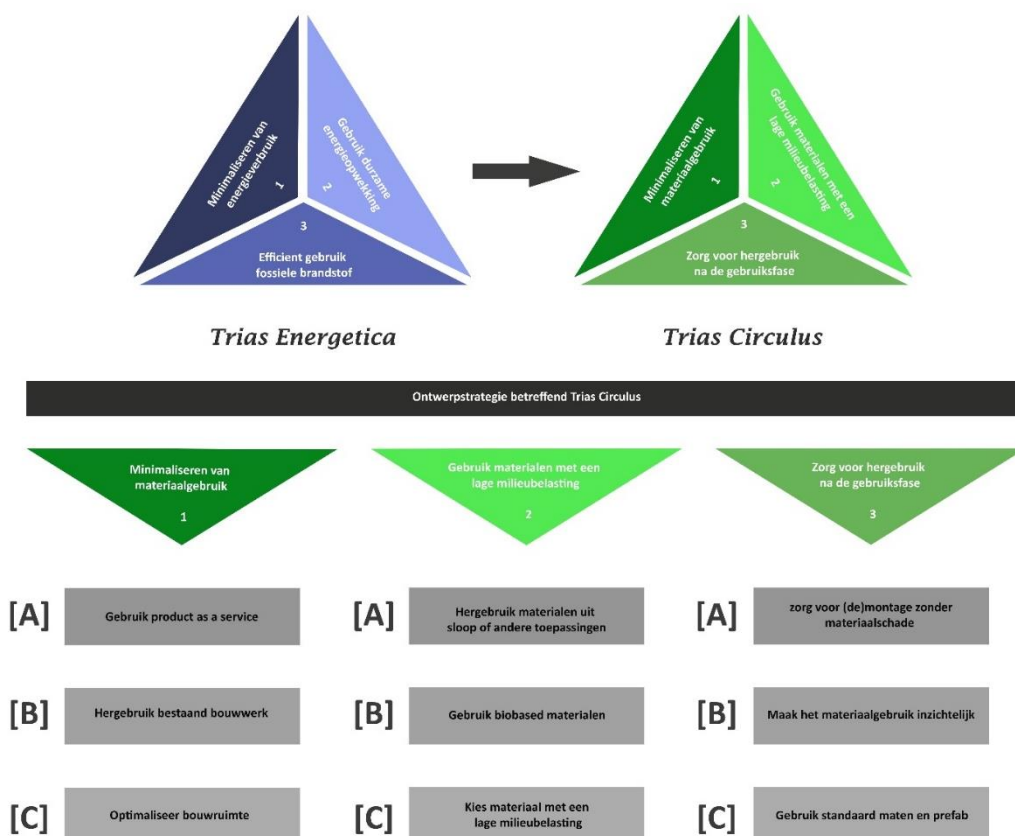
Antwoord op de hoofdvraag

Met behulp van de resultaten op de deelvragen, zijn er een aantal uitgangspunten vastgesteld die zullen helpen bij het inzichtelijk en het toepasbaar maken van circulair bouwen. De resultaten uit deze deelvragen zijn samengevoegd in een model. Deze staat hieronder weergegeven. Het model dat gemaakt is kan fungeren als ondersteuning tijdens het ontwerpproces maar ook al communicatiemiddel tussen de ontwerper en de opdrachtgever.

De huidige voorraad aan hergebruikte materialen is niet heel ruim. Er moet meer circulair gesloopt worden. Het is belangrijk dat dit gedaan wordt door bedrijven die ervaring hebben met circulair slopen. Deze bedrijven weten wat ze kunnen hergebruiken en hoe ze het kunnen verwijderen.

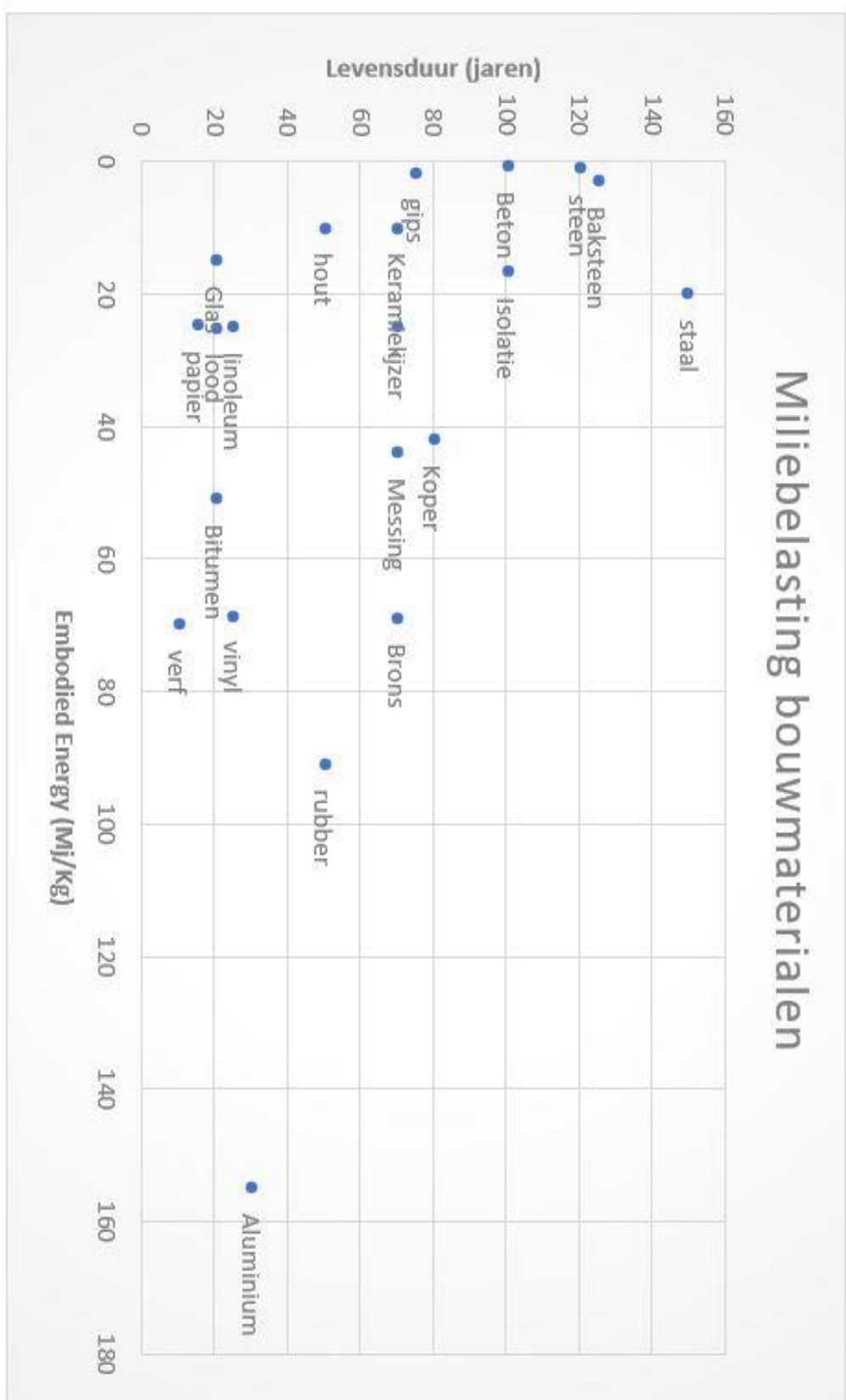
Er zullen duidelijke afspraken gemaakt moeten worden over de terugname van producten door de leverancier. Als na het einde van een levensduur de materialen weer worden gedemonteerd is het handiger als deze door de producent teruggenomen worden omdat het voor hun gemakkelijker is om het materiaal weer terug in de cyclus te stoppen. Over deze terugname zullen contracten opgesteld moeten worden.

Standaardisering van verbindingen is ook een doel voor het circulaire bouwen. Hiermee wordt de ontwerpvrijheid niet beperkt, maar bevordert het wel de uitwisselbaarheid van materialen en elementen.

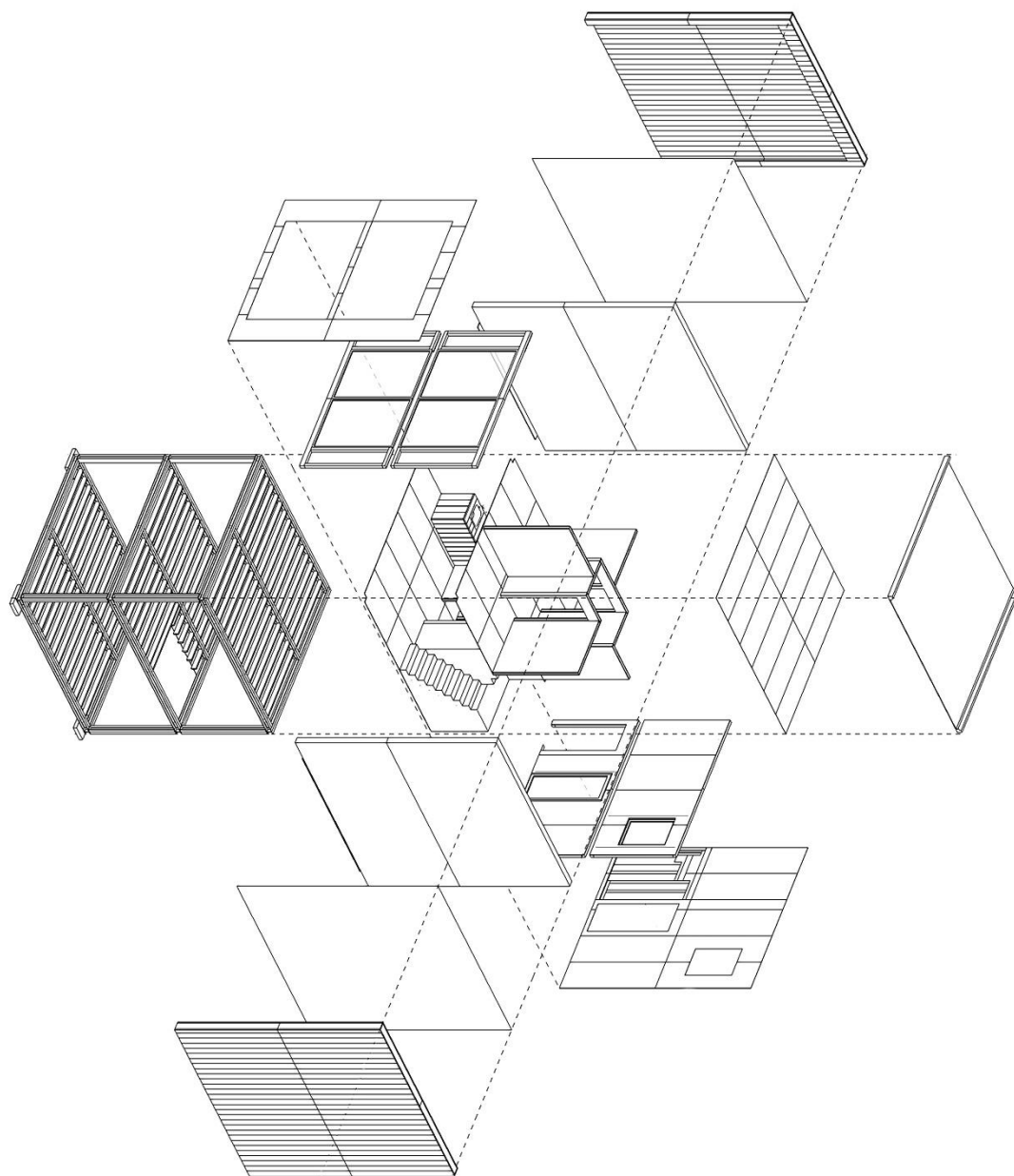


13 literatuurlijst

- Amsterdam, Tijdelijke Rechtbank. 2017.
"Rechtbank Met Restwaarde." (1).
- Anon. n.d. "Alliander-Kantoor in Duiven Is Volledig Circulair Gerenoveerd | RVO.NL." Retrieved February 28, 2019a (<https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/alliander-kantoor-duiven-volledig-circulair-gerenoveerd>).
- Anon. n.d. *Circulair Bouwen Het Fundament Onder Een Vernieuwde Sector*.
- Anon. n.d. "Circulair Bouwen in de Praktijk: Garanties En Riscio's Hergebruik - De Architect." Retrieved February 11, 2019c (<https://www.dearchitect.nl/techniek/artikel/2017/12/circulair-bouwen-de-praktijk-garanties-en-riscios-hergebruik-101185727>).
- Anon. n.d. "Circulaire Economie: Prioriteit Bij Biobased Bouwen of Technische Materialen? | Blog | Duurzaam Gebouwd." Retrieved February 24, 2019d (<https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20140707-circulaire-economie-prioriteit-bij-biobased-bouwen-of-technische-materialen>).
- Anon. n.d. "Cubestee - Onix Architecten." Retrieved October 15, 2018e (<https://onix.nl/project/cubestee/>).
- Anon. n.d. "Optimize Building Space and Material Use | WBDG - Whole Building Design Guide." Retrieved December 19, 2018f (<https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable/optimize-building-space-material-use>).
- Anon. n.d. "Optimize Site Potential | WBDG - Whole Building Design Guide." Retrieved February 23, 2019g (<http://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable/optimize-site-potential>).
- Anon. n.d. "Product as a Service: Het Verdienmodel Voor de Circulaire Economie - RetailTrends.NL." Retrieved February 10, 2019h (<https://retailtrends.nl/item/47976/-product-as-a-service-het-verdienmodel-voor-de-circulaire-economie>).
- Anon. n.d. "Test Met Geveltypes Op TU Delft » Bouwwereld.NL." Retrieved February 19, 2019i (<https://www.bouwwereld.nl/bouwkenis/test-geveltypes-op-tu-delft/>).
- Anon. n.d. "Toolkit Voor Ontwikkelen van Product-as-a-Service : Duurzaamnieuws." Retrieved February 10, 2019j (<https://www.duurzaamnieuws.nl/toolkit-voor-ontwikkelen-van-product-as-a-service/>).
- Anon. n.d. "Verstandig Slopen." Retrieved March 31, 2019k (<http://www.gbn.nl/projectrealisatie-circulair-slopen/>).
- Ice, Energy et al. n.d. "A BSRIA Guide Embodied Carbon The Inventory of Carbon And."
- Rijkswaterstaat and RIVM. 2015.
"Beleidsverkenning Circulaire Economie in de Bouw. Een Perspectief Voor de Markt En Overheid." (december):17–18.
- Veen van der, Rianne and Marlies Peschier. 2017. "Handvat Duurzaam Materiaalgebruik Voor Bouw- En Infrabedrijven: Praktische Tips En Voorbeelden." 36.
- Legalisering van de bouw



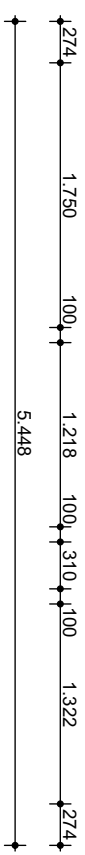
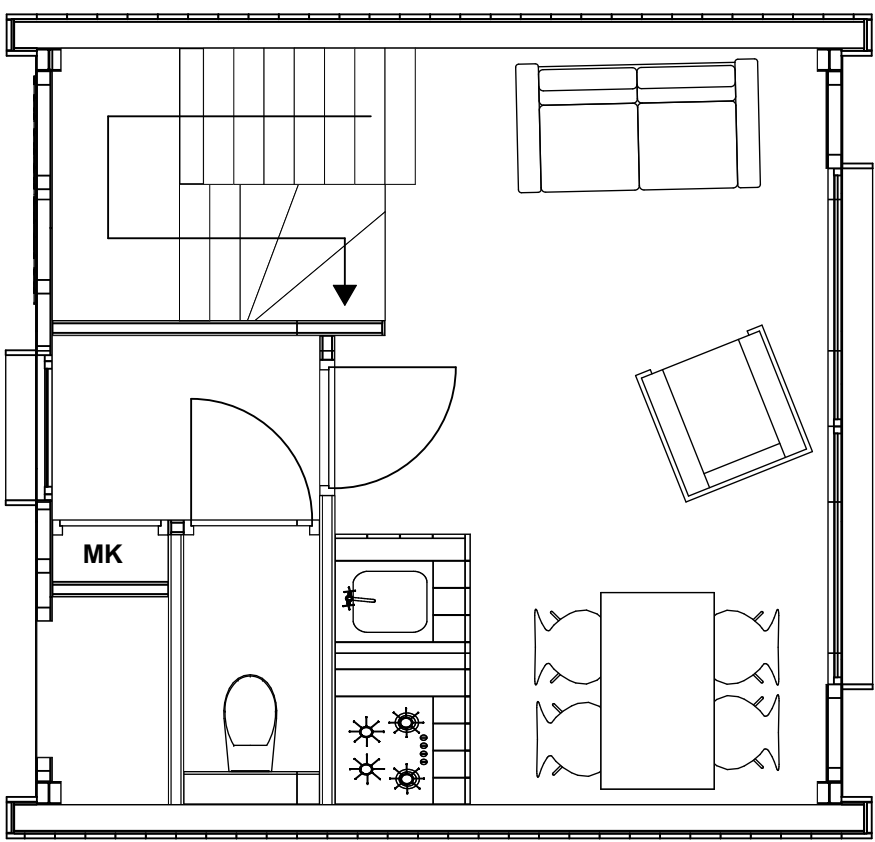
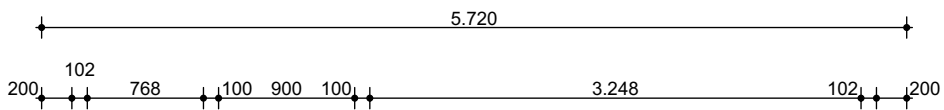
BIJLAGE II



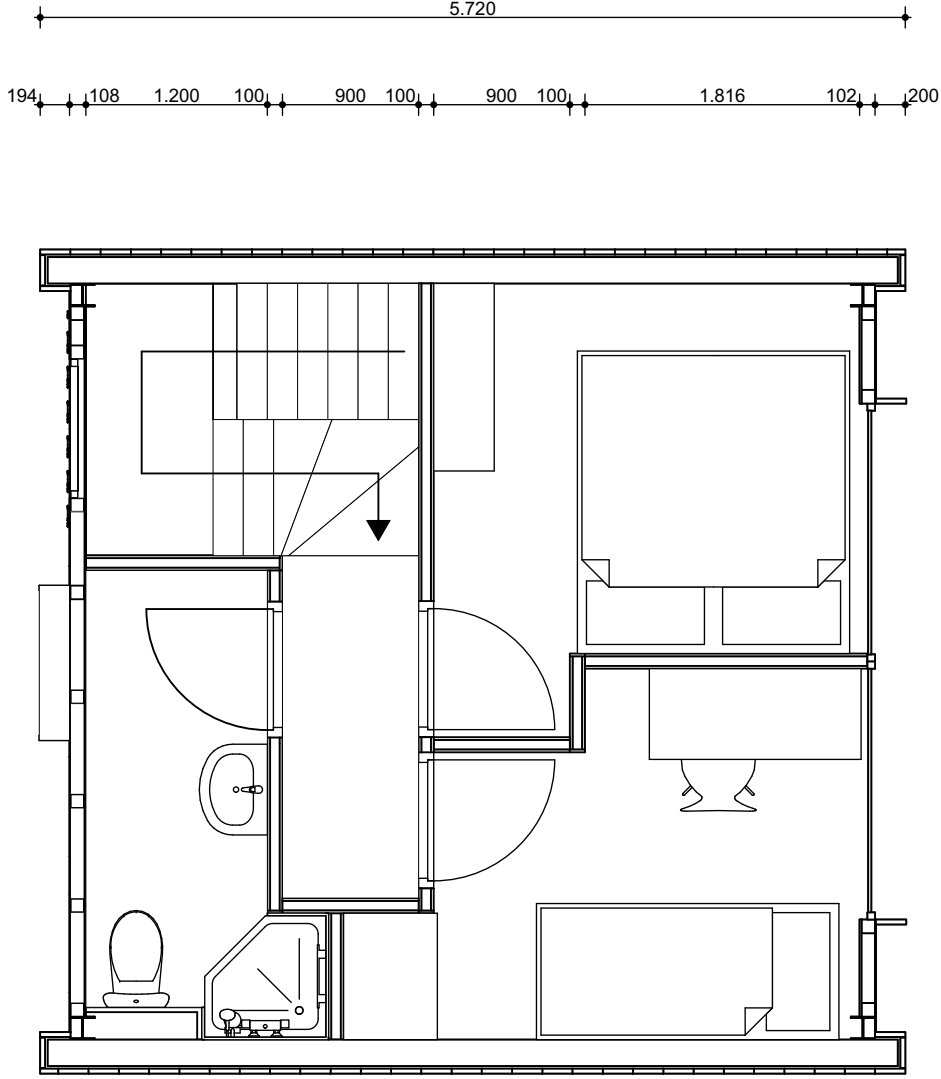
BIJLAGE III

Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - plattegronden

ARCHICAD EDUCATION VERSION



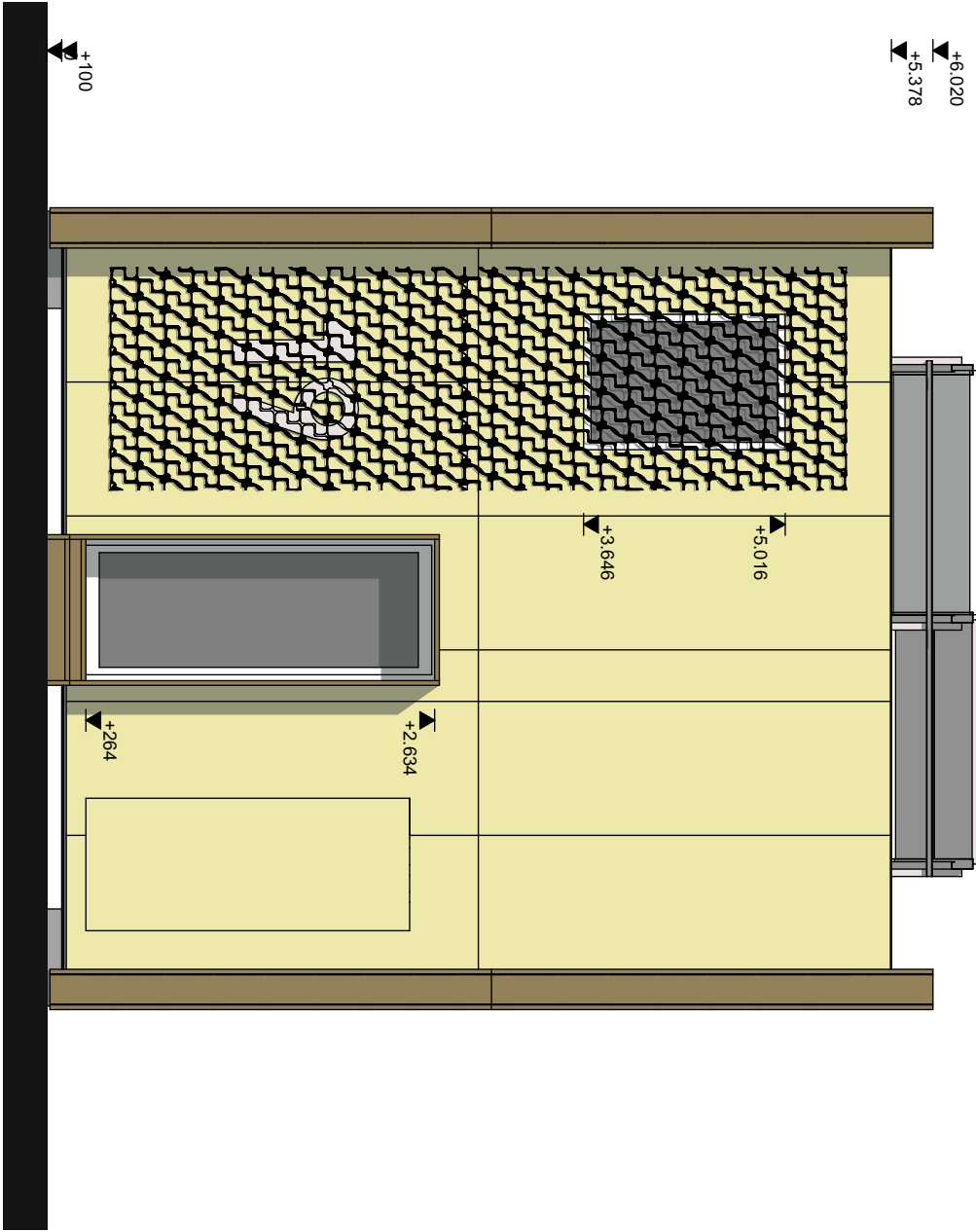
BEGANE GROND



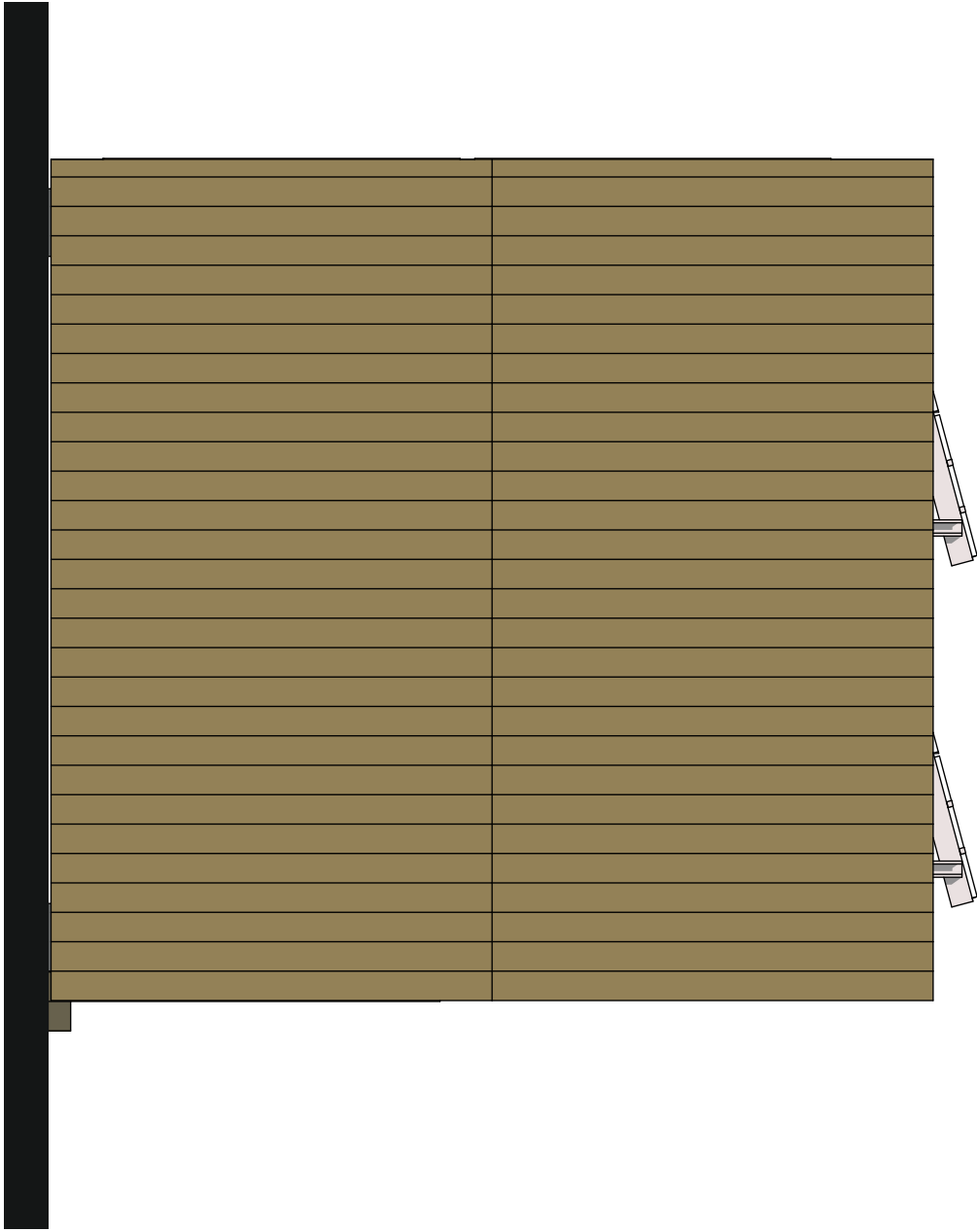
EERSTE VERDIEPING

Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - gevels

ARCHICAD EDUCATION VERSION

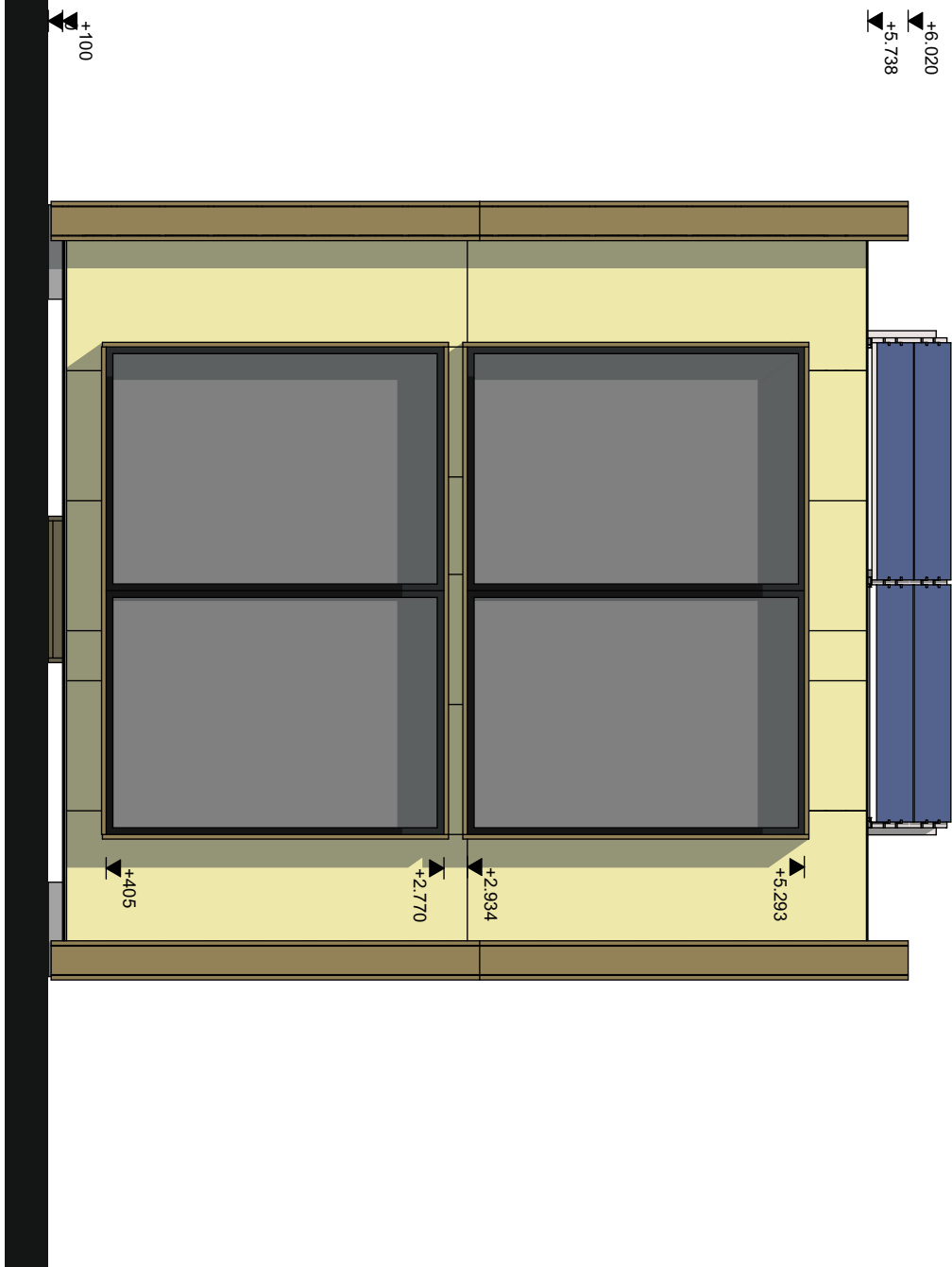


GEVEL NOORD

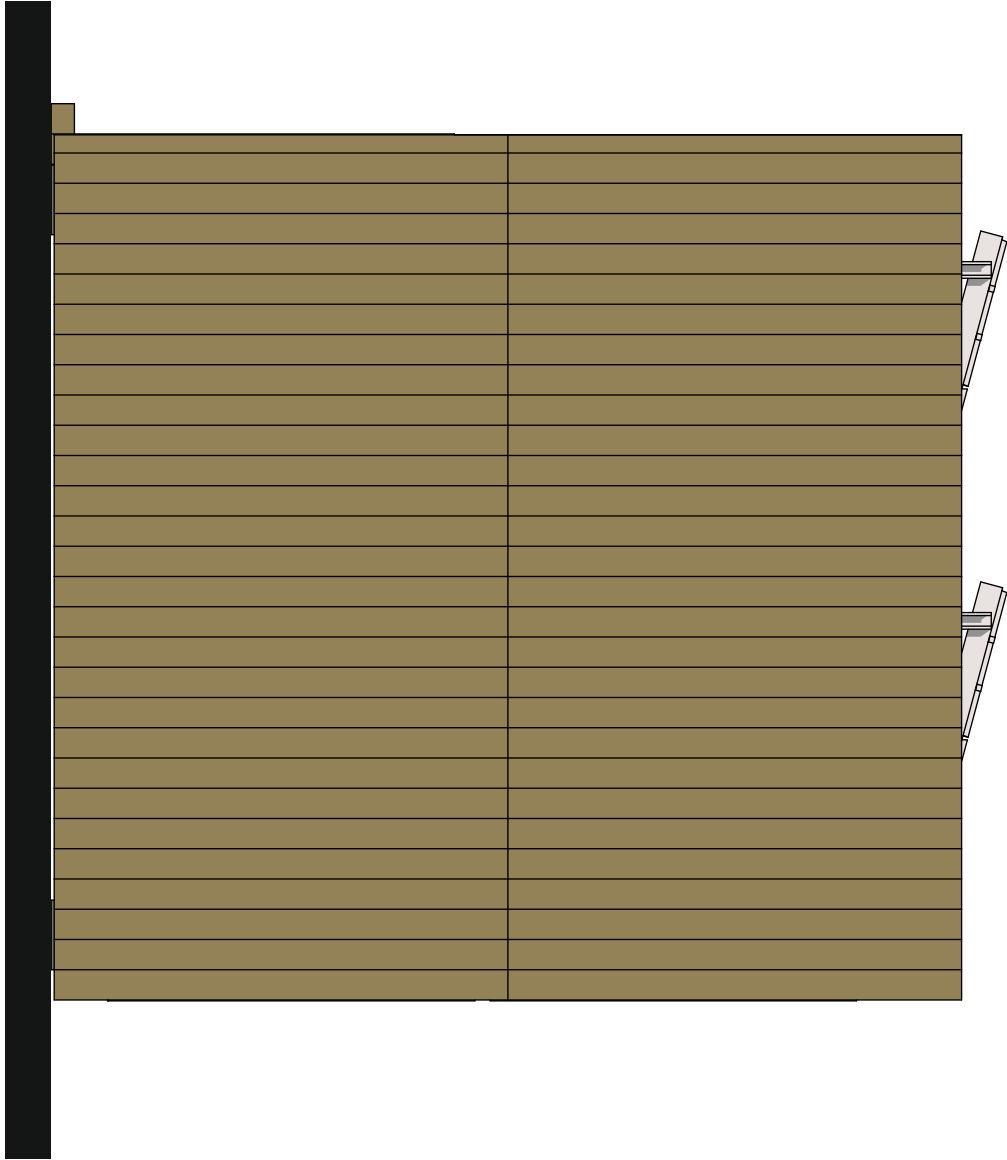


Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - Gevels

ARCHICAD EDUCATION VERSION

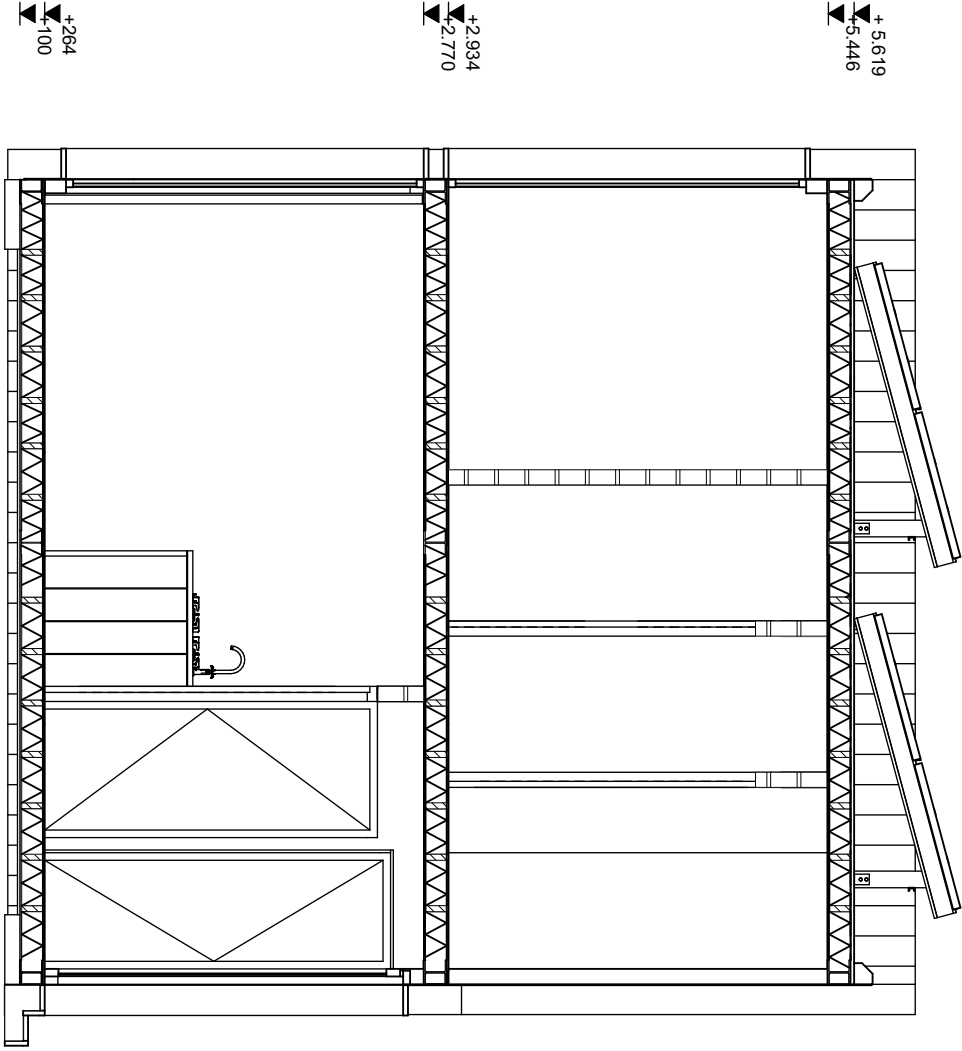


GEVEL ZUID



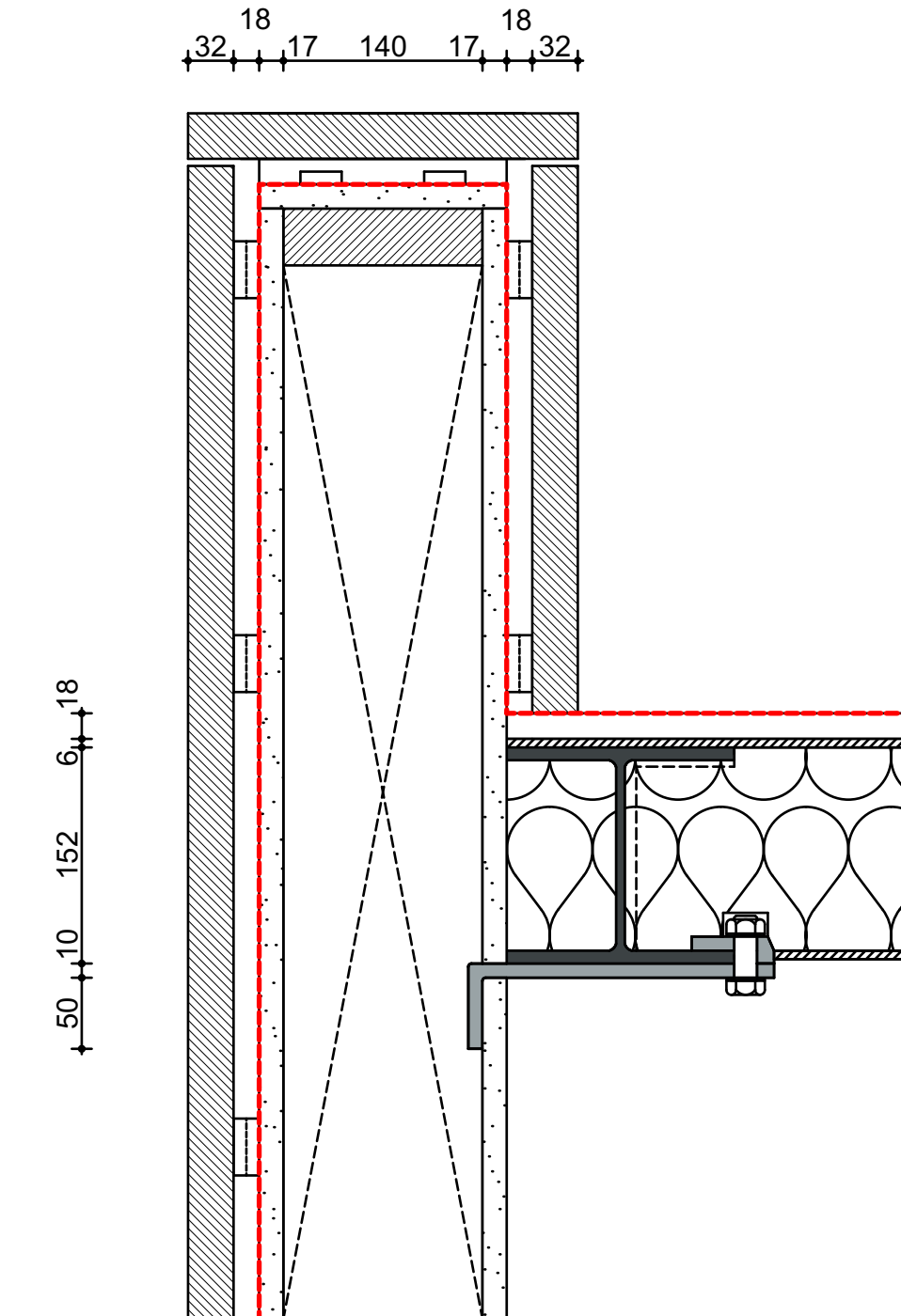
Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - Doorsnede

ARCHICAD EDUCATION VERSION



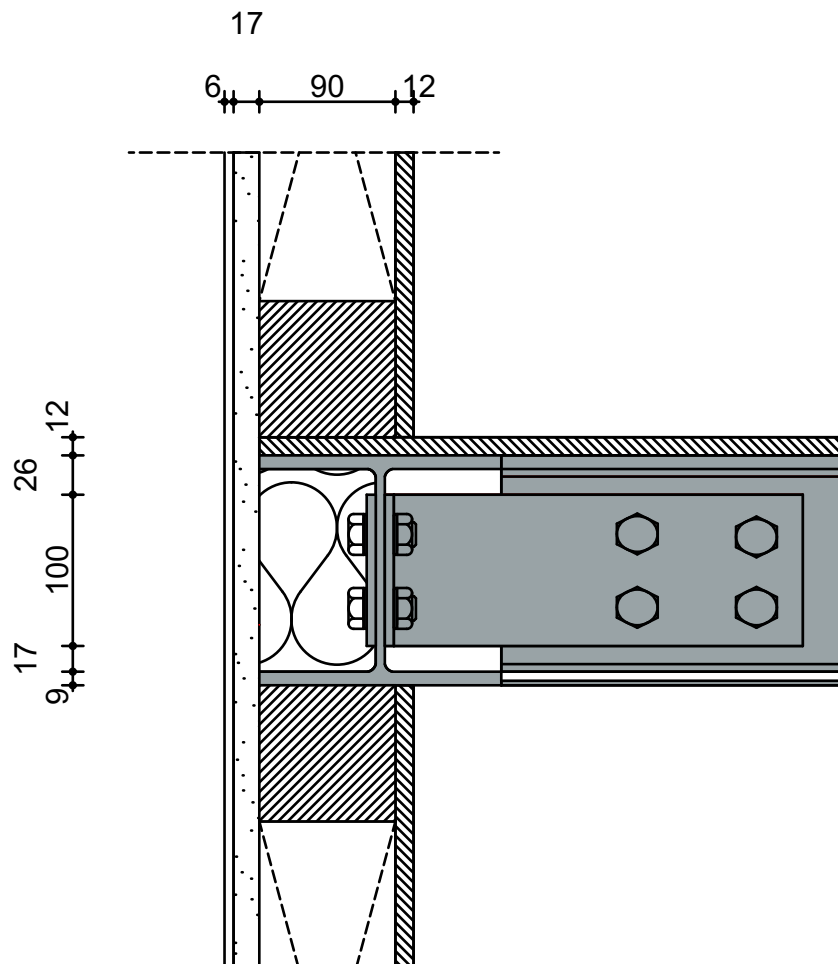
Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - Details

ARCHICAD EDUCATION VERSION



DAKDETAIL

Circulair herontwerp Cubestee Onix NL - details



VERDIEPINGSVLOER DETAIL