

Afstudeerbegeleider

Joost Grintjes & Ellen Granneman
Toekomstgericht bouwen

Bedrijfsbegeleiders

Marije Sanders & Mike Janssen
Architect & Projectleider

Datum en plaats

15 juni 2023
Schaijk



TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING

Een ontwikkelend en ontwerpend onderzoek naar de betaalbaarheid van circulaire seriematige woningen

Titelpagina

Plan van Aanpak

Titel:

Ondertitel:

Afstudeeratelier:

Datum:

Versie:

Versiedatum:

Bestandsnaam:

Toekomstige Circulaire Woning

Een ontwikkelend en ontwerpend onderzoek
naar de betaalbaarheid van circulaire
seriematige woningen

Toekomstgericht Bouwen

15 juni 2023

Versie 1

15 juni 2023

Scriptie_BOUH_2151328_2151017

Student

Naam:

Adres:

Telefoonnummer:

E-mailadres:

Onderwijsinstelling:

Studierichting:

Opleidingsjaar:

Studentnummer:

Bedrijf:

Ilse van der Zanden

Rapsodieweg 37, 5245BK Rosmalen

+31 6 12360696

i.vanderzanden1@student.avans.nl

Avans Hogeschool

Bouwkunde, ADGO

2022-2023

2151017

Archifit BV

Student

Naam:

Adres:

Telefoonnummer:

E-mailadres:

Onderwijsinstelling:

Studierichting:

Opleidingsjaar:

Studentnummer:

Bedrijf:

Loïs van der Sanden

Tunnelweg 112, 6601CZ Wijchen

+31 6 38 01 18 91

la.vandersanden@student.avans.nl

Avans Hogeschool

Bouwkunde, ADGO

2022-2023

2151328

Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling

1^e afstudeerbegeleider

Naam:

Opleidingsinstituut:

Adres:

Telefoonnummer:

E-mailadres:

Joost Grintjes

Avans Hogeschool

Onderwijsboulevard 215, 5233DE 's-
Hertogenbosch

+088 525 5713

jj.grintjes@avans.nl

2^e afstudeerbegeleider

Naam:

Opleidingsinstituut:

Adres:

Telefoonnummer:

E-mailadres:

Ellen Granneman

Avans Hogeschool

Onderwijsboulevard 215, 5233DE 's-
Hertogenbosch

+088 525 8282

hm.granneman@avans.nl

Afstudeerbedrijven

Naam:
Adres:
Telefoonnummer:
E-mailadres:

Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling
Industriepark 8, 5374 CM Schaijk
+0486 461 855
info@vd-heijden.nl

Naam:
Adres:
Telefoonnummer:
E-mailadres:

Archifit BV
Industriepark 8a, 5374CM Schaijk
+0486 760 006
info@archifit.nl

Afstudeerbegeleider(s)

Naam:
Functie:
E-mailadres:
Bedrijf:

Mike Janssen
Projectleider
mjanssen@vd-heijden.nl
Van der Heijden Bouw en Ontwikkeling

Naam:
Functie:
E-mailadres:
Bedrijf:

Marije Sanders-Kortekaas
Architect
marije@archifit.nl
Archifit BV

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie "Toekomstige Circulaire Woning". De scriptie laat het proces van de ontwikkeling van de circulaire woning en de kosten ervan zien. Dit onderzoek is geschreven om te voldoen aan de eisen voor het behalen van de bachelor voor de opleiding Bouwkunde aan de Avans Hogeschool in 's-Hertogenbosch. Vanaf februari tot en met juni is er gewerkt aan deze scriptie door Ilse en Loïs, beiden studenten bouwkunde.

We hebben beiden gemerkt dat circulair bouwen een belangrijk thema gaat worden in de bouwsector. De eerdere stages die wij gehad hebben, proberen al rekening te houden met het onderwerp circulair maar weten nog niet helemaal hoe dit op te nemen in hun werkproces. Dit ervoeren wij ook met het zoeken naar een geschikt afstudeeronderwerp. Circulair spreekt ons beiden ook aan omdat wij tijdens de studie hier al kennis mee hebben mogen maken. Voor ons was dit ook het uitgangspunt om verder te kijken naar een passend onderwerp. Bij Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling en Archifit ervoeren zij hetzelfde. Beide bedrijven willen circulair bouwen opnemen in hun werkproces en ze hebben al een circulair woningbouwproject. Hierdoor hebben wij bij deze bedrijven een passend afstudeeronderwerp kunnen vinden.

De scriptie bevat veel informatie die goed aansluit bij aannemers en architecten, als ook veel onderzoek naar nieuwe materialen en de kosten hiervan. Ook sluit de scriptie goed aan bij studenten die onderzoek willen doen naar circulariteit en/of de kosten van circulair bouwen. Er is door ons al veel onderzoek gedaan naar veel aspecten op het gebied van circulariteit en hebben kosten gebruikt uit de praktijk waardoor deze heel actueel zijn. Ten slotte is de scriptie bedoeld voor onze docenten om onze ontwikkeling van de afgelopen studiejaren te laten zien.

Tijdens het schrijven van de scriptie hebben wij beiden ervaren hoe het in de praktijk werkt. We hadden een samenwerking tussen ons beiden waarin Ilse als architect functioneerde en Loïs als werkvoorbereider/bouwtechnicus. Hierdoor hebben wij veel gelijkenissen mogen ervaren van hoe het in de praktijk werkt. Ilse heeft het ontwerp uitgewerkt waarbij Loïs de voorbereiding zoals offertes aanvragen en kosten heeft gespecificeerd. Hierdoor werd er veel over en weer gespard om het onderzoek zo goed mogelijk te laten verlopen.

Ten slotte willen wij onze docenten, Joost Grintjes en Ellen Granneman, bedanken voor de feedback en medewerking aan de scriptie. Zij hebben geholpen om ons eindresultaat nog concreter te maken en hebben ons aan het denken gezet.

Daarnaast willen wij ook onze bedrijfsbegeleiders, Marije Sanders en Mike Janssen, bedanken voor alle hulp. Zij hebben ons laten ervaren hoe werken in de praktijk eraan toegaat en zij hebben geholpen om de scriptie op een hoger niveau te brengen.

Wij wensen u heel veel leesplezier toe!

Ilse van der Zanden & Loïs van der Sanden

's-Hertogenbosch, 15 juni 2023

Samenvatting

De overheid heeft als doelstelling om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren (Rijksoverheid, z.d.). Over minder dan 30 jaar moet de bouwsector dan ook volledig circulair zijn. Bij Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling en Archifit B.V. merken ze allebei dat door de prijsstijgingen de bouwmaterialen veel duurder worden. Tegelijkertijd moeten de woningen veel duurzamer en meer met het oog op circulair gebouwd worden. Het is lastig om samen met opdrachtgevers of projectontwikkelaars tot een goede combinatie te komen waarin beide aspecten goed aan bod komen.

Uit onderzoek is gebleken dat het verhogen van het niveau van circulariteit zorgt voor een substantiële kostenverhoging. Na onderzoek van Alba en Copper8 (Circulaire handleiding, 2023) blijkt ook dat de investeringskosten voor een circulair gebouw minstens 14 procent hoger zijn dan voor traditionele bouw. Uit deze probleemstelling is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe ziet de circulaire seriematige woning eruit, terwijl de bouwkosten van deze woning ten opzichte van de bouwkosten van een huidige circulaire woning zo veel mogelijk reduceren?

Uit het kostenonderzoek van de projecten Den Hoek in Helvoirt en het Venster van Made blijkt dat de circulaire woning met een BCI-score van 56 procent 27,8 procent duurder is dan de traditionele woning van Archifit en Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling.

Het doel van het onderzoek is om een circulaire woning te ontwikkelen die toepasbaar is in de seriematige woningbouw waarbij de bouwkosten van deze woning dicht bij de kosten van traditionele woningbouw liggen. De woning heeft minimaal een BCI-score van 60 procent. Hiermee voldoet de woning aan de toekomstige eisen.

Aan de hand van een literatuurstudies, casestudy, interviews en een ontwerpstudie wordt er antwoord gegeven op de hoofdvraag. Aan de hand van het Programma van Eisen en de opgestelde circulaire visie is de Toekomstige Circulaire Woning ontworpen. De toekomstige circulaire woning heeft door het unieke ontwerp en de innovatieve materialen een BCI-Score van 69 procent weten te behalen.

Ook is de Toekomstige Circulaire Woning betreffend de totale bouwkosten gedaald, terwijl de bouwkosten per BVO gestegen zijn. Echter is circulair bouwen ook het reduceren van het gebruik van nieuwe materialen, waardoor kleiner bouwen ook onderdeel is van circulair bouwen. Hierdoor zijn de bouwkosten per m² BVO minder belangrijk dan de totale bouwkosten van de TCW. Het is dus mogelijk om een circulaire woning te ontwikkelen die betreffende de bouwkosten dicht bij traditioneel bouwen ligt. Er is namelijk een positief verschil van 1,3 procent.

In dit onderzoek zijn de installaties buiten beschouwing gelaten. Deze zijn overgenomen uit het project van Den Hoek in Helvoirt. Echter zou vervolgonderzoek kunnen kijken of het mogelijk is om de TCW passief te maken waardoor er geen installaties nodig zijn in de woning. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de bouwkosten van de TCW omlaag gaan aangezien de installaties een groot deel uitmaken van de bouwkosten, namelijk 29,8 procent van de totale bouwkosten. De Rc-waardes van de TCW zijn namelijk zodanig hoog dat de woning dicht bij een passief huis komt. Hiermee zal niet alleen de BCI-score verder omhoog gaan, maar zullen de kosten nog dicht bij een traditioneel huis komen te liggen. Ook komen we dicht bij het doel van de overheid om in 2050 volledig circulair te zijn.

Summary

The government's goal is to realize a fully circular economy by 2050 (Rijksoverheid, nd). The construction sector must therefore be fully circular in less than 30 years. The construction company Van der Heijden Bouw & Ontwikkelnig and Archifit BV, have both noticed that building materials are becoming much more expensive due to the price increases. At the same time, the homes must be built more sustainable and with a greater view of circularity. It is difficult to compromise on a good combination with clients or project developers in which both aspects are properly addressed.

Research has shown that increasing the level of circularity leads to a substantial cost increase. Research by Alba and Copper8 (Circulaire handleiding, 2023) also shows that the investment costs for a circular building are at least 14 percent higher than for traditional construction. Based on this problem definition, the following main question has been formulated:

What does the circular serial home look like, while the construction costs of this home are reduced as much as possible compared to the construction costs of a current circular home?

The cost research of the projects Den Hoek in Helvoirt and the Venster van Made shows that the circular home with a BCI score of 56 percent is 27,8 percent more expensive than the traditional home of Archifit and Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling.

The aim of the research is to develop a circular home that can be used in serial housing, where the construction costs of this home are closer to the costs of traditional housing. The house has a minimum of 60 percent on the BCI score, which means that the house meets future requirements.

Based on a literature study, case study, interviews and a design study, an answer is given to the main question. The Future Circular Home has been designed on the basis of the program of requirements and the circular vision that has been drawn up. Thanks to its unique design and innovative materials, the future circular home has achieved a BCI Score of 69 percent.

The Future Circular House with regard to the total construction costs has also decreased, while the construction costs per GFA have increased. However, circular construction also means reducing the use of new materials, so smaller construction is also part of circular construction. As a result, the construction costs per m² GFA are less important than the total construction costs of the TCW. It is therefore possible to develop a circular home that is closer to traditional construction in terms of construction costs. There is a positive difference of 1,3 percent.

The installations are not considered in this study. These have been taken over from the Den Hoek project in Helvoirt. However, follow-up research could investigate whether it is possible to make the TCW passive so that no installations are required in the home. This could reduce the construction costs of the TCW as the installations make up a large part of the construction costs, namely 29.8 percent of the total construction costs. The Rc values of the TCW are so high that the house comes close to a passive house. This will not only further increase the BCI score but will bring the costs even closer to a traditional house. We are also getting closer to the government's goal of being fully circular by 2050.

Inhoudsopgave

TITELPAGINA	1
PLAN VAN AANPAK.....	1
STUDENT	1
STUDENT	1
1 ^E AFSTUDEERBEGELEIDER	1
2 ^E AFSTUDEERBEGELEIDER	1
AFSTUDEERBEDRIJVEN	2
AFSTUDEERBEGELEIDER(S)	2
VOORWOORD	3
SAMENVATTING.....	4
SUMMARY	5
INHOUDSOPGAVE	6
1. FIGUREN- EN TABELLENLIJST.....	8
2. AFKORTINGENLIJST.....	9
3. BEGRIPPENLIJST.....	10
4. INLEIDING.....	12
4.1 AANLEIDING.....	12
4.2 PROBLEEMSTELLING.....	12
4.3 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS.....	13
4.4 DOELSTELLING	13
4.5 ONDERZOEKSVRAGEN	14
4.5.1 Hoofdvraag.....	14
4.5.2 Deelvragen	14
5. METHODOLOGIE.....	15
6. ONDERZOEKSRESULTATEN	17
6.1 CIRCULARITEIT BIJ DE TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING.....	17
6.1.1 <i>Circulair bouwen in een circulaire economie.....</i>	17
6.1.2 <i>Duurzaamheidsaspecten bij de Toekomstige Circulaire Woning</i>	18
6.1.3 <i>Materialen.....</i>	18
6.1.4 <i>Building Circularity Index.....</i>	19
6.1.5 <i>Visie VDH en Archifit.....</i>	19
6.1.6 <i>Circulaire visie voor de Toekomstige Circulaire Woning.....</i>	19
6.2 TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING ALS SERIEMATIGE WONING	20
6.2.1 <i>Seriematige woningbouw betekenis</i>	20
6.2.2 <i>Circulaire woning van project Den Hoek in Helvoirt.....</i>	20
6.3 CIRCULAIRE METHODE OM DE TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING TE BOUWEN.....	22
6.4 MATERIALEN TOEGEPAST IN DE TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING	24
6.5 PROGRAMMA VAN EISEN	20
6.6 ONTWERP VAN DE TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING	29
6.6.1 <i>Circulaire aanpak ontwerp TCW.....</i>	29
6.6.1.1 Circulair detailleren	31
6.6.2 Natuurinclusief.....	31
6.6.3 Nul-op-de-Meter	32
6.6.4 TCW ontwerp.....	32
6.7 KOSTEN.....	35

6.7.1	<i>Verschil bouwkosten</i>	35
6.7.2	<i>Bouwkosten per m² TCW</i>	37
6.7.3	<i>Bouwkostenbegroting</i>	37
7.	CONCLUSIE	39
7.1	TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING.....	39
7.2	BOUWKOSTEN TOEKOMSTIGE CIRCULAIRE WONING	39
7.2.1	<i>Bouwkosten per m² BVO TCW</i>	39
7.2.2	<i>Bouwkosten TCW</i>	42
8.	DISCUSSIE	43
8.1	VALIDITEIT	43
8.1.1	<i>Indruksvaliditeit</i>	43
8.1.2	<i>Inhoudsvaliditeit</i>	44
8.1.3	<i>Begripsvaliditeit</i>	44
8.1.4	<i>Interne validiteit</i>	44
8.2	INTERPRETATIE RESULTATEN	44
8.3	BEPERKINGEN	44
8.4	IMPLICATIES	45
8.5	SUGGESTIES	45
9.	AANBEVELINGEN	46
9.1	BEGANE GRONDVLOER	46
9.2	DAKBEDEKKING.....	46
9.3	BEGANE GRONDVLOER EN DAKBEDEKKING	47
9.4	TCW ALS SERIEMATIGE WONING	47
10.	LITERATUURLIJST	48
BIJLAGEN		53

1. Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1: Niveaus van dit onderzoek	12
Figuur 2: SDG's, SDG Nederland	13
Figuur 3: Relatieschema deelvragen.....	14
Figuur 4: Relatieschema onderzoeksvragen.....	14
Figuur 5: Uitwerkingsproces, I. van der Zanden & L. van der Sanden	17
Figuur 6: Circulaire economie op 4 manieren, PBL.....	17
Figuur 7: Shearing Layers of Brand	18
Figuur 8: Opbouw BCI, L. van der Sanden	19
Figuur 9: Ontwikkeling Programma van Eisen, L. van der Sanden	20
Figuur 10: Programma van Eisen TCW, L. van der Sanden	21
Figuur 11: 10R-ladder, I. van der Zanden	29
Figuur 12 TCW Begane grond, (I van der Zanden, 2023).....	33
Figuur 13 TCW 1e verdieping, (I van der Zanden, 2023)	33
Figuur 14 TCW 2e verdieping, (I van der Zanden, 2023)	33
Figuur 15 TCW Noordgevel, (I van der Zanden, 2023)	34
Figuur 16 TCW Zuidgevel, (I van der Zanden, 2023)	34
Figuur 18: Verschil bouwkosten per woning, L. van der Sanden	35
Figuur 17: Verschil bouwkosten per m ² , L. van der Sanden	35
Tabel 1: Afkortingenlijst	9
Tabel 2: Begrippenlijst	10
Tabel 3: Onderzoeksmethode circulair onderzoek.....	15
Tabel 4: Onderzoeksmethode circulair VDH en Archifit.....	15
Tabel 5: Onderzoeksmethode seriematige woningbouw.....	15
Tabel 6: Onderzoeksmethode bouwmethoden.....	15
Tabel 7: Onderzoeksmethode materialen	16
Tabel 8: Onderzoeksmethode Programma van Eisen.....	16
Tabel 9: Onderzoeksmethode ontwerp.....	16
Tabel 10: Onderzoeksmethode verschil bouwkosten	16
Tabel 11: Onderzoeksmethode bouwkosten.....	16
Tabel 12: Circulaire ontwerpstrategieën, I. van der Zanden	18
Tabel 13: Overeenkomsten DHH met visie, L. van der Sanden	21
Tabel 14: Criteria bouwmethoden, L. van der Sanden	22
Tabel 15: Multicriteriatabel bouwmethoden, L. van der Sanden	23
Tabel 16: Criteria materialen, L. van der Sanden	24
Tabel 17: Materialen Toekomstige Circulaire woning, I. van der Zanden	25
Tabel 18: Bouwkosten inclusief inflatie, L. van der Sanden	36
Tabel 19: Bouwkosten per m ² of m ¹ TCW, L. van der Sanden	37
Tabel 20: Onderdelen bouwkostenbegroting TCW, L. van der Sanden	37
Tabel 21: Vergelijking bouwkosten per m ² , L. van der Sanden	39
Tabel 22: Bouwkosten per m ² gevel, L. van der Sanden.....	40
Tabel 23: Verschil bouwkosten in %, L. van der Sanden.....	40
Tabel 24: Verschil bouwkosten gevel %, L. van der Sanden.....	41
Tabel 25: Bouwkosten met inflatie per BVO, L. van der Sanden.....	42
Tabel 26: Verschil bouwkosten totaal, L. van der Sanden	42
Tabel 27: Verschil bouwkosten per BVO, L. van der Sanden.....	42
Tabel 28: Mixed-methods, L. van der Sanden	43
Tabel 29: Begane grondvloer aanpassing, L. van der Sanden.....	46
Tabel 30: Dakpannen aanpassing, L. van der Sanden	46
Tabel 31: Overzicht besparingen, L. van der Sanden	47
Tabel 32: Bouwkosten verschil na aanpassing, L. van der Sanden	47

2. Afkortingenlijst

Tabel 1: Afkortingenlijst

Afkorting	Definitie
BCI	Building Circularity Index
BENG	Bijna Energieneutrale Gebouwen
BIM	Building Information Model
CE	Conformité Européenne
CGR	Circularity Gap Report
CLT	Cross-Laminated Timber
CSC	Concrete Sunstainability Council
DCGB	Dutch Green Building Council
DHH	Den Hoek in Helvoirt
ECI	Element Circularity Index
FSC	Forest Stewardship Council
GPR	Gemeentelijke Praktijk Richtlijn
HSB	Houtskeletbouw
IBC	International Building Code
KOMO	Keuring en Onderzoek van Materialen voor Openbare Werken
KPI	Kritieke Prestatie Index
KSF	Kritieke Succesfactoren
LCA	Levenscyclusanalyse
LVL	Laminated Veneer Lumber
MCI	Material Circularity Index
MPG	Milieu Prestatie Gebouwen
NBE	Nederland Bespaart Energie
NOM	Nul-Op-de-Meter
OMV	Omvormer PV-panelen
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PCI	Product Circularity Index
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification
PMC	Product-Markt-Combinatie
PVE	Programma van Eisen
SEB	Structural Engineerd Bamboe
SLS	Scandinavian Lumber Standard
TCW	Toekomstige Circulaire Woning
VDH	Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling
VON	Vrij op Naam
VVV	Vloerverwarmingsverdeler
WM	Opstelplaats wasmachine
WP	Warmtepomp
WTW	Warmte-terug-win

3. Begrippenlijst

Tabel 2: Begrippenlijst

Begrip	Definitie	Bron
<i>Circulair</i>	In deze circulaire economie bestaat geen afval en worden grondstoffen steeds opnieuw gebruikt.	(Rijksoverheid, z.d.)
<i>Aanpasbaarheid</i>	Vanaf het ontwerp wordt er rekening gehouden met het feit dat mensen veranderingen willen maken in het gebouw	(Joost de Vree, z.d.)
<i>Abiotisch</i>	Niet-levend	(Ecopedia, z.d.)
<i>Biobased</i>	Materialen die gemaakt zijn van hernieuwbare grondstoffen en compleet of gedeeltelijk bestaan uit biologische materialen	(Ecochain, 2021)
<i>Biodiversiteit</i>	De verschillende soorten van leven op aarde	(Copendium voor de Leefomgeving, 2017)
<i>Biomassa</i>	Plantaardig en dierlijk materiaal dat we als grondstof of energiebron gebruiken	(Milieudefensie, z.d.)
<i>Bouwmethode</i>	De manier waarop de hoofdstructuur van een gebouw wordt opgezet.	(Joost de Vree, z.d.)
<i>Certificering</i>	Bij certificatie wordt beoordeeld of een persoon, proces of dienst voldoet aan de daarvoor vooraf vastgestelde certificatie-eisen uit het certificatieschema.	(Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, z.d.)
<i>Demontabel</i>	Het bouwen van een gebouw dat na de gewenste gebruikperiode weer uit elkaar gehaald kan worden en hergebruikt.	(Neptunus, z.d.)
<i>Duurzaamheid</i>	Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de levensbehoeften van de huidige generatie, zonder die van de toekomstige generaties tekort te doen.	(CBS, z.d.)
<i>Emissie</i>	De hoeveelheid verontreinigende stoffen die uit de bron komt	(Informatiepunt Leefomgeving, z.d.)
<i>Energieneutraal</i>	Een woning wekt zelf alle energie op die gebruikt wordt.	(Milie Centraal, z.d.)
<i>Faalkosten</i>	Kosten die ontstaan door fouten in het voortbrengingsproces die voorkomen hadden kunnen worden	(CM&P, 2018)
<i>Fossiele brandstof</i>	Deze brandstoffen bevatten koolstof die miljoenen jaren geleden door platen is vastgelegd.	(Milieu Centraal, z.d.)
<i>Granulaat</i>	Vast materiaal in korrelvorm of in de vorm van korrelig poeder	(Joost de Vree, z.d.)
<i>Grondgebonden</i>	Een woning die rechtstreeks toegankelijk is op het straatniveau en waarvan één van de woonlagen aansluit op het maaiveld.	(Gemeente Nijmegen, 2019)
<i>Hernieuwbaar</i>	Materiaal dat niet uitgeput kan raken zoals fossiele grondstoffen	(MVO, z.d.)
<i>Klimaatadaptief</i>	Het tijdig en effectief aanpassen aan het actuele of verwachte klimaat.	(Rijksoverheid, 2020)

<i>Lineaire economie</i>	Producten worden gemaakt, verkocht, gebruikt en uiteindelijk weggegooid.	(Over Circulair, 2019)
<i>Losmaakbaarheid</i>	De mate waarin objecten demonteerbaar zijn zodat het object de functie kan behouden en hoogwaardig hergebruik realiseerbaar is	(Alba Concepts, 2019)
<i>Natuurinclusief</i>	Het bewust creëren van ruimte voor biodiversiteit zodat er meer diverse planten- en diersoorten kunnen leven	(Wageningen University & Research, 2022)
<i>Nul-op-de-Meter</i>	Een woning wekt zelf alle energie op die gebruikt wordt.	(Milie Centraal, z.d.)
<i>Prefab</i>	Een proces in de bouw waarbij materialen vooraf in een fabriek of werkplaats tot elementen worden gemaakt, waarna deze naar de bouwplaats worden getransporteerd en aldaar worden verwerkt.	(Weggeman, 2018)
<i>Primaire grondstof</i>	Grondstof die is geproduceerd door de aarde en die door mensen wordt gebruikt voor de productie van materialen en producten.	(Nationale Milieu Database, z.d.)
<i>Recyclebaar</i>	Het opnieuw gebruiken van materialen	(Marlan, z.d.)
<i>Remontabel</i>	Een gebouw zo ontwerpen dat het, nadat het gebouwd is, weer te demonteren is en elders weer opnieuw opgebouwd kan worden.	(Wee, 2022)
<i>Schaduwkosten</i>	De kosten van een gebouw, product of project op het milieu, uitgedrukt in een geldwaarde	(Ecochain, 2022)
<i>Secundaire grondstof</i>	Elke brandstof teruggewonnen uit eerder gebruik of uit afval waarmee primaire brandstoffen worden vervangen.	(Nationale Milieu Database, z.d.)
<i>Seriematig</i>	Bepaalde mate van repetitie waardoor een prijsvoordeel voor de opdrachtgever ontstaat.	(Encyclo, z.d.)
<i>Woningcorporatie</i>	Een woningcorporatie is een organisatie die zich zonder winstoogmerk richt op het bouwen, beheren en verhuren van betaalbare woonruimte.	(Fons Vernooij, z.d.)

4. Inleiding

4.1 Aanleiding

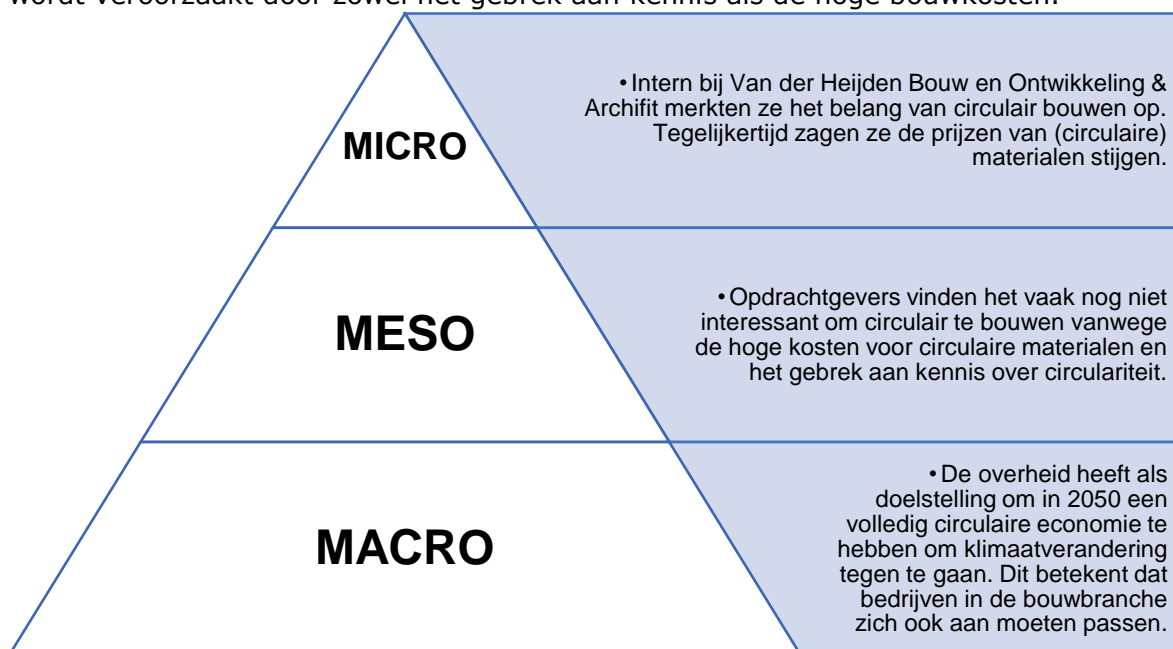
De aanleiding voor de gestelde onderzoeksvraag is voortgekomen uit het probleem waar zowel Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling (VDH) als Archifit B.V. tegenaan lopen. De Rijksoverheid wil in 2050 een geheel circulaire economie realiseren (Rijksoverheid, z.d.). Dit geldt ook voor de bouwsector. Over minder dan 30 jaar moet ook deze sector geheel circulair zijn. Zowel woningbouw als utiliteitsbouw.

4.2 Probleemstelling

In Nederland is circulariteit al langere tijd een begrip voor bedrijven. Daarnaast is de Rijksoverheid ook actief bezig met het tegengaan van de klimaatverandering, neem bijvoorbeeld SDG 12. Hieruit blijkt dat er verantwoord omgegaan moet worden met productie en consumptie. Dus ook van onder andere materialen. Uit het rapport van *Circle Economy* is gebleken dat de Nederlandse economie in 2020 voor 24,5% circulair was en dus van een secundaire grondstof afkomt (Circle Economy, 2020). Dit betekent dat de overige 75,5% van een primaire grondstof afkomt. Dit percentage vormt een gat, genaamd *Circularity Gap*. De circulaire economie is dus nog niet op het niveau als waar het moet zijn in 2050, namelijk 100% circulair (Rijksoverheid, z.d.).

Dit betekent dus dat ook bouwbedrijven mee zullen moeten gaan werken om de economie circulair te laten zijn. Echter zijn er nog geen concrete eisen gesteld aan circulariteit waardoor bedrijven en opdrachtgevers zelf een betekenis moeten geven aan circulariteit. Er ontbreekt nog veel kennis bij deze partijen. Daarnaast is er sinds 2020, het begin van corona, een tekort aan zowel bouwmaterialen en bouwpersoneel (Field, 2020). Dit zorgt ervoor dat bouwprojecten veel meer geld gaan kosten en niet van start kunnen omdat de prijzen enorm gestegen zijn. Deze twee aspecten zorgen ervoor dat circulariteit vaak nog naar de achtergrond verdwijnt bij de ontwikkeling en uitvoering van een project.

Ook bij VDH en Archifit B.V. merken ze allebei dat door de prijsstijgingen de bouwmaterialen veel duurder worden. Tegelijkertijd moeten zij ook bijdragen aan de circulaire economie. Het is lastig om samen met opdrachtgevers of projectontwikkelaars tot een goede combinatie te komen waarin beide aspecten goed aan bod komen. Dit wordt veroorzaakt door zowel het gebrek aan kennis als de hoge bouwkosten.



Figuur 1: Niveaus van dit onderzoek

4.3 Sustainable Development Goals

De SDG's (Sustainable Development Goals ook genoemd Duurzame Ontwikkelingsdoelen) zijn afspraken om vóór 2030 een betere wereld te maken. De doelen zijn opgesteld door de landen die aangesloten zijn bij de Verenigde Naties, waaronder Nederland ook valt. De Duurzame Ontwikkelingsdoelen zijn gestart in 2015 en gaan door tot 2030. Voor zaken als armoede, onderwijs en de klimaatcrisis zijn de 17 doelen een soort van mondiaal kompas. (SDG Nederland, 2023)

Naast de zeventien doelen zijn er ook nog 169 targets die de doelen concreter maken.

In dit onderzoek naar circulair bouwen/circulaire economie kunnen de Sustainable Development Goals geïmplementeerd worden. Er is namelijk een sterke relatie met verschillende SDG's, deze worden hieronder op een rijtje gezet.

- SDG 9 Industrie, innovatie en infrastructuur
 - Het onderzoek draagt bij aan het ontdekken van nieuwe innovaties in de bouwsector. Zo wordt er geprobeerd om een circulaire woning te ontwikkelen. Deze is momenteel helaas nog niet de standaard.
- SDG 11 Duurzame steden en gemeenschappen
 - Door het ontwikkelen van een circulaire seriematige woning wordt er bijgedragen aan een duurzame stad. Circulair is namelijk een duurzame manier van bouwen.
- SDG 12 Verantwoorde consumptie en productie
 - Er wordt bij de circulaire woning diep nagedacht over het gebruik van materialen. Het doel is om circulaire materialen te gebruiken die bijdragen aan een verantwoorde consumptie. Het doel is ook om de productie van nieuwe materialen terug te dringen.



Figuur 2: SDG's, SDG Nederland

Vanuit deze focuspunten kunnen specifiekere doelstelling worden opgesteld binnen een organisatie of bedrijf. Zo hebben bedrijven en organisaties hun eigen duurzame visie. (Het groene brein, 2022)

4.4 Doelstelling

Het doel is om een circulaire woning te ontwikkelen waarvan de bouwkosten lager zijn en de Building Circularity Index-score (BCI) ten minste gelijk is, al dan niet hoger, aan de BCI-score van de huidige circulaire woning van het project Den Hoek in Helvoirt. Hiervan is de BCI-score momenteel 56% en de bouwkosten zijn €157.331,70. Deze woning is toepasbaar in de seriematige woningbouw en wordt ontwikkeld voor het jaar 2035. Hiermee wordt er bijgedragen aan de doelstelling van de Rijksoverheid om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben om de klimaatverandering tegen te gaan. Dit wordt gedaan door verschillende onderzoekstappen te zetten, welke uitgelegd worden in *hoofdstuk 4.5*.

Daarnaast is het doel om zelf zoveel mogelijk circulaire kennis op te doen en te delen aan VDH en Archifit binnen de afstudeerperiode van 20 weken. Hiermee wordt er bijgedragen aan de doelstelling van de Rijksoverheid om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben en de klimaatverandering tegen te gaan. Ook wordt er bijgedragen aan de SDG's. Dit wordt gedaan door afstudeerscriptie te schrijven van hoogwaardige kwaliteit waarin de opgedane kennis toegepast wordt om de opleiding Bouwkunde af te ronden. Deze scriptie wordt beoordeeld door de afstudeerbegeleiders die gaan kijken of de doelstelling en leerdoelen behaald zijn.

4.5 Onderzoeksvragen

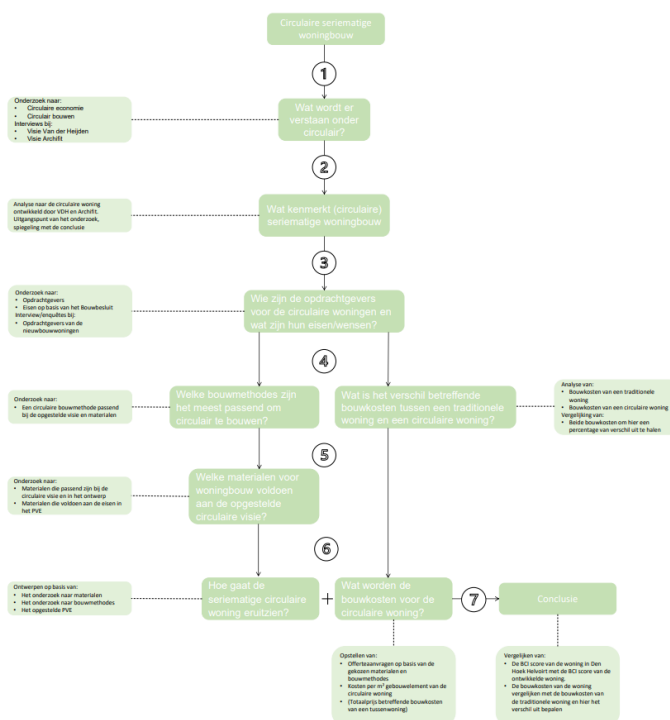
4.5.1 Hoofdvraag

Hoe ziet de circulaire seriematige woning eruit, terwijl de bouwkosten van deze woning ten opzichte van de bouwkosten van een huidige circulaire woning zo veel mogelijk reduceren?

Uit onderzoek (Braakman, 2021) is gekomen dat het verhogen van de mate van circulariteit van een gebouw zorgt voor een substantiële kosterverhoging. Na onderzoek van Alba en Copper8 blijkt ook dat de investeringskosten voor een circulaire woning minstens 14% hoger zijn dan voor een traditionele woning. Als de kosten voor circulair bouwen even hoog zijn als voor traditioneel bouwen, is het aantrekkelijker om circulair te bouwen. Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden maken we gebruik van de bouwkostenbegroting van "Den Hoek Helvoirt." De inkopen worden op dit moment gedaan. Hierdoor gebruiken we de meest recente cijfers waardoor we de afwijking door prijschommeling zo klein mogelijk proberen te houden. (Dijken, 2021)

4.5.2 Deelvragen

- Wat wordt er verstaan onder circulair?
 - Wat is de visie van Van der Heijden B.V. en Archifit op het gebied van circulair bouwen en hoever zijn ze hier al in?
- Wat kenmerkt (circulaire) seriematige woningbouw?
- Welke bouwmethodes zijn het meest passend om circulair te bouwen?
- Welke materialen voor woningbouw voldoen aan de opgestelde circulaire visie?
- Wie zijn de opdrachtgevers voor de circulaire woningen en wat zijn hun eisen/wensen?
 - Hoe gaat het (technische) Programma van Eisen voor een betaalbare circulaire woning zich vormgeven?
- Hoe gaat de seriematige circulaire woning eruitzien?
- Wat is het verschil betreffende bouwkosten tussen een traditionele woning en een circulaire woning?
- Wat worden de bouwkosten voor de circulaire woning?



De relatie van bovenstaande deelvragen is weergegeven in figuur 3. Dit figuur dient als een schematisch stappenplan voor de opzet van het onderzoek.

Figuur 3 is in *Bijlage VIII* groter weergegeven.

Figuur 4: Relatieschema onderzoeksvragen

5. Methodologie

Om tot onze resultaten te komen, wordt er gebruik gemaakt van mixed-methods om antwoord te geven op de vraag of het mogelijk is om een circulaire woning te ontwikkelen die betreft de bouwkosten dicht bij traditioneel bouwen ligt. De methoden worden door middel van onderstaande tabellen omschreven. Hierin worden de te verwachten resultaten en op te leveren documenten omschreven. Aan hand van deze methoden kan het onderzoek uitgevoerd worden. (Avans Hogeschool, 2021)

Tabel 3: Onderzoeksmethode circulair onderzoek

Wat wordt er verstaan onder circulair?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek.
Gewenste resultaat	Circulaire visie als uitgangspunt voor verder onderzoek
Op te leveren documenten	Literatuuronderzoek
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden & Loïs van der Sanden

Tabel 4: Onderzoeksmethode circulair VDH en Archifit

Wat is de visie van Van der Heijden B.V. en Archifit op het gebied van circulair bouwen en hoever zijn ze hier al in?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek, interview, casestudy.
Gewenste resultaat	Circulaire visie als uitgangspunt voor verder onderzoek
Op te leveren documenten	Literatuuronderzoek, circulair Programma van Eisen
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden & Loïs van der Sanden

Tabel 5: Onderzoeksmethode seriematige woningbouw

Wat kenmerkt (circulaire) seriematige woningbouw?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek, casestudy.
Gewenste resultaat	Analyse van de woning van DHH om mee te vergelijken in verder onderzoek
Op te leveren documenten	Literatuuronderzoek
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden

Tabel 6: Onderzoeksmethode bouwmethoden

Welke bouwmethoden zijn het meest passend om circulair te bouwen?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek.
Gewenste resultaat	Een circulaire bouwmethode
Op te leveren documenten	Literatuuronderzoek
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden & Loïs van der Sanden

Tabel 7: Onderzoeksmethode materialen

Welke materialen voor woningbouw voldoen aan de opgestelde circulaire visie?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek, ontwerp onderzoek.
Gewenste resultaat	Materialenlijst
Op te leveren documenten	Literatuuronderzoek, materialenlijst
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden

Tabel 8: Onderzoeksmethode Programma van Eisen

Wie zijn de opdrachtgevers voor de circulaire woningen en wat zijn hun eisen/wensen?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief/kwantitatief onderzoek
Methode	Enquête, interview, literatuuronderzoek.
Gewenste resultaat	Functioneel en technisch PvE voor de TCW
Op te leveren documenten	Programma van Eisen, literatuuronderzoek
Uitgevoerd door	Loïs van der Sanden

Tabel 9: Onderzoeksmethode ontwerp

Hoe gaat de seriematige circulaire woning eruitzien?	
Structuur	Ontwerpstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief/kwantitatief onderzoek
Methode	Ontwerp onderzoek.
Gewenste resultaat	Een ontwerp van de TCW
Op te leveren documenten	Plattegronden en technische tekeningen op DO niveau.
Uitgevoerd door	Ilse van der Zanden

Tabel 10: Onderzoeksmethode verschil bouwkosten

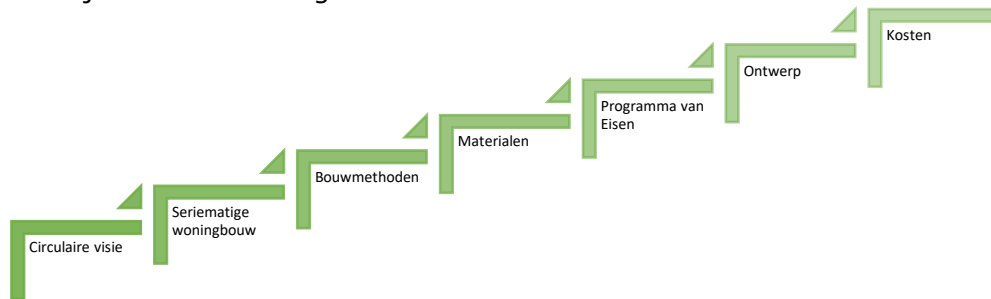
Wat is het verschil betreffende bouwkosten tussen een traditionele woning en een circulaire woning?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief/kwantitatief onderzoek
Methode	Literatuuronderzoek, casestudy.
Gewenste resultaat	Percentage van het verschil tussen traditioneel en circulair
Op te leveren documenten	Bouwkosten per m ² gebouwelement, literatuuronderzoek
Uitgevoerd door	Loïs van der Sanden

Tabel 11: Onderzoeksmethode bouwkosten

Wat worden de bouwkosten voor de circulaire woning?	
Structuur	Onderzoeksstructuur
Onderzoekseenheid	Kwalitatief/kwantitatief onderzoek
Methode	Ontwerp onderzoek, literatuuronderzoek.
Gewenste resultaat	Bouwkosten van de TCW
Op te leveren documenten	Offertedossier, kosten per m ² gebouwelement, bouwkostenbegroting
Uitgevoerd door	Loïs van der Sanden

6. Onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk zullen kort de resultaten van de deelonderzoeken toegelicht en samengevat worden. De uitgebreide onderzoeken zijn terug te lezen in de bijlagen. De uitkomsten daarvan staan in chronologische volgorde waarop de onderzoeken ook uitgevoerd zijn en wat er meegenomen is in het verdere onderzoek:



Figuur 5: Uitwerkingsproces, I. van der Zanden & L. van der Sanden

6.1 Circulariteit bij de Toekomstige Circulaire Woning

Circulair is een belangrijk begrip voor de ontwikkeling van de Toekomstige Circulaire Woning (TCW). Momenteel zijn er aan circulair nog geen harde eisen gesteld waaraan voldaan moet worden. Dit maakt het lastig om te beslissen of de woning circulair is. In de circulaire visie is ook het aspect kosten opgenomen omdat dit een belangrijk deel is voor de verdere uitwerking van de TCW. De visie is opgesteld op basis van interviews met VDH en Archifit en literatuuronderzoek.

6.1.1 Circulair bouwen in een circulaire economie

Circulair bestaat uit circulair bouwen en een circulaire economie. Zoals eerder genoemd, heeft de Rijksoverheid als doel om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben. De bouwsector moet hierin dus ook circulair zijn. Volgens het PBL is een circulaire economie op 4 manieren uit te voeren (Planbureau voor de Leefomgeving, 2023):

CIRCULAR ECONOMY

Figuur 6: Circulaire economie op 4 manieren, PBL

Eerder genoemd is de bouwsector ook belangrijk in het creëren van een circulaire economie. De bouwsector is namelijk voor 50% verantwoordelijk voor de materiaalvraag en voor 11% verantwoordelijk van de CO₂ uitstoot (Stichting Economisch Instituut voor de Bouw en Metabolic, 2020). Al vanaf de ontwerpfase kan er rekening gehouden worden met circulair bouwen. Hiervoor zijn zes circulaire ontwerp strategieën geïdentificeerd, deze worden in willekeurige volgorde omschreven in tabel 12 (Platform CB'23, 2021):

Tabel 12: Circulaire ontwerpstrategieën, I. van der Zanden

Ontwerpstrategie	Omschrijving
Ontwerpen voor preventie	Voorkomen van het gebruik van producten, elementen of materialen
Ontwerpen voor reductie van levenscyclusimpact	Effect van materiaalrecycling, waarbij een overzicht wordt gegeven van de gevolgen voor milieubelasting en milieuprestatie tijdens de gebruiksfase en aan het einde van de levenscyclus (levensduur)
Ontwerpen voor toekomstbestendigheid	Het aanpasbaar maken van voor toekomstige wensen
Ontwerpen voor hergebruikte objecten	Het opnieuw gebruiken van bouwmaterialen of bouwonderdelen/elementen
Ontwerpen met secundaire grondstoffen	Gebruik van grondstoffen die al eerder zijn gebruikt, of het zijn reststromen van een ander productsysteem
Ontwerpen met hernieuwbare grondstoffen	Het gebruiken van onuitputtelijke grondstoffen

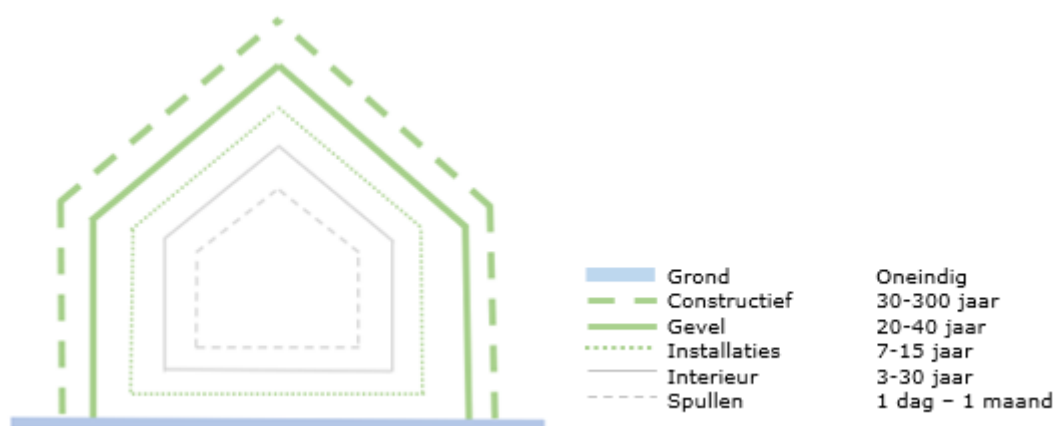
6.1.2 Duurzaamheidsaspecten bij de Toekomstige Circulaire Woning

Circulariteit zorgt voor een duurzamere wereld, maar andersom zorgen niet alle duurzaamheidsinitiatieven voor circulariteit. Circulariteit richt zich op de kringlopen van hulpbronnen, terwijl duurzaamheid een stuk breder is en betrekking heeft op mensen, de planeet en de economie. Hierbij horen ook een aantal belangrijke aspecten:

- Natuurinclusief bouwen: rekening houden met de bestaande biodiversiteit
- Cradle-to-cradle: materialen worden gezien als grondstoffen voor hetgebruik
- Biobased: gebruik maken van biograndstoffen

6.1.3 Materialen

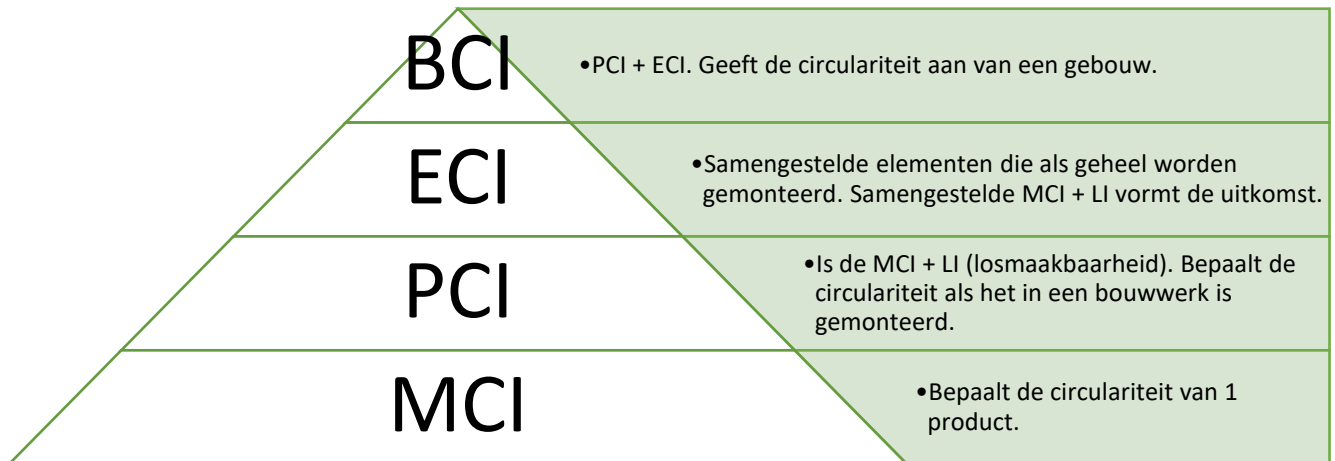
De levensduur, materiaalkeuze en materiaal gerelateerde effecten hangen met elkaar samen. Dit kan ingedeeld worden in een bepaald model. Dit is de Shearing Layers of Brand welke een uitgangspunt zal vormen voor de rest van het onderzoek. De opbouw hiervan is in figuur 7 te zien (Stadspatronen, z.d.).



Figuur 7: Shearing Layers of Brand

6.1.4 Building Circularity Index

In *Bijlage I* is ook onderzoek gedaan naar manieren om circulariteit te toetsen. Er zijn veel verschillende tools om circulariteit te toetsen. Echter is er één tool gevonden welke het beste aansluit bij de bovengenoemde aspecten zoals toekomstscenario, aanpasbaarheid en hergebruik. Dit is namelijk de BCI-score van het programma Alba Concepts, welke gebruikt zal worden verderop in dit onderzoek. Bij de BCI bestaat de inhoud uit het materiaalgebruik en de losmaakbaarheid. Aan hand van deze berekening kan er gekeken worden hoe circulair een bouwwerk is (BCI, z.d.).



Figuur 8: Opbouw BCI, L. van der Sanden

6.1.5 Visie VDH en Archifit

Naast al het bovengenoemde literatuuronderzoek, zijn er ook interviews afgenomen bij beide bedrijven. Hieruit is geconcludeerd dat Archifit geen uniforme visie heeft op circulariteit. Bij VDH wordt het opgedeeld in de onderstaande 4 categorieën:

- 1A : Indien van toepassing gebouwen niet slopen maar circulair oogsten
- 1B : Circulaire en/of CO₂-uitstoot-arme bouwmaterialen toepassen
- 2A : Klimaat – Adaptief bouwen
- 2B : Natuurinclusief openbare terreinen aanleggen

6.1.6 Circulaire visie voor de Toekomstige Circulaire Woning

Op basis van de opgedane kennis over circulair in *paragraaf 6.1.1 t/m 6.1.5* is de onderstaande visie tot stand gekomen. Dit vormt het uitgangspunt voor verder onderzoek waar er per onderzoek criteria worden opgesteld aan deze aspecten.

In het ontwerp wordt er alleen gebruik gemaakt van materialen met een verantwoorde herkomst, positief toekomstscenario en losmaakbaarheid.

Bij de verantwoorde herkomst wordt er uitgebreid onderzoek gedaan waar de materialen vandaan komen en of ze niet schadelijk zijn voor het klimaat. Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gerecyclede, hergebruikte en biobased materialen.

Om circulair te zijn, moeten de materialen die worden gebruikt in het ontwerp in de "end-of-life" recyclebaar, herbruikbaar of, bij biobased materialen biologisch, afbreekbaar zijn. De materialen gaan als het ware "in een kring rond", waarmee er een verantwoordelijk toekomstscenario ontstaat.

De materialen die gebruikt worden moeten losmaakbaar zijn, zodat ze hergebruikt kunnen worden. Daarom worden elementen niet gelijmd of gegoten. In plaats hiervan wordt er gebruik gemaakt van bouten en moeren, schroeven en tac-tiles.

De TCW moet een BCI-score van te minste 60% procent halen. Dit wordt behaald doordat de woning volledig demontabel wordt ontworpen. Er wordt gekeken naar de herkomst van de materialen en waar mogelijk worden er biobased materialen gebruikt. Op de huidige markt is het nog niet mogelijk om volledig circulair te bouwen. De overheid heeft als doel om in 2050 een volledige circulaire economie te hebben. In 2030 moet een woning minstens 50% circulair zijn. In 20 jaar zal de bouwsector dus van 50 % circulair naar 100% circulair moeten gaan. Dit betekent dat de bouwsector elk jaar een groei moet doorstaan van 2,5 % betreffende circulariteit. De TCW wordt ontworpen voor 2035. De voorbereiding van een nieuwbouwproject neemt ongeveer 10 jaar in beslag en de uitvoering 2 jaar (Smit, 2022). De circulaire visie is opgesteld in 2023 waardoor de TCW op 1 januari 2035 een BCI-score van minimaal 60% moet behalen.

De woning wordt ontworpen vanuit een groen concept dat wordt doorvertaald in de gehele woning. Zo is in de en rondom de woning ruimte gecreëerd voor de natuur. Daarnaast wordt er in het ontwerp rekening gehouden met de biodiversiteit in het gebied. Ook wordt de woning ontworpen volgens het NOM-concept (Nul-Op-de-Meter), wat ervoor zorgt dat er geen fossiele energie hoeft te worden gebruikt.

De bouwkosten van de circulaire woning moet met maximaal 14% verminderd worden ten opzichte van de bouwkosten van de huidige circulaire woning van het project DHH. Dit moet ervoor zorgen dat het aantrekkelijker wordt voor aannemers om circulair te bouwen en dat de kloof tussen traditioneel en circulair bouwen kleiner wordt.

6.2 Toekomstige Circulaire Woning als seriematige woning

Ook seriematige woningbouw is een belangrijk begrip is deze scriptie. De TCW gaat deel uitmaken van de seriematige woningbouw, maar wat betekent dit?

6.2.1 Seriematige woningbouw betekenis

Nederland kan ook wel het land van de rijtjeswoningen, aaneengesloten lage woningen van twee tot vier lagen hoog, genoemd worden. Een standaard woning met grondgebonden voordeur aan de straat met een achtertuin, is relatief makkelijk en goedkoop te bouwen. Dit type woning is Nederland ook erg populair. Nederland kent een lange geschiedenis van seriematige woningbouw. Dit is ook één van de redenen waarom seriematige woningbouw erg populair bij aannemers. (TU Delft, 2023)

De betekenis van het begrip "seriematige woningbouw" wordt hieronder uitgelegd.

De definitie van "seriematige woningbouw" als citaat uit het Nederlandse woordenboek (Encyclo, 2023):

"Bepaalde mate van repetitie waardoor een prijsvoordeel voor de opdrachtgever ontstaat."

Seriematige woningbouw kunnen we in het kort samenvatten: er wordt een serie van dezelfde woningen tegelijkertijd gebouwd. De woningen zijn dus van vergelijkbare soort (serie) en kunnen zowel appartementen als rijwoningen omvatten. Het voordeel van seriematig bouwen zit hem voor de bouwbedrijven vaak in de kosten. Er kan namelijk efficiënt en effectief gebouwd worden door een doorlopend ontwerp- en bouwproces. Hierdoor kunnen de woningen met een hoge kwaliteit en relatief lage prijs gewaarborgd worden. (Bongers, 2007)

6.2.2 Circulaire woning van project Den Hoek in Helvoirt

Een voorbeeld van een seriematige woningbouw is het project "Den Hoek Helvoirt." Dit zijn 17 circulaire en seriematige woningen die in samenwerking tussen Van der Heijden bouw en ontwikkeling & Archifit is ontworpen. De BCI-score van deze woning is 56 procent en heeft bouwkosten van €157.331,70. De woning scoort goed op een aantal

punten die ook benoemd worden in de circulaire visie voor de TCW uit *paragraaf 6.1*. Deze worden in tabel 13 hieronder benoemd en omschreven. Ook deze onderdelen zijn via de Layers of Brand geordend.

Tabel 13: Overeenkomsten DHH met visie, L. van der Sanden

Onderdeel	Scoort goed op	Omschrijving
Fundering	Losmaakbaarheid	Prefab demontabele betonnen funderingsbalken
Verdiepingsvloer	Losmaakbaarheid en toekomstscenario	Groene kanaalplaatvloer met een losmaakbare dekvloer
Gevel	Losmaakbaarheid en toekomstscenario	Prefab gevel met vlasisolatie
Dak	Losmaakbaarheid, verantwoorde herkomst en toekomstscenario	Demontabele scharnierkap met vlasisolatie en hergebruikte keramische dakpannen
Woningscheidende wanden	Losmaakbaarheid	Groen betonnen casco toegepast met droge verbindingen
Kozijnen	Toekomstscenario en verantwoorde herkomst	Waterslagen zijn herbruikbaar en kozijnen zijn van biobased materiaal
Scheidingswanden	Losmaakbaarheid en verantwoorde herkomst	Binnenwanden met vlasisolatie
Pergola	Natuurinclusief	Toepassing van verschillende klimplanten en nestkasten

Daarnaast zijn er ook een aantal onderdelen die niet goed scoren en nog veranderd kunnen worden om een betere circulaire score te halen:

- Begane grondvloer (ribcassettevloer): dit onderdeel kan beter scoren op toekomstscenario, losmaakbaarheid en verantwoorde herkomst
- Woningscheidende wanden: dit onderdeel kan nog beter scoren op toekomstscenario en verantwoorde herkomst
- Prefab trap en badkamer: deze onderdelen kunnen nog beter scoren op losmaakbaarheid, toekomstscenario en verantwoorde herkomst

De woning van DHH zal worden gebruikt als uitgangspunt om de TCW mee te vergelijken betreffende bouwkosten en BCI-score, welke hierboven genoemd zijn. Ook worden de verbeterpunten meegenomen in het ontwerp van de TCW om te kijken of hier positieve veranderingen in mogelijk zijn.

6.3 Circulaire methode om de Toekomstige Circulaire Woning te bouwen

Over het algemeen zijn er 4 bouwmethoden (Joost de Vree, z.d.):

1. Stapelbouw
2. Gietbouw
3. Skeletbouw
4. Montagebouw

Elke bouwmethode heeft zijn eigen voor- en nadelen en bijdrage aan circulariteit. Op basis van verschillende beoordelingscriteria kan er een bouwmethode gekozen worden. De criteria voor de bouwmethoden zijn in tabel 14 weergegeven.

Tabel 14: Criteria bouwmethoden, L. van der Sanden

Criteria	Uitleg
Losmaakbaarheid	Er bestaan natte en droge verbindingen. Voor de losmaakbaarheid van een product en gebouw is het beter om droge verbindingen te gebruiken zodat dit beter uit elkaar te halen is. Een natte verbinding zoals lijm of metselwerk is dus minder goed.
Bouwtijd	De bouwtijd van het gebouw bepaalt veel over de kosten op de bouwplaats zelf. Een korte bouwtijd kan veel geld schelen wat betreft het totale kostenplaatje van de bouwplaats.
Afval op de bouwplaats	Circulariteit betekent het gebruik van zo min mogelijk nieuwe materialen. Door een bouwmethode te kiezen met zo min mogelijk afval op de bouwplaats wordt er minder materiaal verspild waardoor het gebruik van nieuwe materialen wordt teruggedrongen.
Logistiek	Bouwverkeer heeft een grote impact op het milieu betreffende CO ₂ -uitstoot. Bij minder bouwverkeer is de impact op het milieu minder en dus ook beter.
Aanpasbaarheid	In de bouwsector zijn faalkosten een groot begrip. Tijdens het bouwproces komen vaak fouten nog aan het licht, waardoor er aanpassingen moeten komen. Indien dit niet mogelijk is, zullen de kosten hoger oplopen.
Toekomstscenario	De producten en/of elementen gebruikt in het gebouw kunnen worden hergebruikt/recyclet/biologisch afgebroken. Indien dit niet mogelijk is, draagt het al minder bij aan de circulariteit van het gebouw.
Levensduur	Hoe langer een gebouw meegaat, hoe minder nieuwe materialen er gebruikt hoeven worden. Dit draagt dus op een positieve manier bij aan circulariteit.

In tabel 14 springt één criteria eruit waar niet meteen aan gedacht wordt bij circulariteit en welke ook niet eerder concreet benoemd wordt in dit onderzoek. Echter is dit wel een belangrijk criteria voor VDH en Archifit. Bouwtijd heeft zoals in tabel 14 aangegeven een grote invloed op de kosten. Deze kosten worden niet opgenomen in dit onderzoek, maar kunnen ook een groot verschil maken in de totale kosten waar al bij het ontwerp aan gedacht kan worden. Hierdoor is gekozen om dit criteria toch op te nemen om een bouwmethode te kiezen.

De verschillende bouwmethoden en de beoordeling is te zien in tabel 15.

Tabel 15: Multicriteriatafel bouwmethoden, L. van der Sanden

Bouwmethoden					
Elke bouwmethode krijgt een cijfer tussen de 1 en 5 waarbij 5 <i>Uitstekend</i> is en 1 <i>Slecht</i> is					
Criterium		Stapelbouw	Gietbouw	Skeletbouw	Montagebouw
	Wegingspercentage				
Losmaakbaarheid	21,00%	1	1	5	5
Bouwtijd	9,00%	1	1	5	5
Afval op de bouwplaats	12,00%	2	3	3	5
Logistiek	10,00%	2	4	2	1
Aanpasbaarheid	7,00%	5	1	4	3
Toekomstscenario	21,00%	2	2	4	4
Levensduur	21,00%	2	2	3	3
Totaal	100,00%	38,6	39,4	76,2	77,6

De wegingsfactoren in tabel 15 zijn bepaald aan hand van de tool van Pianoo (Pianoo, z.d.).

De gekozen bouwmethode is montagebouw. Deze bouwmethode scoort met 77,6 procent het beste uit de overige bouwmethoden. Zoals in *Bijlage III* omschreven, is dit voornamelijk bouwen met prefab elementen. De voordelen van montagebouw zijn:

- Droge verbindingen dus losmaakbaar
- Snelle bouwtijd
- Weinig afval op de bouwplaats
- Lange levensduur
- Positief toekomstscenario

Montagebouw kan met vrijwel alle materialen zolang dit prefab te vervaardigen is. De elementen kunnen ook op verschillende verdiepingshoogtes worden gemaakt. Ze komen in één element met alle voorzieningen er al in zoals bijvoorbeeld kozijnen, deuren en ramen. Ook de gevelbekleding is al afgewerkt.

Montagebouw vereist wel dat het bedrijf en/of het bouwplaatspersoneel weet hoe het gemonteerd moet worden. Het is belangrijk dat de elementen goed gemonteerd worden. Mocht een element schade oplopen kost dit namelijk heel veel tijd en geld om te herstellen.

Op basis van deze gekozen bouwmethode worden de materialen gekozen en beoordeeld in *hoofdstuk 6.4*.

6.4 Materialen toegepast in de Toekomstige Circulaire Woning

Zoals in *Hoofdstuk 6.1* omschreven, worden de materialen van de TCW onderzocht op hun losmaakbaarheid, herkomst en toekomstscenario. Daarop worden er nog extra criteria gesteld, welke weergegeven zijn in tabel 16. De gekozen materialen voor de TCW zijn in tabel 17 te zien.

Tabel 16: Criteria materialen, L. van der Sanden

Layer van Brand	Onderdeel	Criteria	Omschrijving
Site	Fundering	Prijs	Gemiddelde prijs per woning
		Bouwtijd	Bouwtijd van de fundering
Structure	Constructiehout	Prijs	Gemiddelde prijs voor een houten constructie
		Levensduur	Duurzaamheidsklasse
		Brandklasse	A/B/C/D
	Begane grondvloer + 1 ^e verdiepingsvloer	Prijs	Gemiddelde prijs voor een begane grondvloer
Skin	Isolatie	Levensduur	Levensduur constructie
		Prijs	Gemiddelde prijs voor isolatie
		Levensduur	Levensduur van het isolatie(paneel)
	Gevelbekleding	Isolatiewaarde	Labda waarde
		Prijs	Gemiddelde prijs voor een begane grondvloer
Space Plan	Kozijnen	Prijs	Prijs per kozijn per m ²
	Binnenwanden	Prijs	Prijs per wand per m ²

De onderdelen genoemd in tabel 16 zijn van belang voor de voorselectie van de materialen op basis van kosten. Bij elk onderdeel is prijs een extra genoemd criteria omdat dit belangrijk is in het maken van de keuze voor het materiaal. Hiermee kan er al een kleine inschatting gemaakt worden voor de bouwkosten van de TCW.

Daarnaast is levensduur ook van belang omdat dit criterium ook bijdraagt aan de circulariteit van de TCW. Het draagt bij aan het toekomstscenario.

Ten slotte worden er ook nog materiaalspecifieke criteria benoemd, zoals de brandklasse en isolatiewaarde. Dit is per materiaal anders en maakt wel belangrijk verschil in de keuze van het materiaal. Zo kan een materiaal betreft zijn brandklasse niet toegestaan zijn waardoor het niet bruikbaar is in het ontwerp.

Een gebouw is opgebouwd uit verschillende "lagen". Deze lagen hebben allemaal een andere levensduur en functie. De lagen van een gebouw dienen als de basis van een ontwerp. Voor een circulaire ontwerpstrategie zijn deze lagen extra belangrijk om de waarde te bepalen en handhaven. Dit is volgens de theorie van de Shearing Layers of Brand (Copper8, 2023), welke ook behandeld is in *paragraaf 6.1.3*. Als er binnen het gebouw onderscheid wordt gemaakt in de levensduur kunnen natuurlijke materialen cascaderen. Deze term staat voor een trapsgewijs proces, waarmee het efficiënte gebruik van biomassa en restproduct wordt aangeduid. Het proces doorgaat de volgende belangrijke stappen: onderhouden en herstellen, hergebruiken, herbestemmen en recylen. Op deze manier blijven technische materialen waardevol. (Circubuild, 2023)

In de "Shearing Layers" van Brand wordt er tussen de volgende lagen onderscheid gemaakt:

1. Site (locatie, grond), levensduur oneindig;
2. Structure (constructie), levensduur 30-300 jaar;
3. Skin (de huis, gevel, dak en begane grondvloer) levensduur 20-40 jaar;
4. Services (installaties), 7-15 jaar;
5. Space plan (scheiding van ruimten binnen het gebouw), 3-30 jaar;
6. Stuff (meubels en spullen), 1 dag – 1 maand.

Hierbij is het heel erg belangrijk dat de verschillende lagen losmaakbaar zijn van elkaar. Dit op basis van functie en levensduur. Zo kan ervan uitgegaan worden dat een constructie wel 100 jaar moet blijven staan, maar dat een gevel aan het einde van zijn levenscyclus losgemaakt moet kunnen worden en vervangen.

Het materialenonderzoek is gebaseerd op de Shearing Layers van Brand. Bij het kiezen van een materiaal wordt er rekening gehouden met de levensduur. De materialen zijn gekozen aan de hand van een multicriteriatabel, de verschillende criteria waaraan de materialen worden getoetst zijn opgesteld aan de hand van de circulaire visie voor de TCW. Daarnaast wordt er ook beoordeeld op de hoe goed het materiaal past bij de gekozen bouwmethode, namelijk montagebouw.

De belangrijkste criteria waaraan de materialen moeten voldoen zijn:

- Bij de verantwoorde herkomst wordt er uitgebreid onderzoek gedaan waar de materialen vandaan komen en dat ze niet schadelijk zijn voor het klimaat. Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gerecyclede, hergebruikte en biobased materialen;
- Materialen moeten een positief toekomstscenario hebben. Om circulair te zijn, moeten de materialen die worden gebruikt in het ontwerp in de "end-of-life" recyclebaar, herbruikbaar of, bij biobased materialen biologisch, afbreekbaar zijn. De materialen gaan als het ware "in een kring rond", waarmee er een verantwoord toekomstscenario ontstaat;
- De materialen die gebruikt worden moeten losmaakbaar zijn, zodat ze hergebruikt kunnen worden. Daarom worden elementen niet gelijmd of gegoten. In plaats hiervan wordt er gebruik gemaakt van bouten en moeren, schroeven en tac-tiles;
- Het uiteindelijke doel is om een TCW te realiseren, waarbij de prijs dicht bij een traditionele woning ligt. Hierdoor speelt de prijs ook een belangrijke rol in de keuze voor een bepaald materiaal.

Aan verschillende lagen van een gebouw zitten specifieke criteria verbonden. De belangrijkste criteria zijn hierboven op een rijtje gezet. De criteria van specifieke materialen worden in *Bijlage IV* verder uitgelegd. Ook wordt er uitgelegd hoe elke criteria scoort en hoe de score is bepaald.

Tabel 17: Materialen Toekomstige Circulaire woning, I. van der Zanden

Omschrijving	Materiaal	Opmerkingen
Site		
Fundering	Prefabbeton	
Structure		
Begane grondvloer	Circulaire Kanaalplaatvloer	
Dekvloer	Gipsplaat 2 x 12,5 mm Houtvezelplaat 10 mm Droge uitvlak korrels	Dekvloer van Fermacell
Constructievloer	CLT	

Woning scheidende wanden	CLT	Met steenwolisolatie
Skin		
Gevelbekleding	Thermo vuren hout en Leemstuc	Volgens leverancier
Gevel	Ecococon prefab paneel	
Kozijn	Circulair houtkozijn, van sloophout en Esp hout	
Glas	HR ++	
Scharnierenkap	Sporenconstructie	Volgens leverancier
	Circulaire dakpannen	
	Spijkerbroek isolatie	
Services		
Installaties	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanische ventilatie met warmteterugwinnings-systeem (WTW); - Warmtepomp (WP); - Vloerverwarmings-verdeler (VVV); - PV-panelen (PV); - Omvormer PV-panelen (OMV); - Opstelplaats wasmachine (WM). 	
Space		
Binnenwanden	Metal Stud wanden	
Deuren	Re-used	

De materialen in tabel 17 voldoen allemaal aan de gestelde criteria en zullen als uitgangspunt vormen voor het ontwerp en de bouwkostenbegroting van de TCW.

6.5 Programma van Eisen

Binnen VDH en Archifit is er een verdeling betreffende de projecten. 60% van hun projecten is utiliteitsbouw en 40% woningbouw. Bij de woningbouw bestaan de opdrachtgevers uit de volgende partijen:

- Aannemers
- Woningcorporaties
- Directe eindgebruikers (particulier). In *Hoofdstuk 8.5* is opgenomen waarom de wensen/eisen van deze doelgroep niet meegenomen zijn in het PvE

Projecten binnen een radius van 100 km vanaf Breda en Schaijk worden aangenomen. Dit is dus een grote regio waar binnen de projecten van beide bedrijven vallen.

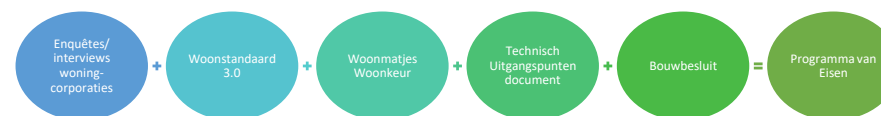
Binnen deze regio zijn een enquête en verschillende interviews afgenomen bij de betreffende woningcorporaties. In totaal zijn er 35 bruikbare reacties verzameld. Hieruit is gekomen dat woningcorporaties veel gebruik maken van de Woonstandaard 3.0. Dit is een document waarin PMC's omschreven staan (Product-Markt-Combinaties). Er wordt zo een uniforme taal ontwikkeld voor aannemers en ontwikkelaars voor het bouwen van nieuwbouwprojecten. Daarnaast werken ook veel woningcorporaties met de Woonmatjes van Woonkeur. Dit zijn standaardafmetingen per ruimte. Ook binnen VDH en Archifit wordt er gebruik gemaakt van deze Woonmatjes.

Daarnaast is er ook nog binnen de bedrijven gekeken naar welke eisen er gesteld worden aan nieuwbouwprojecten. Zo wordt er binnen VDH en Archifit gebruik gemaakt van het Technisch Uitgangspuntendocument. In dit document staan standaard aspecten van een nieuwbouwwoning die elk project opnieuw worden gebruikt.

Ten slotte vormt het Bouwbesluit ook een groot onderdeel van het Programma van Eisen. Deze eisen zijn vanzelfsprekend

omdat de woning hieraan moet voldoen, wilt deze goedgekeurd worden om te bouwen.

De ontwikkeling van de PvE is dus op basis van de onderstaande onderdelen opgezet:



Figuur 9: Ontwikkeling Programma van Eisen, L. van der Sanden

Dit PvE is opgesteld voor de doelgroep starters. Uit de enquêtes, interviews met woningcorporaties en interviews met beide bedrijven is gekomen dat de grootste doelgroep waarvoor gebouwd wordt momenteel starters zijn. Echter wordt er wel rekening gehouden met het feit dat deze doelgroep niet veel bestedingsruimte heeft. Voor het PvE wordt dan ook PMC 3 aangenomen. Dit is voor gezinnen tot en met de tweede aftoppingsgrens (maximale verhuurprijs van een woning). Het onderzoek, inclusief uitleg over de gekozen doelgroep en PMC, is terug te vinden in *Bijlage V Programma van Eisen*. Het PvE is opgedeeld in drie verschillende onderdelen, namelijk:

- Functionele PvE
 - Aan hand van uitslagen woningcorporaties, Bouwbesluit en Woonstandaard 3.0 opgesteld
- Circulair PvE
 - Aan hand van de visie opgesteld
- Technische Uitgangspunten
 - Aan hand van het TU van VDH opgesteld

Aanvullend hierop zijn de eisen van het Bouwbesluit geldig. In figuur 10 is het PVE voor de TCW te zien.

Toekomstige Circulaire Woning

Programma van Eisen		ruimtelijk/functioneel/technisch								
Doelgroep: starters/gezinnen										
Soort woning: 3-laagse woning										
Verdeling vloeroppervlak		Eisen Bouwbesluit				Aanvullende eis			Opmerkingen	
		Oppervlak [m²]	Hoogte [m]	Lengte [m]	Breedte [m]	Oppervlak [m²]	Lengte [m]	Breedte [m]		
Woonkamer	PMC 3 + UE + BB	-	2,6	-	1,8	13,6	3,4	4,0	Woonmatje 'Zithoek gezin'	
Keuken	PMC 3 + UE + BB	-	-	0,6	1,5+0,6	5,4	1,8	3,0	Woonmatje 'Keuken'	
Eethoek	PMC 3 + UE + BB	niet verplicht volgens BB				6,2	2,5	2,6	Woonmatje 'Eethoek gezin'	
Badkamer met toilet	PMC 3 + UE + BB	2,2	2,3	-	0,9	2,6	2,2	1,2	Woonmatje 'Badkamer'	
Apart toilet	PMC 3 + UE + BB	-	2,3	0,9	1,2	1,1	1,2	0,9	Woonmatje 'Toilet'	
Hoofdslaapkamer	PMC 3 + UE + BB	-	2,6	-	1,8	10,1	3,6	2,8	Woonmatje 'Hoofdslaapkamer'	
Slaapkamer 1	PMC 3 + UE + BB	-	2,6	-	1,8	6,3	3,0	2,1	Woonmatje 'Slaapkamer'	
Slaapkamer 2	PMC 3 + UE + BB	-	2,6	-	1,8	6,3	3,0	2,1	Woonmatje 'Slaapkamer'	
Entree	UE	-	2,3	-	0,85	Geen aanvullende eis			-	
Wasaansluiting	PMC 3 + UE	niet verplicht volgens BB				1,1	1,2	0,9	Woonmatje 'Wasmachine'	
Berging	PMC 3 + UE + BB	5	2,3	-	1,8	Geen aanvullende eis			-	
Meterkast	BB	-	2,4	0,35	0,77	Geen aanvullende eis			-	
Technische ruimte		geen eisen volgens BB				1,5	1,6	1,0	Huidige woning Helvoirt	
Materialen/bouwmethode		Eisen								
BCI	VI	De MCI/PCI van het product heeft een positieve bijdrage bij behalen van de BCI van 60%								
Losmaakbaarheid	UE + VI	De mogelijkheid om het element te monteren met een droge verbinding in plaats van een natte verbinding								
Herkomst	VI	Het materiaal/element heeft een lagere milieupact								
Prijs	VI	De kostprijs van de materialen is lager dan gemiddeld								
Toekomstscenario	UE + VI	Het materiaal/element moet recyclebaar, herbruikbaar of biobased zijn aan het eind van de levensloop								

Uitgangspunten						
Beukmaten van de woning aanhouden volgens PMC 3: namelijk 4,5 - 5,1 meter						
Oppervlakte van de woning is tussen de 65 - 90 m²						
De badkamer en het toilet zijn volledig afgewerkt. Dit betekent dat het sanitair en he						
De keuken is minimaal volgens de eisen van het Bouwbesluit, maar zonder de appara						
Voor de TU wordt uitgegaan van Klasse W (Wonen in Sociale Huur). De eisen hiervan						
Afmetingen van de trap worden aangehouden zoals in het Bouwbesluit geëist wordt.						
Er worden geen plinten of vloerafwerking aangebracht in de woning						
De wanden worden behangklaar opgeleverd.						
Plafonds worden bewerkklaar afgewerkt.						
Installaties zijn gelijk aan installaties uit de circulaire woning van project 'Den Hoek' i						

Figuur 10: Programma van Eisen TCW, L. van der Sanden

Technische uitgangspunten (niet bindend)					
Voor terreinverharding is er het volgende aanwezig:					
afmeting: 400 x 600 x 50, grijs, beton, voorzien van ca 200 mm schoonzand					
Pad van 120 cm breed naar voordeur, voorzien van opsluitbanden ; eventuele ruimte tussen terras en buitenkozijnen opvullen met klinkertjes van 7cm					
Pad van 60 cm breed naar berging, v.z.v. opsluitbanden; voor de bergingsdeur 1,20m breed (5 tegels lang)					
Achterzijde woning voorzien van terras aansluitend aan de achtergevel incl. opsluitbanden. Terras is 2800 mm diep en is kavelbreed ; over kavelgrenzen doorgelegd met hele tegels. Privacyscherm bevestigd aan de achtergevel en op een Azobe-paal bij rand terras (hiervoor dus tegel onderbreken). De ruimte tussen terras en buitenkozijnen opvullen met klinkertjes van 7cm					
Voor beplanting is er het volgende aanwezig:					
Hedera beplanting t.p.v. gaashekwerk (erfafscheiding), 5 stuks per meter. Daar waar op verkoopsituatietekening aangegeven (Uitgangspunt: alleen grenzend aan openbaar gebied)					
Voor terreininrichting is er het volgende aanwezig:					
Perkoenpalen (geen stalen draad ertussen) op hoekpunten van het perceel					
Hard houten staanders minimaal 70x70mm, lengte 1800 boven maaiveld t.b.v. gaas hekwerk					
Geplastificeerd gaashekwerk met bovenbuis, 1,80m hoog; Daar waar op verkoopsituatietekening aangegeven (uitgangspunt: alleen grenzend aan openbaar gebied)					
Houten privacy schutting t.p.v. terras (ca 1,80m breed, ca 1,80m hoog). Bevestigd aan de achtergevel en op Azobe-paal bij rand terras. Let op positie HWA : dus naast privacy-scherm en niet op erfgrins					
Prefab onderhoudsarme berging met horizontale geïmpregneerde delen, zonder verdere afwerking					
Bergingen v.z.v. armatuur (functioneel schuinboven deur opgehangen ter verlichting brandpad conform PKVW)					
Binnen voorzien van "energiezuil"; bestaande uit schakelaar, binnenarmatuur en dubbele wcd.					
Bergingen voorzien van (prefab) betonvloer op zand; eventuele buiten-unit WP op aparte (prefab)betonvloer					
Glasdeur en kozijn van hardhout, afgelakt en voorzien van deurstopper zodat hij niet tegen de poort slaat					
Oppervlak circa 2000 x 3000 mm ; PEIL BERGING SCM ONDER WONINGPEIL ; Diepte riolering van de berging rekening houden met afschot					
Poort: geïmpregneerd hout op stalen (gegalvaniseerd) frame, voorzien van deurstopper geplaatst op berging					
Poort voorzien van poorslot en cilinder gelijksluitend per woning, skg**					
Trappen en balustraden					
Op de begane grond is er een gesloten trap aanwezig van vurenhout					
Op de 1e verdieping is er een open trap aanwezig van vurenhout					
Horizontale traphekken en i.v.t. op trapboom van vurenhout; (hulp)spil en balustrades afgelakt in RAL 9001					
Hardhouten leuning rond 40 op aluminium leuninghouders					
Gegronde onderzijde van de trap					
Wit afgelakte trapbomen in RAL 9001					
Gegronde trapteken					
Vensterbanken					
Marmercomposite, Bianco C (o.g.) ; d=20mm ; geen vensterbank bij badkamerraam (wordt betegeld)					
Kunststeen badkamerdorpel, toilet dorpel en dorpel in warmtepomp ruimte achter de deur, antraciet					
Bij voorkeur GEEN Aluminium waterslagen, anders wel v.z.v. kopschotten, ankers en anti-dreunfolie. Muurafdekkers bij voorkeur					
Keuken overgenomen uit de circulaire woning uit het project 'Den Hoek' Helvoirt					
Dakgoten en hemelwaterafvoeren					
Hemelwaterafvoeren voor- en achterzijde woningen uitvoeren in grijze PVC rond 80mm voor het metselwerk gemonteerd, zonder sifon aangesloten op schoonwaterriool.					
Uitgangspunt : Zinken zelfdragende mastgoot en verzinkte stalen gootbeugels.					

6.6 Ontwerp van de Toekomstige Circulaire Woning

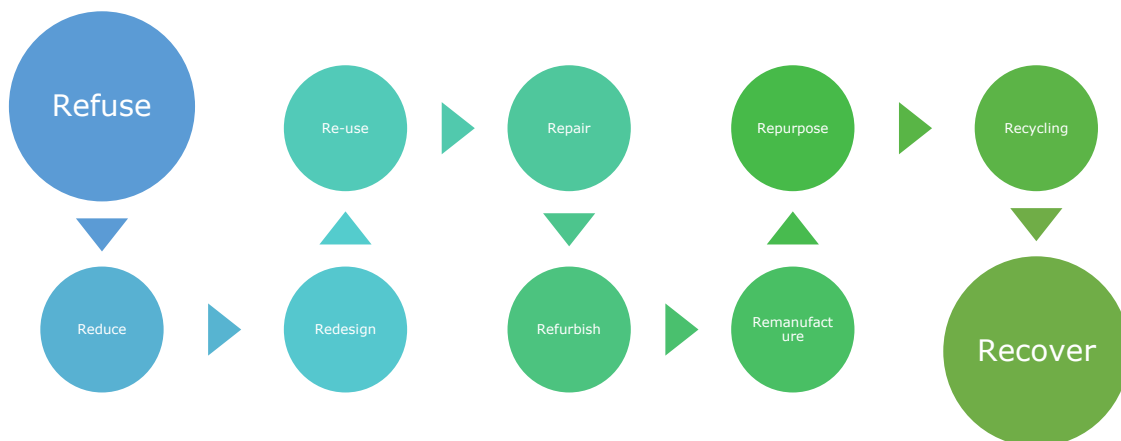
Tijdens het ontwerpen van een circulaire woning ligt de focus op het creëren van een product dat zo lang mogelijk hergebruikt kan worden. Dit zonder dat er extra grondstoffen nodig zijn. In het ontwerp wordt er alleen gebruik gemaakt van materialen met een verantwoordelijke herkomst, positief toekomstscenario en losmaakbaarheid, zoals omschreven is in *paragraaf 6.1*. Hieronder volgt een korte samenvatting van de punten die daar besproken zijn:

- Bij de verantwoorde herkomst wordt er uitgebreid onderzoek gedaan waar de materialen vandaan komen en dat ze niet schadelijk zijn voor het klimaat. Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gerecyclede, hergebruikte en biobased materialen.
- Om circulair te zijn, moeten de materialen die worden gebruikt in het ontwerp in de "end-of-life" recyclebaar, herbruikbaar of bij biobased materialen biologisch afbreekbaar zijn. De materialen gaan als het ware "in een kring rond", waarmee er een verantwoord toekomstscenario ontstaat.
- De materialen die gebruikt worden moeten losmaakbaar zijn, zodat ze hergebruikt kunnen worden. Daarom worden elementen niet gelijmd of gegoten. In plaats hiervan wordt er gebruik gemaakt van bouten en moeren, schroeven en tac tiles.

De TCW is ontworpen aan de hand van de uitgangspunten uit PVE, bouwmethode en de circulaire visie.

6.6.1 Circulaire aanpak ontwerp TCW

De circulaire materialen en de toepassing van die materialen spelen de hoofdrol in het ontwerp. Aan de hand van een uitgebreide materialen studie (*Bijlage IV*) zijn de materialen gekozen die voldoen aan de circulaire visie. Circulaire materialen vragen een andere manier van ontwerpen en detailleren. Om hier meer inzicht op te geven wordt de TCW uitgelegd aan de hand van het 10R-model. Het 10R-model wordt verder uitgelegd in *paragraaf 3.2.3.1* van *Bijlage I*.



Figuur 11: 10R-ladder, I. van der Zanden

Refuse (R1) en Reduce (R2)

In het ontwerp wordt er nagedacht of materialen en producten wel nodig zijn. Dit gaat samen met het verminderen van producten en materialen. In de TCW worden overbodige materialen en producten weggelaten. De woning is zo compact mogelijk ontworpen om zo min mogelijk materialen te hoeven gebruiken. Hierdoor is er een unieke plattegrond ontstaan waarbij je niet binnen komt in een standaard gang, maar meteen in de woonkamer. De oppervlakte waaruit de woning bestaat wordt hierdoor zo nuttig mogelijk gebruikt. Doordat de woning hierdoor kleiner is dan de woning van het project DHH,

wordt er veel materiaal bespaard. Ook maken we gebruik van natuurlijke zonwering, doordat de ramen en deuren in de gevel een diepe negge hebben. Hierdoor wordt er in de zomer een groot deel van de zon tegengehouden. Hier is verder onderzoek naar gedaan in *Bijlage VI*.

Redesign (R3)

Is het mogelijk om een product zodanig te herontwerpen dat het makkelijk kan worden toegepast in een volgend ontwerp? Het is belangrijk dat materialen met een lange levensduur kunnen worden hergebruikt als de TCW het einde van zijn levenscyclus heeft bereikt. De TCW is zo ontworpen dat er maar in enkele elementen sparingen hoeven worden gemaakt. Hierdoor kunnen de andere elementen op een gemakkelijke manier worden hergebruikt.

De meterkast, toilet, keuken en trap zijn op de begane grond als een kern ontworpen. Hierdoor zitten alle leidingen bij elkaar en hoeven er maar een beperkt aantal sparingen in de elementen gemaakt te worden. Deze kern is doorgevoerd door de woning naar de 1e (badkamer en trap) en 2e verdieping (technische ruimte en trap).

Re-use (R4)

Is het mogelijk om verschillende producten te hergebruiken in het ontwerp, waarbij de materialen in zijn geheel dezelfde functie behouden? In de circulaire woning wordt er gebruik gemaakt van circulaire dakpannen en hergebruikte deuren. Dit zijn elementen die worden hergebruikt uit woningen die worden gesloopt. Dit wordt ook wel geoogst genoemd. De producten worden nagekeken en gekeurd. De elementen die nog van goede kwaliteit zijn worden hergebruikt en toegepast in de TCW. Er wordt hierdoor ontworpen met elementen die op dit moment beschikbaar zijn. Hierdoor kan je bijvoorbeeld niet de kleur dakpannen die je wilt kiezen, maar wordt er ontworpen met dakpannen die er op dit moment beschikbaar zijn.

Repair (R5), Refurbish (R6) en Remanufacture (R7)

Is het mogelijk om defecte, verouderde en afgedankte materialen te hergebruiken of een nieuwe functie te geven? Het dak van de woning wordt geïsoleerd met versleten spijkerbroeken. VRK zet in een maand afgedankte spijkerbroeken om in hoogwaardig isolatiemateriaal (VRK, z.d.). Dit materiaal kan breed worden toegepast in de bouw en na gebruik kan het opnieuw gerecycled worden.

Ook de gevel wordt geïsoleerd met een restproduct, namelijk stro. Ook is de circulaire kanaalplaatvloer op de begane grond gemaakt van hergebruikt beton. In de TCW worden veel hergebruikte materialen toegepast.

Repurpose (R8) en Recycling (R9)

Welke materialen kunnen aan het einde van de levensduur van de TCW hergebruikt worden met een ander doel? Of verwerkt worden tot grondstof?

De materialen die gebruikt worden moeten losmaakbaar zijn, zodat ze hergebruikt kunnen worden. Daarom worden elementen niet gelijmd of gegoten. Hierdoor kan de woning gemakkelijk uit elkaar worden gehaald. Verschillende elementen kunnen in hun geheel worden hergebruikt in een volgend project. De materialen die zijn gebruikt in het ontwerp zijn in de "end-of-life" recyclebaar, herbruikbaar of bij biobased materialen biologisch afbreekbaar. De materialen gaan als het ware "in een kring rond", waarmee er een verantwoordelijk toekomstscenario ontstaat. De circulaire woning is voor 77% losmaakbaar. Voor de materialen is de meest verantwoorde keuze gemaakt. Helaas is

het in de huidige markt nog niet mogelijk om een gebouw te ontwerpen met een BCI-score van 100%.

Recover (R10)

Materialen die niet meer te gebruiken zijn worden verbrand. Hiermee wordt energie teruggewonnen. Zo min mogelijk materialen moeten bij deze stap terecht komen. Helaas zal gevelbekleding niet zo lang meegaan als de constructie. Dit materiaal kan gere-integreerd worden in de energie transitie. (10R model, 2023)

6.6.1.1 Circulair detailleren

Circulair bouwen betekent zowel circulariteit in het ontwerp maar ook in de details. Om tot een circulair ontwerp en details te komen is het 10R-model een essentieel hulpmiddel.

Een gebouw is op te delen in verschillende lagen. Elke laag heeft zijn eigen verwachte duurzaamheid en levensduur. De lagen zijn onder te verdelen als de 6S'en, oftewel de Shearing Layers of Brand. In een detail komen deze verschillende lagen samen, niet alleen als een verbinding van materialen, maar ook als combinatie van functie. Een goed voorbeeld is de gevel waar constructie en bekleding samenkomen.

Tijdens de materiaalkeuze moet er worden voldaan aan verschillende eisen zoals: brandveiligheid, geluidsisolatie, lucht- en waterdichtheid. De gehele huid van de gevel moet aan deze eisen voldoen. Voor veel bouwmaterialen geldt dat er gewerkt moet worden met een dampdichte folie aan de waterkant van de gevel. Dit komt doordat materialen als glaswol en steenwol vocht kunnen opnemen. Bij deze materialen is dampdicht bouwen belangrijk om waterproblemen in de gevel te voorkomen.

In de TCW wordt de gevel geïsoleerd met het biobased materiaal stro. Stro kan wel vocht opnemen. Hierdoor is het mogelijk om dampopen te isoleren, dit levert een beter binnenklimaat op. De voorwaarde hiervoor is dat de buitenzijde voldoende dampopen wordt afgewerkt, hierdoor zal er meer vocht verdampen dan condenseren. Of de gevels een goede balans hebben kan worden aangetoond met een WUFI-calculatie, deze calculatie is te vinden in *Bijlage VI*e van het ontwerpproces. De berekening is uitgevoerd in Ierland. Dit is een land in Europa met een vergelijkbaar klimaat. De berekening is uitgevoerd door Ecococon. (Ecococon, 2023)

Verder moet de dichte schil ook gecombineerd worden met demontabel bouwen, dit vraagt ook een andere manier van detailleren. Er wordt zo min mogelijk gebruik gemaakt van kitten en lijmen. Er wordt voor gekozen om zoveel mogelijk gebruik te maken van bouten en moeren. Maar ook lijmverbindingen die eenvoudig losgemaakt kunnen worden.

6.6.2 Natuurinclusief

In het ontwerp wordt er rekening gehouden met de natuur, klimaat en biodiversiteit in de omgeving. De woning is voorzien van een vogelvrije, waarmee we de uitsterving van de huismus willen tegengaan. Aan de noordzijde van de woningen worden plantenbakken geplaatst. De plantenbakken houden regenwater tijdelijk vast en zuiveren het voordat het wordt afgevoerd naar gemeentegrond. De plantenbakken zijn waterdicht. Ze worden gevuld met grind, aarde en planten. De bakken worden voorzien van een drainpijp, zodat het gezakte water wegstroomt. Tijdens extreme regenval wordt het water langer vastgehouden wat ervoor zorgt dat het waternetwerk niet overbelast raakt. (Rainproof, 2023)

In de plantenbakken wordt de plant "De Grote Kattenstaart" geplaatst. Deze plant trekt veel insecten aan. Hierdoor heeft de huismus voldoende voedsel. Aan de zuidzijde van de woning wordt een pergola geplaatst, die ruimte biedt aan klimplanten. De pergola en de

planten zorgen in de warme zomermaanden voor zonwering. Tijdens de wintermaanden wordt het zonlicht juist binnengelaten als de plant zijn bladeren verliest en de zon lager staat. De pergola staat altijd op de zuidzijde van de woning en is zo ontworpen dat hij op de achtergevel en voorgevel bevestigd kan worden.

6.6.3 *Nul-op-de-Meter*

Zoals eerder benoemd, worden de installaties in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De installaties worden overgenomen uit de circulaire woningen van het project DHH. Hieronder wordt uitgelegd waarom de woningen van DHH NOM-woningen zijn.

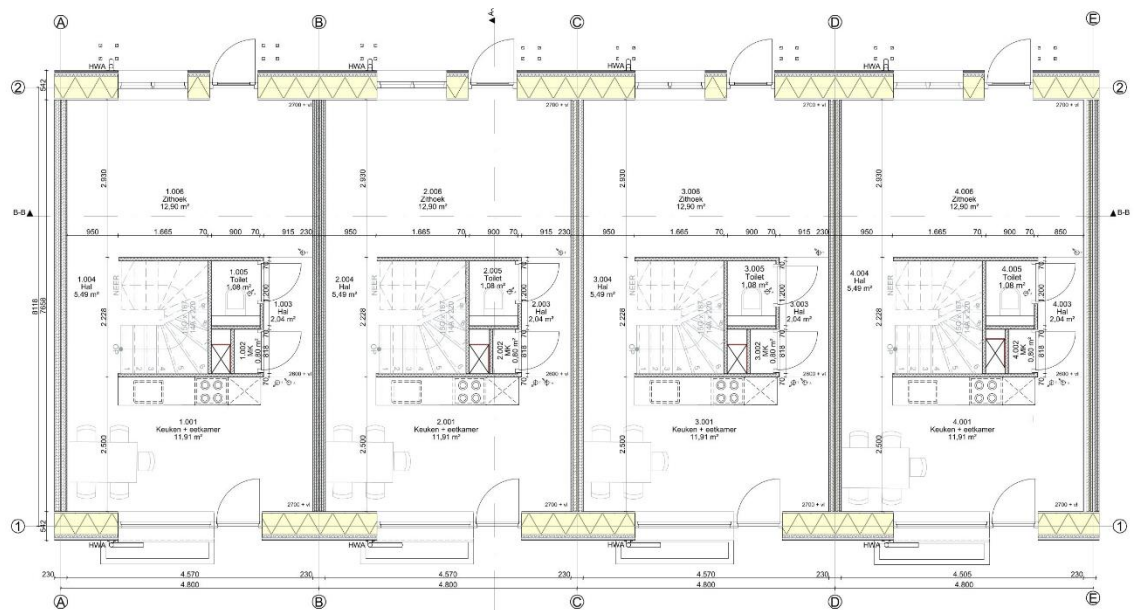
Op het dak van de woning liggen 8 zonnepanelen. Hiermee wordt de energievraag van de bodemwarmtepomp, vloerverwarming en WTW-installatie (warmte-terug-win installatie) voorzien. Daarnaast wekken de zonnepanelen voldoende energie op voor de bewoners. De woningen hebben dan ook het stempel NOM mogen ontvangen. Dit houdt in dat er net zoveel energie wordt opgewekt als verbruikt, uitgaande van een normaal energiegebruik. Door gebruik te maken van verschillende technische installaties hebben de woningen deze stempel kunnen behalen. De woningen beschikken over een bodemwaterpomp. Deze verwarmt de woning in de winter en koelt met behulp van een waterbron diep in de grond. Ook is de woning voorzien van een WTW-installatie, welke zorgt voor een aangename temperatuur in huis. De installatie haalt frisse lucht van buiten naar binnen en verwarmt de buitenlucht met de warme lucht in de woning.

6.6.4 *TCW ontwerp*

De technische uitwerkingen van het ontwerp zijn in deze in figuur 11, 12 en 13 toegevoegd. De technische tekeningen en verdere uitwerkingen zijn in de bijlage op schaal toegevoegd. De tekeningen zijn te vinden in *Bijlage VIa en VIb*.

Deze tekeningen zijn de definitieve tekeningen na alle aanpassingen gedurende het proces. De tekeningen omvatten de plattegronden van de begane grond, 1^e en 2^e verdieping en de gevelaanzichten van de TCW.

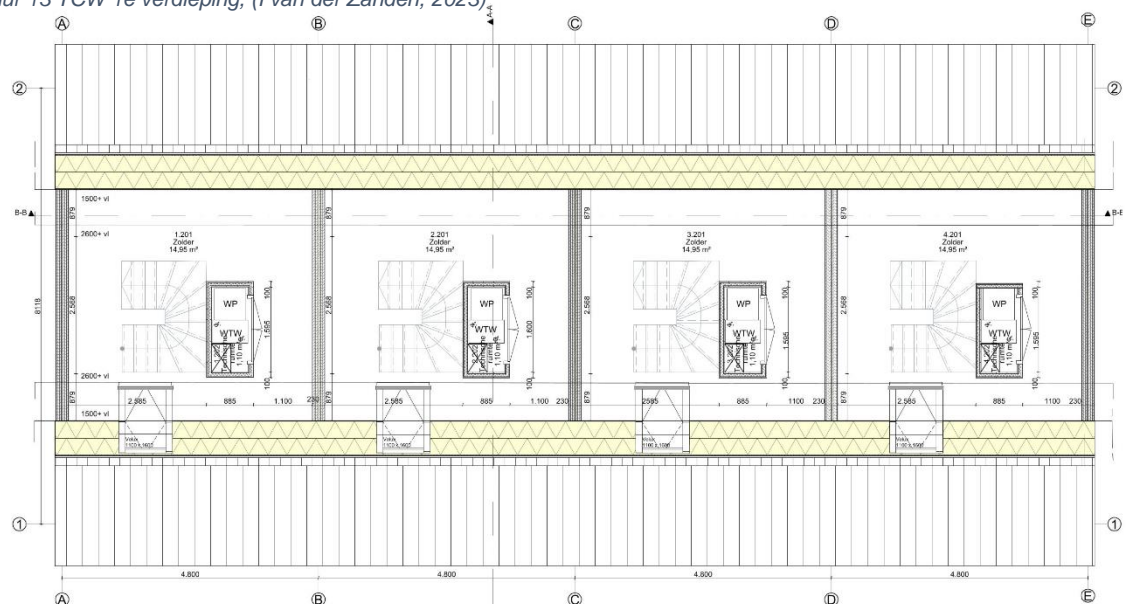
Daarnaast staat er op het voorblad van deze scriptie een render van de TCW in de vorm van een seriematige wijk. In *Bijlage VIId* zijn nog meer renderingen weergegeven.



Figuur 12 TCW Begane grond, (I van der Zanden, 2023)



Figuur 13 TCW 1e verdieping, (I van der Zanden, 2023)



Figuur 14 TCW 2e verdieping, (I van der Zanden, 2023)

Toekomstige Circulaire Woning



Figuur 15 TCW Noordgevel, (I van der Zanden, 2023)



Figuur 16 TCW Zuidgevel, (I van der Zanden, 2023)

6.7 Kosten

Een belangrijk onderdeel om de onderzoeksvraag te beantwoorden, zijn de bouwkosten van de TCW. In *Bijlage VII* is uitgebreid onderzoek gedaan naar de bouwkosten van traditioneel en circulair bouwen. Wat is het verschil tussen traditioneel en circulair bouwen en wat worden de bouwkosten van de TCW?

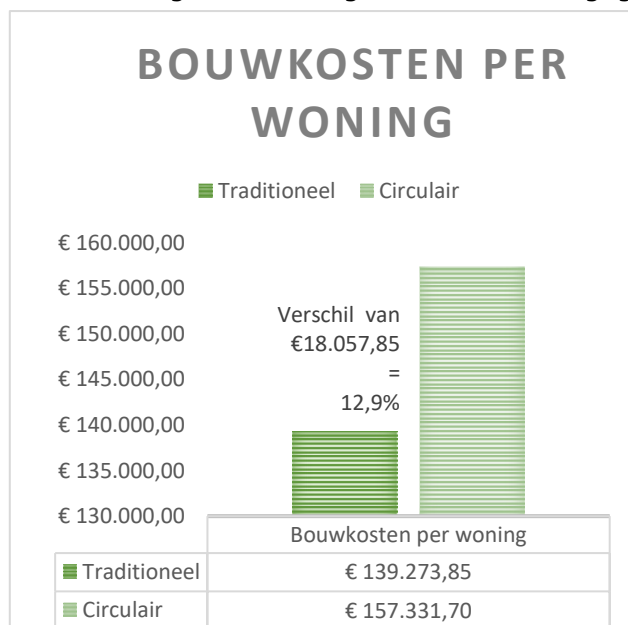
6.7.1 Verschil bouwkosten

In *hoofdstuk 4.1 van Bijlage VII* is de uitleg van het verschil betreffende bouwkosten te lezen. De begrotingen van de andere projecten binnen VDH die gebruikt zijn voor dit onderzoek zijn op de volgende datums gemaakt:

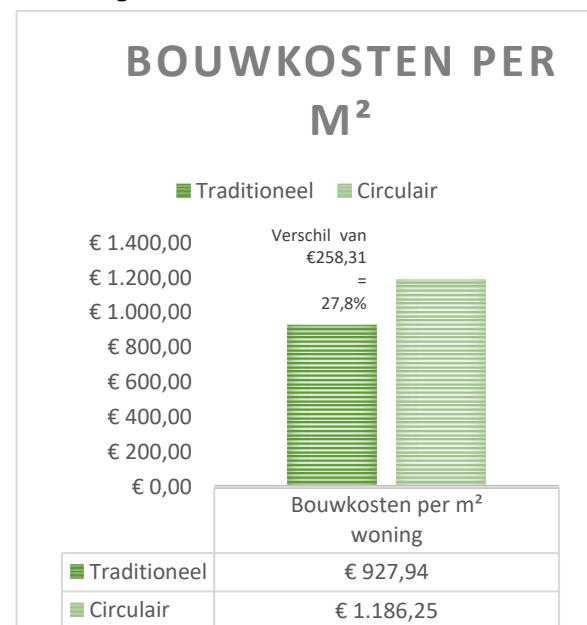
- Den Hoek in Helvoirt: 13 oktober 2022 → Circulaire woning
- Venster van Made: 13 december 2022 → Traditionele woning

De inflatie in deze periode bedraagt 7,9 procent (BDB, 2023). Deze inflatie wordt meegenomen in het kostenonderzoek om een bruikbare vergelijking te maken. De kosten verder in dit onderzoek zijn dus inclusief de inflatie van 7,9 procent.

Het verschil tussen de bouwkosten kan worden weergegeven in figuur 17 en 18. Bij figuur 18 is het BVO van de woning buiten beschouwing gelaten. Om echter een bruikbare vergelijking te krijgen voor het percentage van het verschil is het BVO van beide woningen ook meegenomen en weergegeven in figuur 17.



Figuur 17: Verschil bouwkosten per woning, L. van der Sanden



Figuur 18: Verschil bouwkosten per m², L. van der Sanden

Dit resulteert in een verschil betreffende de bouwkosten per m² BVO van 27,8% tussen een traditionele en circulaire woning en een verschil van 12,9% tussen de bouwkosten per woning. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de volgende onderdelen:

- Binnenwanden
 - FAAY-seperatiepanelen zijn maar liefst 89,4 procent duurder dan de Ytong-panelen
- Gevel
 - De HSB-elementen zijn het duurste waardoor het verschil uitkomt op 47,7 procent
- 2^e verdiepingvloer

- Een circulaire kanaalplaatvloer is 23,1 procent duurder dan een "normale" kanaalplaatvloer

Deze drie onderdelen vormen de grootste veroorzakers van het verschil tussen traditioneel en circulair bouwen.

In tabel 18 is het verschil betreffende de bouwkosten per m² gebouwelement weergegeven. Dit zijn de bouwkosten inclusief inflatie. Ook hierin is terug te zien dat de grootste verschillen in de binnenwanden, gevel en 2^e verdiepingvloer zitten. Rood betekent hierin dat circulair duurder is, groen betekent dat circulair goedkoper is dan traditioneel. Sommige bouwkosten zijn inclusief arbeid, sommige exclusief. In de begrotingen in *Bijlage VIIb en VIIc* is te zien welke onderdelen inclusief arbeid zijn. De onderdelen welke inclusief arbeid zijn, worden ook inclusief arbeid gerekend voor de TCW.

Tabel 18: Bouwkosten inclusief inflatie, L. van der Sanden

Onderdeel	Omschrijving traditioneel	Omschrijving circulair	Kosten traditioneel	Kosten circulair	Vershil	Vershil in %
Fundering	Mortelschroefpalen met fundatiebalken	Mortelschroefpalen met fundatiebalken	€ 204,82	€ 227,23	€ 22,41	10,9%
Begane grondvloer	Ribcasettevloer met morteldekvlloor	Ribcasettevloer met morteldekvlloor	€ 70,86	€ 66,82	€ -4,04	-5,7%
1 ^e verdiepingvloer	Kanaalplaatvloer met morteldekvlloor	Circulaire kanaalplaatvloer met morteldekvlloor	€ 99,75	€ 99,29	€ -0,46	-0,5%
2 ^e verdiepingvloer	Kanaalplaatvloer met morteldekvlloor	Circulaire kanaalplaatvloer met morteldekvlloor	€ 96,26	€ 118,48	€ 22,23	23,1%
Gevel	Gevel met metselwerk	HSB-wanden incl. gelijmde Rockpanel (met prefab element)	€ 284,53	€ 420,16	€ 135,63	47,7%
Gevel	Gevel met metselwerk	HSB-wanden incl. gelijmde Rockpanel (zonder prefab element)	€ 284,53	€ 320,32	€ 35,79	12,6%
Dak	Prefab gording- of sporenkap met dakpannen	Prefab gording- of sporenkap met dakpannen	€ 299,67	€ 315,23	€ 15,56	5,2%
Kozijnen	Houten buitenkozijnen	Houten buitenkozijnen	€ 511,37	€ 471,78	€ -39,59	-7,7%
Binnenwanden	Ytong-seperatiepanelen	FAAY-seperatiepanelen	€ 55,82	€ 105,71	€ 49,89	89,4%
Woning-scheidende wand	Prefab betonnen elementen met isolatie	Prefab betonnen elementen met isolatie	€ 105,85	€ 123,90	€ 18,05	17,1%

6.7.2 Bouwkosten per m² TCW

Vanuit de offerteaanvragen en reacties van de bedrijven, benoemd in *paragraaf 4.3 van Bijlage VII*, worden de kosten per m¹ of m² bepaald. Deze kosten worden weergegeven in een tabel met het juiste onderdeel van de details erbij welke te zien zijn in *Bijlage VIa*. Dit wordt in m² of in m¹ uitgedrukt. Uiteindelijk worden de kosten van traditioneel en circulair vergeleken met de kosten per m²/m¹ uit *paragraaf 4.1 van Bijlage VII*. Hieronder is een overzicht van alle onderdelen met de bijbehorende prijs per m² of m¹.

Tabel 19: Bouwkosten per m² of m¹ TCW, L. van der Sanden

Onderdeel	Materiaal	Prijs	Per
Fundering	Mortelschroefpalen met prefab funderingsbalken	€ 227,23	M1
Begane grondvloer	Circulaire kanaalplaatvloer met droge zwevende dekvloer	€ 129,67	M2
1e verdiepingvloer	CLT-vloer met droge zwevende dekvloer	€ 252,08	M2
2e verdiepingvloer	CLT-vloer met droge zwevende dekvloer	€ 252,08	M2
Gevel met houten gevelbekleding	Stropaneel met Thermo Vuren hout	€ 286,90	M2
Gevel met stucwerk	Stropaneel met dampopen stucwerk	€ 313,59	M2
Dak	Prefab sporenkap met spijkerbroekisolatie en circulaire dakpannen	€ 381,38	M2
Kozijnen	Circulaire houten kozijnen	€ 471,78	M2
Woningscheidende wanden	CLT-wanden	€ 227,33	M2
Binnenwanden	Demontabele scheidingswanden	€ 78,87	M2

6.7.3 Bouwkostenbegroting

Op basis van de prijzen uit de offertes en de bouwkosten inclusief inflatie uit de begroting van DHH is er een bouwkostenbegroting opgezet voor de TCW. Zoals in *paragraaf 6.7.1* is uitgelegd worden de onderdelen die inclusief arbeid berekend zijn in de begrotingen van VDH ook inclusief arbeid gerekend voor de TCW. De gehele bouwkostenbegroting is te zien in *Bijlage VIId*. In tabel 20 is aangegeven welke onderdelen van de bouwkostenbegroting uitgelicht worden en welke prijs erbij hoort.

Tabel 20: Onderdelen bouwkostenbegroting TCW, L. van der Sanden

Onderdeel	Prijs
Algemeen	€431,60
Onderbouw	€10.346,63
Skelet	€40.518,27
Dakafbouw/dakafwerking	€4.337,13
Gevelafbouw/gevelafwerking	€22.003,75
Binnenafbouw/binnenwandafwerking	€6.090,54
Binnenwandafwerking	€10.554,11
Vloerafbouw/vloerafwerking	€3.822,88
Trappen en balustraden	€4.952,22
Installaties	€45.990,27
Vaste inrichtingen en voorzieningen	€6.186,10
Terreininrichting	€25,00

Alle onderdelen uit tabel 41 worden bij elkaar opgeteld om tot de totale bouwkosten te komen. De totale bouwkosten van de TCW komen hierbij uit op het onderstaande bedrag:

€155.258,49

Dit is voor alle materialen in de TCW, waarvan sommige door onderaannemers uitgevoerd worden en dus ook arbeid bevatten. Dit is terug te vinden in de bouwkostenbegroting in *Bijlage VIId*.

7. Conclusie

Aan de hand van de onderzoeksresultaten in *hoofdstuk 6* is het mogelijk om de onderzoeksvraag te beantwoorden. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

Hoe ziet de circulaire seriematige woning eruit, terwijl de bouwkosten van deze woning ten opzichte van de bouwkosten van een huidige circulaire woning zo veel mogelijk reduceren?

In deze onderzoeksvraag zijn er verschillende aspecten van belang. Allereerst is het ontwerp van de TCW van belang. Het ontwerp wordt ontworpen voor circulariteit welke getoetst wordt op de BCI-score van de TCW. Daarnaast zijn de bouwkosten van de TCW een belangrijk aspect in het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Hierin wordt er onderscheid gemaakt tussen de bouwkosten voor de gehele TCW en de bouwkosten per m² BVO van de TCW. In de volgende paragrafen wordt er antwoord gegeven op beide onderdelen.

7.1 Toekomstige Circulaire Woning

Tijdens het ontwerpen van een circulaire woning ligt de focus op het creëren van een product dat zo lang mogelijk hergebruikt kan worden. Dit zonder dat er extra grondstoffen nodig zijn. In het ontwerp wordt er alleen gebruik gemaakt van materialen met een verantwoordelijke herkomst, positief toekomstscenario en losmaakbaarheid.

De circulaire materialen en de toepassing spelen de hoofdrol in het ontwerp. Aan de hand van een uitgebreide materialen studie, zijn de materialen gekozen die voldoen aan de circulaire visie. Circulaire materialen vragen een andere manier van ontwerpen en detailleren.

Aan de hand van de circulaire eisen is een woning ontstaan met een unieke plattegrond. Hierbij heeft de woning een BCI-score van 69 procent behaald. Hiermee voldoet de TCW aan de doestelling met een BCI-score van minstens 60 procent. De hoofdvraag wordt beantwoord aan de hand van technische plattegronden en gevels. Deze zijn op schaal weergegeven in *Bijlage VI, VIa en VIb*.

7.2 Bouwkosten Toekomstige Circulaire Woning

De bouwkosten van de TCW zijn zoals eerder genoemd opgedeeld in twee verschillende onderdelen om te vergelijken. Circulair bouwen is namelijk niet alleen het gebruik van biobased, herbruikbare en hergebruikte materialen maar ook het beperken van het gebruik van zo min mogelijk nieuwe materialen. De uitgebreide uitleg over circulair is te lezen in *Bijlage I*. De conclusie betreffende de bouwkosten wordt hieronder in twee onderdelen beantwoord. De kosten van traditioneel zijn gebaseerd op de bouwkostenbegroting van het Venster van Made en de circulaire bouwkosten op de bouwkostenbegroting van Den Hoek in Helvoirt.

7.2.1 Bouwkosten per m² BVO TCW

De vergelijking van de bouwkosten per m² van de TCW wordt in tabel 21 weergegeven. De volledige opbouw van de bouwkosten van elk type woning is in *Bijlage VII* weergegeven. De gevel wordt in een aparte tabel vergeleken in verband met de verschillende materialen. De tabellen zijn geordend op volgorde van de Layers of Brand, exclusief de gevel. Deze is apart opgenomen. Groen betekent een positief verschil ten opzichte van traditioneel/circulair, rood een negatief verschil.

Tabel 21: Vergelijking bouwkosten per m², L. van der Sanden

Onderdeel	Kosten traditioneel	Kosten circulair	Kosten TCW	Vershil traditioneel en circulair	Vershil traditioneel en TCW	Vershil circulair en TCW

Fundering	€ 204,82	€ 227,23	€227,23	€ 22,41	€ 22,41	€ 0,00
Begane grondvloer	€ 70,86	€ 66,82	€129,67	€ 4,04	€ 58,66	€ 62,70
1 ^e verdiepingsvloer	€ 99,75	€ 99,29	€252,08	€ 0,46	€ 152,33	€ 152,79
2 ^e verdiepingsvloer	€ 96,26	€ 118,48	€252,08	€ 22,23	€ 155,82	€ 133,60
Dak	€ 299,67	€ 315,23	€381,38	€ 15,56	€ 81,71	€ 66,15
Woning-scheidende wand	€ 105,85	€ 123,90	€227,33	€ 18,05	€ 121,48	€ 103,43
Kozijnen	€ 511,37	€ 471,78	€471,78	€ 39,59	€ -39,59	€ 0,00
Binnenwanden	€ 55,82	€ 105,71	€ 78,87	€ 49,89	€ 23,05	€ 26,84

Tabel 22: Bouwkosten per m² gevel, L. van der Sanden

	Soort	Kosten	Verskil met traditioneel	Verskil met circulair incl. prefab	Verskil met circulair excl. prefab
Gevel met metselwerk	Traditioneel	€284,53	-	-	-
HSB-wanden incl. gelijkde Rockpanel (met prefab element)	Circulair	€ 420,16	€135,63	-	-
HSB-wanden incl. gelijkde Rockpanel (zonder prefab element)	Circulair	€ 320,32	€35,79	-	-
Stropanelen met houten gevelbekleding	TCW	€ 286,90	€2,37	€133,26	€33,42
Stropanelen met stucwerk	TCW	€ 313,59	€29,06	€ 70,57	€6,73

Het verschil kan ook kort uitgedrukt worden in percentages. Deze worden weergegeven in tabel 23 en 24.

Tabel 23: Verschil bouwkosten in %, L. van der Sanden

Onderdeel	Verskil traditioneel en circulair in %	Verskil traditioneel en TCW in %	Verskil circulair en TCW in %
Fundering	11,0%	11,0%	0,00%
Begane grondvloer	5,7%	78,6%	93,8%
1 ^e verdiepingsvloer	0,5%	152,7%	153,9%
2 ^e verdiepingsvloer	23,1%	161,9%	112,8%
Dak	5,2%	27,3%	21,0%
Woningsscheidende wand	17,1%	114,8%	83,5%
Kozijnen	7,7%	7,7%	0,00%
Binnenwanden	89,4%	41,3%	25,4%

Tabel 24: Verschil bouwkosten gevel %, L. van der Sanden

	Soort	Verschil met traditioneel in %	Verschil met circulair incl. prefab in %	Verschil met circulair excl. prefab in %
Gevel met metselwerk	Traditioneel	-	-	-
HSB-wanden (met prefab element)	Circulair	47,7%	-	-
HSB-wanden (zonder prefab element)	Circulair	12,6%	-	-
Stropanelen met houten gevelbekleding	TCW	0,8%	-31,7%	-10,4%
Stropanelen met stucwerk	TCW	10,2%	-25,4%	-2,1%

Kijkend naar de percentages in tabel 23 en 24 kunnen de volgende conclusies getrokken worden betreft de bouwkosten per m² gebouwelement van de TCW:

- De prijs per m² fundering van de TCW is overgenomen waardoor de prijs per m² niet gestegen is ten opzichte van de circulaire woning van het project in Den Hoek in Helvoirt.
- De vloeren (begane grond, eerste verdiepingvloer en tweede verdiepingvloer) zijn per m² significant duurder geworden ten opzichte van het project Den Hoek in Helvoirt.
 - Voor de begane grond wordt dit veroorzaakt door de circulaire kanaalplaatvloer in de TCW in tegenstelling tot de ribcassettevloer van DHH. Daarnaast is ook de dekvloer van de TCW duurder.
 - Voor de eerste en tweede verdiepingvloer wordt dit veroorzaakt door het kiezen van CLT voor de TCW. Het CLT is minstens 2 keer zo duur dan de circulaire kanaalplaatvloer van DHH.
- De prijs van het dak is gestegen ten opzichte van de bouwkosten van DHH. Dit wordt door zowel het prefab sporendak als de dakpanbedekking veroorzaakt.
- De prijs van de kozijnen zijn gelijk gebleven gezien deze kosten zijn overgenomen uit project DHH vanwege het niet tijdig ontvangen van de offertes.
- De binnenwanden van de TCW zijn aanzienlijk gedaald ten opzichte van de binnenwanden in project DHH. Dit onderdeel is 25,4 procent gedaald ten opzichte van DHH.
- De prijs van de woningscheidende wanden zijn ook gestegen per m² van de TCW. Dit wordt ook veroorzaakt door de keuze van CLT in de TCW ten opzichte van prefabbeton in DHH.
- De gevel van de TCW is echter wel in bouwkosten gedaald. Dit element ligt dichterbij traditioneel bouwen dan de gevel van DHH. Dit komt voornamelijk door de keuze voor stropanelen in tegenstelling tot HSB-elementen. Daarnaast is er ook een goedkopere gevelbekleding gebruikt en is er door de keuze om twee verschillende gevelbekledingen te gebruiken ook kosten bespaard.

Het is dus niet voor alle elementen gelukt om de bouwkosten per m² te laten dalen. Dit is alleen gelukt voor de gevel. Echter was de gevel van DHH één van de grootste veroorzakers van de hoge prijs van de circulaire woning. Hierin is dus een vooruitgang geboekt. Daarnaast zijn ook de binnenwanden betreffende de kosten gedaald, welke ook één van de grootste veroorzakers was van de hoge bouwkosten per m².

7.2.2 Bouwkosten TCW

De bouwkosten van de TCW worden vergeleken met de bouwkosten van de traditionele woning en de circulaire woning. Dit zijn de bouwkosten voor een circulaire woning met een BCI-score van 69%. Hierin wordt met de bouwkosten inclusief inflatie gerekend. In tabel 26 en 27 worden alle bouwkosten met elkaar vergeleken.

Tabel 25: Bouwkosten met inflatie per BVO, L. van der Sanden

Soort woning	BVO [m ²]	Bouwkosten p/woning	Prijs per woning
Traditioneel	150,09	€139.273,85	€927,94
Circulair	132,63	€157.331,70	€1.186,25
TCW	125,85	€155.258,49	€1.233,68

Tabel 26: Verschil bouwkosten totaal, L. van der Sanden

Soort	Prijs	Verschil met traditioneel	Verschil in %	Verschil met circulair	Verschil in %
Traditioneel	€ 139.273,85	-	-	-	-
Circulair	€ 157.331,70	€ 18.057,85	13,0%	-	-
TCW	€ 155.258,49	€ 15.984,64	11,5%	€ 2.073,21	1,3%

Tabel 27: Verschil bouwkosten per BVO, L. van der Sanden

Soort	Prijs	Verschil met traditioneel	Verschil in %	Verschil met circulair	Verschil in %
Traditioneel	€ 927,94	-	-	-	-
Circulair	€ 1.186,25	€ 258,31	27,8%	-	-
TCW	€ 1.233,68	€ 305,74	32,9%	€ 47,43	4,0%

Uit de tabellen kunnen de volgende conclusies getrokken worden betreffende de bouwkosten (per BVO):

- De TCW heeft een verschil van 11,5 procent ten opzichte van traditioneel kijkend naar de totale bouwkosten. Bij de circulaire woning van het project DHH is dit percentage 13,0 procent. De TCW is een verbetering van 1,5 procent. Het verschil tussen de circulaire woningen is 1,3 procent. De TCW is dus ook een verbetering betreffende de totale bouwkosten.
- De TCW heeft hogere bouwkosten per BVO, namelijk een verschil van 32,9 procent ten opzichte van 27,8 procent voor de circulaire woning. Dit is een verschil van 5,1 procent. Daarnaast is het verschil tussen de circulaire woningen 4,0 procent.

De TCW is dus betreffende totale bouwkosten gedaald, terwijl de bouwkosten per BVO gestegen zijn. Echter is circulair bouwen ook het reduceren van het gebruik van nieuwe materialen, waardoor kleiner bouwen ook onderdeel is van circulair bouwen. Hierdoor zijn de bouwkosten per m² BVO minder belangrijk dan de totale bouwkosten van de TCW. Het is dus mogelijk om een circulaire woning te ontwikkelen die betreffende de bouwkosten dicht bij traditioneel bouwen ligt. Er is namelijk een positief verschil van 1,5 procent (13,0-11,5).

8. Discussie

8.1 Validiteit

8.1.1 Indruksvaliditeit

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van mixed-methods. In *hoofdstuk 5 Methodologie* is er per onderzoeksvraag aangegeven welke onderzoeksmethode het beste past. Hieronder in tabel 28 wordt per onderzoeksvraag aangegeven waarom deze methode er het beste bijpast.

Tabel 28: Mixed-methods, L. van der Sanden

Deelvraag	Methode
Wat wordt er verstaan onder circulair?	Literatuuronderzoek. Deze methode maakt duidelijk welke kennis er al is over circulair in Nederland en de wereld. Deze kennis geeft duidelijkheid en een uitgangspunt voor verder onderzoek en interviews.
Wat is de visie van VDH en Archifit op het gebied van circulair bouwen en hoever zijn ze hier al in?	Literatuuronderzoek, interview, casestudy. Het literatuuronderzoek geeft een handvat voor de stellen vragen in het interview. De interviews geven een duidelijk beeld intern van beide bedrijven. De casestudy laat zien wat het uitgangspunt is voor huidige circulaire woningen.
Wat kenmerkt (circulaire) seriematige woningbouw?	Literatuuronderzoek, casestudy. Beide methodes geven een duidelijk beeld waar binnen de TCW moet vallen. Zo zorgt het literatuuronderzoek voor de betekenis van het begrip en de casestudy zorgt voor een duidelijk beeld van seriematige woningbouw en wat hieronder valt.
Welke bouwmethodes zijn het meest passend om circulair te bouwen?	Literatuuronderzoek. Literatuuronderzoek geeft een beeld van welke methodes er zijn en wat de voor- en nadelen zijn. Er wordt door middel van deze methode een beeld per bouwmethode gegeven en informatie verkregen. Deze informatie kan dan weer verder verwerkt en geanalyseerd worden.
Welke materialen voor woningbouw voldoen aan de opgestelde circulaire visie?	Literatuuronderzoek, ontwerp onderzoek. Het literatuuronderzoek geeft een beeld van welke materialen circulair en bruikbaar zijn voor onze TCW. Aan de hand van het ontwerp worden dan de materialen gekozen die het best passend zijn. Deze moeten namelijk ook passen in de te ontwerpen woning.
Wie zijn de opdrachtgevers voor de circulaire woningen en wat zijn hun eisen/wensen?	Enquête, interview, literatuuronderzoek. Het literatuuronderzoek geeft een handvat voor de te stellen vragen in de enquêtes en interviews. Door een groot respons te krijgen op de enquêtes en interviews hebben we een betrouwbaar resultaat en inzicht in het PVE voor de TCW.
Hoe gaat de seriematige circulaire woning eruitzien?	Ontwerp onderzoek. De vorige onderzoeken worden samengevoegd tot een ontwerp. Dit is een ontwerp onderzoek waarin het ontwerp van de TCW ontwikkeld wordt. Hierin worden varianten en mogelijkheden bekeken door middel van ontwerpen.
Wat is het verschil betreffende bouwkosten tussen een traditionele woning en een circulaire woning?	Literatuuronderzoek, casestudy. Literatuuronderzoek laat zien wat bouwkosten zijn en wat hierin meegerekend wordt. De casestudy wordt gedaan door begrotingen van huidige projecten te analyseren en met elkaar te vergelijken.
Wat worden de bouwkosten voor de circulaire woning?	Ontwerp onderzoek, literatuuronderzoek. Er wordt literatuuronderzoek gedaan naar de kosten van de TCW en dit wordt verwerkt in een bouwkostenbegroting. De begroting wordt opgesteld door een ontwerp onderzoek. Er worden varianten gemaakt van de begroting waarin duurdere en goedkopere elementen zijn opgenomen.

8.1.2 Inhoudsvaliditeit

Het onderzoek betreft de ontwikkeling van een betaalbare circulaire woning. Het meten van de circulariteit van een woning kan door middel van de BCI-score. Deze score is te meten met een programma van Alba Concepts. De betaalbaarheid van de woning is te meten door de bouwkosten te vergelijken met de bouwkosten van de meest recente projecten binnen VDH en Archifit. Dit is het meest recente circulaire project en het meest recente traditionele project. Dit zijn namelijk de meest actuele prijzen.

8.1.3 Begripsvaliditeit

De BCI-score van de TCW is vergeleken met de BCI-scores van andere projecten. De resultaten hiervan zijn vergelijkbaar. Hierdoor is de begripsvaliditeit van de BCI-score van de TCW hoog.

De bouwkosten van de TCW zijn vergeleken met een andere circulaire begroting en de traditionele begroting. De bouwkosten van de TCW zijn vergelijkbaar met de bouwkosten van de woningen uit het project van Den Hoek in Helvoirt. Hierdoor is de convergente validiteit hoog. De bouwkosten van de TCW moeten niet samenhangen met de bouwkosten van de traditionele bouwkosten van het project Venster van Made. Dit doet het ook niet, waardoor de discriminante validiteit ook hoog is.

8.1.4 Interne validiteit

De interne validiteit is gewaarborgd door de causale relatie tussen de onderstaande variabelen:

- ✓ Alle materialen zijn beoordeeld aan hand van dezelfde criteria
- ✓ Alle bouwmethodes zijn beoordeeld aan hand van dezelfde criteria
- ✓ Alle respondenten voor het PVE en de circulaire visie zijn dezelfde vragen gesteld

8.2 Interpretatie resultaten

Op voorhand was er verwacht dat circulariteit voornamelijk gebaseerd zou zijn op materiaalkeuze. Tijdens het onderzoek en gesprekken met woningbouwcorporaties is er de conclusie getrokken dat circulair bouwen ook al van invloed is op het ontwerp en de inkoop. Zo is het compact bouwen in dit onderzoek een belangrijk aspect geworden.

Ook betreffende de bouwkosten zijn er verschillende nieuwe inzichten naar boven gekomen. Er was verwacht dat de bouwkosten van een hele circulaire woning veel hoger zouden uitvallen. Echter is dit heel erg meegevallen door het gebruik van minder materialen en het maken van weloverwogen keuzes betreffende de gevelbekleding.

Ten slotte waren de verwachtingen om een BCI-score van ongeveer 60% te behalen. Deze is hoger uitgevallen dan verwacht. Dit komt omdat er in DHH nog relatief veel beton is gebruikt welke in dit onderzoek is vervangen door CLT. Hierdoor is de BCI-score van de TCW uitgekomen op 69%.

8.3 Beperkingen

Tijdens het onderzoek is er een BCI-berekening gemaakt van de TCW. In dit programma zijn een aantal beperkingen geconstateerd. Er zijn in dit programma namelijk een aantal ontbrekende mogelijkheden voor de materialen:

- Voor de dikte van de CLT-vloer kan er gekozen worden tussen 100 of 200 mm maar niet de dikte van de CLT-vloer in de TCW, namelijk 140mm. Daarnaast is het rekenen met minder m² niet mogelijk omdat dit lengte x breedte is waardoor de dikte verwaarloosd wordt.
- De Fermacell droge zwevende dekvloer is geen keuze in het programma. In plaats hiervan is er gekozen voor gipsplaat met steenwol.

- De BCI kent alleen leemstucwerk voor de binnenzijde. Aan de buitenzijde is dit geen optie.

Daarnaast is er geconstateerd dat veel bronnen gekleurd zijn. Informatie over circulaire materialen komt vaak van bedrijven af die de producten zelf produceren. Deze informatie kan gekleurd zijn doordat bedrijven hun eigen producten willen aanbevelen en verkopen.

Tijdens het opvragen van offertes is ook geconcludeerd dat veel bedrijven nog geen circulaire materialen aanbieden waardoor er weinig bedrijven overblijven. De selectie van bedrijven voor circulaire materialen is dus beperkt waardoor er een minder goede vergelijking gemaakt kan worden van prijzen voor materialen en elementen.

8.4 Implicaties

Het onderzoek laat zien dat het circulaire aanbod van materialen nog beperkt is. Daarnaast zijn ook de kosten van circulaire materialen relatief hoog in vergelijking met traditioneel bouwen. De Rijksoverheid heeft echter als doel om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben. Echter laat dit onderzoek zien dat momenteel de economie nog niet ingesteld is op circulair bouwen en produceren. De kosten zijn momenteel nog te hoog om bouwbedrijven te overtuigen van circulair bouwen. Ook de productieketen in de bouwsector is nog niet voldoende ingesteld op circulair bouwen. Het aanbod is hiervoor te laag.

Dit onderzoek laat dus zien dat circulair bouwen nog veel ontwikkelingen moet doorgaan om circulair bouwen een standaard te laten worden in de bouwsector.

8.5 Suggesties

In dit onderzoek zijn de installaties buiten beschouwing gelaten. Deze zijn overgenomen uit het project van Den Hoek in Helvoirt. Echter zou vervolgonderzoek kunnen kijken of het mogelijk is om de TCW passief te maken waardoor er geen installaties nodig zijn in de woning. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de bouwkosten van de TCW omlaag gaan aangezien de installaties een groot deel uitmaken van de bouwkosten, namelijk 29,8 procent van de totale bouwkosten. De Rc-waardes van de TCW zijn namelijk zodanig hoog dat de woning dicht bij een passief huis komt.

Daarnaast is er bij het afnemen van de enquête voor het PVE van de TCW niet gekeken naar de eisen van de gebruikers van de woning. Om het PVE nog concreter en inclusiever te maken zou er een enquête gedaan kunnen worden onder toekomstige bewoners zoals starters. Onder deze doelgroep is het grootste woningtekort waardoor zij het meeste behoefte hebben aan woningen. Hier is in het onderzoek geen rekening mee gehouden omdat hiervoor te weinig tijd was om hun resultaten te verzamelen en analyseren. Toch is het nog steeds interessant om voor particulieren te bouwen. Er zijn tegenwoordig namelijk veel meer eenpersoonshuishoudens waardoor kleinere woningen populairder worden (Brinkhof, 2023). De TCW is een kleine en toch functionele woning welke dus ook goed aan particulieren verkocht kan worden.

9. Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan aan VDH en Archifit over de TCW:

Ten eerste wordt aangeraden om de TCW betreffende het ontwerp volledig over te nemen. De BCI-score van deze woning is ten minste gelijk aan, al dan niet hoger dan de huidige BCI-score van de woning van DHH. De BCI-score is 69% waarbij de bouwkosten van deze woning lager zijn dan de huidige bouwkosten van de circulaire woning van het project DHH. Hieruit is dus geconcludeerd in *Hoofdstuk 7* dat de woning betaalbaar is en voldoende circulair.

Echter zijn er ook nog opties waardoor de TCW lagere bouwkosten kan hebben en nog steeds een BCI-score ten minste gelijk aan de BCI-score van DHH. Hieronder worden de opties vergeleken en uitgelegd.

9.1 Begane grondvloer

Momenteel is er in de TCW gekozen voor een circulaire kanaalplaatvloer als begane grondvloer. Hiervan zijn de bouwkosten €3.428,56. Echter kan er ook gekozen worden voor een ribcassettevloer als begane grond. De bouwkosten hiervan worden in tabel 29 weergegeven inclusief vergelijking. De BCI-score blijft na herberekening 69%.

Tabel 29: Begane grondvloer aanpassing, L. van der Sanden

Soort vloer	Bouwkosten per m ²	Totale bouwkosten	BCI-score na berekening
Circulaire kanaalplaatvloer	€87,11	€3.428,56	69%
Ribcassettevloer	€52,54	€2.067,84	69%

Dit is een besparing van €1.360,72. De BCI-score is gelijk gebleven omdat de factoren waarmee gerekend worden vrijwel gelijk zijn aan de factoren van de circulaire kanaalplaatvloer. Echter wordt deze vloer niet aangeraden omdat er nog geen bedrijven zijn in Nederland die ribcassettevloeren kunnen hergebruiken, recyclen of produceren op basis van biobased materialen. De score mag dan wel gelijk blijven, echter wordt dit op basis van circulariteit niet aanbevolen. Betreffende bouwkosten wel.

9.2 Dakbedekking

Bij de TCW is er gekozen voor circulaire dakpannen boven op de sporenkap. Hiervan zijn de bouwkosten €4.287,50. Echter kan er ook gekozen worden voor reguliere dakpannen die nieuw ingekocht worden. Ook van dit onderdeel wordt in tabel 30 een overzicht gegeven.

Tabel 30: Dakpannen aanpassing, L. van der Sanden

Soort vloer	Bouwkosten per m ²	Totale bouwkosten	BCI-score na berekening
Circulaire dakpannen	€84,90	€4.287,50	69%
Reguliere dakpannen	€59,89	€3.024,17	69%

Dit is een besparing van €1.263,33. De BCI-score is gelijk gebleven omdat de factoren waarmee gerekend worden vrijwel gelijk zijn aan de factoren van de circulaire dakpannen. De reguliere dakpannen worden enkel aangeraden indien de leverancier een teruglevergarantie kan bieden waardoor de pannen herbruikbaar zijn.

9.3 Begane grondvloer en dakbedekking

Er kan ook gekozen worden om beide onderdelen aan te passen waardoor er een kostenbesparing ontstaat van €1.360,72 + €1.263,33 = €2.624,05 in totaal. Hierdoor komen de bouwkosten van de TCW uit op:

$$€155.258,49 - €2.624,05 = €152.634,44$$

In tabel 31 wordt nogmaals een overzicht gegeven van alle keuzes betreffende bouwkosten.

Tabel 31: Overzicht besparingen, L. van der Sanden

Onderdeel nieuw	Onderdeel oud	Besparing	Bouwkosten van de TCW na aanpassing
Ribcassettevloer	Circulaire kanaalplaatvloer	€1.360,72	€153.897,77
Reguliere dakpannen	Circulaire dakpannen	€1.263,33	€153.995,16
Ribcassettevloer en reguliere dakpannen	Circulaire kanaalplaatvloer en circulaire dakpannen	€2.624,05	€152.634,44

Tabel 32: Bouwkosten verschil na aanpassing, L. van der Sanden

Soort	Prijs	Verskil met traditioneel	Verskil in %	Verskil met circulair	Verskil in %
Traditioneel	€ 139.273,85	-	-	-	-
Circulair	€ 157.331,70	€ 18.057,85	13,0%	-	-
TCW	€ 155.258,49	€ 15.984,64	11,5%	€ 2.073,21	1,3%
TCW met aanpassing	€ 152.634,44	€ 13.360,59	9,6%	€ 4.697,26	3,0%

Met deze besparingen is er een positief verschil van 13,0-9,6=3,4% ten opzichte van de huidige circulaire woning van DHH.

Echter, zoals hierboven genoemd, wordt er niet aangeraden om de ribcassettevloer toe te passen in de TCW vanwege het negatieve toekomstscenario van de begane grondvloer. De reguliere dakpannen worden alleen aanbevolen indien er een teruglevergarantie is.

9.4 TCW als seriematige woning

Ten slotte wordt het wel aanbevolen om de woning toe te passen in de seriematige woningbouw om een zo groot mogelijk kostenvoordeel te krijgen. Bij één TCW is er een voordeel van € 2.073,21 ten opzichte van de woning van DHH. Per 10 woningen betekent dit een voordeel van € 20.732,10. Dit is exclusief de eventuele aanpassingen die hierboven besproken zijn. Inclusief de aanpassingen van hierboven komt het voordeel uit op € 46.972,60

10. Literatuurlijst

- 10R model. (2023). Opgehaald van SKO:
<https://www.skoprojectinrichting.nl/inspiratie/10r-model/>
- Alba Concepts. (2019, april). *Een meetmethode voor losmaakbaarheid*. Opgehaald van <https://www.dgbc.nl/upload/files/Congressen/BREEAM%20Congres%202019/Worshops/Een%20meetmethode%20voor%20losmaakbaarheid.pdf>, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Avans Hogeschool. (2021, december 20). *Passend onderzoek in het hbo*. Opgehaald van [lic.avans.nl](https://lic.avans.nl/service/lic/publicaties/passend-onderzoek-in-het-hbo): <https://lic.avans.nl/service/lic/publicaties/passend-onderzoek-in-het-hbo>
- BCI. (z.d.). *Uitgebreide toelichting*. Opgehaald van [bcigebouw.nl](https://bcigebouw.nl/uitgebreide-toelichting/): <https://bcigebouw.nl/uitgebreide-toelichting/>, , geraadpleegd op 8 februari 2023
- BDB. (2023). BDB Indexcijfermodel. *BDB Indexcijfermodel*. Bouwkostendata.
- Bongers, P. (2007). *pure.tue.nl*. Opgehaald van Eindhoven University of Technology: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/47032778/630441-1.pdf>
- Brinkhof, C. (2023, juni 5). *Woningzoekers gaan wegens betaalbaarheid voor kleinere woningen*. Opgehaald van [nrc.nl](https://www.nrc.nl/nieuws/2023/06/05/woningszoekers-gaan-wegens-betaalbaarheid-voor-kleinere-woningen-a4166376): <https://www.nrc.nl/nieuws/2023/06/05/woningszoekers-gaan-wegens-betaalbaarheid-voor-kleinere-woningen-a4166376>, , geraadpleegd op 6 juni 2023
- CBS. (z.d.). *Wat is duurzaamheid?* Opgehaald van [cbs.nl](https://www.cbs.nl/nl-nl/faq/specifiek/wat-is-duurzaamheid-): <https://www.cbs.nl/nl-nl/faq/specifiek/wat-is-duurzaamheid->, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Circle Economy. (2020, maart). *The Circularit Gap Report*. Opgehaald van [goldschmeding.foundation](https://goldschmeding.foundation/wp-content/uploads/20200512-CGR-NL-report-web-spread-297x210mm.pdf): <https://goldschmeding.foundation/wp-content/uploads/20200512-CGR-NL-report-web-spread-297x210mm.pdf>
- Circubuild. (2023). Opgehaald van Circubuild: <https://www.circubuild.be/nl/faq/wat-is-cascadering/#:~:text=Met%20de%20term%20cascadering%20wordt,en%20haar%20reststoffen%20te%20omschrijven.>, , geraadpleegd op 7 maart 2023
- Circulaire handleiding . (2023, Maart 5). Opgehaald van Copper8: <https://www.copper8.com/>
- CM&P. (2018, maart 5). *Wat zijn faalkosten en hoe kun je ze reduceren?* Opgehaald van [cmenp.nl](https://www.cmenp.nl/faalkosten/#:~:text=Faalkosten%20zijn%20kosten%20die%20ontstaan,volgens%20de%20overeengekomen%20kwaliteit%20geleverd.): <https://www.cmenp.nl/faalkosten/#:~:text=Faalkosten%20zijn%20kosten%20die%20ontstaan,volgens%20de%20overeengekomen%20kwaliteit%20geleverd.>, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Copendium voor de Leefomgeving. (2017, juni 1). *Wat is biodiversiteit?* Opgehaald van [clo.nl](https://www.clo.nl/indicatoren/nl1083-wat-is-biodiversiteit): <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1083-wat-is-biodiversiteit>, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Copper8. (2023). Opgehaald van Copper*: <https://www.copper8.com/>, , geraadpleegd op 7 maart 2023
- Dijken, C. v. (2021, 08 16). *Energieneutraal en circulair bouwen, een goede match?* Opgehaald van *Energieneutraal en circulair bouwen, een goede match?*:

<https://frw.studenttheses.ub.rug.nl/3732/1/MT%20Circulariteit%20S4153723%20.pdf>

Ecochain. (2021, juli 20). *Biobased Bouwen: Wat is het & wat zijn de voor- en nadelen?* Opgehaald van ecochain.com: [https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/de-voordelen-van-biobased-bouwen/#:~:text='Biobased'%20zegt%20iets%20over%20de,micro%20organismen%2C%20of%20eiwitten.,,geraadpleegd op 10 mei 2023](https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/de-voordelen-van-biobased-bouwen/#:~:text='Biobased'%20zegt%20iets%20over%20de,micro%20organismen%2C%20of%20eiwitten.,,geraadpleegd%20op%2010%20mei%202023)

Ecochain. (2022, december 13). *Wat zijn schaduwkosten?* Opgehaald van ecochain.com: [https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/wat-zijn-schaduwkosten/#:~:text=%E2%80%9CSchaduwkosten%20zijn%20de%20kosten%20van,kosten%20van%20een%20product%2Fproject.,,geraadpleegd op 10 mei 2023](https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/wat-zijn-schaduwkosten/#:~:text=%E2%80%9CSchaduwkosten%20zijn%20de%20kosten%20van,kosten%20van%20een%20product%2Fproject.,,geraadpleegd%20op%2010%20mei%202023)

Ecococon. (2023, 06 07). Opgehaald van Ecococon: <https://ecococon.eu/nl/professionals/downloads>

Ecopedia. (z.d.). *Abiotiek*. Opgehaald van ecopedia.be: [https://www.ecopedia.be/encyclopedie/abiotiek#:~:text=Abiotiek%20of%20abiotisch%20betekent%20letterlijk,factoren%20zoals%20warmte%20en%20licht.,,geraadpleegd op 10 mei 2023](https://www.ecopedia.be/encyclopedie/abiotiek#:~:text=Abiotiek%20of%20abiotisch%20betekent%20letterlijk,factoren%20zoals%20warmte%20en%20licht.,,geraadpleegd%20op%2010%20mei%202023)

Encyclo. (2023). Opgehaald van Nederlandse Encyclopedie: <https://www.encyclo.nl/begrip/Oorsprong>

Encyclo. (2023). *Seriematige Woningbouw Definitie*. Opgehaald van encyclo.nl: https://www.encyclo.nl/begrip/seriematige_woningbouw, geraadpleegd op 15 maart 2023

Encyclo. (2023). *Woningbouw*. Opgehaald van www.encyclo.nl: <https://www.encyclo.nl/begrip/woningbouw>

Encyclo. (z.d.). *Oorsprong definities*. Opgehaald van encyclo.nl: <https://www.encyclo.nl/begrip/Oorsprong>, geraadpleegd op 10 mei 2023

Field. (2020, september 14). *De problemen in de bouw III: Tekorten in de bouw*. Opgehaald van field.nl: <https://field.nl/uncategorized/tekorten-in-de-bouw/#:~:text=Sinds%20de%20corona%20crisis%20begin,groter%20probleem%20dan%20het%20personeelstekort.>

Fons Vernooij. (z.d.). *Bedrijfseconomische Begrippen*. Opgehaald van fons-vernooi.nl: <http://www.fons-vernooi.nl/bb-site/index.html>, geraadpleegd op 10 mei 2023

Gemeente Nijmegen. (2019, juni 11). *Gemeentebias*. Opgehaald van zoek.officielebekendmaking.nl: <https://www.officielebekendmakingen.nl/gmb-2019-141792.pdf>, geraadpleegd op 10 mei 2023

Het groene brein. (2022). Opgehaald van Nederland Circulair : <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/kenniskaart-circulaire-economie/gerelateerd-aan-circulaire-economie/>

Informatiepunt Leefomgeving. (z.d.). *Lucht: verschil emissie en immissie*. Opgehaald van iplo.nl: [https://iplo.nl/thema/lucht/lucht-emissie/#:~:text=De%20emissie%20is%20de%20hoeveelheid,%2D%20en%20leefomgeving%3A%20de%20immissie.,,geraadpleegd op 10 mei 2023](https://iplo.nl/thema/lucht/lucht-emissie/#:~:text=De%20emissie%20is%20de%20hoeveelheid,%2D%20en%20leefomgeving%3A%20de%20immissie.,,geraadpleegd%20op%2010%20mei%202023)

- Joost de Vree. (z.d.). *aanpasbaar bouwen*. Opgehaald van www.joostdevree.nl:
https://www.joostdevree.nl/shtmls/aanpasbaar_bouwen.shtml, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Joost de Vree. (z.d.). *bouwmethode*. Opgehaald van [joostdevree.nl](http://www.joostdevree.nl):
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/bouwmethode.shtml>
- Joost de Vree. (z.d.). *bouwmethode*. Opgehaald van [joostdevree.nl](http://www.joostdevree.nl):
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/bouwmethode.shtml#:~:text=De%20bouwme thode%20is%20de%20manier,van%20een%20gebouw%20wordt%20opgezet.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Joost de Vree. (z.d.). *granulaat*. Opgehaald van [joostdevree.nl](http://www.joostdevree.nl):
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/granulaat.shtml>, geraadpleegd op 10 mei 2023
- Marlan. (z.d.). *Wat is recyclen?* Opgehaald van [marlan.com](http://www.marlan.com):
<https://www.marlan.com/termen/wat-is-recyclen/#:~:text=Recycling%20is%20het%20opnieuw%20gebruiken,de%20basi s%20voor%20nieuwe%20producten.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Milie Centraal. (z.d.). *Energieneutrale woning*. Opgehaald van milieucentraal.nl:
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/aardgasvrij-wonen/energieneutrale-woning/#:~:text=Een%20volledig%20energieneutraal%20huis%20is,Daarvoor%20worden%20meestal%20zonnepanelen%20gebruikt.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Milieu Centraal. (z.d.). *Kolen, olie en gas*. Opgehaald van milieucentraal.nl:
<https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/kolen-olie-en-gas/>, , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Milieudefensie. (z.d.). *Biomassa*. Opgehaald van milieudefensie.nl:
<https://milieudefensie.nl/onderwerp/wat-is-biomassa#:~:text=Biomassa%20is%20een%20verzamelnaam%20voor,mest%20of%20olie%20uit%20zaden.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. (z.d.). *Wat is certificatie*. Opgehaald van arboportaal.nl: [https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/certificatie/wat-is-certificatie/#:~:text=Certificatie%20is%20een%20vorm%20van,\(CI\)%20een%20certificaat%20af.,](https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/certificatie/wat-is-certificatie/#:~:text=Certificatie%20is%20een%20vorm%20van,(CI)%20een%20certificaat%20af.,) , geraadpleegd op 10 mei 2023
- MVO. (z.d.). *Hernieuwbaar*. Opgehaald van mvo.nl:
<https://mvo.nl/kenniscentrum/duurzaam/hernieuwbaar#:~:text=Hernieuwbaar%20wil%20zeggen%3A%20materiaal%20dat,zijn%20natuurlijke%20en%20hernieuwbare%20grondstoffen.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Nationale Milieu Database. (z.d.). *Begrippen*. Opgehaald van milieudatabase.nl:
<https://milieudatabase.nl/nl/faq/begrippenlijst/#:~:text=Grondstof%20die%20is%20geproduceerd%20door,productie%20van%20materialen%20en%20producte n.&text=Een%20productieproces%20op%20basis%20van%20ruwe%20grondstoff en.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023
- Neptunus. (z.d.). *FAQ Demontabel Bouwen*. Opgehaald van neptunus.eu:
<https://www.neptunus.eu/faq-demontabel-bouwen#:~:text=Het%20woord%20zegt%20het%20al,kan%20worden%20gede monteerd%20en%20hergebruikt.,> , geraadpleegd op 10 mei 2023

- Over Circulair. (2019, november 18). *Het verschil tussen een lineaire en een circulaire economie*. Opgehaald van aboutcircular.nl: <https://aboutcircular.nl/2019/11/18/het-verschil-tussen-een-lineaire-economie-en-een-circulaire-economie/>, geraadpleegd op 10 mei 2023
- Pianoo. (z.d.). *Wegingsfactor bepalen*. Opgehaald van www.pianoo.nl: <https://www.pianoo.nl/sites/default/files/documents/documents/Wegingsfactor%20bepalens~1.xls>, geraadpleegd op 10 maart 2023
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2023). *Integrale Circulaire Economie Rapportage*. Opgehaald van pbl.nl: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-icer-2023-4882.pdf>, geraadpleegd op 3 februari 2023
- Platform CB'23. (2021, Juli). *Platform CB'23*. Opgehaald van Leidraad Circulair ontwerpen: geraadpleegd op 3 februari 2023
- Rainproof. (2023, 04 26). *Watervasthoudende plantenbakken*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/maatregel/watervasthoudende-plantenbakken>
- Rijksoverheid. (2020, april 30). *Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief bouwen en inrichten*. Opgehaald van rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2020/04/30/handreiking-regelgeving-klimaat-adaptief-bouwen-en-inrichten>, geraadpleegd op 10 mei 2023
- Rijksoverheid. (z.d.). *Circulaire economie*. Opgehaald van www.rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie>, geraadpleegd op 10 mei 2023
- Rijksoverheid. (z.d.). *Circulaire economie*. Opgehaald van www.rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie>, geraadpleegd op 10 maart 2023
- Rijksoverheid. (z.d.). *Nederland circulair in 2050*. Opgehaald van rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>
- SDG Nederland. (2023). Opgehaald van Voor een Duurzame en betere wereld in 2030: <https://www.sdgnerland.nl/>
- Smit, S. K.-H. (2022, maart 1). *Realistische verwachtingen voor de woningbouwproductie*. Opgehaald van rabobank.nl: <https://www.rabobank.nl/kennis/d011238333-realistische-verwachtingen-voor-de-woningbouwproductie>
- Stadspatronen. (z.d.). *Het bouwen voor langer*. Opgehaald van stadspatronen.net: <https://stadspatronen.net/hetbouwenvoorlanger>, geraadpleegd op 7 juni 2023
- Stichting Economisch Instituut voor de Bouw en Metabolic. (2020, Januari). *circulairebouweconomie.nl*. Opgehaald van Materiaalstromen, milieu impact en energieverbruik om de woning- en utiliteitsbouw: <https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-Materiaalstromen-in-de-woning-en-utiliteitsbouw-klein.pdf>, geraadpleegd op 7 februari 2023
- TU Delft. (2023). *TU Delft*. Opgehaald van Bebouwing: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/bebouwing/>

VRK. (z.d.). *Over ons*. Opgehaald van vrk-isolatie.nl: <https://vrk-isolatie.nl/over-ons/>, geraadpleegd op 7 juni 2023

Wageningen University & Research. (2022, juli 18). *Natuurinclusief bouwen wordt de standaard*. Opgehaald van wur.nl: <https://www.wur.nl/nl/show-longread/natuurinclusief-bouwen-wordt-de-standaard.htm#:~:text=Natuurinclusief%20bouwen%20betekent%20dat%20er,p%20lant%20en%20diersoorten%20kunnen%20leven.>, geraadpleegd op 10 mei 2023

Wee, L. v. (2022, november 30). *De 3 fases van remontabel bouwen*. Opgehaald van cepezed.nl: cepezed.nl, geraadpleegd op 10 mei 2023

Weggeman, H.-J. (2018, september 4). *Wat is prefab?* Opgehaald van emergo.nl: [https://www.emergo.nl/inzichten/wat-is-prefab#:~:text=Prefabricage%20\(prefab%20bouwen\)%20is%20een,getransporteerd%20en%20aldaar%20worden%20verwerkt.](https://www.emergo.nl/inzichten/wat-is-prefab#:~:text=Prefabricage%20(prefab%20bouwen)%20is%20een,getransporteerd%20en%20aldaar%20worden%20verwerkt.), geraadpleegd op 10 mei 2023

Woorden.org. (z.d.). *circulair*. Opgehaald van woorden.org: <https://www.woorden.org/woord/circulair>

Bijlagen

Nummer	Titel	Deelbijlages
Bijlage I	Circulair onderzoek	a. Interviews circulaire visie Archifit en Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling
	Circulaire economie	
	Circulair bouwen	
	Eisen aan circulaire bouwwerken	
	Referentieprojecten	
	Visie Van der Heijden Bouw & Ontwikkeling en Archifit	
	Onze visie	
Bijlage II	Seriematige woningbouw	
	Den Hoek Helvoirt	
Bijlage III	Bouwmethodenonderzoek	
	Stapelbouw	
	Gietbouw	
	Skeletbouw	
	Montagebouw	
Bijlage IV	Materialenonderzoek	
	Site	
	Structure	
	Skin	
	Services	
	Space plan	
	Stuff	
Bijlage V	Programma van Eisen	a. Enquête ontwikkeling seriematige woningbouw
	Woningcorporaties	b. Overzicht woningbouwcorporaties Nederland
	Eigen ontwikkeling	c. Inge vulde enquêtes ontwikkeling seriematige woningbouw
	Woonstandaard 3.0	d. Interviews ontwikkeling seriematige woningbouw
	Woonmatjes Woonkeur	e. Technisch Programma van Eisen
		f. Technisch Uitgangspuntendocument VDH
		g. Technische Omschrijving
		h. Woonmatjes Woonkeur
Bijlage VI	Ontwerponderzoek	a. Technische Tekeningen
		b. Details
		c. BCI-berekening
		d. Renderingen
		e. WUFI-calculatie
Bijlage VII	Kostenonderzoek	a. Offertedossier
		b. Begroting Den Hoek in Helvoirt
		c. Begroting Venster van Made

		d. Begroting Toekomstige Circulaire Woning
Bijlage VIII	Onderzoeksvragen	
Bijlage IX	BCI-berekening aanbevelingen	