

De circulaire woning van dit moment

Onderzoeksrapport

Datum
Opleiding
Studenten

Afstudeerbegeleiders

25.05.2021
Bouwkunde
Carlijn Petersen
Marit Copray
Bap Welting
Sergic Davidian


HAN UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

REINBOUW 



Voorwoord

Voor u ligt de afstudeerscriptie "De circulaire woning van dit moment", een onderzoek naar een circulaire conceptwoning binnen de huidige processen en bouwmethodiek. Gedurende het afstudeeronderzoek worden circulaire mogelijkheden onderzocht van de meest milieubelastende bouwdelen van de Reinbouw conceptwoning. Er wordt gekeken naar biobased alternatieven en de losmaakbaarheid van de verbindingen en hoe deze anders zouden kunnen. Het afstudeeronderzoek vindt plaats in het kader van de opleiding Bouwkunde aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, HAN. De afstudeerrichting betreft Organisatie en het onderzoek is in opdracht van Reinbouw B.V., gevestigd te Dieren.

In samenspraak met begeleider Roor de Gans, conceptontwikkelaar bij Reinbouw, is het onderzoek tot stand gekomen. De gezamenlijke interesse in circulariteit en de recente aandacht voor het onderwerp hebben geleid tot een onderzoeksvraag. Tijdens het onderzoek heeft Roor de Gans ons ondersteund in de inhoud van het onderzoek. Deze samenwerking heeft geleid tot een relevant onderzoek met veel betrokken partijen en partners. Onze dank voor de betrokkenheid en kennisdeling, net als de mogelijkheid om voor Reinbouw onderzoek te mogen doen. Onze dank gaat ook uit naar de diverse partners van Reinbouw welke ons gedurende het hele onderzoek te woord hebben gestaan. Tot slot nog dank aan onze begeleiders van de HAN, Bap Welting en Sergic Davidian. Zij hebben ons geholpen met het plannen van het proces rondom het onderzoek.

Wij hebben met veel plezier en toewijding dit afstudeeronderzoek geschreven en wensen u veel leesplezier toe.

Carlijn Petersen en Marit Copray

Dieren, 25 mei 2021

Samenvatting

Nederland wordt duurzaam, klimaatbestendig en circulair. De bouw speelt een grote rol in die opgave. In Nederland worden grote hoeveelheden grondstoffen gebruikt om te bouwen. Bij de winning en productie van deze grondstoffen worden veelal fossiele energiebronnen gebruikt, wat leidt tot milieubelasting en uiteindelijk tot klimaatverandering. Daarom heeft de Rijksoverheid de transitie-agenda Circulaire Bouweconomie opgesteld, waarin de ambitie beschreven staat om de CO₂-uitstoot in 2030 te hebben gehalveerd en om in 2050 deze hoeveelheid teruggebracht te hebben tot 0, een algehele circulaire (bouw)economie.

In deze scriptie wordt er antwoord gegeven op de hoofdvraag: 'Wat zijn de maatregelen voor het maximaal circulair maken van de conceptwoning binnen de huidige bouwsystematiek?'. Er wordt op twee verschillende manieren gekeken naar circulair bouwen, namelijk CO₂-neutraal bouwen en losmaakbaar bouwen. Door beide manieren toe te passen in de conceptwoning van Reinbouw wordt er gekeken naar de milieu impact, maar ook naar de consequenties die ze hebben voor de organisatie, binnen op kantoor maar ook buiten op de bouwplaats.

CO₂-neutraal bouwen kan behaald worden door middel van bouwen met biobased materialen, materialen die bestaan uit natuurlijke of organische grondstoffen. Hierbij is de afweging gemaakt om een HSB-constructie neer te zetten en alternatieven te zoeken voor de dekvloer en de gevelbekleding voor de conceptwoning. Het toepassen van hout kan gezien worden als compensatie omdat hout CO₂ opneemt. Zo zal er gestreefd worden naar een zo klein mogelijke CO₂-uitstoot maar ook de optimale bouwplaats organisatie zal gewaarborgd blijven.

In een circulaire economie worden materialen niet meer weggegooid of verbrand, maar hoogwaardig teruggebracht in de keten door middel van hergebruik. In de huidige bouwmethode blijkt dat bij demontage bouwmaterialen niet te hergebruiken zijn. Dit komt vooral doordat de materialen niet meer van elkaar te scheiden zijn. Daarom is er gekeken naar het zogenoemde losmaakbaar bouwen, waarbij in de toekomst de CO₂-uitstoot alleen nog zal bestaan uit de demontage, opwaardering en remontage van de elementen en dus sterk zal verminderen. Er is in dit onderzoek gekeken welke maatregelen er getroffen dienen te worden om losmaakbaar bouwen mogelijk te maken, op de bouw, maar ook intern.

Er is onderzoek gedaan door de leveranciers van Reinbouw te raadplegen en te kijken naar de huidige conceptwoning. Vervolgens is er kwantitatief onderzoek gedaan naar alternatieven door middel van de zogenoemde MPG-berekening en de losmaakbaarheidsindex.

De belangrijkste conclusies die uit dit onderzoek gekomen zijn, zijn onder te verdelen in het biobased bouwen en het losmaakbaar bouwen. Biobased bouwen kan gezien worden als een toevoeging, en geen vervanging van de huidige systematiek. Om losmaakbaar bouwen mogelijk te maken, moeten er gerichte vragen gesteld worden aan leveranciers, specifiek met betrekking tot het veranderen van verwerkingsvoorschriften. De innovatie dient vanuit de leverancier te komen en dit gebeurt alleen als ernaar gevraagd wordt.

Abstract

The Netherlands will become sustainable, climate resistant and circular. The construction industry plays a major role in that assignment. In the Netherlands, large quantities of raw materials are used in the construction industry. Mainly fossil energy sources are used for the extraction and production of these materials and products, which leads to a big environmental impact and ultimately to climate change. Therefore, the Dutch government has drawn up the transition-agenda Circulaire Bouweconomie, which describes the ambition to halve CO₂ emissions by 2030 and to reduce this amount to 0 by 2050, an overall circular construction economy.

The goal of this thesis is to answer the following question: 'What are the measures that have to be taken to maximize the circularity of the concept house within the current construction systematics?'. There are two different outlooks of circular construct, there is CO₂-neutral construction and detachable construction. By applying both ways in Reinbouw's conceptual house, we look at the environmental impact, but also at the consequences they have for the organization, inside the office but also outside on the construction site.

A CO₂-neutral construction can be achieved by using biobased materials, natural or organic raw materials. The decision was made to construct a timber frame construction as an alternative to the sand-lime brick walls and concrete floors. In addition, we looked at alternatives for the cement screed and facade cladding. The emissions produced by the construction can be compensated using wood, wood absorbs CO₂. The aim is to minimize CO₂ emissions with a guaranteed optimal construction site organization.

In a circular economy, materials are no longer thrown away or incinerated. Materials returned to the chain in high-quality manner by means of reuse. In the current construction method building materials cannot be reused because of the inability to dismantle the building elements. This problem appears because the materials cannot be separated from each other. That is why we investigated the so-called detachable construction where, in the future CO₂ emission will only originate from the dismantling, upgrading and reassembly of the elements. Therefore, the CO₂ emission will be greatly reduced. This thesis examined which measures must be taken to make detachable building possible, on the construction site and process-based.

Research was carried out by consulting Reinbouw 's suppliers and assessing the current concept home. Subsequently, quantitative research was conducted into alternatives by means of the so-called MPG calculation and the detachability index.

The main conclusions that have come from this research can be divided into biobased construction and detachable construction. A Biobased construction can be seen as an addition to the current system, not a replacement. To make detachable building possible, specific questions must be asked at suppliers, specifically in regard to change processing regulations. The innovation must come from the supplier and this only happens when it is requested.

Leeswijzer

Tabel 1 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 – Onderzoeksopzet

DV 1 In hoofdstuk 1 is de aanleiding beschreven samen met de probleem-, en doelstelling en de bijbehorende onderzoeksvragen.

Hoofdstuk 2 – Meetmethodes

DV 2a In hoofdstuk 2 zijn de gebruikte meetmethodes toegelicht. Hier wordt gesproken over de MPG en losmaakbaarheidsindex.

Hoofdstuk 3 – Huidige woning

DV 2b In hoofdstuk 3 is de nulmeting uitgevoerd op de huidige conceptwoning. De milieueffecten van de huidige conceptwoning zijn hierin gegeven.

Hoofdstuk 4 – Alternatieven

DV 3 In hoofdstuk 4 zijn de circulaire alternatieven onderzocht en gegeven. Er is gekeken naar biobased alternatieven en de losmaakbaarheid van de huidige toegepaste materialen.

Hoofdstuk 5 – Dossiervorming

DV 4 In hoofdstuk 5 zijn processen beschreven welke beïnvloed worden door het werken met en het komen tot een circulaire conceptwoning.

Hoofdstuk 6 – Conclusie

Hoofdstuk 7 – Aanbevelingen

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Abstract	4
Lijst met figuren	7
Lijst met tabellen.....	9
Begrippenlijst.....	10
Lijst met afkortingen	10
Gebruikte software	11
H1 - Onderzoeksopzet	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Probleemstelling	13
1.3 Doelstelling	13
1.4 Hoofd- en deelvragen.....	14
1.5 Afbakening	15
H2 – Meetmethodes	16
2.1 MPG	16
2.2 Losmaakbaarheidsindex	19
2.3 Resumé	22
H3 – Huidige woning	23
3.1 Bouwmethodiek	23
3.2 Nulmeting	26
3.3 Resumé	31
H4 – Alternatieven	32
4.1 Biobased.....	32
4.2 Losmaakbaar	38
H5 – Dossiervorming	47
5.1 Materialenpaspoort	47
5.2 Wet kwaliteitsborging - Opleverdossier	51
5.3 Resumé	52
H6 - Conclusie	53
H7 - Aanbevelingen	55
Bibliografie.....	56
Bijlagen	58

Lijst met figuren

Figuur 1 Stroomschema bepalingmethode MPG	17
Figuur 2 Van grondstof naar element	19
Figuur 3 Illustratie type verbinding	20
Figuur 4 Illustratie doorkruisingen.....	20
Figuur 5 Illustratie vorminsluiting.....	20
Figuur 6 Layers of Brand (Brand, S. 1994)	20
Figuur 7 3D model conceptwoning.....	23
Figuur 8 Plattegronden	24
Figuur 9 Voor- en achtergevel	24
Figuur 10 Uitkomst MPG berekening.....	26
Figuur 11 Schaduwkosten prefabbeton conceptwoning	27
Figuur 12 Relatieschema verbindingen.....	28
Figuur 13 Detail 1 - Losmaakbaarheidsindex.....	29
Figuur 14 Detail 2 - verbindingen losmaakbaarheidsindex	30
Figuur 15 Begane grondvloer HSB.....	33
Figuur 16 Verdiepingsvloer HSB	33
Figuur 17 HSB-constructie	33
Figuur 18 Fermacell vloerelement.....	33
Figuur 19 Verwerking fermacell vloerelementen	34
Figuur 20 Gevelelement opbouw	34
Figuur 21 Gevelelement Emergo	34
Figuur 22 Schaduwkosten biobased conceptwoning.....	35
Figuur 23 Milieueffecten biobased conceptwoning.....	35
Figuur 24 Schaduwkosten huidige woning	37
Figuur 25 Schaduwkosten biobased woning	37
Figuur 26 Booranker	39
Figuur 27 ClickBrick systeem	39
Figuur 28 Gevelelement leverancier Spaansen.....	40
Figuur 29 Prefab kalkzandsteen wand Prefakz	40
Figuur 30 Details wandaansluiting computervloer bron: PBSholland.....	40
Figuur 31 detail kimblokken; bron: Calduran.....	41
Figuur 32 Sloop cementdekvloer	43
Figuur 33 Detail vloer oplegging; Bron: Calduran.....	43

De circulaire woning van dit moment

Figuur 34 Illustratie materialenpaspoort	47
Figuur 35 Logo Madaster	47
Figuur 36 Voorbeeld uit Madaster	48
Figuur 37 Layers of Brand	48
Figuur 38 Voorbeeld STABU	49
Figuur 39 Voorbeeld weergave BIM-model	50
Figuur 40 Screenshot BIM-model	50
Figuur 41 Implementatie binnen Reinbouw.....	51
Figuur 42 Combinatie biobased en circulariteit	54

Lijst met tabellen

Tabel 1 Leeswijzer	5
Tabel 2 Impactcategorieën LCA data	17
Tabel 3 Score Type verbinding	21
Tabel 4 Score Toegankelijkheid verbinding	21
Tabel 5 Score Doorkruising	21
Tabel 6 Score Vormsluiting	21
Tabel 7 Samenstelling conceptwoning.....	25
Tabel 8 Meest milieubelastende elementen	26
Tabel 9 Schaduwkosten en milieueffecten	27
Tabel 10 Verbindingen	28
Tabel 11 Uitkomsten LI	31
Tabel 12 Schaduwkosten biobased alternatieven.....	35
Tabel 13 Houtaandeel biobased alternatieven	36
Tabel 14 CO ₂ opname biobased alternatieven.....	36
Tabel 15 Ambitie losmaakbaarheidsindex	38
Tabel 16 Losmaakbaarheidsindex Verbinding A	39
Tabel 17 Losmaakbaarheidsindex verbinding B	41
Tabel 18 Losmaakbaarheidsindex verbinding C	42
Tabel 19 Losmaakbaarheidsindex Verbinding D	42
Tabel 20 Losmaakbaarheidsindex Verbinding E.....	43
Tabel 21 SWOT-analyse kwaliteitsborging.....	45

Begrippenlijst

Circulaire economie	Een circulaire economie is een economisch en industrieel systeem waarin geen eindige grondstofvoorraden worden uitgeput en waarin reststoffen volledig opnieuw worden ingezet in het systeem.
Lineaire economie	Een lineaire economie houdt in dat de productie van goederen en het gebruik ervan volgens een lineair patroon gaat: grondstoffen delven, produceren, consumeren en vervolgens afval.
Schaduwkosten	Alle relevante milieueffecten samen in één enkele score van milieukosten, ook wel de schaduwkosten genoemd. (Hillege, 2019)
Biobased materialen	Materialen die bestaan uit natuurlijke of organische grondstoffen.
Fossiele energiebronnen	Veruit de meeste energie die we gebruiken (circa 93 procent) komt van fossiele brandstoffen: aardolie, aardgas en kolen. Deze fossiele brandstoffen zijn verantwoordelijk voor de uitstoot van broeikasgassen, en bovendien veroorzaken ze de nodige vervuiling.
Producten	Een product in economische zin is alles wat kan worden aangeboden op de markt om aan een vraag te voldoen. Een product kan daarbij een tastbaar goed zijn, zoals een artikel in een winkel, maar ook een dienst.
Materialen	Materiaal is een natuurlijke of kunstmatig geproduceerde stof, bestemd om verwerkt te worden tot bruikbare producten. Een materiaal is dus een stoffelijke zaak, geselecteerd op basis van zijn eigenschappen met het oog op een bepaalde toepassing.
Elementen	Niet ontleedbaar; bouw materiaal opgebouwd uit verschillende materialen die in zijn geheel verplaatst kan worden in de circulaire economie.

Lijst met afkortingen

MPG	MPG staat voor Milieu Prestatie Gebouwen. Dit geeft de milieubelasting die (bouw)materialen met zich meebrengen. Een lage MPG maakt een gebouw minder belastend voor het milieu.
NMD	De Nationale Milieudatabase (NMD) is gevuld met productkaarten. Een productkaart bevat algemene informatie over het desbetreffende product, zoals naam, levensduur en functionele eenheid. Aanvullend daarop bevat

De circulaire woning van dit moment

het milieu-informatie die verkregen is uit een levenscyclusanalyse.

LCA

LevensCyclusAnalyse (LCA). De LCA wordt gebruikt om de milieubelasting van een enkel product uit te rekenen. De LCA resulteert in elf indicatoren die worden samengevoegd tot één waarde: de schaduwkosten per eenheid van het product. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2019)

WKB

Bewoners en gebruikers willen kwalitatief goede gebouwen. Bijvoorbeeld met een goede brandveiligheid en een laag energieverbruik. De overheid wil meer toezicht en controle in de bouw, zodat bouwers zich aan de geldende kwaliteitseisen houden. De wet Kwaliteitsborging voor het bouwen (WKB) gaat hiervoor zorgen.

BIM

Een bouwwerkinformatiemodel, in het Engels building information model, beter bekend bij de afkorting BIM, is een digitaal model van een bestaande en/of geplande constructie, opgebouwd uit objecten waaraan informatie is gekoppeld.

Gebruikte software

DUNCAN

Duncan is een calculatieprogramma dat ingevulde Excel documenten samenvoegt tot een complete calculatie.

MPGCalc

MPGCalc is een programma dat wordt gebruikt om MPG berekeningen te maken.

BIM360

BIM360 is een programma dat gebruikt wordt voor het inzien van documenten en 3D BIM-modellen.

1

H1 - Onderzoeksopzet

In dit eerste hoofdstuk wordt de aanleiding, de probleemstelling en de doelstelling van het afstudeeronderzoek toegelicht. De hoofd- en deelvragen worden benoemd en de afbakening van het afstudeeronderzoek wordt gegeven.

1.1 Aanleiding

Nederland wordt duurzaam, klimaatbestendig en circulair. De bouw speelt een grote rol in die opgave. In Nederland worden grote hoeveelheden grondstoffen gebruikt om te bouwen. Bij de winning en productie van deze grondstoffen worden veelal fossiele energiebronnen gebruikt, wat leidt tot milieubelasting en uiteindelijk tot klimaatverandering. De productie van bouwmaterialen veroorzaakt een significant deel van de milieubelasting van een bouwwerk. (Bouwend Nederland, 2019)

Bevolkingsgroei en toenemende welvaart hebben wereldwijd geleid tot een enorme stijging in het gebruik van grondstoffen. De verdere stijging van het gebruik kan leiden tot lastige situaties, grondstoffen zullen beperkt voorradig zijn, de toenemende vraag maakt makkelijk winbare grondstoffen schaarser (Europese Commissie, 2018). Dit geldt met name voor kritieke metalen en fossiele energiedragers. Dit kan van invloed zijn op de leveringszekerheid van bepaalde grondstoffen. Ook zijn sommige grondstoffen slechts in een beperkt aantal landen te winnen, waardoor grondstofafhankelijkheid en geopolitieke spanningen kunnen ontstaan. Tot slot leidt de winning en verwerking van ruwe grondstoffen tot milieudruk. Zo gaat de toename van landbouwgrond vaak ten koste van natuur en biodiversiteit en kost de winning van metalen en niet-metaal mineralen veel energie waardoor er veel CO₂ wordt uitgestoten.

Dit alles heeft ertoe geleid dat men naar de circulaire economie is gaan kijken. Ook de Nederlandse regering heeft het onderwerp opgepakt en heeft het plan om Nederland in 2050 op een volledig circulaire economie te laten draaien. In 2030 staat het doel op een 50% circulaire economie in Nederland.

Om tot deze doelen te komen heeft de Nederlandse overheid een aantal stappen gezet. Zo werd in 2017 het grondstoffenakkoord getekend als een intentieverklaring om minder grondstoffen te gebruiken en voor de vijf prioritaire thema's; biomassa en voedsel kunststoffen, maakindustrie, bouw en consumptiegoederen. Deze vijf prioritaire thema's of branches hebben naar aanleiding hiervan, elk een transitieagenda gemaakt met daarin de plannen voor de eerste stappen naar een circulaire economie. In de transitieagenda circulaire bouweconomie werden een aantal stappen beschreven welke in de periode van 2018 tot en met 2021 gezet zouden moeten worden. Dit ging voornamelijk over onderzoek en het opzetten van een basiskamp om de reis naar een volledige circulaire economie in 2050 te starten.

Nederland zit nog in de onderzoeksfase als het gaat om de circulaire economie. Dit kwam vooral naar voren rondom het onderwerp van een materialenpaspoort. De overheid moest in 2020 een besluit nemen over het verplichtstellen van een dergelijk paspoort, dit is uitgesteld omdat uit het onderzoek bleek dat er nog te weinig kennis was om het op dit moment te doen (Ollongren, 2020).

Vooralsnog zijn er op dit moment nog geen eisen door de overheid gesteld wat circulariteit betreft in de bouwindustrie. Hier wordt wel aan gewerkt. Het is aannemelijk dat een materialenpaspoort binnen de komende jaren verplicht wordt. Het besluit hierover is namelijk alleen uitgesteld (Ollongren, 2020). In welke vorm het materialenpaspoort gaat komen is nog niet precies bekend. Ook het wettelijk verlagen van de MPG-score zit er aan te komen, per 1 juli 2021 wordt het van €1.00 naar €0.80 verlaagd voor woningbouw (Rijksoverheid, 2021). Daarnaast heeft de transitieagenda als streven gezet dat in 2023 alle uitvragen van de overheid circulair zijn indien mogelijk. Het is dus van groot belang dat de bouw hier wel op gaat voorsorteren, want er gaat circulair gebouwd worden (Rijksoverheid, 2018).

1.2 Probleemstelling

De aanleiding van het onderzoek omschrijft een aantal gevolgen van de lineaire economie; er ontstaat schaarste aan materialen, wat spanningen in de economie en politiek zal opleveren. Daarnaast komt bij de productie én het verbranden, vuilverbranding, van materialen en producten veel CO₂ vrij in de lucht. Dit leidt tot opwarming van de aarde. Er kan geconcludeerd worden dat deze methode leidt tot het ondermijnen van de vaak kwetsbare natuur en leefomgeving en klimaatverandering. Een circulaire economie biedt hiervoor een oplossing.

In het Rijks brede programma, Nederland circulair in 2050, heeft de overheid het streven in 2050 Nederland op een volledig circulaire economie te laten draaien. Dit plan heeft als tussendoel om in 2030 op 50% circulaire economie in Nederland te zitten.

Reinbouw wil voorbereid zijn op de circulaire economie en hier zo spoedig mogelijk mee aan de slag gaan. Reinbouw voert een aantal conceptwoningen die in projecten worden toegepast, afhankelijk van het woningtype kunnen deze woningen in meerdere bouwsystemen worden gebouwd. Dit vertaalt zich in het voornemen om de conceptwoning deels circulair uit te voeren. Echter weet Reinbouw niet hoe dit gedaan kan worden. De processen binnen de bouw, zowel de voorbereiding als de uitvoering, worden al decennia geoptimaliseerd. Er zullen procesmatige en bouwtechnische veranderingen plaats moeten vinden om een deels circulaire conceptwoning neer te zetten. Reinbouw ziet het invoeren van een materialenpaspoort als een eerste realistische stap in het circulair maken van de bouw, wanneer er wordt vastgelegd wat er nu gebouwd wordt kan er in de toekomst gezien worden wat er aan grondstoffen beschikbaar is. De vervolgstap is hierin om de woningen ook daadwerkelijk circulair te maken, dat is de stap die veel meer impact heeft en het vergt daarom afstemming met de gehele keten.

1.3 Doelstelling

Het voornaamste doel van het onderzoek is inzicht krijgen in de stappen die gezet moeten worden om tot een circulaire conceptwoning te komen. Welke vragen moeten er gesteld

worden en waar moet nog in ontwikkeld worden. Er dient kennis verkregen te worden over de meetbaarheid van de verschillende aspecten welke onder circulariteit vallen. Vervolgens worden er alternatieve elementen of materialen onderzocht voor de meest milieubelastende bouwdelen, hier kan namelijk het grootste verschil gemaakt worden. En dit met in het achterhoofd de huidige processen welke eventueel aangepast moeten worden.

1.4 Hoofd- en deelvragen

Hoofdvraag

De hoofdvraag voor het onderzoek luidt als volgt;

Wat zijn de maatregelen voor het maximaal circulair maken van de conceptwoning binnen de huidige bouwsystematiek?

Deelvragen

Er wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag door middel van de volgende deelvragen;

1. Wat is de noodzaak voor producenten om circulair te produceren in de bouw?
 - a. Wat is de reden dat er in Nederland nu naar circulariteit gekeken wordt?
 - b. Worden er eisen gesteld vanuit de overheid?
2. Waaruit bestaat de huidige conceptwoning?
 - a. Hoe wordt circulariteit gemeten?
 - i. Hoe werkt de bepalingsmethode Milieuprestatieberekening Gebouwen?
 - ii. Wat wordt er bedoeld met CO₂-neutraal bouwen?
 - iii. Hoe wordt losmaakbaarheid gemeten?
 - b. Wat is de milieu impact van de huidige conceptwoning?
3. Welke circulaire alternatieven of materialen zijn er toepasbaar voor de grootste milieubelastende elementen?
 - a. Wat zijn de milieueffecten van de biobased alternatieven?
 - b. Wat zijn de effecten van losmaakbare elementen/verbindingen?
 - i. Hoe borg je de kwaliteit van een tweedehands circulair product?
4. Welke maatregelen en processen zijn benodigd voor het implementeren van circulariteit binnen Reinbouw, middelgroot bouwbedrijf?

1.5 Afbakening

Circulariteit is veelomvattend, door de beperkte tijdsduur is er een onderzoekskader opgesteld:

- Het onderzoek is gericht op de bouwer, in het bijzonder Reinbouw.
- Om de milieu impact van de conceptwoning te bepalen is gebruikt gemaakt van de bepalingmethode Milieu Prestatie Gebouw, MPG.
- Om de losmaakbaarheid van de conceptwoning te bepalen is gebruikt gemaakt van de losmaakbaarheidsindex.
- De uitkomsten van het alternatievenonderzoek zijn vergeleken met de nulmeting van de conceptwoning.
- De uitwerking van de tussenwoning voldoet aan de huidige wet- en regelgeving.
- Er zullen alternatieven onderzocht worden voor de 4 gebouwelementen welke de hoogste milieubelasting hebben. Deze volgen uit de MPG-berekening.
- Per geselecteerd gebouwelement zullen maximaal drie varianten onderzocht worden, afhankelijk van de beschikbare circulaire mogelijkheden.
- De kosten van de alternatieven worden buiten beschouwing gehouden, omdat deze sterk fluctueren. Op moment van schrijven is er bijvoorbeeld schaarste van hout waardoor de prijs tot 40% hoger kan zijn.
- Eén van de zeven conceptwoningen zal worden onderzocht als nulmeting, dit is de tussenwoning met bouwmethodiek kanaalplaatvloer met kalkzandsteen.
- Om de MPG zelf te berekenen is gebruik gemaakt van het programma MPGCalc. De berekening is gecontroleerd aan de hand van vergelijkbare projecten.
- De installaties worden buiten beschouwing gelaten.
- De woning dient hetzelfde uiterlijk te behouden.
- Voor de losmaakbaarheidsindex is er gekeken naar een geïsoleerde kanaalplaatvloer als begane grondvloer.

2

H2 – Meetmethodes

Om antwoord te geven op de deelvraag “Hoe wordt circulariteit gemeten?” wordt er in dit hoofdstuk gekeken naar twee verschillende meetmethodes. De bepalingmethode Milieu Prestatie Gebouwen, verder MPG, is een wettelijk verplichte berekening, maar hier wordt losmaakbaarheid niet in geborgd. Daarom is er ook gekeken naar de zogenoemde losmaakbaarheidsindex, een relatief nieuwe tool die nog niet wettelijk verplicht is.

2.1 MPG

Om antwoord te geven op de vraag “Wat is de milieu impact van de conceptwoning?” wordt van de conceptwoning een MPG-berekening gemaakt. De MPG-berekening wordt in deze paragraaf toegelicht, voor de gehele uitwerking zie bijlage II.

2.1.1 MPG Algemeen

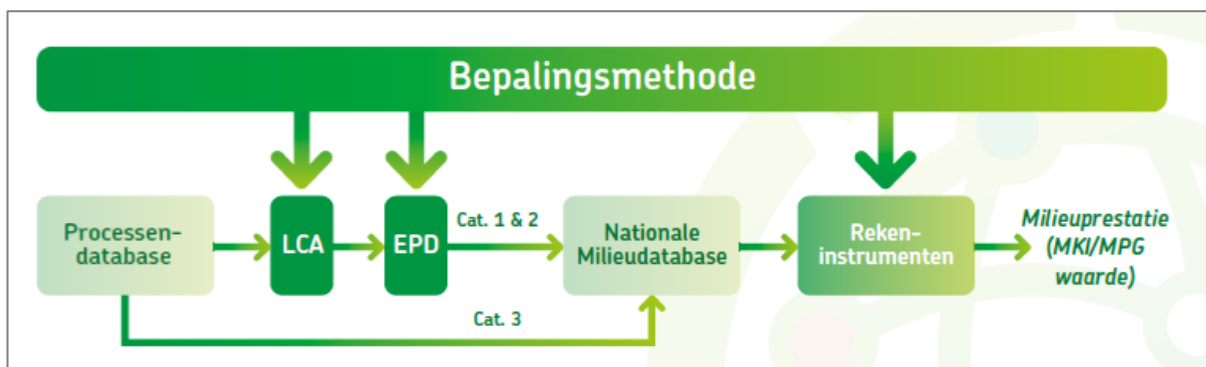
De bepalingmethode Milieuprestatie Gebouwen, kortgezegd de MPG, is een berekeningswijze voor het bepalen van de milieuprestatie van bouwwerken gedurende hun hele levensduur, en is gebaseerd op de EN15804. De bepalingmethode vormt een samenhangend geheel met de Nationale Milieu Database, hierna NMD, en de rekenregels. Een MPG-berekening is verplicht gesteld voor de nieuwbouw van woningen en kantoorgebouwen groter dan 100 m². Dit staat vast in het Bouwbesluit sinds 1 januari 2018 en geeft een grenswaarde voor de milieuprestatie van een gebouw. Op het moment van schrijven is de maximale MPG-score < €1.00.

Voor een eenduidige berekening van de milieuprestatie van gebouwen is de Nationale Milieu Database opgezet die wordt beheerd door Stichting Nationale Milieu Database. De database bevat, volgens de bepalingmethode opgestelde, informatie over producten in de vorm van productkaarten. Deze productkaarten verwijzen naar de bijbehorende milieuprofielen. Deze productkaarten, en dus ook de milieuprofielen, worden in verschillende rekeninstrumenten toegepast om de milieuprestaties van bouwwerken te berekenen. Dit zorgt samen met de rekenregels, voor een controleerbare, reproduceerbare en eenduidige rekenuitkomsten. (Stichting Nationale Milieu Database, 2020) De uitkomst van het rekeninstrument is een prijs, een zogenoemde Milieu Kosten Indicator, hierna MKI. De MKI is een single-score indicator uitgedrukt in euro's. Het voegt alle relevante milieueffecten samen in één enkele score van milieukosten, ook wel de schaduwprijs of schaduwkosten genoemd. (Hillege, 2019) Deze schaduwprijs wordt berekend door alle milieukosten samen te nemen en te bepalen wat deze prijs is per jaar, per m² bruto vloeroppervlakte.

2.2.2 MPG Berekening

Stroomschema bepalingmethode

In figuur 1 is te zien hoe het stroomschema loopt van de bepalingmethode. Om inzicht te krijgen wat er nu exact wordt gemeten met de MPG-berekening, worden de belangrijkste onderdelen kort toegelicht.



Figuur 1 Stroomschema bepalingmethode MPG

Processendatabase

De processendatabase is een Levens Cyclus Analyse database van grondstoffen en achtergrondprocessen, maar is aangepast voor het gebruik in de context van de Bepalingmethode. De processendatabase vormt een generieke kennisbasis, indien er niet voldoende informatie beschikbaar is, voor de LCA-uitvoerders en de opstellers van de EPD's. De categorie 3 producten vloeien geheel voort uit deze database.

LCA

De bepalingmethode is gebaseerd op de Levens Cyclus Analyse, kortweg LCA. Een LCA bekijkt alle fasen in de levensloop van producten, waarbij het nadrukkelijk gaat om de functie die het product moet vervullen in een gebouw. De LCA beoordeelt alle levensfasen van een product, zoals productie, constructie en de verwerking van einde leven, maar ook het transport wat benodigd is om het product op de juiste plekken te krijgen wordt meegenomen. (Stichting Nationale Milieu Database, 2020) De milieu impact werd tot 1 januari 2021 gemeten aan de hand van de in tabel 2 genoemde 11 impactcategorieën. Vanaf 1 januari 2021 wordt dit gemeten aan 19 impactcategorieën, maar deze zijn in dit onderzoek nog niet van toepassing, omdat deze LCA's nog niet zijn opgenomen in de database.

Tabel 2 Impactcategorieën LCA data

Indicator	Eenheid
Uitputting van abiotische grondstoffen, excl. fossiele energiedragers	kg antimoon
Uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon
Klimaatverandering	kg CO ₂
Ozonlaagaantasting	kg CFC 11
Fotochemische oxidantvorming (smog)	kg etheen
Verzuring	kg SO ₂
Vermesting	kg (PO ₄)-3
Humaan-toxicologische effecten	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	kg 1,4 dichloorbenzeen

De circulaire woning van dit moment

Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4 dichloorbenzeen

Environmental Product Declarations – EPD's

Een Environmental Product Declaration, verder genoemd een EPD, is een milieu keurmerk op Europees niveau. De EPD is vanuit de Europese Norm bedoeld om een basis te geven voor het beoordelen en vergelijken van bouwwerken op een kwantitatieve manier. De norm spreekt van 4 informatiemodules voor het vaststellen van de milieu impact. Deze informatiemodules corresponderen met de levenscyclusfasen van een product of gebouw: (Stichting Nationale Milieu Database, 2020)

- Module A: Productie- en bouwfase;
- Module B: Gebruiksfase;
- Module C: Sloop- en verwerkingsfase;
- Module D: Hergebruik en recycling potentieel.

Vanuit deze data komen de materialen en elementen in de Nationale Milieu Database, waarna er gerekend kan worden met de data volgens verschillende rekeninstrumenten, toegelicht in de volgende paragraaf MPGCalc.

MPGcalc

Normaliter dient een MPG-berekening door een gecertificeerd bureau gemaakt te worden, dit geldt echter alleen wanneer deze als officieel stuk bij de omgevingsvergunning gebruikt wordt. In dit onderzoek is een MPG-berekening gemaakt voor onderzoeksdoeleinden, waardoor deze niet gevalideerd hoeft te worden door een erkend bureau.

De MPG wordt berekend middels het programma MPGcalc. Dit programma wordt ook door het externe adviesbureau gebruikt welke voor Reinbouw de MPG berekeningen maakt. Door voor hetzelfde programma te kiezen kan de berekening worden vergeleken met de gevalideerde berekeningen.

De juiste materialen selecteren

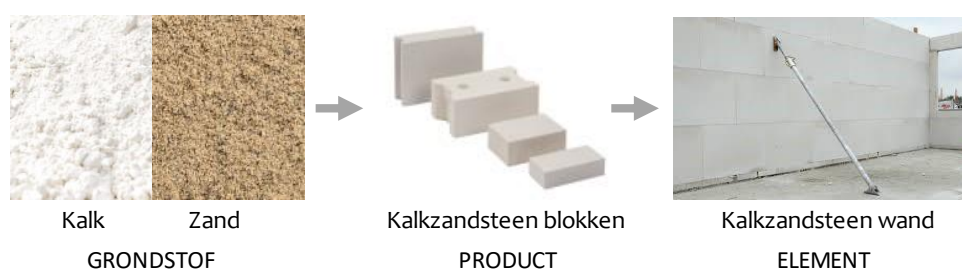
Het programma MPGcalc heeft een database waaruit de materialen voor de berekening gekozen kunnen worden. Deze database bestaat uit producten uit de Nationale Milieu Database. De NMD bevat drie categorieën materialen, zie bijlage II voor de uitwerking van deze drie categorieën. Deze drie categorieën samen geven 1270 materialen. 1270 materialen dekken niet alle producten die in de bouw gebruikt worden. De NMD is een dynamische database, die is gestart met de meest gangbare materialen en welke verder door de industrie wordt gevuld met meer specifieke productdata. De verantwoordelijkheid voor het aanleveren LCA-data voor opname in de NMD ligt bij de producenten. Het zijn namelijk veelal vertrouwelijke gegevens die niet openbaar worden gemaakt.

Het kan dus voorkomen dat niet voor ieder product dat op de markt verschijnt LCA-data is aangeleverd voor opname in de NMD. Wanneer een samengesteld element niet in de NMD staat kan men het handmatig samenstellen door de verschillende elementen bij elkaar te zoeken. Wanneer ook dit niet lukt, kan men kiezen voor een gelijkwaardig product.

2.2 Losmaakbaarheidsindex

In een circulaire economie worden materialen niet meer weggegooid of verbrand, maar hoogwaardig teruggebracht in de keten door middel van hergebruik. In de huidige bouwmethodes blijkt dat bij demontage bouwmaterialen niet te hergebruiken zijn. Dit komt vooral doordat de materialen niet meer van elkaar te scheiden zijn.

In de circulaire economie moet dus nagedacht worden over de losmaakbaarheid van verschillende bouwelementen. Verbindingen tussen elementen moeten terug te draaien zijn om de elementen elders opnieuw te gebruiken. Met een bouwelement wordt bijvoorbeeld een wand bedoeld. De wand bestaat uit kalkzandsteen blokken, dit zijn de producten. De kalkzandsteenblokken bestaan uit een samenstelling van grondstoffen, voornamelijk kalk en zand. Een element bestaat dus uit producten, die weer tot stand komen uit grondstoffen, geïllustreerd in figuur 2.



Figuur 2 Van grondstof naar element

2.2.1 Meetmethode losmaakbaarheid

Gebouwen zijn een verzameling van complexe entiteiten, opgebouwd uit verschillende materialen, producten en elementen die met elkaar zijn verbonden. De mate waarin deze verbindingen verbroken kunnen worden, zodat een object de functie kan behouden en hoogwaardig hergebruik realiseerbaar is, bepaalt de mate van losmaakbaarheid.

In de MPG-berekening wordt nog geen rekening gehouden met losmaakbaarheid, dus om de losmaakbaarheid te bepalen dient er gebruik gemaakt te worden van een andere meetmethode. Anders dan bij de milieubelasting, de MPG, is er wat losmaakbaarheid betreft geen meetmethode welke door de overheid gevalideerd of verplicht is. Om de losmaakbaarheid van de conceptwoning te meten is gebruik gemaakt van de losmaakbaarheidsindex.

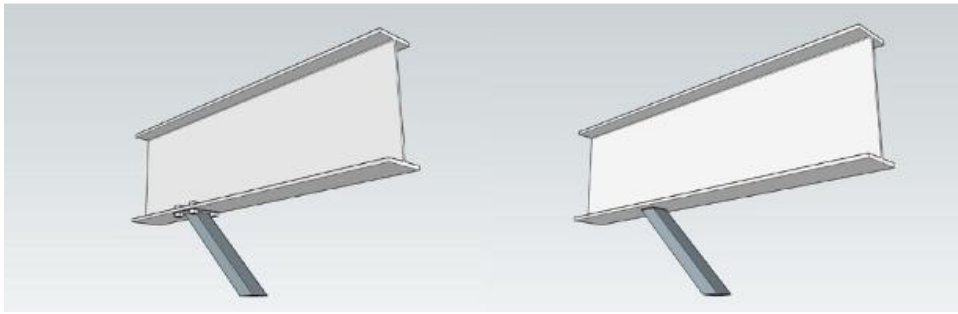
In 2019 is de methodiek gelanceerd waarmee de losmaakbaarheid van een ontwerp kan worden berekend. Deze losmaakbaarheidsindex is door DGBC, Alba Concepts en W/E Adviseurs beschreven in het rapport Circulair Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid (Alba Concepts; W/E Adviseurs; DGBC; RVO, 2019).

De losmaakbaarheid van een product of element heeft betrekking op vier onderdelen;

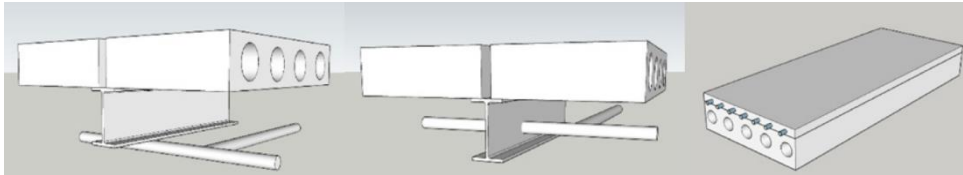
1. Het type verbinding, te zien in figuur 3;
2. De toegankelijkheid van de verbindingen;
3. De doorkruisingen, te zien in figuur 4;
4. De vorminsluiting, te zien in figuur 5.

Aan al deze onderdelen zijn scores toe te kennen. Deze scores zijn in tabel 3 tot en met 6 te zien. In bijlage II zijn de vier onderdelen geheel uitgewerkt.

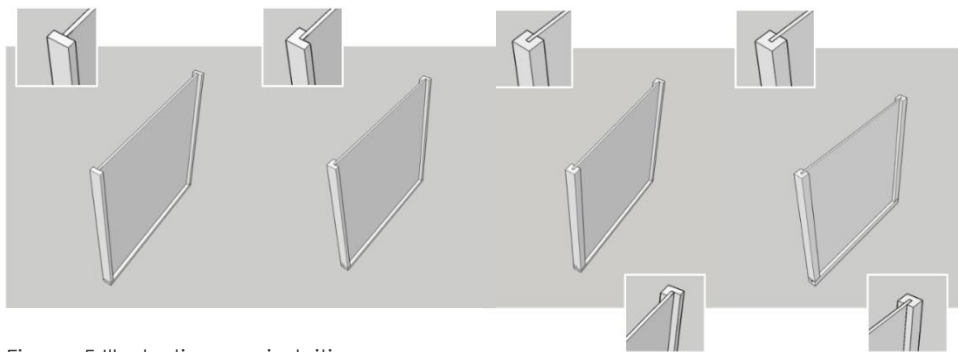
De circulaire woning van dit moment



Figuur 3 Illustratie type verbinding



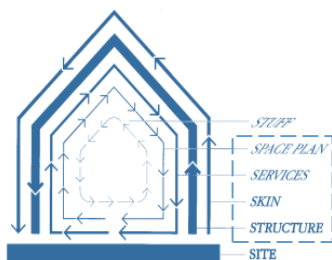
Figuur 4 Illustratie doorkruisingen



Figuur 5 Illustratie vorminsluiting

Welke elementen dienen gemeten te worden

Voor de afbakening van de te beoordelen elementen wordt de 'Layers of Brand' toegepast, gevisualiseerd in figuur 6. De Layers of Brand onderscheidt diverse gebouwlagen in een gebouw met een specifieke functie. Kenmerkend van deze gebouwlagen is dat de levensduur van de producten over het algemeen verschillen. De lagen 'Structure', 'Skin', 'Services', en 'Space plan' vallen onder de te beoordelen elementen van een gebouw. 'Site' en 'Stuff' vallen hierdoor buiten de beoordeling en worden niet meegenomen in de losmaakbaarheidsindex.



Figuur 6 Layers of Brand
(Brand, S. 1994)

De lagen; Structure (constructie), Skin (afwerking, gevelbekleding, dakbedekking), Services (installaties) en Space plan (woningindeling, binnenwanden) worden aangewezen als de lagen welke gemeten kunnen worden.

In dit onderzoek wordt er gekeken naar de onderdelen met de hoogste schaduwkosten die volgen uit de MPG. Dit betekent dat er meer onderdelen zijn die gemeten kunnen worden, maar in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten worden.

Scores meetmethode losmaakbaarheid

Tabel 3 Score Type verbinding

Type verbinding		Score
Droge verbinding	Droge verbinding	1.00
	Klikverbinding	1.00
	Klittenband verbinding	1.00
	Magnetische verbinding	1.00
Verbinding met toegevoegd element	Bout- en moerverbinding	0.80
	Veerverbinding	0.80
	Hoekverbinding	0.80
	Schroefverbinding	0.80
Directe integrale verbinding	Pin-verbinding	0.60
	Spijkerverbinding	0.60
Zachte chemische verbinding	Kitverbinding	0.20
	Schuimverbinding (PUR)	0.20
Harde chemische verbinding	Lijmverbinding	0.10
	Aanstortverbinding	0.10
	Lasverbinding	0.10
	Cementgebonden verbinding	0.10
	Chemische ankers	0.10
	Harde chemische verbinding	0.10

Tabel 4 Score Toegankelijkheid verbinding

Toegankelijkheid verbinding	Score
Vrij toegankelijk	1.00
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0.80
Toegankelijkheid met extra handelingen met herstelbare schade	0.40
Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan objecten	0.10

Tabel 5 Score Doorkruising

Doorkruisingen	Score
Modulaire zonering van objecten	1.00
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten	0.40
Volledige integratie van objecten	0.10

Tabel 6 Score Vormsluiting

Vorminsluiting	Score
Open, geen insluitingen	1.00
Overlapping aan één zijde	0.80
Gesloten aan één kant	0.20
Gesloten aan meerdere kanten	0.10

2.3 Resumé

Er is in dit hoofdstuk antwoord gegeven op de vraag "Hoe wordt circulariteit gemeten?" door de vragen "Hoe werkt de Milieuprestatieberekening Gebouwen?" en "Hoe wordt losmaakbaarheid gemeten?" te beantwoorden. In de literatuurstudie, bijlage II, is zowel de MPG-berekening als de losmaakbaarheidsindex in zijn geheel uitgewerkt.

Aan de hand van de meetmethodes zal eerst in hoofdstuk 3 de huidige conceptwoning geanalyseerd worden, waarna in hoofdstuk 4 alternatieven worden onderzocht en gemeten.

3

H3 – Huidige woning

De afgelopen jaren is Reinbouw bezig geweest met het ontwikkelen van verschillende conceptwoningen. De verschillen zitten in de soort woning, bijvoorbeeld een tussenwoning, hoekwoning, twee-onder-een kap woningen of vrijstaande woningen, maar ook is er onderscheid gemaakt in huur- en koopwoningen.

“Het blijven bouwen van voldoende duurzame en betaalbare woningen vraagt om vormen van standaardisatie. Dit helpt om de productie doelgerichter en grootschaliger te organiseren.”

De Reinbouw Woning is ontwikkeld met de bewoner als uitgangspunt én met het oog op de toekomst. Omdat ieder project uniek is, is de Reinbouw Woning flexibel van opzet. De woning is voorzien van diverse indelingsvarianten en uitbreidingsmogelijkheden.

De conceptwoningen zijn voor meerdere doelen ontwikkeld. Zo is het mogelijk voor een woningcorporatie om snel de prijzen en opties in te zien en zo het rendement te berekenen van de toekomstige huurwoningen en een projectontwikkelaar kan snel schakelen tussen verschillende woningtypes en indelingen.

3.1 Bouwmethodiek

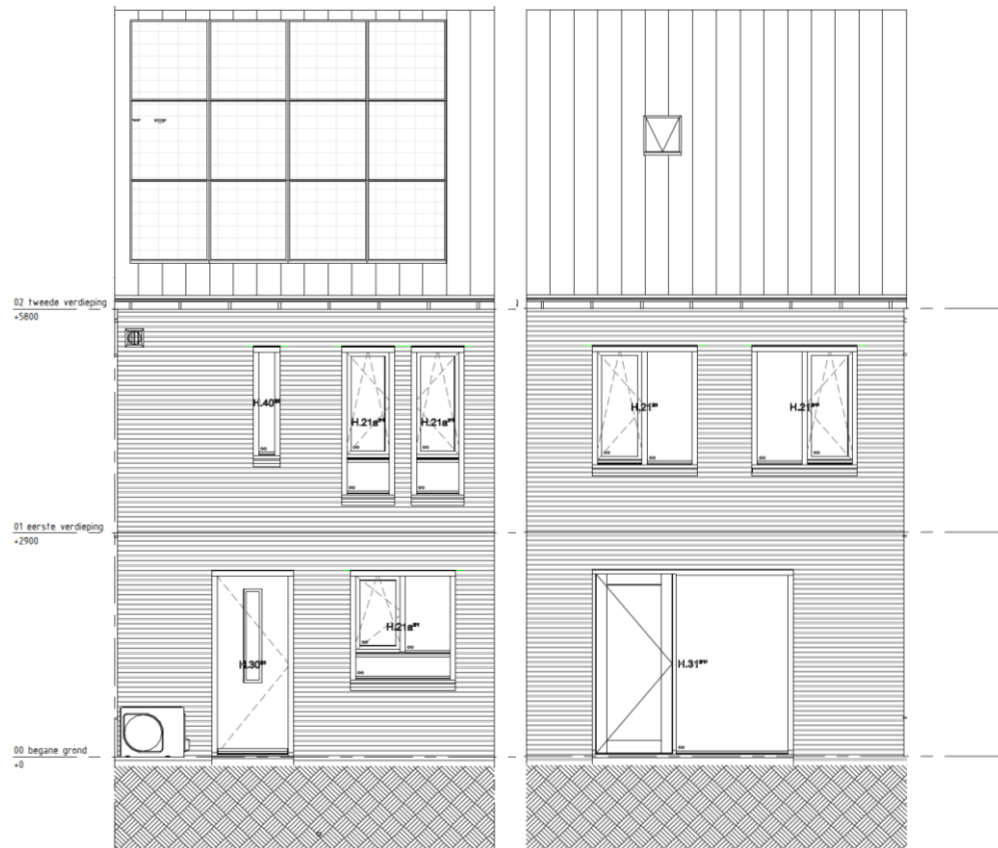
De Reinbouw woningen worden in twee bouwmethodes aangeboden, in een prefab beton- of kalkzandsteencasco. Afhankelijk van het project en wat de klant wil, wordt er voor een van de twee opties gekozen.

Voor dit onderzoek is gekeken naar de kalkzandsteen variant. Deze wordt op een traditionele manier opgebouwd met betonnen kanaalplaatvloeren en een metselwerk voor- en achtergevel. De conceptwoning wordt dus ook uitgevoerd met prefab betonwanden. Voor de volledigheid van het onderzoek zal deze ook vergeleken worden in de MPG-berekening. In figuur 7 is het 3D-model van de onderzochte woning te zien, in figuur 8 en 9 zijn de gevels en plattegronden zichtbaar. In tabel 7 is de samenstelling van de woning uitgewerkt.

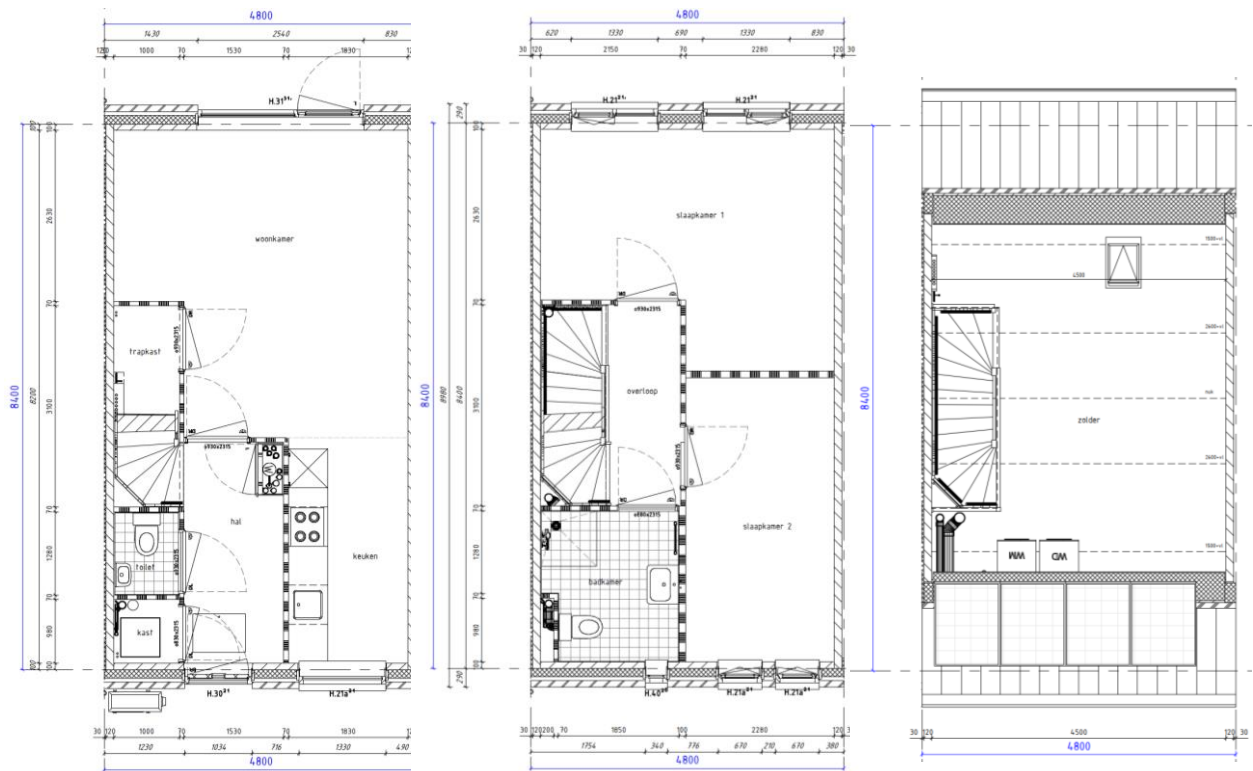


Figuur 7 3D model conceptwoning

De circulaire woning van dit moment



Figuur 9 Voor- en achtergevel



Figuur 8 Plattegronden

3.1.1 Samenstelling conceptwoning

Tabel 7 Samenstelling conceptwoning

Fundering		Aantal	Info
Funderingspalen	Heipaal	32,0 M ¹	250x250 mm
Fundatiebalken	Beton	26,4 M ¹	400x500 mm

Gevels		Aantal	Info
Spouwmuur buitenblad	Baksteenmetselwerk	38,8 M ²	100 mm
Spouwmuur binnenblad	Kalkzandsteen	38,8 M ²	100 mm
Isolatie	Isover Mupan Ultra XS	38,8 M ²	
Latei	Staal	9,2 M ¹	40 mm
Buitenkozijnen	Europees naaldhout	2,6 M ²	
Buitendeuren	Hout, geschilderd met glasopening	2 Stuks	
Buitenbeglazing	HR +++	9,7 M ²	
Vensterbank	Gegoten composietsteen	7,2 M ¹	200 mm

Binnenwanden		Aantal	Info
Binnen kozijn	Staal	2,3 M ²	
Afwerklagen (tegелwerk)	Keramische tegel	28,2 M ²	13 mm
Afwerklagen (spuitpleister)	Spuitpleister	12,3 M ²	3 mm
Binnendeuren	Houten vlakke binnendeur, honinggraat	6 Stuks	2315x954 mm
Massieve niet dragende wanden	Cellenbeton blokken	45,6 M ²	70 mm
Massieve dragende wanden	Kalkzandsteen	117,9 M ²	120 mm
Isolatie	Mupan	5 M ²	

Vloeren		Aantal	Info
Begane grondvloer (vrijdragende vloeren)	Ribcassette vloer inclusief isolatie	40,3 M ²	
Verdiepingsvloer (Vrijdragende vloeren)	Kanaalplaatvloer	80,6 M ²	
Dekvloer	Zandcement	104,5 M ²	70 mm
Afwerklagen (spuitpleister)	Spuitpleister	67,0 M ²	3 mm
Afwerklagen (tegелwerk)	Keramische tegel	6,2 M ²	13 mm

Dakopbouw		Aantal	Info
Dak element	HSB-dak element	49,0 M ²	
Bekleding (dakpannen)	Keramische dakpan	49,0 M ²	
Dakgoot	Aluminium dakgoot	9,6 M ¹	
Hemelwaterafvoer	Pvc-hemelwaterafvoer	11,6 M ¹	
Waterslag	Aluminium	9,2 M ¹	135x2 mm

3.2 Nulmeting

In deze paragraaf wordt de nulmeting uitgevoerd van de huidige conceptwoning. De nulmeting wordt gedaan aan de hand van de MPG en de losmaakbaarheidsindex. Vanuit de nulmeting kunnen er in hoofdstuk 4 alternatieven worden gezocht om de milieu impact te reduceren.

3.2.1 Uitkomsten MPG-berekening

Voor het invullen van de MPG-berekening en de keuze voor specifieke materialen of elementen is er gekeken naar overeenkomsten uit andere projecten, waarvan de MPG-berekeningen uitgevoerd zijn door een erkend bedrijf.

Uit de MPG-berekening komt een score van €0,51. Uit deze uitkomst kan worden opgemaakt dat het een geslaagde berekening is, de gemiddelde milieuprestatie van een standaard eengezinswoning is namelijk €0,50. (Stichting Nationale Milieu Database, 2020)

De score van €0,51 is ruim binnen de grenzen van de wetgeving, die is namelijk €1,00. Dit maximum van €1,00 zal in de komende jaren langzaam maar zeker verlaagd gaan worden, maar voor nu zit de conceptwoning binnen de gestelde eisen.

In de tabellen per gebouwdeel, zoals gevel, vloer, binnenwanden, te zien in figuur 10, is per product aangegeven wat de schaduwkosten zijn, zie bijlage III voor de complete MPG-berekening.

Bouwdeel	Schaduwkosten per jaar per m ² BVO
Fundering	€ 0,06
Gevels	€ 0,07
Binnenwanden	€ 0,04
Vloeren	€ 0,12
Daken	€ 0,02
Installaties	€ 0,17
Inrichting	€ 0,02
Totaal	€ 0,51

Figuur 10 Uitkomst MPG berekening

Ondanks dat de conceptwoning binnen de gestelde eisen zit, is het doel om een lagere milieu impact te behalen. Om dit te bereiken wordt er gekeken naar de producten en materialen welke de hoogste schaduwkosten hebben. Door deze grote posten aan te pakken, wordt de MPG zo efficiënt mogelijk verder naar beneden gebracht.

Tabel 8 Meest milieubelastende elementen

Gebouwdeel	Schaduwkosten [€]
Gevel	
Dragende wanden	€ 281.22
Gevelbekleding	€ 238.78
Vloeren	
Begane grondvloer	€ 417.51
Verdiepingsvloer(en)	€ 395.16
Dekvloer	€ 279.01

Voor de in tabel 8 genoemde gebouwdelen zijn alternatieven onderzocht. Er is gezocht naar twee soorten alternatieven, biobased en losmaakbare alternatieven.

Biobased materialen scoren goed op de MPG, ze zijn duurzaam verwerkt en hout neemt CO₂ op, maar hoeven niet de enige oplossing te zijn voor een lage milieulast.

De losmaakbaarheid van producten wordt nog niet geborgd in de MPG, maar is wel een passend alternatief voor de doelstelling van 2030, waarin de helft van de CO₂-uitstoot behaald moet worden. Als producten of bouwdelen in zijn geheel uit een woning gehaald kunnen worden en elders toegepast kunnen worden, is de enige milieulast voor deze tweede toepassing de uitstoot van de demontage, opwaardering, remontage en transport.

De circulaire woning van dit moment

Voor de volledigheid van het onderzoek is ook de conceptwoning met prefabbeton wanden berekend middels de MPG. Hier blijkt een negatief verschil te zijn van €0,03 ten opzichte van de kalkzandsteen variant, wat uitkomt op een totaal van de schaduwkosten van €0,54 per jaar per m² BVO, te zien in figuur 11. Ook de CO₂-uitstoot valt hoger uit bij de beton variant, een totaal van 41.128 kilogram, te zien in tabel 9, een verschil van ruim 3.000 kilogram ten opzichte van de kalkzandsteenwanden.

Bouwdeel	Schaduwkosten per jaar per m ² BVO
Fundering	€ 0,06
Gevels	€ 0,07
Binnenwanden	€ 0,07
Vloeren	€ 0,12
Daken	€ 0,02
Installaties	€ 0,17
Inrichting	€ 0,02
Totaal	€ 0,54

Figuur 11 Schaduwkosten prefabbeton conceptwoning

Tabel 9 Schaduwkosten en milieueffecten

	Kalkzandsteen		Beton	
	Schaduwkosten [€]	Milieueffecten	Schaduwkosten [€]	Milieueffecten
Emissies	4.569, -		4.854, -	
Klimaatverandering	1.771, -	38.109 Kg CO ₂ -eq.	2.056, -	41.128 Kg CO ₂ -eq.
Aantasting ozonlaag	0, -	0.0028 Kg CFC-11 eq.	0, -	0.0028 Kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit	1.485, -	16.497 Kg 1.4-DB eq.	1.520, -	16.885 Kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	14, -	472 Kg 1.4-DB eq.	15, -	484 Kg 1.4-DB eq.
Mariene aquatische ecotoxiciteit	178, -	1.780.905 Kg 1.4-DB eq.	188, -	1.883.666 Kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit	12, -	205 Kg 1.4-DB eq.	13, -	218 Kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming	50, -	25 Kg C ₂ H ₄ eq.	53, -	26 Kg C ₂ H ₄ eq.
Verzuring	602, -	150 Kg SO ₂ eq.	664, -	166 Kg SO ₂ eq.
Vermesting	322, -	36 Kg PO ₄ eq.	345, -	38 Kg PO ₄ eq.
Uitputting	32, -		32, -	
Uitputting abiotische grondstoffen	0, -	1 Kg Sb eq.	0, -	1 Kg Sb eq.
Uitputting fossiele energiedragers	31, -	197 Kg Sb eq.	32, -	199 Kg Sb eq.
Totaal	4.600, -		4.886, -	

3.2.2 Uitkomst losmaakbaarheid

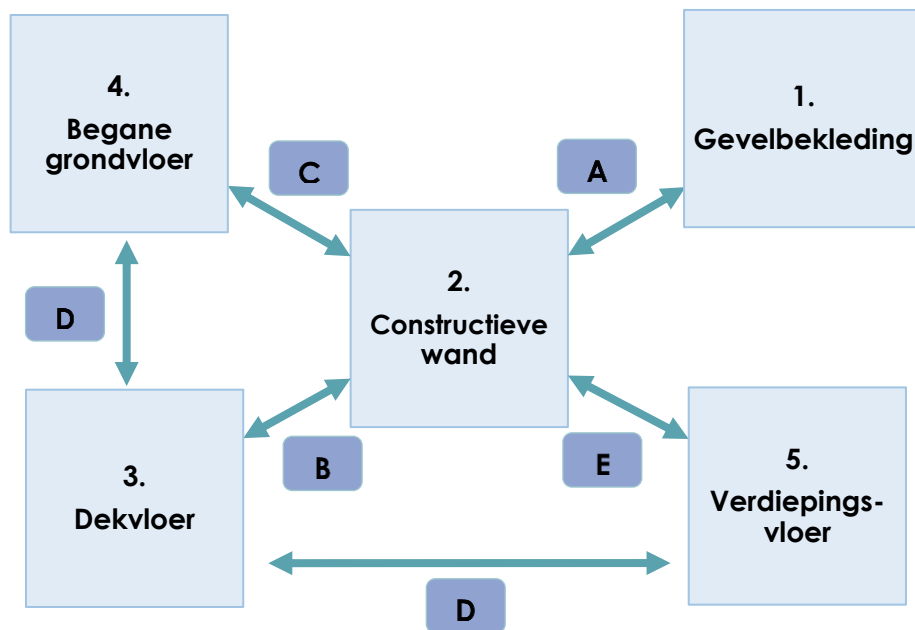
Om de meting van de losmaakbaarheid ook in de toekomst snel te laten verlopen is de losmaakbaarheidsindex geautomatiseerd middels een Excel sheet. In bijlage III is de Excel tool verder toegelicht. De uitkomsten van deze tool zijn verwerkt in de in dit hoofdstuk gegeven tabellen.

Te meten verbindingen

De losmaakbaarheidsindex zegt wat over de verbinding tussen elementen. Van de elementen welke uit de MPG-berekening als slechtste naar voren kwamen, zijn losmaakbaarheidsindexen berekend. Dit zijn de berekeningen van de verbindingen tussen de elementen en aangrenzende elementen.

In onderstaand relatiefiguur, figuur 12, en tabel 10 zijn de verschillende elementen aangegeven en de verbindingen welke berekend zijn. De vijf elementen zijn dus hetzelfde als de elementen uit de MPG-berekening. In figuur 13 en 14 zijn de verbindingen in de details aangegeven.

De circulaire woning van dit moment

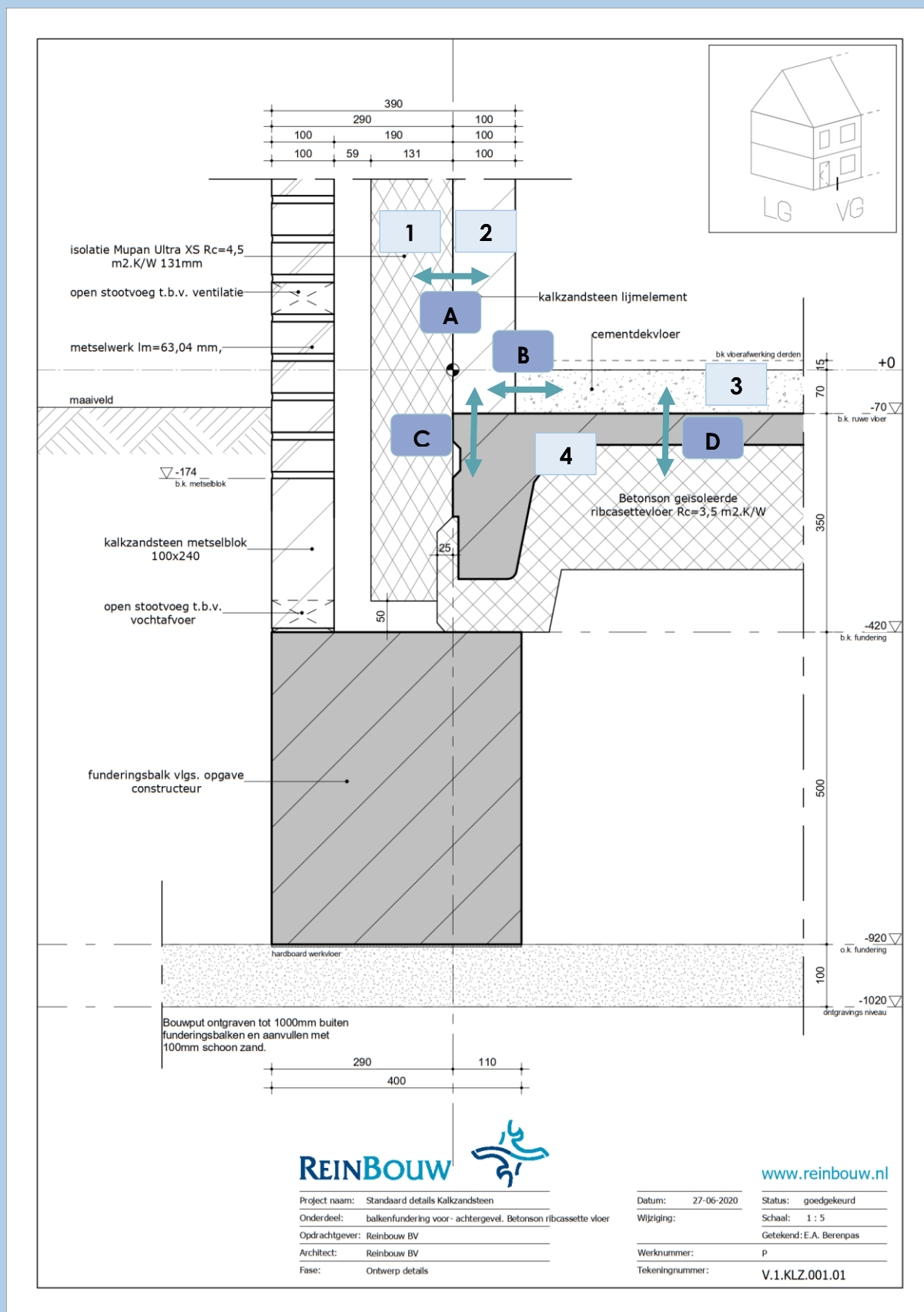


Figuur 12 Relatieschema verbindingen

Tabel 10 Verbindingen

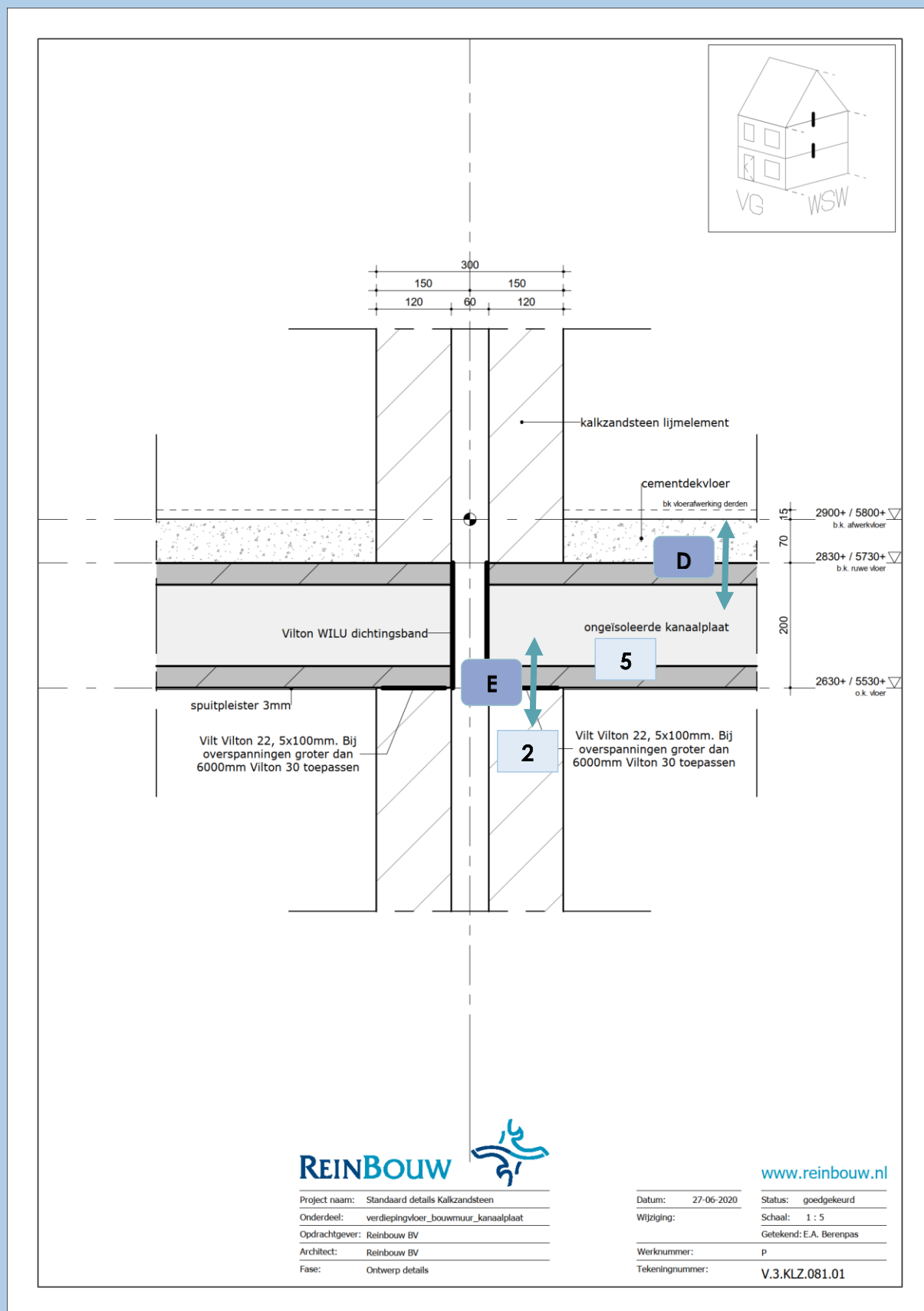
Verbinding	Element (1)	Element (2)
A	Binnenspouwblad	Gevelbekleding
B	Binnenspouwblad/bouwmuur	Dekvloer
C	Binnenspouwblad/bouwmuur	Begane grondvloer
D	Begane grondvloer/ verdiepingsvloer	Dekvloer
E	Bouwmuur	Verdiepingsvloer

De circulaire woning van dit moment



Figuur 13 Detail 1 - Losmaakbaarheidsindex

De circulaire woning van dit moment



Figuur 14 Detail 2 - verbindingen losmaakbaarheidsindex

Uitkomst nulmeting elementen

In tabel 11 zijn de uitkomsten van de nulmeting op basis van de losmaakbaarheid te zien. In bijlage III zijn de berekeningen per verbinding te vinden. De uitkomst van de berekening is een getal tussen de 0.10 en de 1.00. In dit geval is een hoge score waarnaar gestreefd wordt. De scores variëren van 0.10 tot 0.48, dit zijn dus lage scores. Scores waaruit gehaald kan worden dat de elementen niet zonder schade te veroorzaken uit elkaar kunnen.

Tabel 11 Uitkomsten LI

VB.			TVn	ToVn	Llc	DKn	Vln	Lls	LI
A	Binnenspouwblad	Gevelbekleding	0.10	0.40	0.25	0.40	0.10	0.25	0.25
B	Binnenspouwblad/ bouwmuur	Dekvloer	1.00	0.10	0.55	0.10	0.10	0.10	0.33
C	Binnenspouwblad/ bouwmuur	Begane grondvloer	0.10	0.10	0.10	0.40	0.10	0.25	0.18
D	Begane grondvloer	Dekvloer	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
E	Bouwmuur	Verdiepingsvloer	1.00	0.40	0.70	0.40	0.10	0.25	0.48

Nu de basis bekend is kan er gekeken worden naar alternatieve verbindingsmogelijkheden. Deze alternatieven worden gezocht bij de bestaande fabrikanten en leveranciers. Reinbouw wil verder met haar huidige partners en deze partners zullen zelf moeten innoveren om toepasbaar te blijven. In paragraaf 4.2 worden deze alternatieve verbindingen toegelicht.

3.3 Resumé

In hoofdstuk 3 is antwoord gegeven op een aantal deelvragen. In paragraaf 3.1 is antwoord gegeven op de vraag "Waaruit bestaat de huidige conceptwoning?". Hierin zijn de materialen welke in de MPG-berekening van belang zijn vastgelegd. De conceptwoning wordt met traditionele materialen op de traditionele manier gebouwd, stapelbouw.

Tot slot wordt de vraag; "Wat is de milieu impact van de huidige conceptwoning?" in paragraaf 3.2 behandeld. Onder milieu impact wordt zowel de MPG-berekening als de losmaakbaarheidsindex geschaald.

4

H4 – Alternatieven

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag welke circulaire alternatieven er toepasbaar zijn voor de grootste milieubelastende elementen, welke volgen uit hoofdstuk 3. Er wordt op twee manieren gekeken naar circulaire alternatieven, biobased materialen en losmaakbare elementen.

Biobased materialen scoren goed op de MPG, ze zijn duurzaam verwerkt en hout neemt CO₂ op (Decker, 2013), maar deze materialen hoeven niet de enige oplossing te zijn voor een lagere milieulast. De losmaakbaarheid van producten wordt nog niet geborgd in de MPG, maar is wel een goed alternatief. Als producten of bouwdelen in zijn geheel uit een woning gehaald kunnen worden en elders toegepast kunnen worden, is de enige milieulast voor deze tweede toepassing de uitstoot van de demontage, opwaardering en remontage. Ook wordt er voor de losmaakbaarheid gekeken hoe de kwaliteit van een tweedehands product gewaarborgd kan worden.

4.1 Biobased

Om de schaduwkosten van de conceptwoning naar beneden te brengen, is gezocht naar biobased alternatieven. Er is gezocht naar biobased alternatieven omdat deze niet alleen de CO₂-uitstoot verminderen, maar hout kan de CO₂ opslaan. Door het opslaan van de CO₂ kan de benadering gezocht worden van CO₂-neutraal bouwen, één van de doelstellingen in 2050. Zo wordt er antwoord gegeven op de deelvraag 'Wat zijn de milieueffecten van de biobased alternatieven?'.

4.1.1 Ambitie

De ambitie is om alle elementen¹ te vervangen voor biobased alternatieven. De constructieve eigenschappen moeten voor het alternatief gelijk blijven, de milieu last moet voor het alternatief lager zijn. Voor de optimale bouwplaats organisatie zullen de alternatieven goed op elkaar aan moeten sluiten. Voor het gehele programma van eisen zie bijlage IV.

4.1.2 Alternatieven

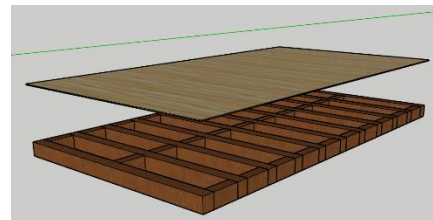
Er is gezocht naar alternatieven voor de onderdelen constructie, waar de wanden en vloeren onder worden verstaan, dekvloer en gevelbekleding. Deze onderdelen hebben de hoogste schaduwprijs in de nulmeting van de huidige conceptwoning. De alternatieven zijn in de paragrafen van hoofdstuk 4.1.2 beschreven, voor de overweging waarom deze alternatieven zijn gekozen, zie bijlage IV.

¹ Met alle elementen worden de vier elementen bedoeld die de hoogste schaduwkosten hebben die volgen uit de MPG-berekening

4.1.2.1 Constructie

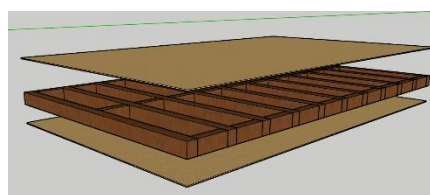
Voor de constructie is gekozen voor het alternatief houtskeletbouw. Houtskeletbouw, HSB, is een prefab bouwmethode met een houten geraamte, waarmee relatief snel een duurzame woning neergezet kan worden. Er wordt een skelet neergezet van houten kolommen en liggers die het gebouw constructief dragen, waarbij dit skelet vervolgens wordt aangekleed met wanden en vloeren naar keuze. (Friesland Prefab, 2021)

De begane grondvloer zal bestaan uit een HSB-element, te zien in figuur 15, opgebouwd uit naaldhout balken, steenwol en multiplex en twee gipsplaten. Voor het hout is uitgegaan van duurzame bosbouw.



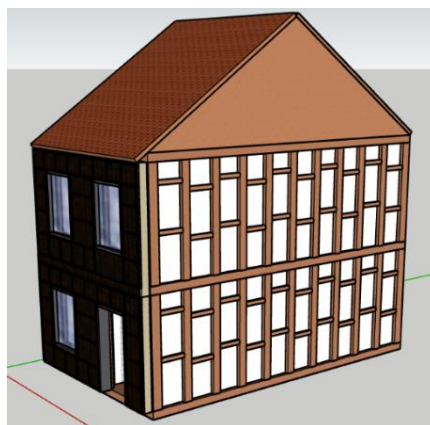
Figuur 15 Begane grondvloer HSB

De verdiepingvloeren, te zien in figuur 16, hoeven niet te voldoen aan een Rc-waarde, waardoor hier geen HSB-element met isolatie benodigd is. De verdiepingvloeren zullen bestaan uit houten vloerelementen. Het houten vloerelement is een geprefabriceerd houtskeletbouw element, voorzien van OSB-plaat met een 18 mm dikte. Voor het hout is uitgegaan van vurenhout van duurzaam bosbeheer. Na plaatsing volgt de verdere afwerking. Dit type vloer wordt toegepast als verdiepingvloer in (houtskeletbouw) woningen.



Figuur 16 Verdiepingvloer HSB

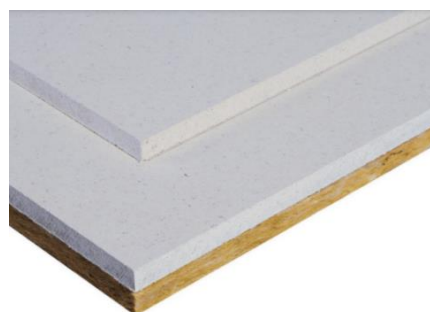
Voor het houten geprefabriceerde (HSB) dragende wandelement, te zien in figuur 17, is uitgegaan van vurenhout, Europees naaldhout van duurzaam bosbeheer. De dragende wand is voorzien van 140 mm glaswol isolatiemateriaal. Voor de stevigheid zijn dikke 15 mm gipsvezelplaten toegepast. Dit type wordt toegepast als wand in een (houtskeletbouw) woning of gebouw.



Figuur 17 HSB-constructie

4.1.2.2 Dekvloer

Voor de dekvloer is het alternatief van Fermacell gekozen. Een fermacell vloerelement, te zien in figuur 18, bestaat uit twee, in de fabriek op elkaar gelijmde, gipsvezel platen met een afmeting van 150x50 cm. De dikte van één plaat is 12,5 mm, waardoor de totale dikte uitkomt op 25 mm, en een gewicht van 30 kg/m². Rondom is een 5 cm brede liplas voor de verwerking en aansluiting. De fermacell vloerelementen zijn verkrijgbaar met een 10 mm dikke isolatielaag aan de onderzijde voor het creëren van een zwevende dekvloer. De fermacell gipsvezelplaat bestaat uit rookgasontzwavelingsgips, een bijproduct afkomstig



Figuur 18 Fermacell vloerelement

De circulaire woning van dit moment

van kolengestookte energiecentrales, en er wordt oud papier verwerkt bij de productie van de plaat. (Fermacell voerelementen, 2020)



Figuur 19 Verwerking fermacell vloerelementen

De fermacell vloerelementen zullen eerst in zijn geheel gelegd moeten worden volgens de verwerkingsvoorschriften van fermacell. Vervolgens zullen de snelbouwschroeven eerst verwijderd moeten worden, waarna de freeswerkzaamheden kunnen beginnen. Indien er gewerkt wordt met aluminium bradnagels, kan hier doorheen gefreesd worden omdat dit een zachter materiaal betreft. De leidingsleuven kunnen gefreesd worden met een maximale diepte van 15 mm en hier kunnen vervolgens de vloerverwarmingsleidingen van rond 14 mm worden aangebracht. Uiteindelijk kunnen de leidingsleuven worden dichtgezet met voegengips of flexibele lijm, de opbouw is te zien in figuur 19.



Figuur 20 Gevelement opbouw

4.1.2.3 Gevelbekleding

Voor het gevelement is het element van leverancier Emergo gekozen. Emergo is de leverancier van de dak elementen die Reinbouw reeds toepast in de huidige conceptwoning. Zij bieden hierbij ook gevelementen aan, die op de bouw aan komen en direct geplaatst kunnen worden voor de constructie. Zij bieden de gevel in vier elementen aan, twee voor de voorgevel en twee voor de achtergevel. Een blok van vijf woningen kan in één dag gemonteerd worden, wat uitkomt op twintig elementen in één dag. De opbouw van deze elementen bestaat uit, van binnen naar buiten, gipsvezelplaat, PE-folie, glaswol isolatie, stijl- en regelwerk, waterkerende dampdoorlatende folie, verduurzaamde ventilatieregels en de gevelafwerking. De opbouw is te zien in figuur 20, het element in figuur 21. De gevelementen hebben een Rc-waarde van 4,5 m².K/W. Er zijn verschillende afwerkingen mogelijk, zoals minerale of keramische steenstrips of eternit sidings, waarbij in dit onderzoek gekeken wordt naar de eternit sidings. (de Lange, 2021) Eternit is gemaakt van vezelcement, maar wordt niet aangemerkt als biobased. Het effect zal echter wel positief zijn op de MPG, omdat eternit beter scoort dan baksteen metselwerk, de huidige gevelbekleding.



Figuur 21 Gevelement Emergo

4.1.3 Milieu impact

Om de milieu impact te berekenen van de biobased woning, wordt er gekeken naar de MPG-berekening. Vanuit de MPG-berekening wordt de CO₂-uitstoot bekeken, en wordt er berekend wat de CO₂-opslag is van de biobased woning.

4.1.3.1 MPG berekening

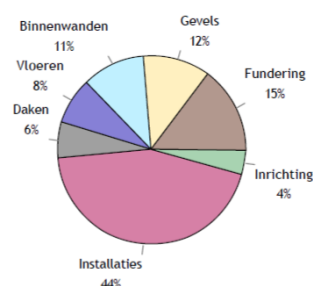
De schaduwkosten kunnen worden bekeken per gebouwdeel. Voor de elementen die vervangen zijn, zijn de nieuwe schaduwkosten zichtbaar in tabel 12. Vanuit deze schaduwkosten wordt de schaduwprijs van de woning, per jaar per m² bruto vloeroppervlakte berekend. De schaduwprijs van de biobased woning is zichtbaar in figuur 22 en bedraagt €0,39 per jaar per m² BVO, dit is €0,12 per jaar per m² BVO minder dan de huidige conceptwoning.

Tabel 12 Schaduwwkosten biobased alternatieven

	Biobased	Kalkzandsteen
Gebouwdeel	Schaduwkosten [€]	Schaduwkosten [€]
Gevel		
Dragende wanden	€ 216.27	€ 281.22
Gevelement	€ 157.06	€ 238.78
Vloeren		
Begane grondvloer	€ 114.34	€ 417.51
Verdiepingsvloer(en)	€ 62.73	€ 395.16
Dekvloer	€ 63.45	€ 279.01

Schaduwkosten

Bouwdeel	Schaduwkosten per jaar per m ² BVO
Fundering	€ 0,06
Gevels	€ 0,05
Binnenwanden	€ 0,04
Vloeren	€ 0,03
Daken	€ 0,02
Installaties	€ 0,17
Inrichting	€ 0,02
Totaal	€ 0,39



Figuur 22 Schaduwwkosten biobased conceptwoning

De gehele MPG-berekening is terug te vinden in bijlage V.

4.1.3.2 CO₂-uitstoot

Om te berekenen hoeveel CO₂-uitstoot de biobased woning totaal heeft, wordt er gekeken naar de CO₂-uitstoot die uit de MPG-berekening komt. Deze is te zien in figuur 23 en betreft 22.678 kg.

Milieu-effecten

	Schaduwkosten	Milieu-effecten
Emissies	€ 3.532,-	
Klimaatverandering	€ 1.134,-	22.678 kg CO ₂ eq.
Aantasting ozonlaag	€ 0,-	0,0020 kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit	€ 1.400,-	15.559 kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	€ 13,-	436 kg 1.4-DB eq.
Marine aquatische ecotoxiciteit	€ 122,-	1.219.165 kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit	€ 9,-	156 kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming	€ 45,-	22 kg C ₂ H ₄ eq.
Verzuring	€ 509,-	127 kg SO ₂ eq.
Vermesting	€ 300,-	33 kg PO ₄ eq.
Uitputting	€ 22,-	
Uitputting abiotische grondstoffen	€ 0,-	1 kg Sb eq.
Uitputting fossiele energiedragers	€ 22,-	138 kg Sb eq.
Totaal	€ 3.554,-	

Figuur 23 Milieueffecten biobased conceptwoning

De circulaire woning van dit moment

De CO₂-opname wordt berekend aan de hand van de hoeveelheid hout die er is toegevoegd ten opzichte van de conceptwoning. Deze bepalingen zijn per onderdeel terug te vinden in de tabel 13.

Tabel 13 Houtaandeel biobased alternatieven

Vloeren		
Onderdeel	M3	Soort hout
Houten balkenlaag BG	4,725 m ³	Europees naaldhout - vuren
Afwerking BG	1,45 m ³	Multiplex - eiken
Houten balkenlaag verdiepingen	3,29 m ³	Europees naaldhout - vuren
Afwerking verdiepingen	1,45 m ³	OSB
Wanden		
Onderdeel	M3	Soort hout
HSB-wandelementen Aandeel hout per m ² = 35% Dikte wand = 200 mm Aantal m ² wand = 117,9 m ²	8,25 m ³	Europees naaldhout - vuren
Gevelement		
Onderdeel	M3	Soort hout
Houten regelwerk Aandeel hout per m ² = 26% Dikte regelwerk = 44 mm Aantal m ² gevelement = 38,8 m ²	0,45 m ³	Europees naaldhout - vuren

De totale opname wordt berekend aan de hand van het soort hout wat er gebruikt is. Dit is anders dan de berekening op basis van de EN15804 en dus de bepalingsmethode MPG. Deze berekening vloeit voort uit de EN16449 en beperkt zich tot de opnamecapaciteit tijdens de gebruiksduur. (Centrum Hout, 2020) Op de website van Centrum Hout kan het aantal m³ gebruikte hout worden ingevoerd en vervolgens welke houtsoort. Over het algemeen kan 1 m³ hout 245 kg koolstof vasthouden. 245 kg koolstof staat gelijk aan 900 kg CO₂, en dus kan er in het algemeen in 1 m³ hout 900 kg CO₂ opgeslagen worden. (Decker, 2013) In tabel 14 is te zien wat de hoeveelheid CO₂ is die opgeslagen zal worden in de biobased woning met de toegevoegde elementen.

Tabel 14 CO₂ opname biobased alternatieven

Totaal		
Soort hout	M ³	CO ₂ -opname
Europees naaldhout - vuren	16,72	10.584 kg
Multiplex - eiken	1,45	2.116 kg
OSB	1,45	2.023 kg
Totaal CO ₂ -opslag		14.723 kg

Om de uiteindelijke CO₂-uitstoot van de woning te berekenen, zal de opname die in tabel 14 berekend is, worden afgetrokken van de uitstoot die voortvloeit uit de MPG-berekening.

De CO₂-uitstoot van de woning bedraagt 22.678 – 14.723 = 7.955 kg

4.1.4 Conclusie

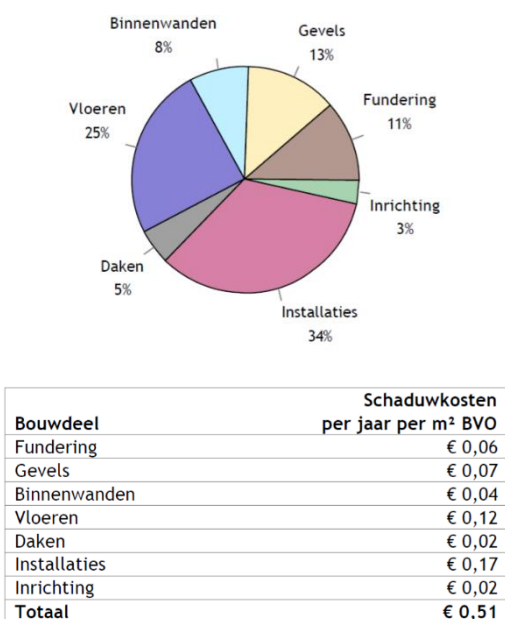
In paragraaf 4.1.1 is de ambitie kenbaar gemaakt voor de alternatieven, waarna in paragraaf 4.1.2 de alternatieven zijn uitgewerkt. Vervolgens is in paragraaf 4.1.3 de milieupact gemeten door eerst de MPG-berekening uit te voeren en te vergelijken en vervolgens de opslag van CO₂ te berekenen.

De circulaire woning van dit moment

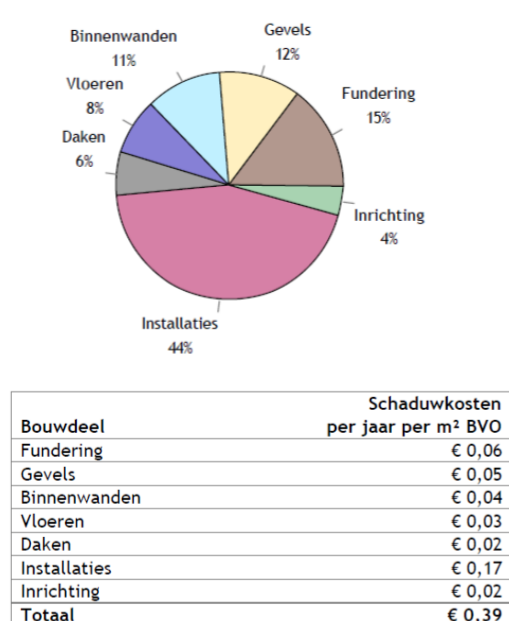
De schaduwkosten, CO₂-uitstoot en alle andere milieueffecten zijn lager bij de biobased alternatieven dan bij de huidige conceptwoning. Door het toepassen van meer biobased varianten, en vooral meer hout, kan de CO₂-uitstoot gecompenseerd worden. (Decker, 2013) Bij de huidige conceptwoning is de CO₂-uitstoot 38.109 kilogram, bij de biobased variant is dat 22.678 kilogram, compensatie niet meegerekend. Als de compensatie wordt mee berekend is dat zelfs nog maar 7.955 kilogram. Indien er meer hout en biobased alternatieven gebruikt gaan worden, zal de CO₂-uitstoot verder dalen, en de compensatie stijgen. Ook de fundering kan lichter worden uitgevoerd, wat in dit onderzoek niet is meegenomen. Door het lichter uitvoeren, zal er minder beton worden gebruikt, wat een positief effect heeft op de schaduwprijs. Zo wordt CO₂-neutraal bouwen met biobased alternatieven deels haalbaar in de bouwwereld. (Velde & Leeuwen, 2019) Een mogelijke leverancier voor het totaalplaatje van de biobased conceptwoning is Sustainer Homes, zij hebben het ontwerp van de huidige conceptwoning al liggen in de biobased variant, met schaduwprijs van €0,39, en voldoen aan de gestelde eisen uit dit onderzoek.

Eén van de nadelen van bouwen met biobased materialen is dat wanneer iedereen dit oppakt, ook hier de materialen schaars zullen worden en daarnaast is de Nederlandse bouwsector niet gewend om met biobased materialen te werken. De gangbare methodes als beton zijn geoptimaliseerd, de onbekendheid van biobased materialen maakt dat dit een dure oplossing is. (Velde & Leeuwen, 2019) Toch als het vergelijk in planning gemaakt wordt, zit er vrijwel geen verschil in, bouwen met deze alternatieven is zelfs korter en dus voordeliger. Als er gekeken wordt naar het verschil in prijs zijn de gevelbekleding en de dekvloer vergelijkbaar. De constructie daarentegen zal aanzienlijk duurder zijn indien deze wordt uitgevoerd in HSB. Uiteindelijk is het ook de vraag of een woning van houtbouw wel bestand is om 75 jaar, de standaardwaarde in de MPG-berekening, te staan. Emergo levert hun standaard woning in houtbouw met een garantie van 50 jaar (Wijnen, 2021). Indien de woning maar 50 jaar kan staan, zal de schaduwprijs, die uitgedrukt is in een prijs per m² BVO per jaar, hoger uitvallen dan de berekende €0,39.

In figuur 24 en 25 is het verschil te zien tussen de schaduwkosten van de huidige woning, met kalkzandsteen wanden, en de biobased variant.



Figuur 24 Schaduwkosten huidige woning



Figuur 25 Schaduwkosten biobased woning

4.2 Losmaakbaar

Alternatieven voor de losmaakbaarheid zijn niet te vergelijken middels de MPG-berekening, hier is een andere meetmethode voor gevonden. Deze is in hoofdstuk 2 toegelicht, voor de volledige uitleg zie bijlage II.

In hoofdstuk 3 is de nulmeting losmaakbaarheid gedaan, hieruit kwam naar voren wat er te verbeteren valt. De meeste verbindingen zijn slecht bereikbaar en onomkeerbaar, zonder schade te veroorzaken. Voor de losmaakbaarheid is gekeken naar de huidige werkwijze en partners, Reinbouw wil niet haar hele werkwijze omgooien. Naast alternatieve toepassingen zijn er een aantal alternatieve producten onderzocht. Zo is er een alternatief gezocht voor de huidige zandcementdekvloer, omdat bij dit element geen losmaakbaarheid gewaarborgd kan worden. Voor de overige onderdelen is er bij de huidige leveranciers en partners van Reinbouw gezocht naar wat er al wel mogelijk is met de huidige materialen.

4.2.1 Ambitie

Als basis voor de zoektocht naar losmaakbare alternatieve verbindingen is per gemeten verbinding een ambitie opgesteld. Voor de berekening en onderbouwing van deze ambitie zie bijlage IV. Zoals te zien is in tabel 15 is voor elke verbinding gekeken naar wat mogelijk zou kunnen zijn. Op deze wijze kan per onderdeel van de verbinding gericht gezocht worden naar een alternatieve werkwijze.

Tabel 15 Ambitie losmaakbaarheidsindex

VB.			TVn	ToVn	Llc	DKn	Vln	Lls	LI
A	Binnenspouwblad	Gevelbekleding	0.10	0.40	0.25	0.40	0.10	0.25	0.25
		AMBITIE =	0.80	0.80	0.80	0.40	0.20	0.30	0.55
B	Binnenspouwblad/ bouwmuur	Dekvloer	1.00	0.10	0.55	0.10	0.10	0.10	0.33
		AMBITIE =	1.00	0.80	0.90	0.40	0.20	0.30	0.60
C	Binnenspouwblad/ bouwmuur	Begane grondvloer	0.10	0.10	0.10	0.40	0.10	0.25	0.18
		AMBITIE =	0.80	0.80	0.80	0.40	0.20	0.30	0.55
D	Begane grondvloer	Dekvloer	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
		AMBITIE =	0.80	0.80	0.80	0.40	0.20	0.30	0.55
E	Bouwmuur	Verdiepingsvloer	1.00	0.40	0.70	0.40	0.10	0.25	0.48
		AMBITIE =	1.00	0.80	0.90	0.40	0.20	0.30	0.60

4.2.2 Alternatieven

De alternatieven voor de meer losmaakbare woning zijn gevonden door in gesprek te gaan met de huidige leveranciers van Reinbouw. Middels verschillende gesprekken is onderzocht wat de mogelijkheden zijn en of deze al uitgevoerd worden. Hieronder worden, indien mogelijk, alternatieven gegeven per onderzochte verbinding.

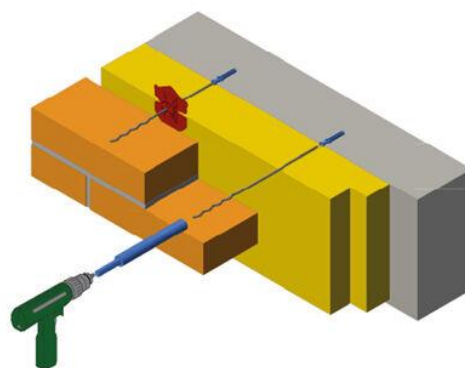
Per verbinding is de uiteindelijke losmaakbaarheidsindex vergeleken met de ambitie.

	Voldoet aan ambitie
	Voldoet niet aan ambitie
	Scoort beter dan ambitie

4.2.2.1 Verbinding A

Voor verbinding A, de verbinding tussen het binnenspouwblad en de gevelafwerking, inclusief de tussenliggende isolatie, is raad gezocht bij Calduran. Calduran is de leverancier van kalkzandsteenelementen voor Reinbouw.

Traditioneel worden voor deze verbinding lijm-spouwankers toegepast. Deze ankers verbinden het binnenspouwblad, de isolatie en het buitenspouwblad. Het anker wordt in het kalkzandsteen tussen de lijmblokken gelijmd en bij het metselwerk tussen de metselstenen gemetseld. Deze verbinding is permanent en na uitharden niet bereikbaar zonder blijvende schade te veroorzaken.



Figuur 26 Booranker

Als alternatief gaf dhr. Kruseman van Calduran het gebruik van boorankers, te zien in figuur 26. Boorankers worden in de wand geboord. Om de koudebrug tegen te gaan wordt in de wand een kunststof plug geplaatst. De boorankers worden in principe op dezelfde manier toegepast als de lijmankers, alleen moet er gebruik worden gemaakt van een hard isolatiemateriaal in plaats van de zachte glaswol. Ook een voordeel aan het gebruik van een booranker is dat men niet meer afhankelijk is van de lagenmaat van de kalkzandsteenblokken.

De boorankers kunnen ook in combinatie met het droogstapelsysteem ClickBrick, te zien in figuur 27, worden toegepast. Hierdoor ontstaat er geen schade bij het loshalen doordat het anker niet ingemetseld wordt. Echter verandert de ClickBrick het uiterlijk van de woning en dit is niet wenselijk.



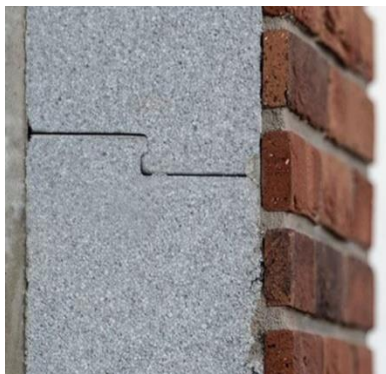
Figuur 27 ClickBrick systeem

De losmaakbaarheidsindex met boorankers is te zien in tabel 16. Door het gebruik van boorankers, zal de score voor het type verbinding omhooggaan en uitkomen op 0.80. De toegankelijkheid van de verbinding blijft hetzelfde, er zullen extra handelingen blijven met de herstelbare schade, en haalt de ambitie dus niet. De score voor de doorkruisingen blijft hetzelfde en behaalt de ambitie. De score voor de vorminsluiting gaat een stap omhoog en behaalt de ambitie, doordat er geboord wordt zal de insluiting minder zijn.

Tabel 16 Losmaakbaarheidsindex Verbinding A

Type verbinding	Score	Ambitie
Verbinding met toegevoegd element	0.80	0.80
Toegankelijkheid verbinding	Score	
Toegankelijkheid met extra handelingen met herstelbare schade	0.40	0.80
Doorkruisingen	Score	
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten	0.40	0.40
Vorminsluiting	Score	
Gesloten aan één kant	0.20	0.20

Een losmaakbare verbinding tussen het binnenspouwblad en de gevelbekleding in de huidige staat is er nog niet, wat terug te zien is in de score. Er zal meer ontwikkeld moeten worden rondom de verbinding tussen het binnenspouwblad en het buitenspouwblad met betrekking tot de losmaakbaarheid.



Figuur 28 Gevelement leverancier Spaansen



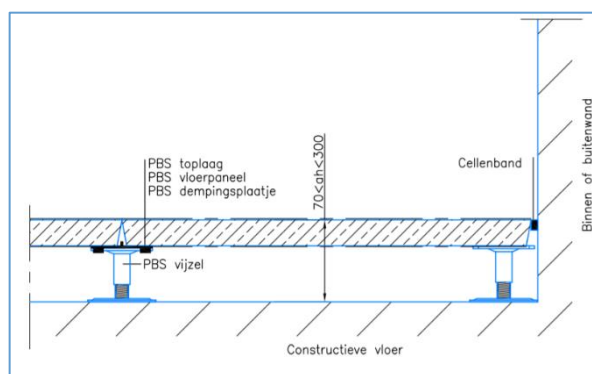
Figuur 29 Prefab kalkzandsteen wand Prefakz

Er kan ook worden gekeken naar een alternatief, dit zou het toepassen van een gevelement met steenstrips kunnen zijn. Steenstrips hebben hetzelfde uiterlijk als traditioneel metselwerk, maar zijn dunner en hoeven niet gemetseld te worden, ze worden op het isolatiemateriaal gelijmd. De leverancier Spaansen levert prefabbeton wanden met een isolatielaag en steenstrips daarop bevestigd, te zien in figuur 28. Het principe van een dragende binnenwand met daarop een pakket van isolatie met steenstrips is ook in ontwikkeling bij Calduran. Hierbij wordt de basis van kalkzandsteen elementen gebruikt, die gelijmd worden op de bouw of als prefab element op de bouw komen, genaamd Prefakz, te zien in figuur 29. Op het kalkzandsteen binnenspouwblad wordt vervolgens de harde isolatie met daarop de steenstrips bevestigd. Deze toepassing is echter nog in ontwikkeling en is nog niet toegepast op een project, daarom is er in dit onderzoek gekeken naar het gevelement van leverancier Spaansen.

Door te kijken naar de gevel als element wordt verbinding A één geheel en zou dus niet meer uit elkaar gehaald hoeven worden. Het gevelement zal wel bevestigd moeten worden op de draagconstructie, waar een losmaakbare verbinding gerealiseerd zou moeten worden.

4.2.2.2 Verbinding B

Voor verbinding B, de verbinding tussen het binnenspouwblad en de dekvloer is gekozen voor een alternatief product. De zandcementdekvloer zal in zijn huidige vorm niet herbruikbaar of losmaakbaar worden. Het gekozen alternatief is een computervloer, te zien in figuur 30, de afweging hiervoor is te vinden in bijlage IV. De computervloer wordt doorgaans veel gebruikt in kantoren, datacentra en ziekenhuizen, maar nog niet in woningen. Een computervloer is een verhoogde vloer op afstand van de dragende vloer. De draagconstructie bestaat uit zogenaamde vijzels, waar de vloerplaten op komen te liggen. Het voordeel van een computervloer is dat onder de verhoogde platen het leidingwerk gelegd kan worden. Dit hoeft dan niet meer in de dragende vloer verwerkt te



Figuur 30 Details wandaansluiting computervloer bron: PBSholland

De circulaire woning van dit moment

worden, wat leidt tot modulaire zonering en grotere aanpasbaarheid. Een nadeel aan de computervloer is dat het huidige vloerverwarmingssysteem hier niet mee werkt. Watervloerverwarming geeft de warmte aan het omliggende materiaal af wat het vasthoudt en gedurende dag afgeeft. Een vloerverwarmingssysteem met warme lucht zou daarentegen wel werken.

Wat demontage betreft is de computervloer een goed alternatief. De vloerplaten worden tegen de wand geplaatst, niet bevestigd. De vloerpanelen kunnen worden verwijderd door middel van zuignappen, waardoor de vloerdelen intact blijven bij demontage en zo is het systeem volledig herbruikbaar. De uitwerking van de losmaakbaarheidsindex is te zien in tabel 17.

Tabel 17 Losmaakbaarheidsindex verbinding B

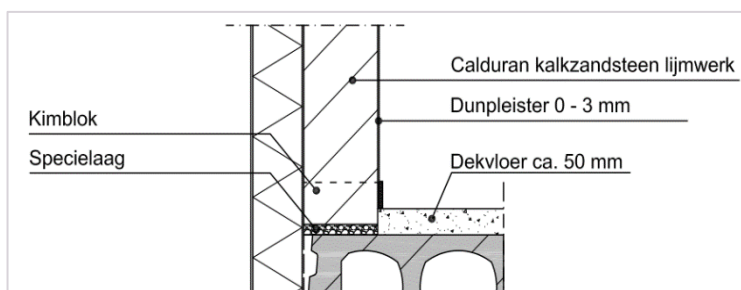
Type verbinding	Score	Ambitie
Droge verbinding (folie)	1.00	1.00
Toegankelijkheid verbinding	Score	
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0.80	0.80
Doorkruisingen	Score	
Modulaire zonering	1.00	0.40
Vorminsluiting	Score	
Overlapping aan één zijde	0.80	0.20

Een computervloer heeft een betere score dan dat de ambitie was. De uitwerking van een losmaakbare dekvloer hoeft niet een exacte computervloer te zijn, dit is een redelijk dure oplossing, maar het gedachtegoed is goed voor het demontabele bouwen waarnaar gestreefd gaat worden in de bouw.

4.2.2.3 Verbinding C

Voor verbinding C, de verbinding tussen de constructieve vloer en de woning scheidende wand of het binnenspouwblad, is er een gesprek geweest met de huidige leverancier Calduran. Tijdens dit gesprek met de heer Kruseman is de verbinding van de kimlaag, te zien in figuur 31, ter sprake gekomen. De kimmortel of specielaag wordt gebruikt om de onderliggende vloer te egaliseren en waterpas te maken, met het doel puntlasten te voorkomen. De onderste laag, de zogeheten kimlaag, zorgt ervoor dat de wand in hele blokken eindigt, hiermee wordt het afval met betrekking tot kalkzandsteen op de bouw gereduceerd. Deze verbinding is een cementgebonden verbinding en scoort slecht op de losmaakbaarheidsindex. Een alternatief is nog niet beschikbaar, maar er wordt wel over nagedacht bij Calduran.

De voorwaarde voor het toepassen van een ander product is dat het product de ondergrond egaliseert en dat het sterk genoeg is om het gewicht van de wanden en bovengelegen verdiepingen te dragen. Een dergelijk product is binnen Calduran nog niet gevonden, maar heeft wel de aandacht.



Figuur 31 detail kimblokken; bron: Calduran

De circulaire woning van dit moment

De kimmortel is niet een hele sterke cementverbinding. De verbinding kan losgemaakt worden, aldus dhr. Kruseman. Om deze reden zal de toegankelijkheid wel met extra handelingen zijn, hier wordt geen schade veroorzaakt aan het product (Kruseman, 2021). Wanneer de vloer en de wand gescheiden worden blijft er op beide producten kimmortel achter, wat verwijderd dient te worden voor het hergebruik van de elementen.

Tabel 18 Losmaakbaarheidsindex verbinding C

Type verbinding	Score	Ambitie
Harde chemische verbinding	0.10	0.80
Toegankelijkheid verbinding	Score	
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0.80	0.80
Doorkruisingen	Score	
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten	0.40	0.40
Vorminsluiting	Score	
Gesloten aan één kant	0.20	0.20

De berekende verbinding in tabel 18 is geen nieuwe verbinding. Er is opnieuw naar de huidige verbinding gekeken en daar is bovengelegen score uitgekomen, waaruit blijkt dat de harde chemische verbinding nog niet voldoet aan de ambitie. Dit is waar Calduran ook de aandacht al heeft liggen, en waar ze dus nog kunnen verbeteren wat betreft losmaakbaar bouwen.

4.2.2.4 Verbinding D

Voor verbinding D, de verbinding tussen de constructieve vloer en dekvloer, geldt hetzelfde als voor verbinding B. Hier wordt de computervloer als alternatief gegeven. De vloerplaten liggen op vijzels. Deze vijzels worden op de ruwe ondervloer geplaatst. Afhankelijk van het systeem worden de vijzels losmaakbaar op de ondergrond bevestigd. De computervloer wordt namelijk ook uitgevoerd waarbij de vijzels op antislip matjes gezet worden en zo op de plek blijven staan, maar in veel gevallen worden de vijzels wel op de grond gelijmd en zijn ze niet herbruikbaar. Het is dus zaak dat hier kritisch naar gekeken wordt.

Tabel 19 Losmaakbaarheidsindex Verbinding D

Type verbinding	Score	Ambitie
Verbinding met toegevoegd element	0.80	0.80
Toegankelijkheid verbinding	Score	
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0.80	0.80
Doorkruisingen	Score	
Modulaire zonering	1.00	0.40
Vorminsluiting	Score	
Gesloten aan één kant	0.20	0.20

Het toepassen van een computervloer geeft een hoge score, hoger dan de gestelde ambitie. Voor de losmaakbaarheidsindex geeft de computervloer momenteel de beste score. Echter is het toepassen van een dergelijke vloer prijzig.

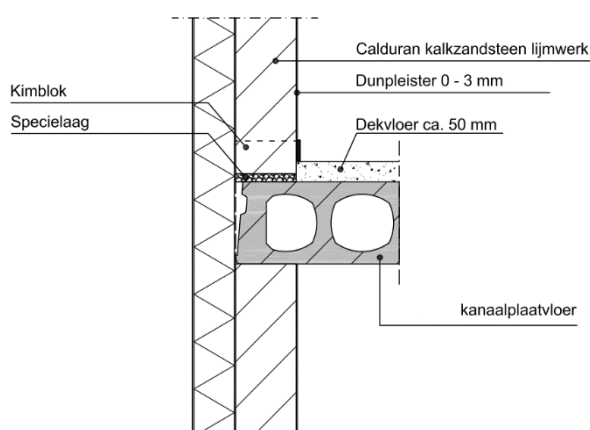
Mocht Reinbouw een cementdekvloer blijven toepassen, dan heeft dit voor de dragende vloeren geen effect met betrekking tot losmaakbaarheid. Uit het gesprek met VBI kwam naar voren dat het toepassen van een normale cementdekvloer ook verdedigbaar is als losmaakbaar. De dekvloer kan van de onderliggende constructieve vloer verwijderd worden. Dit resulteert niet in het hergebruik van de dekvloer zelf. Deze is als afval afgeschreven of wordt als secundaire grondstof voor andere beton producten gebruikt. Dit is een vorm van circulariteit, maar niet het niveau waarnaar gestreefd wordt. (van der Wal, 2021)



Figuur 32 Sloop cementdekvloer

4.2.2.5 Verbinding E

Voor verbinding E, de verbinding tussen de dragende wand en de daarop gelegen vloer, te zien in figuur 33, is niet veel veranderd. Momenteel wordt er tussen de wand en de opgelegde vloer nog vilt gelegd. Dit vilt kan komen ter vervallen volgens dhr. Kruseman. Het oplegvilt is 1 tot 1,5 cm dik en vervormt na verloop van tijd door de oplegging. Door deze vervorming kan scheurvorming ontstaan, dit komt meestal voor rondom het trapgat. Het vilt kan dus komen te vervallen en de vloer kan koud op de wand gelegd worden. De bouwdeelen worden niet aan elkaar bevestigd en deze verbinding is zo losmaakbaar.



Figuur 33 Detail vloer oplegging; Bron: Calduran

Tabel 20 Losmaakbaarheidsindex Verbinding E

Type verbinding	Score	Ambitie
Droge verbinding	1.00	1.00
Toegankelijkheid verbinding	Score	
Toegankelijkheid met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0.80	0.80
Doorkruisingen	Score	
Doorkruisingen tussen één of meerdere objecten	0.40	0.40
Vorminsluiting	Score	
Gesloten aan één kant	0.20	0.20

De verbinding heeft de geambieerde score gehaald wat te zien is in tabel 20. In theorie en in de praktijk hoeft er niets te veranderen. Het oplegvilt kan weggelaten worden daar waar het toegepast werd.

4.2.3 Kritische punten

In de vorige paragrafen is gekeken naar de verbinding tussen elementen. Er is gekeken naar alternatieve verbindingen en in sommige gevallen andere producten. De

verbindingen kunnen in de meeste gevallen en tot op zekere hoogte losmaakbaar uitgevoerd worden. In dit deel van het hoofdstuk wordt er gekeken naar de borging van de kwaliteit van deze elementen, waarbij het demontageproces en het behoud van de kwaliteit van de elementen centraal staat.

4.2.3.1 Demontageproces

Voordat losmaakbaar bouwen uitgevoerd gaat worden op de bouwplaatsen, zullen deze alternatieve verbindingen vastgelegd moeten worden in de verwerkingsvoorschriften. Men kan niet zomaar zonder garantie het bouwproces veranderen. Het bouwproces dient ten allen tijden verzekerd te zijn. Op de bouwplaats worden de verschillende producten en elementen volgens bestaande verwerkingsvoorschriften gemonteerd. Voor elk bouwdeel zijn verwerkingsvoorschriften beschreven.

Het aanpassen van de verwerkingsvoorschriften is ook nodig voor de demontage. Er moet vastgelegd worden hoe demontabel gemonteerd dient te worden en vervolgens hoe het gedemonteerd kan worden. Het wordt dus zaak om de verwerkingsvoorschriften aan te passen naar losmaakbare verbindingen en vervolgens de demontage voorschriften hieraan toevoegen. In bijlage VI zijn verwerkingsvoorschriften geanalyseerd op de losmaakbaarheid. Ook is er in bijlage VI gekeken naar het gevelelement, benoemd in paragraaf 4.2.2.1. Hier is gekeken naar hoe deze verbinding veranderd zal moeten worden om hier een losmaakbare verbinding van te maken.

4.2.3.2 Kwaliteitsborging

Indien er in de nabije toekomst volledig losmaakbaar gebouwd gaat worden, zal er een economisch model moeten zijn waarin geld wordt verdiend maar waar tegelijkertijd de kwaliteit van de producten gewaarborgd gaat worden. De kwaliteitsborging is van belang omdat er op dit moment nog niet gezegd kan worden wat de regelgeving is als de huizen, met een levensduur van 75 jaar, gedemonteerd gaan worden. Om deze reden zal er een kwaliteitscontrole en eventuele opwaardering van de elementen benodigd zijn tegen de tijd dat de elementen vrijkomen.

Om antwoord te geven op de vraag "Hoe borg je de kwaliteit van een tweedehands circulair product?" is er onderzoek gedaan naar verschillende economische modellen, onder andere naar het concept van Thomas Rau "Van bezit naar gebruik", toegelicht in bijlage VI. Om een economisch model te combineren met de kwaliteitsborging van de materialen is er uiteindelijk voortgeborduurd op de Wet Kwaliteitsborging. Hier is een SWOT-analyse van gemaakt. Een SWOT-analyse gaat over de interne sterktes en zwaktes en in de omgeving de kansen en bedreigingen. Op basis van zo'n SWOT-analyse kan de strategie worden bepaald.

Wet Kwaliteitsborging

Bewoners en gebruikers willen kwalitatief goede gebouwen en de overheid wil meer toezicht en controle in de bouw, zodat bouwers zich aan de geldende kwaliteitseisen houden. Daarom is de Wet Kwaliteitsborging, ook wel WKB, in het leven geroepen. In deze wet wordt bewezen dat het gebouw volgens de eisen is gebouwd, waar onafhankelijke kwaliteitscontroleurs, zogeheten kwaliteitsborgers, op toezien. (Rijksoverheid, 2021)

De informatie die benodigd is voor demontabel bouwen, bestaat uit hoeveelheden en technische eisen, waarvan de technische eisen gecontroleerd dienen te worden door de kwaliteitsborgers en dus bekend zijn. Als deze informatie vanaf 1 januari 2022 al bewezen

en beschikbaar gesteld moet worden, kan daar ook een extra stap in gezet worden en informatie over de elementen in een gebouw opvraagbaar maken. Door deze opvraagbaarheid kan er ook daadwerkelijk een tweede leven gegeven aan de demontabele elementen. Als het huis aan het einde van zijn levensduur gedemonteerd wordt, kunnen deze onderdelen terug verkocht of teruggegeven worden aan fabrikanten, waardoor er een soort statiegeld ontstaat op de bouwonderdelen van huizen. De eigenaar moet wel weten wat er aanwezig is in het gebouw. Hier kan het materialenpaspoort voor dienen, toegelicht in hoofdstuk 5, daarnaast zullen verwerkingsvoorschriften opvraagbaar moeten zijn over hoe de demontage gewaarborgd kan worden. Het gevaar van dit model is dat de leveranciers en fabrikanten over vijftig à vijfenzeventig jaar nog zullen moeten bestaan en er moet worden gekeken hoe de kwaliteit van de producten gewaarborgd gaat worden. Dit kan bijvoorbeeld door een ingangscontrole bij de fabriek, die het product beoordeelt en naar aanleiding van die beoordeling een bedrag zal uitkeren aan de verkoper van het product.

Tabel 21 SWOT-analyse kwaliteitsborging

Wet Kwaliteitsborging	
Strengths	Weaknesses
De informatie die benodigd is wordt allemaal al verzameld, er dient alleen nog een plek, zoals een gemeente, te zijn waar dit opvraagbaar is. Vervolgens kan het product terug geleverd worden aan de fabrikant.	Bestaan dezelfde fabrikanten nog als het huis gedemonteerd wordt.
Opportunities	Threats
Merkonafhankelijke terugname door fabrikanten door middel van een ingangscontrole.	Ingangscontrole duurder dan het produceren van een nieuw element, door missen van leverancier specifieke informatie.

De bedreiging die beschreven staat in de SWOT-analyse in tabel 21, kan worden weggelaten door informatie meer te gaan delen.

4.2.3.3 Traceerbaarheid elementen

Informatie moet bekend zijn om een product op te waarderen, is de conclusie die volgt uit paragraaf 4.2.3.2. Deze informatie wordt deels al omsloten door de Wet Kwaliteitsborging, maar er betreft ook specifieke informatie beschikbaar te zijn. Welke informatie benodigd is om over vijftig jaar de huidige elementen op te waarderen, is lastig te voorspellen. Dit komt doordat er niet bekend is wat de regelgeving is tegen die tijd.

Door verschillende kennissessies bij te wonen over traceerbaar bouwen, is er enig inzicht gekomen welke informatie bekend dient te zijn. Voor een kanaalplaatvloer is dit bijvoorbeeld de wapening, de betonsterkte, maar ook op welke dag deze beton gestort is, is van belang. Deze specifieke informatie ontsluiten in de Wet Kwaliteitsborging is niet mogelijk, daarom zal er een andere manier moeten komen.

Fabrikanten zullen deze informatie zelf moeten ontsluiten en een manier moeten vinden om deze informatie in te zien op het moment dat een element terugkomt in de fabriek.

4.2.4 Conclusie

Er is in deze paragraaf gekeken naar de verbindingen tussen de elementen en op welke manier deze moeten veranderen om losmaakbaar bouwen mogelijk te maken. Ook is er gekeken naar de kritische punten die bij losmaakbaar bouwen naar voren komen. Zo is er gekeken naar het demontageproces van de verschillende elementen, de kwaliteitsborging is naar voren gekomen en er is gekeken naar de ontsluiting van de informatie. Wat vooral uit deze paragraaf blijkt, is dat de regelgeving, waaronder ook de verwerkingsvoorschriften worden verstaan, aangepast zullen moeten worden. Er is antwoord gegeven op de vraag "Hoe wordt de kwaliteit van een tweedehands circulair product geborgd?" Het antwoord daarop is dat hier vooral informatie voor beschikbaar dient te zijn. De elementen zullen moeten voldoen aan de dan geldende eisen en daar zal een opwaardering voor nodig zijn. Om deze opwaardering uit te voeren zal er een ingangscntrole moeten zijn bij de betreffende fabriek, maar er zal ook informatie beschikbaar voor moeten zijn. De Wet Kwaliteitsborging is al een begin met informatie vastleggen, maar deze informatie moet ergens opvraagbaar worden, zowel intern in de fabriek als bijvoorbeeld bij een gemeente. Voor de gehele uitwerking van de losmaakbaarheid zie bijlage VI.

5

H5 – Dossiervorming

In dit hoofdstuk wordt er antwoord gegeven op de laatste deelvraag binnen dit onderzoek: “Welke maatregelen en processen zijn benodigd voor het implementeren van circulariteit binnen Reinbouw, een middelgroot bouwbedrijf?”. In de toekomstige circulaire economie worden materialen en grondstoffen keer op keer opnieuw gebruikt. Een kanaalplaat wordt eerst in huis A toegepast en als het tijd is om huis A te demonteren, kan diezelfde kanaalplaat in huis B worden toegepast, mits deze de juiste eigenschappen bezit. Er moet echter wel bekend zijn dat in huis A een kanaalplaat ligt met X en Y eigenschappen. Deze informatie kan beschikbaar worden door het vast te leggen in diverse dossiers en vervolgens verstrekt worden.

5.1 Materialenpaspoort

Een eerste stap in de dossiervorming is het vastleggen van de materialen die worden toegepast in de bouw. Hier wordt gesproken over een materialenpaspoort. Het is de bedoeling dat elke woning of utiliteitsgebouw een eigen materialenpaspoort krijgt. Zo is inzichtelijk waaruit de gebouwen bestaan en welke materialen te hergebruiken zijn.

Een materialenpaspoort kan zelf gemaakt worden, maar er kan ook gebruik gemaakt worden van bestaande initiatieven en platformen. Een van deze bestaande platformen is Madaster.



Figuur 34 Illustratie materialenpaspoort

5.1.1 Madaster

Madaster is binnen de bouw al een bekende partij. In veel gevallen wordt Madaster en een materialenpaspoort in één en dezelfde zin gebruikt, want het is bijna niet los van elkaar te zien. Madaster is een online platform waarmee een materialenpaspoort van een gebouw gemaakt kan worden. Het is één van de eerste en meest bekende partijen die deze service verleent.

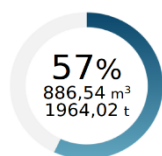
Madaster Foundation en Services



Figuur 35 Logo Madaster

Madaster streeft naar maatschappelijke impact. Om de ambitie veilig te stellen is het vanaf haar start in 2017 georganiseerd in 2 onafhankelijke organisaties: Madaster Foundation en Madaster Services. De stichting zonder winstoogmerk, Stichting Madaster Foundation, verzorgt het onafhankelijk toezicht op realisatie van de doelstelling van Madaster. De onderneming Madaster Services richt zich op het Madaster Platform, welke zij ontwikkelt, in de markt aanbiedt en beheert. In de visie van de Madaster Foundation kan afval uit de gebouwde omgeving worden geëlimineerd door

materialen een identiteit te geven middels een materialenpaspoort.



Figuur 36
Voorbeeld uit
Madaster

In het paspoort staan algemene gegevens van het bouwwerk zoals levensduur, locatie, m², energielabel en meer. Verder wordt van elk bouwdeel de gebruikte materialen gegeven. Deze worden onderscheiden in de soorten materialen; steen, glas, hout, plastic, organisch, metaal en onbekend.

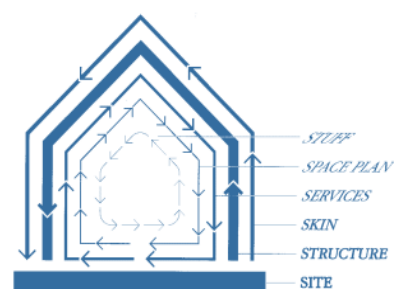
De bouwdelen worden onderscheiden in de schillen van Brand. Per schil wordt aangegeven uit welke materialen het bestaat. Hier wordt aangegeven hoeveel m³ van een bepaald materialen in het gebouwdeel zit.

Werking Madaster

Madaster is een database van materialen. Door een bestand met overeenkomende codering te uploaden in Madaster, kan Madaster de geometrische gegevens koppelen aan materialen uit deze database. Dit automatisch koppelen van materialen uit de database aan de gegevens uit het geüploade bestand noemt men verrijken.

Er zijn twee soorten bron bestanden waaruit Madaster kan verrijken, een BIM-model (IFC-bestand) en een Excel sheet welke uit de calculatie voortkomt. Voor beiden bestanden geldt dat deze middels NL/sfb codering gecodeerd moeten zijn. Madaster werkt op basis van NL/sfb, dus de bestanden die geüpload worden dienen dit ook te zijn om ze met elkaar te laten rijmen.

De database van Madaster bestaat uit materialen uit de Nationale Milieu Database (NMD), Autocad, Revit en door Madaster eigen ingevoerde exemplaren. Daarnaast kun je als gebruiker zelf materialen en producten toevoegen. Dit laatste is ook wat Reinbouw gaat doen. Reinbouw gaat een eigen materialen database opzetten, deze oplossing is echter tijdelijk. Reinbouw wordt door haar opdrachtgevers gevraagd om materialenpaspoorten te leveren aan de kopers. De huidige database in Madaster bevat onvoldoende gegevens om een compleet paspoort aan te leveren. In de toekomst wanneer het meer gereguleerd is zal er waarschijnlijk wel een algemene database komen, maar voor de paspoorten die nu gevraagd worden is dat te laat.



Figuur 37 Layers of Brand

5.1.2 Calculatie en DUNCAN

In Madaster kan een materialenpaspoort gevuld worden door een bestand te uploaden en deze te verrijken. Een voorwaarde aan het te uploaden bestand is dat deze volgens de NL/sfb codering gecodeerd is.

Reinbouw werkt met een programma genaamd DUNCAN. Het programma is gekoppeld aan een reeks van Excel sheets, uittrekstaten. Deze Excel sheets worden ingevuld aan de hand van tekeningen, indien aanwezig het bestek en de technische omschrijving. DUNCAN maakt vervolgens de koppeling met de gegevens die uit de Excel sheets komen om hier een volledige calculatie van te maken.

STABU

De calculatie wordt middels de codering STABU gecodeerd. Bij STABU worden de delen van het gebouw per soort materiaal gesorteerd. Alle werkzaamheden en materiaal gegevens welke horen bij in het geval van figuur 38, metselwerk, vallen onder code 22. Naast code 22 zijn er nog veel meer, zoals 33: dakbedekking, 36: voegvulling, 46: schilderwerk etcetera.

STABU wordt gebruikt om bestekteksten te schrijven. In het bestek wordt aan de hand van de STABU-codering beschreven wat er bij een project aan materialen wordt gebruikt, maar ook wat voor type voeg er gebruikt wordt en welke installatie er wordt toegepast.

22	METSELWERK
22.00	ALGEMEEN
22.10	FUNCTIONELE OMSCHRIJVINGEN
22.21	VERWIJDEREN AFWERKINGEN
22.22	AANSLUITINGEN EN AANHELEN
22.23	INJECTEREN
22.24	REINIGEN METSELWERK
22.31	BAKSTEEN MET MORTEL
22.32	KALKZANDSTEEN MET MORTEL
22.33	BETONSTEEN MET MORTEL
22.34	NATUURSTEEN MET MORTEL
22.35	GLAZEN BOUWSTEEN MET MORTEL
22.36	LEEMSTEEN MET MORTEL
22.41	BAKSTEEN, GELIJD
22.42	KALKZANDSTEEN, GELIJD
22.43	BETONSTEEN, GELIJD
22.44	GIPSBLOKKEN, GELIJD
22.51	BAKSTEEN, DROOG GESTAPELD
22.52	BETONSTEEN, DROOG GESTAPELD
22.55	GLAZEN BOUWSTEEN, DROOG GESTAPELD
22.60	VOORZIENINGEN IN METSELWERK
22.71	AFKWAST-, VERTIN- EN RAAPLAGEN
22.72	VOEGWERK
22.81	WAPENING
22.82	VERANKERINGEN EN OPVANGCONSTRUCTIES
22.83	ISOLATIE
22.84	VOCHTKERINGEN
22.85	KANAALTOEBEHOREN EN VENTILATIEVOORZIENINGEN
22.86	INFORMATIEPLAAT/-ELEMENT

Figuur 38 Voorbeeld STABU

NL/sfb

De calculatie werkt dus op basis van STABU, maar om met Madaster te werken dient het op basis van NL/sfb tabel 1 te functioneren. Waar STABU gebruik maakt van codes op basis van materiaal, werkt NL/sfb op basis van elementen. Het betreft hier tabel 1 van de NL/sfb, de NL/sfb bestaat namelijk uit 5 tabellen;

- Tabel 0: Een getal van twee cijfers met eventueel een puntnummer. De tabel omvat de gebouwde omgeving, bestaande uit bouwtypen, woongebieden (land-provincie-stad) en ruimte (woonkamer-keuken). Voorbeeld: 81 = woningen.
- Tabel 1: Een getal tussen haakjes, bestaande uit twee cijfers met eventueel een puntnummer. Deze tabel omvat functionele delen (elementen) van gebouwen. Voorbeeld: (21) = buitenwanden
- Tabel 2 en 3: Een hoofd- en kleine letter, soms gevolgd door een cijfer. Deze tabellen worden veelal gecombineerd gebruikt. In tabel 2 is de constructievorm ondergebracht, in tabel 3 het productiemiddel. Voorbeeld: Fg2 = Baksteen (F = Stenen en g2 = Gebakken klei).
- Tabel 4: Een hoofdletter tussen haakjes, soms gevolgd door een cijfer en een kleine letter. Deze tabel omvat abstracte begrippen zoals activiteiten en eigenschappen. Voorbeeld: J6 = Trillingen

De circulaire woning van dit moment

Totale codering:

NL/Sfb			
81	(21)	Fg2	(J6)

NL/sfb implementeren in DUNCAN

De calculatie dient ook middels NL/sfb te werken, wil deze op Madaster en het BIM-model aansluiten. Hiervoor diende stappen gezet te worden. De eerste stap hierin was in DUNCAN een rij toe te voegen, waar per regel (3150 stuks) handmatig de NL/sfb codering uit tabel één kan worden toegevoegd. Als er vervolgens een calculatie uitgedraaid wordt, staat de NL/sfb codering erbij. Daarnaast is DUNCAN aangepast, zodat dit programma ook op NL/sfb codering gesorteerd en gestuurd kan worden.

Omdat NL/sfb op een hoger elementenniveau regelt en rekent, kan er op een hoger abstractieniveau gekeken worden. In plaats van het uitzoeken en aangeven van elk los kozijn en geveldeel, kan er gestuurd worden op het aantal m² gevel.

Het calculeren met de NL/sfb, op dit hoger abstractieniveau, kan alleen bij het toepassen van de conceptwoning. Dit komt omdat van de conceptwoning de basis bekend en uitgerekend is. De basis tussenwoning van 4,8 m bij 8,4 m is geheel berekend, wanneer deze vergroot of verkleind wordt, kan gebruikt gemaakt worden van het NL/sfb systeem waarbij DUNCAN middels de vooraf berekende verhoudingen de nieuwe calculatie kan uitdraaien.

5.1.3 BIM

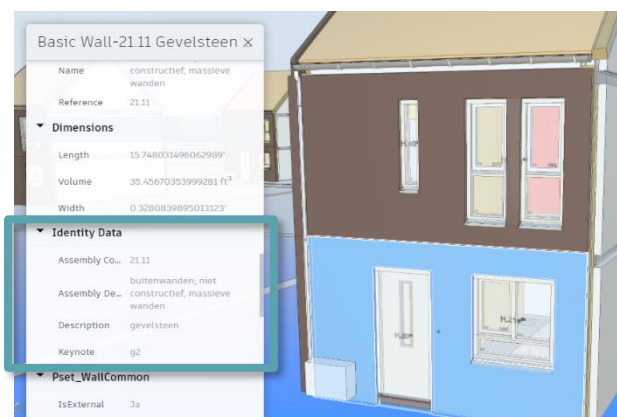
Naast de calculatie kan Madaster dus ook gevuld worden door het uploaden van het BIM-model. Het BIM-model, ook wel bouw-informatiemodel, is een digitaal 3D-model van een woning of gebouw. Een woning wordt uitgetekend in een tekenprogramma als Revit, vervolgens worden deze bestanden in BIM360 geladen om samen een woning te vormen. In BIM360 zijn gegevens aan de elementen gekoppeld. Deze gegevens bevatten materiaal, geometrische kenmerken en de locatie waar het element zich bevindt.



Figuur 39 Voorbeeld weergave BIM-model

Maar waar het bij het invoeren in Madaster om gaat is de NL/sfb codering. Ook deze staat bij de eigenschappen van een element. In figuur 40 is een screenshot van het BIM-model te zien.

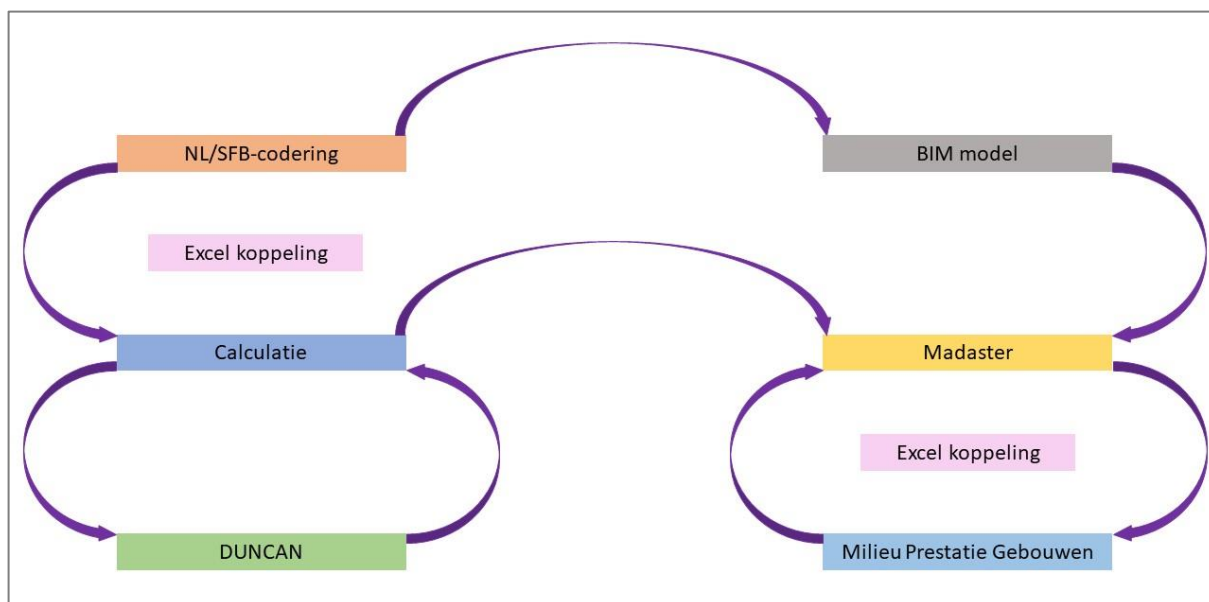
Reinbouw is samen met Bureau BIM bezig geweest de NL/sfb codering in de modellen te implementeren. De codering uit de calculatie dient overeen te komen met deze uit het model. Anders kloppen de geüploade gegevens in Madaster ook niet.



Figuur 40 Screenshot BIM-model

5.1.4 Resumé

Om de combinatie met de calculatie, Madaster en de MPG te maken, is er een calculatieblad gemaakt waar de NL/sfb-codering in geïmplementeerd is. In dit calculatieblad kunnen de afmetingen van de woning neergezet worden, die de combinatie maken met de NL/sfb-codering. Vanuit de NL/sfb-codering wordt de koppeling gemaakt met de calculatie, die voor de conceptwoning reeds bekend is. Vanuit de calculatie en de NL/sfb-codering, kan Madaster gevuld worden. Madaster maakt dan een materialenpaspoort, waardoor er zichtbaar wordt waar de materialen zich bevinden, maar ook vanuit Madaster kan de MPG-berekening gemaakt worden door een erkend bedrijf. Zo is de koppeling voor het bedrijf Reinbouw bruikbaar, zij maken niet zelf de MPG-berekening normaliter, maar is er wel zicht op de MPG-score van de gebouwen, ruim voordat deze gebouwen uitgewerkt zijn in tekeningen en calculaties en kan hierop gestuurd worden. Te zien in figuur 41 is de samenwerking tussen de programma's.



Figuur 41 Implementatie binnen Reinbouw

5.2 Wet kwaliteitsborging - Opleverdossier

1 januari 2022 komt de Wet Kwaliteitsborging. Bij kleinere bouwwerken houdt niet langer de gemeente maar private organisaties de controles binnen de bouw. De kwaliteitsborger toetst van het ontwerp tot de oplevering alle plannen en werkzaamheden en zorgt zo dat de opdrachtgever de gevraagde kwaliteit geleverd krijgt. Om het te waarborgen legt de kwaliteitsborger een bouwdoossier aan. Dit bouwdoossier bevat tekeningen, adviesrapporten, keuringsrapporten en certificaten. Daarnaast moet de aannemer aantonen dat de werkzaamheden vakkundig zijn uitgevoerd. De kwaliteitsborger controleert of voldaan wordt aan het Bouwbesluit en controleert bij oplevering.

Naast de kwaliteitsborger wordt ook het opleverdossier geïntroduceerd. De aannemer moet bij opleveren een opleverdossier aan de consument overhandigen, ook wel het consumentendossier. In het opleverdossier wordt volledig inzicht geboden in de nakoming van de overeenkomst. De nieuwe wet zegt niet precies welke en hoe je deze informatie als aannemer concreet moet afleveren in het opleverdossier. Wel moet het dossier in ieder

geval tekeningen en berekeningen bevatten van het tot stand gebrachte bouwwerk en bijbehorende installaties, een beschrijving van de toegepaste materialen en installaties en gegevens die nodig zijn voor het gebruik en onderhoud van het bouwwerk. (Laan, 2020)

De aannemer is eindverantwoordelijk voor het vullen en aanleveren van het opleverdossier, maar kan daarbij samenwerken met projectontwikkelaars, leveranciers en onderaannemers. Bij nieuwbouw van een woning overhandigt de aannemer het consumentendossier aan de opdrachtgever op het moment dat het werk gereed is. Hierna kan bij elke nieuwe oplevering van een aangenomen werk het dossier worden aangevuld door de voor dat werk verantwoordelijke aannemer. Bij bijvoorbeeld verbouw, renovatie en/of onderhoud van een woning, is de aannemer van dit werk verantwoordelijk voor het vullen van het dossier voor dat specifieke werk (NEN, 2019). In bijlage VII is het opleverdossier in zijn geheel toegelicht, inclusief wet- en regelgeving.

Het opleverdossier is in dit onderzoek interessant omdat de gegevens van een woning bij de opdrachtgever, de koper, moeten komen. Het opleverdossier kan een middel zijn om de gegevens over te brengen. Denk hierbij aan het materialenpaspoort, maar ook wanneer een woning demontabel verkocht wordt, moet bij de koper bekend zijn hoe deze gedemonteerd kan worden.

Oplever USB-stick Reinbouw

In de huidige situatie, zonder WKB en opleverdossier, krijgen de kopers bij Reinbouw bij oplevering een oplever USB-stick. Deze opleverstick bevat tekeningen, contracten, etcetera en zou dus een goede basis zijn voor het uiteindelijke opleverdossier van de WKB. De inhoud van deze opleverstick kan voldoende zijn, mits het zo is afgesproken. De volledige inhoud van de huidige opleverstick is te vinden in bijlage VII.

Voor de inhoud van het opleverdossier is een praktijk richtlijn in het leven geroepen, de NPR8092. Dit is een richtlijn en geen regelgeving. Intern is bepaald dat wat het consumentendossier betreft, niet volgens de NPR8092 gewerkt gaat worden. Hierom is het niet nodig deze volledig uit te werken. In plaats van de NPR 8092 zal Reinbouw verder gaan met het gebruik van de opleverstick in haar huidige vorm. De opleverstick welke Reinbouw levert aan haar kopers, is iets wat Reinbouw zelf doet. De keuze om deze in de huidige vorm toe te passen voor het consumentendossier staat los van het opleverdossier algemeen. Het toepassen van de opleverstick is iets wat Reinbouw specifiek doet, het staat los van andere bouwers, deze kunnen op een andere manier omgaan met het opleverdossier en bijvoorbeeld wel de NPR8092 volgen.

5.3 Resumé

In dit hoofdstuk is er antwoord gegeven op de vraag “Welke maatregelen en processen zijn benodigd voor het implementeren van circulariteit binnen Reinbouw, een middelgroot bouwbedrijf?” In de eerste paragraaf is laten zien hoe de processen binnen Reinbouw werken en hoe deze nu gecombineerd worden met elkaar. In de tweede paragraaf is er gekeken hoe de informatie overgeleverd kan worden naar de kopers. Zo is er voor Reinbouw inzichtelijk welke maatregelen er in de nabije toekomst benodigd zijn voor de circulaire economie. Voor de gehele uitwerking van deze processen, zie bijlage VII.

6

H6 - Conclusie

In dit afstudeeronderzoek is er antwoord gegeven op de vraag "Wat zijn de maatregelen voor het maximaal circulair maken van de conceptwoning binnen de huidige bouwsystematiek?". Middels vooraf opgestelde deelvragen is deze hoofdvraag beantwoord. Hierbij is gekeken naar het meten van circulariteit en de circulariteit van de woning in basis. Ook is de noodzaak van circulair bouwen aangekaart voor Reinbouw en Nederland in het algemeen. Na het beantwoorden van deze vragen is gezocht naar meer circulaire alternatieven. Hierbij is een tweedeling ontstaan wat betreft het begrip circulariteit, waarbij biobased bouwen en losmaakbaar bouwen worden onderscheiden. Er is voor beide onderdelen kwantitatief onderzoek gedaan door middel van de MPG-berekening en de losmaakbaarheidsindex.

De biobased woning die in dit onderzoek is uitgewerkt met een MPG-score van €0.39, ten opzichte van €0.53 van de huidige woning, kan worden gezien als toevoeging op de huidige systemen, maar geen vervanging. Mede door de grote vraag naar hout(bouw) is hier een schaarste in aan het ontstaan met als gevolg wisselende houtprijzen. Over deze wisselende prijzen zullen goede afspraken gemaakt moeten worden met een vaste partij. Een vaste partij hiervoor kan Emergo zijn, mede omdat ze al een bekende partij binnen Reinbouw zijn. De Premodu woning van Emergo zou een optie all-in-one concept kunnen zijn, echter in haar huidige vorm scoort deze niet veel beter in schaduwkosten dan de kalkzandsteen conceptwoning, ook is deze Premodu woning beperkt qua indeling en grootte. Een andere partij die in de buurt komt van het onderzochte biobased alternatief is Sustainer Homes. Deze partij heeft een woning die qua indeling en uiterlijk lijkt op de huidige conceptwoning en waarvan de milieu impact dezelfde uitkomst betreft als het biobased alternatief uit dit onderzoek. Tijdens het onderzoek is hier nog geen contact mee geweest door de geringe tijd.

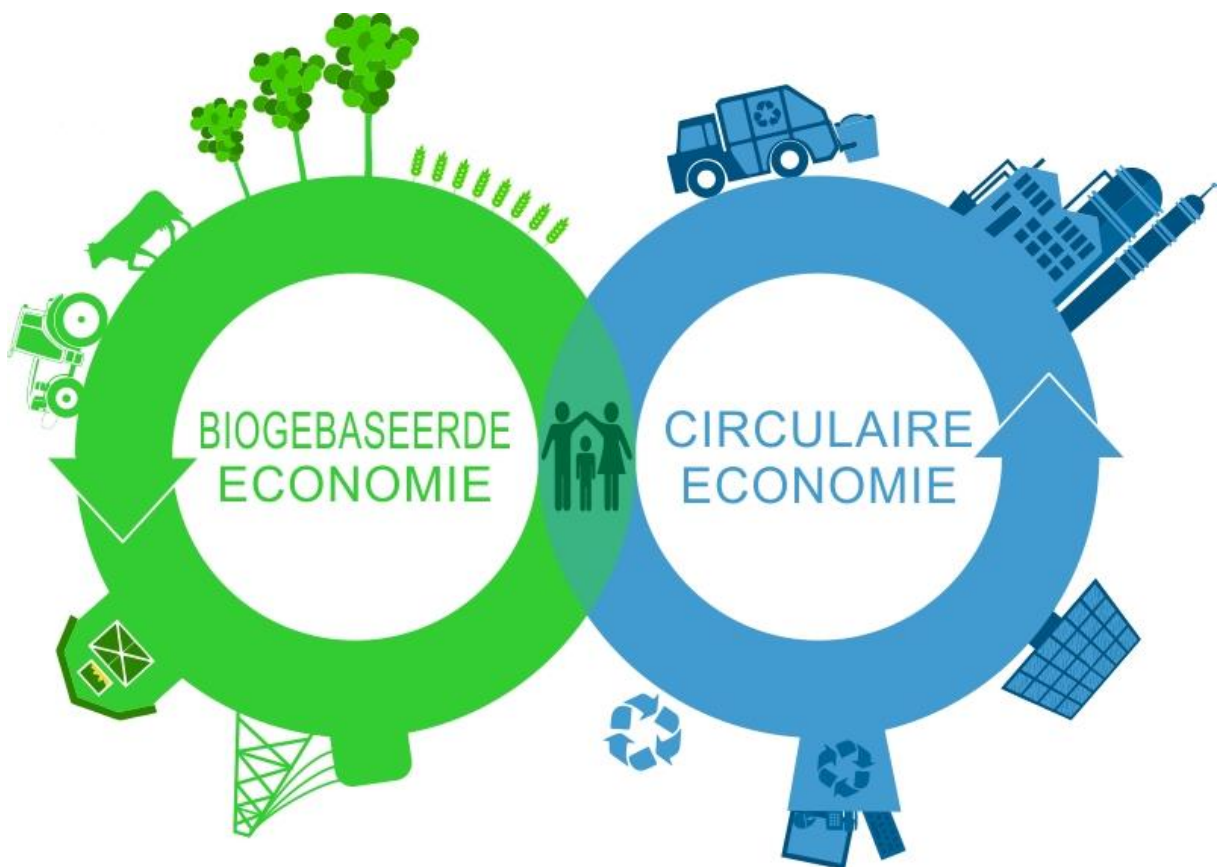
Gekeken naar de losmaakbaarheid van de conceptwoning valt er nog wat te verbeteren. Een aantal verbindingen in de woning is geanalyseerd en in de gesprekken met de leveranciers kwam naar voren dat hier wel over nagedacht wordt, maar er zijn nog geen tastbare alternatieven. Voor losmaakbaar bouwen geldt dat de goede vragen gesteld dienen te worden en door de kennis van de losmaakbaarheidsindex kunnen deze vragen nu ook gesteld worden. Zo krijgen de fabrikanten en leveranciers zelf de drive om veranderingen aan te brengen in de producten en verwerkingsvoorschriften, waardoor losmaakbaar bouwen geen vaag begrip meer blijft, maar mogelijk wordt in Nederland.

Ook geldt voor losmaakbaar bouwen dat informatie delen zeer van belang wordt. Een eerste stap hierin is het vastleggen van de materialen in een woning middels een materialenpaspoort. Kopers moeten weten wat zij, letterlijk, in huis hebben gehaald, maar ook leveranciers en fabrikanten moeten informatie hebben waar hun materialen gebleven zijn en welke eigenschappen deze materialen of elementen bevatten. Een

De circulaire woning van dit moment

koper moet over informatie de beschikken waaruit blijkt dat de woning losmaakbaar is en hoe het huis uit elkaar gehaald kan worden om hier vervolgens mee naar de fabriek te kunnen en de elementen weer in te kunnen leveren. De fabrikant moet de specifieke informatie hebben om deze elementen weer op te kunnen waarderen en her te gebruiken.

Circulair bouwen wordt niet meer de uitzondering maar de standaard, maar voordat we zover zijn moeten er dus wel nog een aantal stappen gezet worden.



Figuur 42 Combinatie biobased en circulariteit

7

H7 - Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden op basis van de bevindingen van het onderzoek aanbevelingen gedaan. De aanbevelingen zijn gericht op de vervolgstap voor Reinbouw B.V. en het circulair bouwen van de nabije toekomst.

In dit onderzoek zijn niet alle gebouwonderdelen onderzocht, hierdoor kan er nog meer bespaard worden op de schaduwkosten en CO₂-uitstoot als de overige onderdelen ook worden gewijzigd. Voornamelijk de installaties van de conceptwoning dienen te worden onderzocht, aangezien die 44% van de schaduwkosten bepalen. Daarnaast wordt er ook aanbevolen om een onderzoek te doen naar een fundering die minder milieu impact zal hebben, dit vanwege de 15% impact op de Milieuprestatie Gebouw berekening.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de bepalingmethode Milieu Prestatie Gebouwen, deze bepalingmethode is niet optimaal. Het advies is om de ontwikkelingen rond deze berekening te blijven volgen en eventueel de berekeningen opnieuw te maken indien er wijzigingen plaats vinden. Wel kan de database die achter de MPG hangt, dienen als database voor meer duurzamere alternatieven.

In dit onderzoek zijn niet alle verbindingen die van toepassing zijn op de losmaakbaarheid onderzocht, waardoor gerichte vragen daarover nog niet gesteld kunnen worden aan de leveranciers. Het advies is om hier verder onderzoek naar te doen door de overige verbindingen te analyseren.

Traceerbaarheid van losmaakbare elementen is zeer van belang, zowel waar de elementen gebleven zijn maar ook welke eigenschappen ze bezitten. Daarom is het advies om hier onderzoek naar te blijven doen en de ontwikkelingen omtrent dit onderwerp te blijven volgen.

Er zijn meer aspecten van circulariteit, zoals geen afval. Losmaakbaar bouwen is hier een begin op, maar er dient meer onderzoek gedaan te worden naar de gesloten cyclus van een circulaire economie. Het advies is om onderzoek te doen naar afvalloze verwerking van de elementen, zowel op de bouw als in de fabrieken.

Ook het scheiden van verschillende materialen in een element dient aandacht te krijgen in de toekomst. Het samenvoegen van verschillende materialen, zoals plastic en beton, kan schadelijke gevolgen hebben voor de circulariteit van een element.

Bibliografie

- Alba Concepts; W/E Adviseurs; DGBC; RVO. (2019). *Circulair Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid*.
- Beeren, M. (2020, juni 29). *Poelmann van den broek advocaten*. Opgehaald van <https://poelmannvandenbroek.nl/het-opleverdossier-werk-aan-de-winkel/>
- Bouwend Nederland. (2019). *Handvat duurzaam materiaalgebruik voor bouw- en infrabedrijven*.
- Centrum Hout. (2020). *Opslag CO2 in hout*. Opgehaald van Bereken in 2 stappen hoeveel CO2 is vastgelegd in uw houtproducten: <https://opslagco2inhout.nl/>
- de Lange, A. (2021, Maart 12). Informatie Emergo. (C. Petersen, Interviewer)
- Decker, K. d. (2013). Hoeveel CO2 kunnen we uit de atmosfeer halen als we alles uit hout bouwen? *Lowtech Magazine*.
- Durmisevic, E. (2006). *Transformable Building Structures*. Delft University of Technology.
- Europese Commissie . (2018). *Raw Materials scoreboard*.
- Fermacell voerelementen. (2020). *Systeemoplossingen voor elke vloer*. James Hardie.
- Friesland Prefab. (2021, Februari 23). *Hout Skelet Bouw*. Opgehaald van Friesland Prefab: <https://www.frieslandprefab.nl/pages/hsb-elementen>
- Hillegge, L. (2019). *MilieuKostenIndicator*. Ecochain.
- Kruseman, B. (2021, Maart 23). Losmaakbaarheid Calduran kalkzandsteen. (M. Copray, & C. Petersen, Interviewers)
- Laan, O. (2020, Januari 31). *Omgevingsweb*. Opgehaald van Omgevingsweb: <https://www.omgevingsweb.nl/nieuws/wet-kwaliteitsborging-voor-het-bouwen-hoe-ziet-het-opleverdossier-eruit/>
- Madaster. (2021). *Madaster*. Opgehaald van Madaster: <https://madaster.nl/>
- NEN. (2019). *NPR 8092*.
- Ollongren, K. (2020, september 29). Voortgang circulair bouwen, beantwoording vragen, uitvoering moties (kamerbrief).
- Rijksoverheid. (2018). *Circulaire Bouweconomie*.
- Rijksoverheid. (2021, Januari 19). *Meer toezicht in de bouw via de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen (Wkb)*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/meer-toezicht-in-de-bouw-via-de-wet-kwaliteitsborging-voor-het-bouwen-wkb>
- Rijksoverheid. (2021, Mei). *MilieuPrestatie Gebouwen - MPG*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/milieuprestatie-gebouwen>
- Schokker, M., & Oudshoorn, N. (2021). *Inspiratiegids Circulair Bouwen 2021*. Opgehaald van Merosch: www.merosch.nl
- Stichting Nationale Milieu Database. (2020). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*.

De circulaire woning van dit moment

Stichting Nationale Milieu Database. (2020). *Gids Milieuprestatie - berekeningen*.

van der Wal, T. (2021, maart 23). Demontabel bouwen; VBI kanaalplaatvloeren . (M. Copray, & C. Petersen, Interviewers)

van Heteren, J. (2021, maart 31). Informatie Prefakz. (C. Petersen, Interviewer)

Velde, O. v., & Leeuwen, M. v. (2019). *Potentie biobased materialen in de bouw*.

Wijnen, M. (2021, maart 29). Bezoek Emergo Premodu woning. (M. Copray, & C. Petersen, Interviewers)

Bijlagen

- I. Plan van aanpak
- II. Literatuurstudie
- III. Nulmeting conceptwoning
- IV. Alternatievenonderzoek
- V. Uitwerking biobased variant
- VI. Uitwerking losmaakbare variant
- VII. Circulariteit processen
- VIII. Procesbijlage

