



Reusability potential in the Building Circularity

An assessment tool to assess the reusability potential of individual building products in an early design stage in order to support circular decision-making in the Built Environment

Nick Kentie 1392719

Construction Management & Engineering

2021 - 2022

< page left intentionally blank >

Colophon

General information

Title: Reusability potential in the Building Circularity
Sub-title: An assessment tool to assess the reusability potential of individual building products in an early design stage in order to support circular decision-making in the Built Environment

Date of final presentation: September 20th, 2021

Author information

Name: N. (Nick) Kentie
Student number: 1392719
Email address: n.m.j.kentie@student.tue.nl
Phone number: +316 39 67 04 60

Institute information

University: Eindhoven, University of Technology
Faculty: Department of the Build Environment
Master program: Construction Management & Engineering
Academic year: 2021 - 2022

Collaborating company: Alba Concepts

Graduation committee

Chairman: Prof.dr.ir. B. (Bauke) de Vries
First supervisor: Dr. Q. (Qi) Han
Second supervisor: Prof.dr.ir. B. (Bauke) de Vries
Company supervisor: Ir. M. (Mike) van Vliet

< page left intentionally blank >

“The transition to a circular economy requires using renewable energies. And the most renewable are the human energies of empathy, honesty and integrity.”

Rob Peters

“A shift towards a circular approach is necessary, inevitable, and a superior source of value creation.”

Jamie Butterworth

Preface

This thesis “An assessment tool to assess the reusability potential of individual building products in an early design stage, in order to support circular decision-making in the Built Environment” is the result of a very instructive and challenging graduation period. I have learned a lot about the circular economy, and in relation to that the problems we are facing today. At the same time, I have gained insights into all the possibilities and opportunities that are existing and can occur in the future.

While attending several courses at the Eindhoven University of Technology (TU/e), circularity and the transition to a circular economy caught my particular interest. It is obvious that the current economy has to switch from a linear to a circular economy in order to prevent the depletion of the earth and to ensure that no new waste is produced in current processes. Reuse plays a very important role to enable this transition. Therefore, I decided to focus my graduation project on this topic. By providing an assessment tool for determining the reusability potential of building products, I hope this thesis will contribute to the move towards a circular economy in the Built Environment and add a piece to the challenging puzzle we are facing today.

I would like to thank all the people who have helped me during this period and made it possible to achieve this result. First, I would like to thank my supervisors from the TU/e, Qi Han and Bauke de Vries, thank you for the guidance, expertise, and feedback during my graduation project. Furthermore, I would like to thank all my colleagues at Alba Concept for giving me the opportunity to carry out this research, the projects that I have worked on and for making the Covid period a lot more enjoyable. Above all, I would like to thank Mike van Vliet for all his time and energy in guiding me during this period. I would also like to thank all the experts who provided me with very valuable information to make this research successful.

Furthermore, I would like to thank all my friends for the distraction during the weekends and my girlfriend for continuously encouraging me when things got tough. Last but not least, I want to thank my family for their support throughout my entire school career and for making it possible to get where I am today.

I hope you enjoy reading this thesis!

Nick Kentie

's-Hertogenbosch, September 2021

Table of contents

Preface.....	5
Summary	8
Samenvatting.....	10
Abstract	10
1 Introduction.....	17
1.1 <i>Research context</i>	17
1.2 <i>Problem definition</i>	18
1.3 <i>Research questions</i>	18
1.4 <i>Research design</i>	19
1.5 <i>Reading guide</i>	20
2 Literature review	21
2.1 <i>The circular economy</i>	21
2.2 <i>Circular economy in the built environment</i>	24
2.3 <i>Reusability in the Built Environment</i>	30
2.4 <i>Identifying the factors that influence reusability</i>	36
2.5 <i>Sub-conclusion</i>	41
3 Research approach.....	42
3.1 <i>Design Research Methodology</i>	42
3.2 <i>Literature review</i>	44
3.3 <i>Expert interviews</i>	45
3.4 <i>Expert panel</i>	49
3.5 <i>Case study</i>	53
3.6 <i>Ethics and data management</i>	54
3.7 <i>Sub-conclusion</i>	54
4 Determination of the reusability factors.....	55
4.1 <i>Reusability potential</i>	55
4.2 <i>Results from the expert interviews</i>	55
4.3 <i>Comparing the influencing factors</i>	58
4.4 <i>Converging of the influencing factors</i>	59
4.5 <i>Factors which are not implemented</i>	66
4.6 <i>Final influencing factors</i>	68
4.7 <i>Intermediate analysis</i>	69

4.8	<i>Sub-conclusion</i>	70
5	Development of the reusability potential assessment tool	71
5.1	<i>Conceptual model one</i>	71
5.2	<i>Assessing and determining the influencing factors</i>	72
5.3	<i>Expert panel: Validation conceptual model one</i>	88
5.4	<i>Conceptual model two</i>	93
5.5	<i>Assessment tool</i>	94
5.6	<i>Case study: Validation of conceptual model two</i>	101
5.7	<i>Sub-conclusion</i>	109
6	Conclusion	111
6.1	<i>Answers to the research questions</i>	111
6.2	<i>Contribution of this research</i>	114
6.3	<i>Limitations and recommendations</i>	114
	References	117
	Appendices	121
	Appendix 1 – Circularity measurements	122
	Appendix 2 – Literature grid	128
	Appendix 3 – Expert interview guideline Dutch	130
	Appendix 4 – Expert interview guideline English	131
	Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts	132
	Appendix 6 – Expert panel entry sheet influencing factors	186
	Appendix 7 – Expert panel entry sheet criteria	187
	Appendix 8 – Consent letter	188
	Appendix 9 – Qualitative analysis influencing factors	192
	Appendix 10 – Expert panel entry sheet results	194
	Appendix 11 – AHP analysis and results influencing factors	200
	Appendix 12 – AHP analysis and results criteria	201
	Appendix 13 – Total results of the case study	204

Summary

In 2015, the construction sector was responsible for 50% of raw materials consumption and about 35% of all CO₂ emissions. In addition, the construction sector consumed 40% of total energy consumption and accounted for 40% of the total waste generation (Khodeir & Othman, 2018; Meuffels & Hoppe, 2021). This is a consequence of the rapidly growing global economy, starting from the Industrial Revolution (Ellen MacArthur Foundation, 2013). This has resulted in the emergence of a linear economy. New raw materials are continuously extracted and used to make products. By the end of their life cycles, the products are disposed and labelled as waste. This principle is also known as the "take-make-dispose" principle. In order to prevent the depletion of the earth, it is important to make the transition to a circular economy. A circular economy is an economy that is restorative and regenerative in nature, and in which waste no longer exists. The aim is to preserve products, components, and materials at the highest possible value at all times (Ellen MacArthur Foundation, 2013). The circular economy is based on the "reduce-reuse-recycle" principle, in which raw materials remain in the feedback loops as long as possible, with the aim of closing the loops and not extracting new raw materials (Meuffels & Hoppe, 2021). One of the challenges is to translate the circular economy into a series of operational measures with the aim of linking the objectives of the circular economy to the day-to-day decisions of construction companies (Nederland Circulair, 2015). The Dutch government has set the ambition to have a 50% circular economy by 2030 and a fully circular economy by 2050. Reusability is a key characteristic in achieving these ambitions (Schut et al., 2015; van der Palen & Luijten, n.d.). Although the goal of the circular economy is to reuse products at the highest possible value, current reuse is mainly performed in low-value applications. (Coenen, 2019; Nederland Circulair, 2015).

The aim of this research is to develop an assessment tool to support circular decisions by determining the reusability of building products at an early stage of a building process. First, an extensive literature study was carried out to gain insight into the general concept of a circular economy and its relation to the construction sector. In addition, the role of reusability within the circular economy, as well as how reusability can contribute to the transition to a circular economy were examined. This has been done by identifying the factors that influence the reusability of building products. Based on the literature review, a total of nineteen influencing factors were identified. The results of the literature review were validated by conducting nineteen semi-structured expert interviews in seven different working fields (consultant, architect, housing corporation, platform, contractor, demolisher, government). This resulted in a total of twenty-three influencing factors. Due to the complexity of the assessment tool, not all twenty-three influencing factors could be implemented. Therefore, a three-step-converging process determines which factors are the most important for assessing the reusability potential. These factors are determined and will be implemented in the first conceptual model. Some factors are not implemented because they were identified as overarching factors for enabling reuse at all.

A first conceptual model for assessing the reusability potential was developed based on the results of the literature review and the expert interviews. In the conceptual model, the nine most important influencing factors are implemented. These nine factors are defined, and for each factor, assessment criteria are set. A distinction is made between three pre-conditional (Disassembly, Toxicity and Logistics) and six non-pre-conditional (Data management,

Standardisation, Quality, Financial value, Over-dimensioning and Contracting) influencing factors. Six different expert panels were conducted to validate the influencing factors and the assessment criteria of the first conceptual model. As a result, two influencing factors (Over-dimensioning and Standardisation) were excluded and some of the assessment criteria were adjusted. The second purpose of the expert panels was to determine the importance of the factors and criteria. With the data collection of the expert panels, an Analytical Hierarchy Process was used to determine the relative importance (weighting) of the influencing factors and the assessment criteria.

In addition, a second conceptual model was developed, in which the weights of the influencing factors and assessment criteria were applied and improved based on the results of the expert panels. The second conceptual model serves as input for the development of the assessment tool for determining the reusability potential of a building product. The influencing factors are each assessed individually according to the assessment criteria. The assessment tool consists of three steps. First, a list of products is set up (BoM) in which all products are listed with their corresponding data. Next, the assessment criteria are filled in (Input parameters), resulting in an assessment of the individual factor. Finally, the reusability potential is calculated by using a Weighted Average. The assessment tool has been tested and validated with a case study by comparing a traditional product with a circular product. Furthermore, scenario and sensitivity analyses were conducted to optimally test the model and compare different outcomes. It has been assumed that the use of the Weighted Harmonic Mean (WHM) will be most efficient for determining the reusability potential. According to this formula, the factors with the highest weighting have a bigger impact on the reusability potential.

This research also has certain limitations, which may be a potential subject for further research. One of these limitations is that this research focuses only on building products. It could be investigated whether this assessment tool can easily be adapted in order to assess the reusability of building elements or entire buildings. Furthermore, the implemented factors were only briefly investigated, and correlations were not considered. The most preferred option is to implement all twenty-three influencing factors in a comprehensive model to determine the reusability potential. It is recommended that this should be investigated in more detail. Finally, it is not entirely clear whether the reusability potential calculated in this research is a perfect reflection of reality. One of the reasons for this is that no real-time project information was used. A useful next step would be to test the assessment tool with real-time project data and compare it with reference projects or products.

Samenvatting

De bouwsector was in 2015 verantwoordelijk voor grofweg 50% van het grondstoffenverbruik en ongeveer 35% van alle CO₂-uitstoot. Daarnaast verbruikte de bouwsector 40% van het totale energieverbruik en nam het 40% van de totale afvalproductie voor haar rekening (Khodeir & Othman, 2018; Meuffels & Hoppe, 2021). Dit is gevolg van de sterk groeiende wereldeconomie vanaf de Industriële Revolutie (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Het gevolg hiervan was het ontstaan van een lineaire economie. Hierbij worden er steeds nieuwe grondstoffen gewonnen en gebruikt om producten te maken. Aan het einde van de levensduur wordt het product weggegooid en bestempeld als afval. Dit principe wordt ook wel het “take-make-dispose” principe genoemd. Om de uitputting van de aarde tegen te gaan is het van belang om een transitie te maken naar een circulaire economie. Een circulaire economie is een economie die herstellend en regeneratief van aard is en waarbij afval geen rol meer speelt. Het doel is om producten, componenten en materialen te allen tijde op de hoogst mogelijke waarde te behouden (Ellen MacArthur Foundation, 2013). De circulaire economie gaat uit van het “reduce-reuse-recycle” principe waarbij grondstoffen zo lang mogelijk in de keten blijven met als doel de kringloop te sluiten en geen nieuwe grondstoffen te winnen (Meuffels & Hoppe, 2021). De uitdaging is om de circulaire economie te vertalen in een reeks van operationele maatregelen waarbij het doel is om de doelstellingen van de circulaire economie te verbinden met de dagelijkse beslissingen van bouwbedrijven (Nederland circulair). De Nederlandse overheid heeft als ambitie gesteld dat de bouwsector in 2030 50% circulair is en in 2050 volledig circulair. Hergebruik speelt een belangrijke rol om deze ambities te realiseren (Schut et al., 2015; van der Palen & Luijten, n.d.). Hoewel het doel van de circulaire economie is om producten op een zo hoogwaardig mogelijk manier te hergebruiken wordt er momenteel echter vooral op laagwaardige manieren hergebruikt. (Coenen, 2019; Nederland Circulair, 2015).

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een beoordelingsinstrument waarbij er gestuurd kan worden op circulaire beslissingen door middel van het bepalen van de hergebruikpotentie van bouwproducten. Als eerste is er een uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd om het algemene concept van een circulaire economie en de relatie tot de bouwsector inzichtelijk te maken. Daarnaast is er onderzocht wat de rol van hergebruik is binnen de circulaire economie en hoe hergebruik kan bijdragen aan de transitie van een lineaire naar een circulaire economie. Dit is gedaan door het identificeren van de factoren die invloed hebben op het hergebruiken van bouwproducten. Aan de hand van het literatuuronderzoek zijn er in totaal negentien factoren geïdentificeerd die invloed hebben op hergebruik. De resultaten van het literatuuronderzoek zijn gevalideerd door middel van negentien semigestructureerde expertinterviews in zeven verschillende werkvelden (consultant, architect, woningcorporatie, platform, aannemer, sloper, overheid). Dit heeft geresulteerd in een totaal van drieëntwintig beïnvloedende factoren voor hergebruik. Wegens complexiteit van het beoordelingsinstrument kunnen niet alle factoren geïmplementeerd worden. Daardoor wordt er door middel van een drie-stappen-convergentieproces bepaald welke factoren het meest belangrijk zijn voor het beoordelen van de hergebruikpotentie. Deze factoren worden gedefinieerd en worden gebruikt in het eerste conceptueel model. Sommige factoren worden niet geïmplementeerd omdat deze geïdentificeerd zijn als overkoepelende factoren voor het in wezen mogelijk maken van hergebruik.

Aan de hand van de resultaten van het literatuuronderzoek en de expertinterviews is er een eerste conceptueel model ontwikkeld voor het beoordelen van de hergebruikpotentie. In dit model zijn de negen meest belangrijke beïnvloedende factoren geïmplementeerd. Deze negen factoren zijn gedefinieerd en per factor zijn er beoordelingscriteria opgesteld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie randvoorwaardelijke (losmaakbaarheid, toxiciteit en logistiek) en zes niet-randvoorwaardelijke (datamanagement, standaardisatie, kwaliteit, financiële waarde, over dimensionering en contractering) beïnvloedende factoren. Zes verschillende expert panels zijn uitgevoerd om de factoren en de beoordelingscriteria van het eerste conceptuele model te valideren. Twee beïnvloedende factoren (over dimensionering en standaardisatie) zijn hierdoor verwijderd en enkele beoordelingscriteria zijn aangepast. Het tweede doel van de expert panels was het bepalen van de mate van belangrijkheid van de factoren en de criteria. Met de dataverzameling van de expert panels is er door middel van een Analytisch Hiërarchisch Proces een mate van belangrijkheid (weging) bepaald.

Daarnaast is er een tweede conceptueel model ontwikkeld, waarbij de wegingen van de beïnvloedende factoren en beoordelingscriteria zijn toegepast en verbetering zijn gemaakt aan de hand van de resultaten van de expert panels. Het tweede conceptuele model dient als input voor de ontwikkeling van het beoordelingsinstrument voor het bepalen van de hergebruikpotentie van een bouwproduct. De beïnvloedende factoren worden ieder individueel beoordeeld aan de hand van de beoordelingscriteria. Het beoordelingsinstrument bestaat uit drie stappen. Eerst wordt er een lijst van producten opgesteld (BoM) waarin alle producten staan met de bijbehorende data. Daarna kunnen de beoordelingscriteria worden ingevuld (Input parameters) wat resultert in een beoordeling van de individuele factor. Tot slot wordt de hergebruikpotentie berekend door middel van een gewogen gemiddelde (Weighted Average). Het beoordelingsinstrument is getest en gevalideerd met een case study waarbij een traditioneel product vergeleken is met een circulair product. Scenario- en gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd voor het optimaal testen van het model en het vergelijken van de verschillende uitkomsten. Er is verondersteld dat het gebruik van het gewogen harmonisch gemiddelde (WHM) het meest efficiënt zal zijn voor het bepalen van de hergebruikpotentie. Door gebruik te maken van deze formule hebben de factoren met de hoogste weging een grotere impact op de hergebruikpotentie.

Dit onderzoek kent ook een aantal beperkingen, die een mogelijk onderwerp kunnen zijn voor verder onderzoek. Een van de beperkingen is dat de focus van dit onderzoek alleen gericht is op bouwproducten. Onderzocht zou kunnen worden of dit beoordelingsinstrument eenvoudig aangepast kan worden zodat ook bouwelementen of gehele gebouwen beoordeeld kunnen worden op de hergebruikpotentie. Verder zijn de geïmplementeerde factoren relatief beknopt onderzocht en is er geen rekening gehouden met onderlinge relaties. Het meest wenselijke is om alle driëéntwintig beïnvloedende factoren te implementeren in een uitgebreid model voor het zo goed mogelijk bepalen van de hergebruikpotentie. Er wordt aanbevolen om dit nog verder te onderzoeken. Ten slotte is het niet duidelijk of de berekende hergebruikpotentie in dit onderzoek een perfecte weerspiegeling is van de werkelijkheid. Dit komt onder andere doordat er geen gebruik is gemaakt van real-time project data. Een goede vervolgstap zou daarom zijn om het beoordelingsinstrument te testen aan de hand van real-time project data en dit te vergelijken met referentieprojecten of producten.

Abstract

Since the Industrial Revolution, the growth of the world economy has resulted in the emergence of a linear economy that follows the "take-make-dispose" principle. This principle leads to global warming, depletion of the earth and waste generation. Therefore, it is essential to make a transition to a circular economy where the "reduce-reuse-recycle" principle is followed. This assumes no waste generation and no use of virgin resources. Reusability is a key aspect to achieve the transition to a circular economy and the circular ambitions of the Dutch Government.

A literature review is conducted to identify the most important factors that influence reusability. Subsequently, expert interviews are carried out to validate the factors and identify additional factors. This resulted in a long list of 23 influencing factors. However, not all factors could be implemented due to complexity. Therefore, a converging process of three consecutive steps is performed. This resulted in a short-list of 9 final influencing factors. These 9 factors have been determined, and for each factor, assessment criteria have been established and a distinction is made between 3 pre-conditional and 6 non-pre-conditional influencing factors. A first conceptual model was developed for the determination of the reusability potential based on these findings.

Subsequently, expert panels are conducted to validate the first conceptual model and to determine the relative importance (weights) of the influencing factors and the assessment criteria. The result of the validation was a minor adjustment in the assessment criteria and the deletion of two non-pre-conditional factors. These results are used to develop the second conceptual model. Based on the second conceptual model, an assessment tool was developed for determining the reusability potential of building products in an early stage of a building process. The tool consists of a list of products, an input of assessment criteria and a weighted average for calculating the potential. Finally, the assessment tool is tested and validated using a case study. A traditional product is compared to a circular product and scenario and sensitivity analyses are performed. This research contributes to measuring circularity as an important challenge for the move towards a circular economy.

Keywords: *Circular economy, Reuse, Reusability, Reusability potential, Influencing factors*

List of abbreviations

AHP	Analytical Hierarchy Process
BCI	Building Circularity Index (or Indicator)
Bom	Bill of Materials
CE	Circular Economy
DM	Decision Maker
DRM	Design Research Methodology
GM	Geometric Mean
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
MKI	Milieu Kosten Indicator
	Environmental Cost Indicator
MPG	Milieu Prestatie Gebouwen
	Environmental Performance Buildings
NMD	Nationale Milieu Database
	National Environment Database
WAM	Weighted Arithmetic Mean
WGM	Weighted Geometric Mean
WHM	Weighted Harmonic Mean

List of figures

Figure 1 – Research Design	19
Figure 2 – Schematic overview of the literature review	21
Figure 3 – Circular economy model (Ellen MacArthur Foundation, 2013)	22
Figure 4 – Linear economy model (Wautelet, 2018)	23
Figure 5 – Building layers from Duffy (Duffy, 1990).....	25
Figure 6 – Buildings layers from Brand with the layers of Schmidt (Platform CB'23, 2020b)	25
Figure 7 – Ladder of Lansink (Recycling, 2019; Van Dijk, 2018).....	27
Figure 8 – 10R ladder (Cramer, 2014)	28
Figure 9 – 10R ladder (Planbureau voor de Leefomgeving, 2018; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020).....	28
Figure 10 – Only a limited percentage of the materials from the building sector is actually reused in making new building (Schut et al., 2015)	30
Figure 11 – Reuse versus Recycle (Coenen, 2019)	33
Figure 12 – IPF model (Van Oppen, 2017)	36
Figure 13 – Schematic overview of the research approach.....	42
Figure 14 – The four Design Research Methodology stages adopted in this research design (Blessing & Chakrabarti, 2009)	42
Figure 15 – An example of a comprehensive open coding scheme.....	48
Figure 16 – An example of a simpler open coding scheme	48
Figure 17 – An example of axial coding “Factor: Disassembly”	49
Figure 18 – An example of axial coding “General: Influence”	49
Figure 19 – AHP Hierarchy (Finan & Hurley, 2002)	50
Figure 20 – Format for the AHP hierarchies.....	51
Figure 21 – Schematic overview of the determination.....	55

Figure 22 – Converging process of the influencing factors	59
Figure 23 – Quantitative analysis of the literature factors	60
Figure 24 – Quantitative analysis of the expert interview factors per Working Field	62
Figure 25 – Overview of the overarching factors.....	66
Figure 26 – Hypothesis model.....	69
Figure 27 – Schematic overview of the development	71
Figure 28 – Conceptual model one	72
Figure 29 – Pre-conditional influencing factors	73
Figure 30 – Categorisation toxicity and contamination (Heijer & Kadijk, 2020).....	76
Figure 31 – Transportation assessment	78
Figure 32 – Non-pre-conditional influencing factors	79
Figure 33 – Aggregation levels of passports (Platform CB'23, 2020c)	81
Figure 34 – Importance weights of the nine influencing factors	89
Figure 35 – Importance weights of the seven influencing factors.....	91
Figure 36 – Conceptual model two	93
Figure 37 – Roadmap of the assessment tool.....	94
Figure 38 – Step 1: Bill of Materials (BOM).....	98
Figure 39 – Influencing factor assessment.....	99
Figure 40 – Step 2: Input parameters	99
Figure 41 – Step 3: Weighted average (Reusability Potential)	100
Figure 42 – Pre-conditional factor not met.....	100
Figure 43 – Bill of materials within BCI Gebouw	102
Figure 44 – Impression of a traditional metal stud wand and the Juunoo wall system	103
Figure 45 – Impression of a traditional sandwich panel and a Falk CracleCore sandwich panel	103
Figure 46 – Impression of a traditional hollow-core slab and a demountable hollow-core slab	103
Figure 47 – Result reusability potential Inner walls.....	104
Figure 48 – Result reusability potential Sandwich panel	105
Figure 49 – Result reusability potential Hollow-core slab	105
Figure 50 – BCI model of Verberne (2016).....	123
Figure 51 – BCI model of Van Vliet (2018)	124
Figure 52 – Determination of the disassembly index of a product (Van Vliet et al., 2021)...	125
Figure 53 – BCI Gebouw model (BCI Gebouw, 2021).....	126
Figure 54 – Building layers BCI Gebouw (BCI Gebouw, 2021)	126

List of tables

Table 1 – Building layers and their definitions.....	26
Table 2 – Levels of circularity	29
Table 3 – Reusability potential with their definitions of the R principles.....	34
Table 4 – Overview Literature factors.....	37
Table 5 – Overview advantages and disadvantages of Design Research Methodology (DRM)	43
Table 6 – Example of the literature grid.....	45
Table 7 – Overview advantages and disadvantages of semi-structured interviews.....	45
Table 8 – Overview interviews	47

Table 9 – Overview advantages and disadvantages of Analytical Hierarchy Process (AHP) (Coyle, 2004; Mu & Pereyra-Rojas, 2017)	50
Table 10 – Overview participants expert panels.....	50
Table 11 – Numeric scale and description (Saaty, 1977)	51
Table 12 – Format of pairwise comparison matrix	52
Table 13 – Format of total pairwise comparison matrix.....	53
Table 14 – Values of Random Consistency Index (Saaty, 1977).....	53
Table 15 – Overview of the interview factors.....	57
Table 16 – Comparison literature and interview factors	58
Table 17 – Overview literature factors.....	60
Table 18 – Overview of the working fields.....	61
Table 19 – Quantitative analysis of the expert interview factors.....	61
Table 20 – Qualitative analysis of the expert interview factors	63
Table 21 – Result: Essential factor per Working Field.....	64
Table 22 – Result: Most times mentioned as essential in total cross sector	64
Table 23 – Measurability of the factors	65
Table 24 – Total results of the influencing factors.....	68
Table 25 – Overview of the final influencing factors	70
Table 26 – Format data requirements	73
Table 27 – Assessment criteria for Disassembly	74
Table 28 – Data collection Disassembly	74
Table 29 – Assessment criteria for Toxicity.....	76
Table 30 – Data collection Toxicity.....	76
Table 31 – Assessment criteria of Logistics	78
Table 32 – Data collection Logistics	78
Table 33 – Assessment criteria for Data Management.....	81
Table 34 – Data collection Data management.....	81
Table 35 – Data collection Standardisation	82
Table 36 – Data collection Quality	83
Table 37 – Assessment criteria for the Financial Value	84
Table 38 – Data collection Financial value	85
Table 39 – Assessment criteria for Over-dimensioning	86
Table 40 – Data collection Over-dimensioning	86
Table 41 – Assessment criteria for Contracting	87
Table 42 – Data collection Contracting	87
Table 43 – Total pairwise comparison results of the nine influencing factors	89
Table 44 – Determining GM and weights of the nine influencing factors	89
Table 45 – Total pairwise comparison results of the seven influencing factors.....	90
Table 46 – Determining GM and weights of the seven influencing factors.....	90
Table 47 – Results of the Data management criteria.....	91
Table 48 – Adjusted result of the Data management criteria	92
Table 49 – Result of the Contracting criteria	92
Table 50 – Adjusted result of the Contracting criteria.....	92
Table 51 – Results of the Financial value criteria.....	92
Table 52 – Data collection for the reusability potential model	95
Table 53 – Reusability potential assessment input.....	96
Table 54 – Format of the case study	101

Table 55 – Input data for the case study and scenarios	104
Table 56 – Results of the Metalstud wand scenarios	106
Table 57 – Results of the Juunoo wall scenarios.....	106
Table 58 – Results of the PIR Sandwich panel scenarios	107
Table 59 – Results of the Falk CradleCore scenarios.....	107
Table 60 – Results of the Hollow-core slab scenarios.....	108
Table 61 – Results of the VBI Hollow-core slab scenarios	108
Table 62 – Comparison literature and interview factors	112
Table 63 – Influencing factors with their relative importance	113
Table 64 – Circularity assessments overview.....	127

List of formulas

Formula 1 – Geometric Mean	52
Formula 2 – Weights	52
Formula 3 – Sum of the weights	52
Formula 4 – Normalisation.....	52
Formula 5 – Consistency Index.....	53
Formula 6 – Consistency Ratio	53
Formula 7 – Proposed standardisation formula	82
Formula 8 – Utility formula to determine quality.....	83
Formula 9 – WAM	97
Formula 10 – WHM	97
Formula 11 – WGM	97

List of quotation boxes

Quotation box 1 – Disassembly.....	74
Quotation box 2 – Toxicity	75
Quotation box 3 – Logistics	77
Quotation box 4 – Data management.....	80
Quotation box 5 – Standardisation	82
Quotation box 6 – Quality	83
Quotation box 7 – Financial value.....	84
Quotation box 8 – Over-dimensioning.....	86
Quotation box 9 – Contracting.....	87

1 Introduction

This chapter contains the outline of the research. It starts with describing the research context and the problem definition in order to set up the main research question and the supporting sub-questions. Subsequently, the research design provides an understanding of how this research is conducted and how the research questions will be answered. Finally, the organisation of this thesis is explained in the reading guide.

1.1 Research context

In 2015, almost 95% of all building and demolition waste in the Netherlands is recycled (Circle Economy et al., 2015; Durmisevic, 2006; Schut et al., 2015). However, a large portion of the waste is used in civil engineering as a filler, road base or foundation material (Schut et al., 2015). In addition, the construction sector was responsible for 50% of raw materials consumption and about 35% of all CO₂ emissions. In addition, the construction sector consumed 40% of total energy consumption and accounted for 40% of the total waste generation (Khodeir & Othman, 2018; Meuffels & Hoppe, 2021). This is a result of the rapidly growing global economy, starting from the Industrial Revolution (Ellen MacArthur Foundation, 2013). This has resulted in the emergence of a linear economy. New raw materials are continuously extracted and used to make products. By the end of the life cycles, the products are disposed and labelled as waste. This principle is also known as the "take-make-dispose" principle. In order to prevent the depletion of the earth, it is important to make the transition to a circular economy. A circular economy is an economy that is restorative and regenerative in nature, and in which waste no longer exists. The aim is to preserve products, components, and materials at the highest possible value at all times (Ellen MacArthur Foundation, 2013). The circular economy is based on the "reduce-reuse-recycle" principle, in which raw materials remain in the feedback loops as long as possible, with the aim of closing the loops and not extracting new raw materials (Meuffels & Hoppe, 2021).

At the same time, the Dutch government's goal is to have a fully circular economy by 2050 (Coenen, 2019). This goal has been set up in 2016, in a government-wide program, and in 2017 a Raw Materials Agreement has been signed between the Dutch government and various industries. This program sets out what needs to be done in order for the Dutch economy to run on renewable resources. In 2018, transition agendas are set up for several industries including the construction industry. The goal is to have a 50% reduction in raw materials by 2030 and a fully circular and waste-free economy using reusable materials by 2050. In order to achieve this, a transition towards a circular economy is required (Coenen, 2019; Government of the Netherlands, 2019).

In particular, the current system is not sustainable. This is evident from the fact that the extraction and processing of primary raw materials are problematic for the environment. This extraction and processing are responsible for 90% of water scarcity, 90% of biodiversity loss and 50% of all CO₂ emissions. In addition, these raw materials are finite and are not reused enough (Meuffels & Hoppe, 2021; Wautelet, 2018). To change the current system, we need to switch to the circular economy. This means the transition from take, make, dispose into reduce, reuse, and recycle. This is in line with the goals of Platform CB'23 (2020) which focus on the protection of stock of materials, environmental protection and value retention.

Finally, the reusability of products, materials and other building components is an important part of the circular economy, and it has a large impact in enabling the transition from a linear to a circular economy. Reusability is a precondition for enabling the circular economy (van der Palen & Luijten, n.d.). Therefore, this research is focused on the reusability within the circular economy.

1.2 Problem definition

A transition from a linear to a circular economy is needed in order to reduce the depletion of sources and prevent global warming. Reusability is one of the key characteristics in order to achieve a circular economy. Reusability is a pre-condition for enabling a circular economy. Despite the fact that reuse is one of the most important aspects for enabling the circular economy, there is no unambiguous method yet to assess whether a building product will be reused or what the possibility is that a building product will be reused at the end of the lifecycle of the building product.

Limited research has been conducted into the factors that influence reusability. No research has been carried out that provides a total overview of all the factors that influence the reusability potential of building products. Furthermore, there is no supporting framework to assess the reusability potential of new building products. By developing a reusability assessment tool including the most important influencing factors, the limitations in current research can be solved.

1.3 Research questions

Based on the research context and the problem definition, the aim of this research is to determine which factors influence the reusability and develop an assessment tool in order to determine the reusability potential of an individual building product. The problem definition leads to the following main research question:

How can the reusability potential of building products be assessed in an early stage of a building process by developing an assessment tool?

In order to support the answer for this question, the following sub-question are formulated:

Sub-question 1: What is the reusability potential and why is it a key characteristic of the circular economy?

Sub-question 2: Which factors influence the reusability potential of building products?

Sub-question 3: Which of the influencing factors can be determined to assess the reusability potential?

Sub-question 4: What is the importance (weights) of these influencing factors relative to the reusability potential?

Sub-question 5: How can the influencing factors be applied in an assessment tool in order to assess the reusability potential of a building product?

1.4 Research design

Based on the main and sub questions, the research design was constructed (Figure 1). The research design shows which research methods will be used for data collection and answering of the sub-questions. The Design Research Methodology (Blessing & Chakrabarti, 2009) is applied as supporting framework in this research.

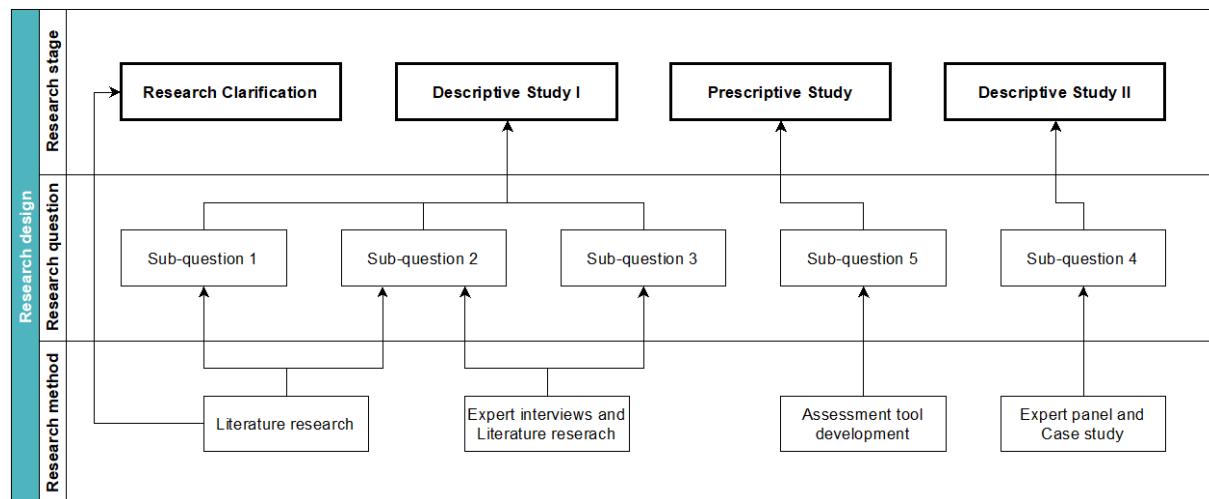


Figure 1 – Research Design

This research consists of four research stages. Research Clarification is the start of the research. The objective of this stage is to identify the goals that the research is expected. Furthermore, the focus of the research, research problems and the establishment of the main research questions and the sub-questions is part of this stage. In this stage, a part of the literature research has been done that will be further reviewed and elaborated in the following stage.

Subsequently, the research starts with the literature research within the Descriptive Study I stage. The literature review starts with an understanding of the Circular Economy and the role of CE within the Built Environment. Furthermore, the role of reusability in the Built environment and the CE is researched in order to determine the limitations and research gaps of current literature. Finally, the factors that have an influence on enabling the reusability of building products are identified in the current literature. After reviewing the literature, expert interviews are carried out among six working fields in order to validate the findings from the literature and to gain additional knowledge and insights. In addition, a converging process is conducted to select the most important influencing factors. In this stage sub-question 1, sub-question 2 and sub-question 3 will be answered.

The results of the aforementioned stage are applied to develop the assessment tool for assessing the reusability potential of building products. The Prescriptive Study and the Descriptive Study II represent an iterative process in developing and validating. First, conceptual model one is developed by determining and assessing the final influencing factors. Expert panels are carried out to validate the first conceptual model and to determine the relative importance (weights) of the influencing factors by using the Analytical Hierarchy Process (AHP). Using these results and findings, the second conceptual model is developed and used to develop the reusability potential assessment tool.

A case study is carried out to validate and test the assessment tool by using real building products with deliberately assumed data. Three circular and traditional products were used to test the impact of the influencing factors on the output of the assessment tool. Through the iterative process of the two stages, sub-question 4 and sub-question 5 will be answered.

1.5 Reading guide

In the current chapter a brief introduction of this research is presented, in which the problem definition, research question and the research design are described. In the second chapter, a literature review is conducted regarding the circular economy in the built environment, reusability as part of the built environment, the necessity of reusability to achieve a circular economy and the factors that influence the reusability of building products are identified.

Chapter 3 describes the research approach based on the Design Research Methodology that is used as a supporting framework during this research. The research methods used to answer the research questions and to conduct this research are described for each research stage of the DRM. Chapter 4 presents the results of the expert interviews. After that, the literature is compared with the expert interviews to determine which factors have to be implemented and determined in order to assess the reusability potential. This is done by a three-step converging process. Furthermore, a hypothesis is made of the correlations and causations among the influencing factors.

The results from Chapter 4 contribute to the develop the reusability potential assessment tool in Chapter 5. In this chapter, two conceptual models were developed, discussed, and validated by means of different research methods in an iterative process. Chapter 6 concluded this research by answering the research questions. Furthermore, the contribution of this research is described based on scientific and societal relevance. Finally, the limitations of this research are identified and recommendations for further improvement and research are provided.

2 Literature review

This chapter contains the literature research in which the circular economy is explained and the relationship with the Built Environment is made. An important aspect is to make circularity measurable, therefore different measuring methods are discussed. The relationship of reusability with the circular economy and BCI Gebouw is further discussed. Finally, the factors that influence reusability are discussed based on various studies. This results in a conceptual model of the influencing factors on the reusability potential.



Figure 2 – Schematic overview of the literature review

2.1 The circular economy

“The circular economy denotes an industrial economy that is restorative by intention and design. In a circular economy, products are designed for ease of reuse, disassembly and refurbishment, or recycling, with the understanding that it is the reuse of vast amounts of material reclaimed from end-of-life products, rather than the extraction of resources, that is the foundation of economic growth.” (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

The circular economy, in other words, circularity, is an approach that is part of sustainability. Sustainability is in general more focused on which primary materials can be replaced by secondary materials that result in the reduction of the environmental impact (Verberne, 2016). Circular economy is more focused on how materials can be used again in the future and how materials in an existing building can be used in new buildings. (Plaha, 2020; van der Leest, 2018)

2.1.1 Origin of the circular economy concepts

The concept of the circular economy traces back a long time and the exact origin of the concept is unclear. However, it can be traced back to 1970 when a small number of academics, thought-leaders and businesses started to work on it (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

In 1970, the American professor John T. Lyle invented the concept of Regenerative Design which meant that the daily activities were based on the limits of available renewable resources without degradation of the environment. In 1976, Walter Stahel sketched the vision of an economy in loops and used four goals: product-life extension, long-life goods, reconditioning activities, and waste prevention. Nowadays, it is called the Performance Economy. After that, Michael Braungart and Bill McDonough developed the Cradle to Cradle (C2C) concept in 2002. They assumed all materials to be nutrients and categorized them in biological and technological metabolisms. The fourth school of thought is Industrial Ecology. This approach focuses on creating closed-loop processes where waste serves as an input. Last but not least, Biomimicry focuses on solving human problems and relies on three principles: Nature as a model, measure and mentor (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

2.1.2 Concept of the circular economy

In 2010, The Ellen MacArthur Foundation was established and supported by a group of founding partners to inspire a generation to rethink, redesign and to build a positive future. Furthermore, it is one of the leading global organizations aiming for the transition to a circular economy (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Verberne, 2016). The foundation is working together with businesses, governments and academics to globally stimulate the thoughts of the circular economy (Kirchherr et al., 2017; Nederland Circulair, 2015). Therefore, this concept is used in this research. The circular economy is defined by the Ellen MacArthur Foundation as follows:

"A circular economy is one that is restorative and regenerative by design and aims to keep products, components, and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles"

(Ellen MacArthur Foundation, 2013)

In Figure 3, the circular economy concept is displayed. This concept consists of three integrated parts and is based on the Cradle-to-Cradle concept. The biological cycle, the economic model, and the technical cycle. Where the linear economy stops at dispose, the circular economy focuses on different feedback loops where products are cycled back into the economic model (Van Vliet, 2018).

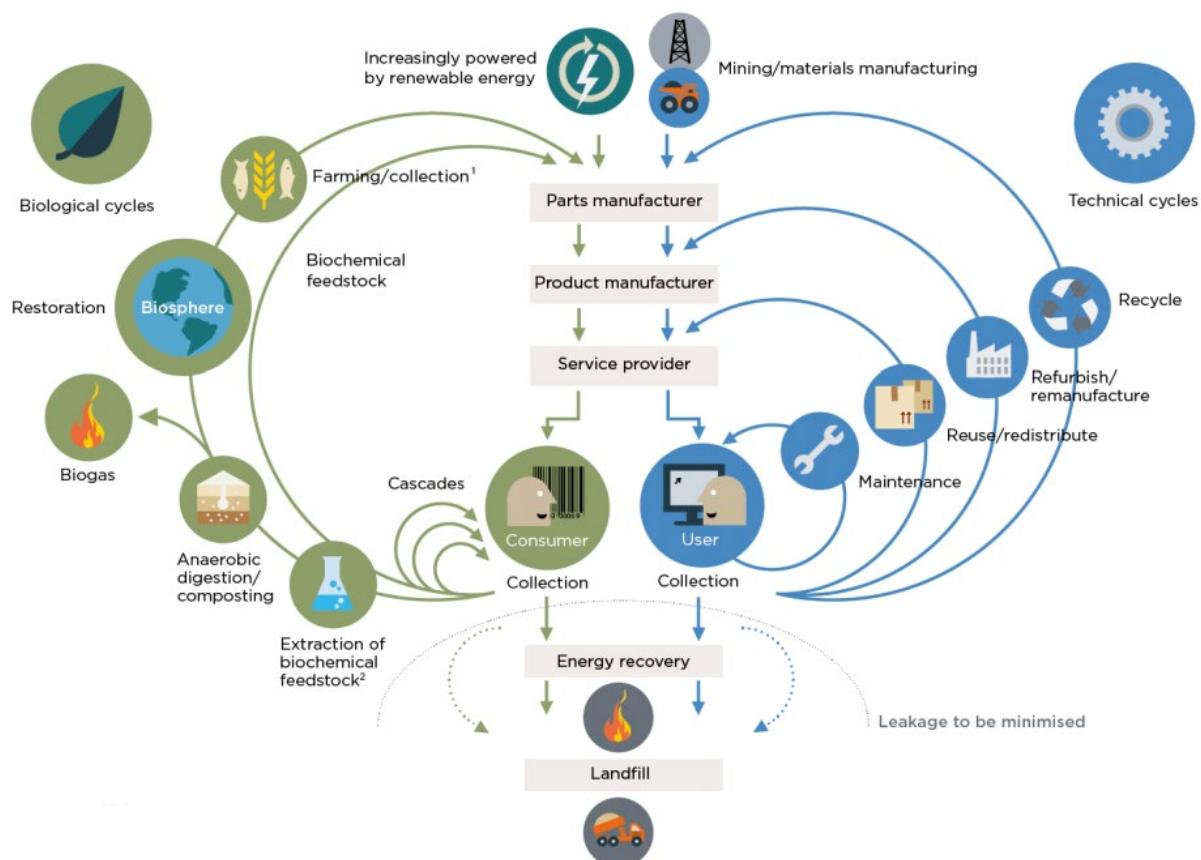


Figure 3 – Circular economy model (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

The concept starts with the economic model where it starts with the manufacturing and mining of materials. Then the materials are manufactured as parts and products and provided into the market. At the end of the lifecycle of a product is cycled back to any of the feedback loops in the circular concept instead of just dispose them. The left side of the concept corresponds to the biological cycle. Non-toxic materials are restored into the biosphere while rebuilding natural capital, after being cascaded into different applications. The right side of the concepts corresponds to the technical cycle. Products, components and materials are restored into the market at the highest possible quality and for as long as possible, through repair and maintenance, reuse, refurbishment, remanufacture and ultimately recycling (Ellen MacArthur Foundation, 2013). The circular economy concept from the Ellen MacArthur Foundation is the most commonly used definition (Kirchherr et al., 2017). Therefore, this concept is the working definition throughout this research.

2.1.3 Why a circular economy?

The current global economy mainly uses the linear model when it comes to processes. This involves taking virgin materials from nature and using them to make products. Those products are then used and eventually disposed at their end of life (Figure 4). This approach will result in more waste in the world and a greater demand for new virgin materials (Ellen MacArthur Foundation, 2015). This linear economy also results in a lot of waste, which means that raw materials are permanently lost and become scarce. In addition, a lot of CO₂ emissions are released in the making of new products and the manufacturing of material. Finally, it leads to the depletion of the earth (Akanbi et al., 2018).

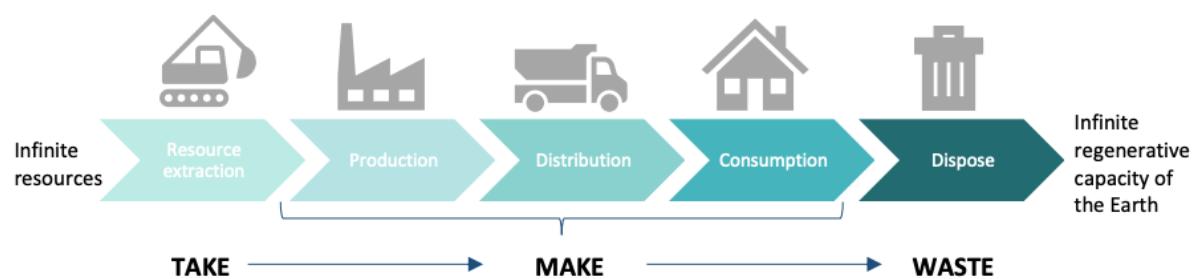


Figure 4 – Linear economy model (Wautelet, 2018)

The Netherlands has set the ambition and goal to have a fully circular economy by 2050 (Coenen, 2019; Platform CB'23, 2019a; van der Palen & Luijten, n.d.). To achieve this, a transition from a linear to a circular economy is necessary. The transition to a circular economy is one of the ways to reduce the consumption of raw materials and the production of waste worldwide. In addition, the circular economy contributes to social sustainability. The construction sector has an important contribution to this task (Platform CB'23, 2019b).

The role of the built environment in the circular economy is described in the next chapter. In addition, we must move from trading in waste to trading in value. This means that materials and components retain economic value, and that value is also created by acting in the chain during circular design and construction, but also for prevention and value preservation during the modification and use of buildings. The three most important circular ambitions here are life extension, reusability and high-value recycling (van der Palen & Luijten, n.d.).

"The circular economy is about more than feel-good corporate social responsibility. It's a system that disrupts the established order of 'take, make, dispose' linear economies. It demands innovative business models that drive sustainability on a global scale by refashioning linear streams of inputs and outputs, so waste is put back into the system."

(Plaha, 2020)

The transition to a circular economy has besides environmental benefits also financial and societal benefits. Ellen MacArthur Foundation (2013) estimated in their study that the circular economy results in a material cost-saving opportunity of 340 to 380 billion US dollars each year on the European level for a transition scenario, and about 520 to 630 billion US dollars each year for an advanced transition scenario. Concerning The Netherlands, TNO (De Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek) estimated that the added value of moving towards a circular economy will be roughly 7.3 billion euros each year. Almost 3.3 billion euros savings each year can be achieved on a short term basis (Bastein et al., 2013). Furthermore, according to Bastein et al. (2013) and Nederland Circulair (2015), the circular economy can be responsible for creating 54,000 jobs only in the Netherlands.

2.2 Circular economy in the built environment

After defining the general concept of the circular economy. This chapter will discuss the relationship between the built environment and the construction sector. In 2012 the Dutch construction sector was responsible for 25 million tonnes of construction waste (Schut et al., 2015). In addition, the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry is a major contributor and is responsible for 50% of the total waste, and consumes 40% energy usage and 50% of the natural material resources (Khodeir & Othman, 2018).

In addition, the majority of all building and demolition waste is recycled in the Netherlands. Almost 95% is recycled (Circle Economy et al., 2015; Durmisevic, 2006; Schut et al., 2015). That is why many people think that the Netherlands is almost circular. However, this is not the case. A large portion of the waste is used in civil engineering as a filler, road base or foundation material (Schut et al., 2015). This is further elaborated in chapter 2.3.

At the same time, the Dutch government's goal is to have a fully circular economy by 2050. This goal has been set up in 2016 in a government-wide program and in 2017 a Raw Materials Agreement has been signed with the government and various industries. This sets out what needs to be done so that the Dutch economy can run on renewable resources. In 2018, transition agendas are drawn up for several industries including the construction industry. The goal is to have a 50% reduction in raw materials by 2030 and a fully circular and waste-free economy using reusable materials by 2050. In order to achieve this, a lot needs to be changed (Coenen, 2019; Government of the Netherlands, 2019).

One of the most important ways to achieve this is to shift from linear to circular business models. Since the beginning of the industrial revolution, better and better business models have been developed by companies. These business models are mainly focused on increasing economic profit and resources throughput. But the models all have a linear model that follows the take-make-dispose pattern (Ellen MacArthur Foundation, 2013, 2015; Plaha, 2020).

Van Dijk (2018) states that it needs time for the transition to a circular economy. The conservative construction sector is still aiming for the shortest duration of a project. Because of this, no time is available for circular thinking as well as circular construction. When time is invested at the front of a project, this costs extra money. However, it can result in cost savings in the future. For example, costs for management and maintenance or costs during disassembly or demolition.

2.2.1 Layers and building levels

This section is about the layers and levels of a building within the built environment. A building is a complex structure consisting of different parts. Seeing a building as a whole is still the way of thinking. They are also conceived, designed, and built as one piece/whole. However, buildings also constantly change with the times due to user and environmental changes (Verberne, 2016). Therefore, constructions should be built for change in order to survive the ravages of time (Coenen, 2019). In 1990, Duffy defined a building through layers for a systematisation of changing levels in a building. This systematisation exists of four layers, the four S's (Figure 5). (1) Shell: main structure; (2) Services: installations; (3) Scenery: interior finishes; (4) Settings: furniture.

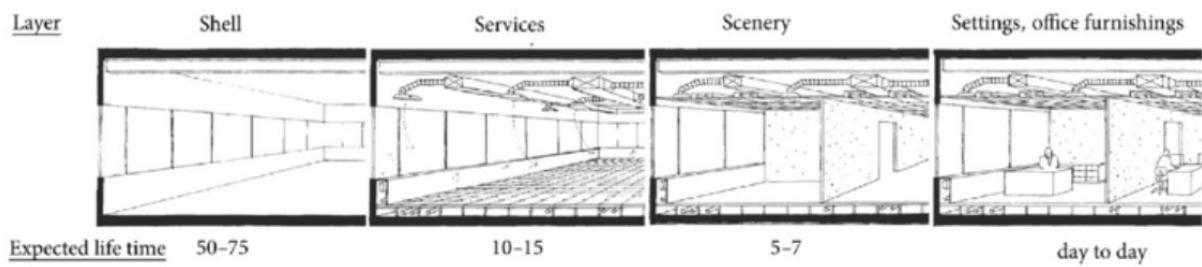


Figure 5 – Building layers from Duffy (Duffy, 1990)

After that, Brand (1994) also defined the building levels that expands on the research of Duffy. The model of Brand is commonly used by scholars and technological research for the decomposition of a building, into layers and their corresponding life spans. This is the so-called Shearing Layers of Brand. Later on, the researcher Robert Schmidt III has defined two extra layers: Social and Surroundings (Platform CB'23, 2020b). However, these two layers will not be elaborated in this research. Each layer, except the Social and Surrounding layers, has a defined expected lifetime in years: Stuff (5), Space plan (10), Services (15), Skin (20), Structure (100) and Site (500).

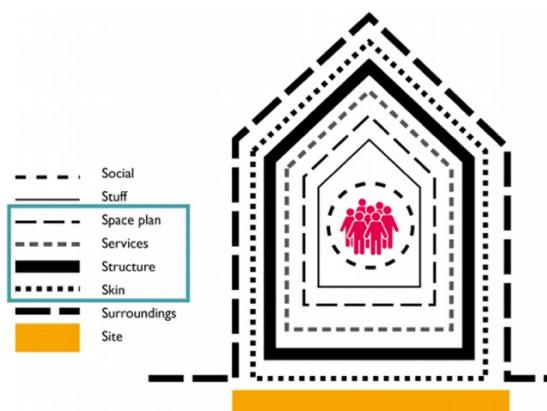


Figure 6 – Buildings layers from Brand with the layers of Schmidt (Platform CB'23, 2020b)

Each product will correspond with a building layer. Table 1 gives an overview of the layers their definitions and examples. This research focuses only on the four layers: Structure, Skin, Service and Space plan because those layers will eventually form the building.

Table 1 – Building layers and their definitions.

6 Layers of Brand (1994)	Four S's of Duffy (1990)	Definition	Examples
Site	-	Urban location	Terrain and ground
Structure	Shell	Main structure	Foundation and load bearing elements
Skin		Exterior finishing	Roofs and facades
Services	Services	Installations	Heating and wiring
Space plan	Scenery	Interior lay-out	Tiles, doors, ceiling and partition walls
Stuff	Settings	Furniture	Chair and table

In general, there are different levels of scale at which a building is classified. There are seven scale levels for a building (NEN, 1996; Platform CB'23, 2019a):

- Area: This is a complex including terrain and ground.
- Complex: This refers to a collection of construction works that belong together.
- Structure: This refers to a construction built that forms a single entity and perform a specific function.
- Element: This refers to parts of a construction work.
- Building product: This refers to products that are transported to the construction site and after processing forming an element.
- Material: This refers to a processed raw material used in the manufacturing of construction products.
- Raw material: This is a raw, unprocessed substance. For example, iron ore (raw material) that is processed into iron (material)

The scope of this research is on building products. In addition, a building product is an object that arrives at the construction site and is further assembled into the building and an element is an object that consists of several products, that arrives at the construction site as one assembled unit (Van Vliet et al., 2021).

2.2.2 Levels of circularity

The focus of the circular economy is mainly on eliminating waste. In the literature, a distinction is made between different levels of circularity. It starts with the highest form of prevention down to the lowest form of landfill (Verberne, 2016). The foundation of the Dutch waste policy was established by Ad Lansink, who in 1979 proposed a motion in the Dutch House of Representatives that was immediately adopted. A motion for the shaping of the waste policy. Since then, the Ladder of Lansink has been an important factor in Dutch waste policy and even in European waste policy, aiming to reduce the depletion of raw materials (Planbureau voor de Leefomgeving, 2018; Van Dijk, 2018). Figure 7 shows the Ladder of Lansink with the steps for waste management.

The Ladder of Lansink was the first idea of a waste hierarchy and it is also useful and acknowledged within the circular economy. In practice, the Ladder of Lansink is still commonly used for assessing the degree of circularity (Coenen, 2019; Platform CB'23, 2019a).



Figure 7 – Ladder of Lansink (Recycling, 2019; Van Dijk, 2018)

In addition to the Ladder of Lansink, circularity is also commonly related to the R principles. In the circular economy, these R principles are reduce, reuse and recycle. This is in contradiction to take, make and dispose in the linear economy (Ellen MacArthur Foundation, 2013). These three R principles have been further elaborated in various studies and are classified in the well-known R ladder.

The R ladder is a crucial tool for the identification of circular activities and the transition to a circular economy (Rood et al., 2019). It is assumed that the higher on the R ladder the higher the degree of circularity (Platform CB'23, 2019a; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020). This means that the higher you are on the R ladder, the fewer materials are needed and therefore the impact on the environment through the use of raw materials is reduced. The aim is to be as high valued as possible (Planbureau voor de Leefomgeving, 2018; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020; Van Dijk, 2018; Van Vliet, 2018). In a circular economy, it is even no longer desirable to look at the lower levels of the ladder, such as Energy, Incineration and Landfill (Recycling, 2019).

The Ladder of Lansink and the three R principles is also the base for the so-called 10R ladder formulated by Cramer (2014). In this more thorough development of the Lansink Ladder (Figure 8) both soft and hard aspects are addressed. For example Rethink: thinking differently about the use of products and Reuse: actually reusing a product (Platform CB'23, 2019a).

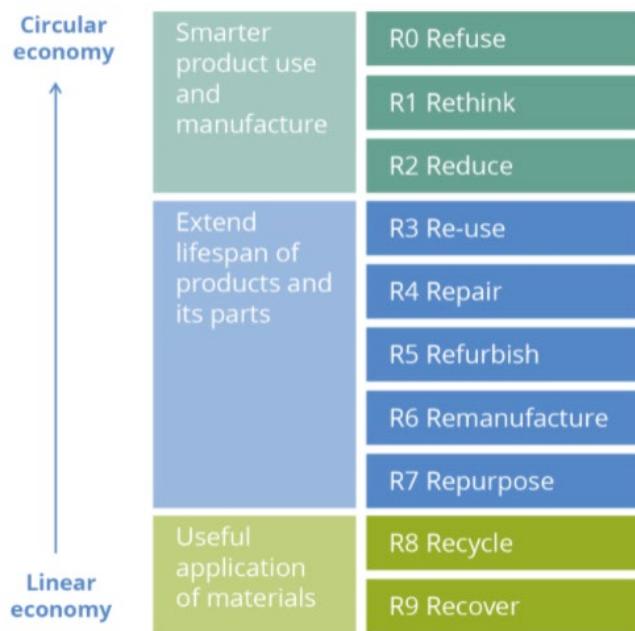


Figure 8 – 10R ladder (Cramer, 2014)

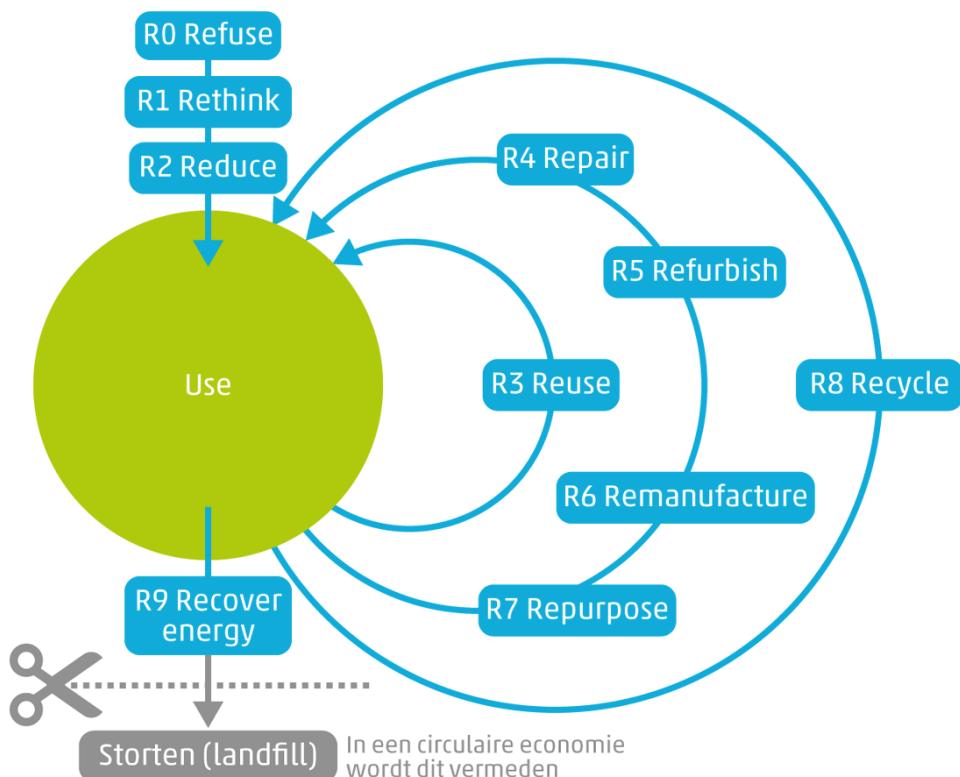


Figure 9 – 10R ladder (Planbureau voor de Leefomgeving, 2018; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020)

Planbureau voor de Leefomgeving (2018) and Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2020) are using a R ladder that is based on different 10R ladders but combined to a 6R strategy (Figure 9). The only difference is that some R stages are combined into one R stage. In addition, the 6 R strategies are combined into three main categories as also discussed in Ellen MacArthur Foundation (2013). The different levels of circularity according to the literature are listed in Table 2.

Table 2 – Levels of circularity

10R ladder (Cramer)	Ellen MacArthur Foundation	Ladder of Lansink	Webster & Costello	RVO
Refuse				Reduce
Rethink				
Reduce		Reduce		
Reuse	Reuse / redistribute	Reuse	Reused	Reuse
Repair	Maintenance			
Refurbish	Refurbish			
Remanufacture	Remanufacture			
Repurpose				
Recycle	Recycle	Recycle	Recycled	Recycle
Recover	Energy recovery	Recovery		
		Incineration	Composted	
	Landfill	Landfill	Land-filled	

This research is focused on reuse within the circular economy. In chapter 2.3 the concept of reuse and its position in the circular economy is discussed. In this study, the 10R model as described by Cramer (2014) is used. This allows differentiation between the circularity levels in a wider range of circularity. By using the 10R ladder, the Ladder of Lansink is further developed based on Reduce and Reuse. Therefore, it is possible to make a distinction within Reuse.

2.3 Reusability in the Built Environment

As described in chapter 2.2, most of all building and demolition waste is recycled in the Netherlands. As shown in Figure 10, almost 95% of the waste is recycled and 85% of that is used in civil engineering as a filler, road base or foundation material. Only 3% of the waste in the building construction is returned to this sector (Circle Economy et al., 2015; Schut et al., 2015). A large stake of that 95% takes place within low-value reuse, in other words downcycling. This is least beneficial for the whole environment because of the degradation of materials and the loss of embodied energy (Durmisevic, 2006; Schut et al., 2015).

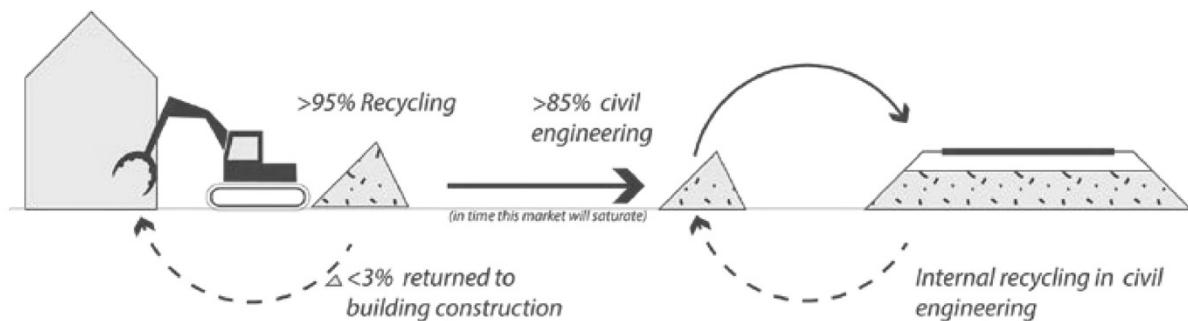


Figure 10 – Only a limited percentage of the materials from the building sector is actually reused in making new buildings (Schut et al., 2015)

The Netherlands wants to be fully circular in 2050. Therefore, we need to change the current system. The extraction and processing of primary raw materials are problematic for the environment. This extraction and processing are responsible for 90% of water scarcity, 90% of biodiversity loss and 50% of all CO₂ emissions. In addition, these raw materials are finite and are not reused enough (Meuffels & Hoppe, 2021; Wautelet, 2018). To change the current system, we need to switch to the circular economy. This means the transition from “take-make-dispose” into “reduce-reuse-recycle”. This is in line with the goals of Platform CB'23 (2020) which focus on the protection of stock of materials, environmental protection and value retention.

As described in the circular economy chapter and according to Schut, Crielaard & Mesman (2015) the circular economy is about preserving the optimal value within the environment that can be done by the levels of product reuse, repair the product and use it in the same function, remanufacture a part of the product and use it for the same purpose and recycling for the material reuse. The feedback loops that are discussed earlier by the Ellen MacArthur Foundation (2013) and the vision of an economy in loops from Walter Stahel in 1976 corresponds with these levels of circularity.

According to the Ellen MacArthur Foundation (2013) and Schut, Crielaard & Mesman (2015), a preferred order is defined as: the shorter the cycle/loops are, the closer the reusability is to the original product, the better. Because they require less energy, less waste, and less raw materials to be used. Considered that when materials and products are still difficult to extract at the end of their life cycle, even when the cycle/loop is short at the moment, that it will not be circular or less circular. Therefore, it is important to find factors that influence the reusability of a product.

Furthermore, Metabolic developed the Seven Pillars of the Circular Economy (Gladek, 2019). These are the Key Performance Indicators (KPI's) where we should aim for. The seven pillars are: (1) Materials are cycled at a continuous high value, (2) All energy is based on renewable sources, (3) Biodiversity is supported and enhanced through human activity, (4) Human society and culture are preserved, (5) The health and wellbeing of humans and other species are structurally supported, (6) Human activities maximize the generation of societal value and (7) Water resources are extracted and cycled sustainably.

Reusability is part of the “Materials are cycled at continuous high-value” and also a little bit in “the health and wellbeing of humans and other species are structurally supported”. This is because the cycling of the materials is the goal of reusability, and when a material is toxic it has an influence on the reusability (Akanbi et al., 2018; Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020; Verberne, 2016). In addition, Platform CB'23 (2021) describes three perspectives of a circular project in accordance with circular procurement:

- Products, parts or elements from other buildings are reused in a new life cycle;
- Virgin materials are used to produce products, parts or elements that can be reused in a new life cycle;
- Products, parts, or elements from other buildings are reused in a new life cycle and can be reused in a subsequent life cycle.

It can be concluded that the reuse of products, materials and other building components is an important part of the circular economy, and it has a large impact on the transition from a linear to a circular economy. Reusability is a precondition for the circular economy (van der Palen & Luijten, n.d.). Therefore, this research is focused on the reusability within the circular economy. In chapter 2.3.2 is described why reduce and recycle are out of the scope of this research and why this research is focused on reusability.

Humanity is by nature a reuse economy. Only the extent to which reuse has taken place over the past centuries has changed significantly. Due to industrialisation, the reuse of raw materials has decreased more and more. The introduction of a new waste policy resulted in an increase in the reuse of raw materials and a shift of focus from waste to raw materials (Planbureau voor de Leefomgeving, 2018; Van Dijk, 2018)

In addition, over the past twenty years, the focus for reuse has been on the environment-friendly processing and useful application of waste. But for the future, the focus of reuse is on minimising the use of primary raw materials. As a result, materials must be reused to the highest possible value in the coming life cycles (van der Palen & Luijten, n.d.; Van Dijk, 2018).

2.3.1 Reusability in the construction sector and circular economy

Reuse in the construction sector is increasing. The only disadvantage is that it is mostly done in low-value applications. An example is the roof tiles from an old building that will be crushed and used in the civil engineering sector as a road base. Furthermore, the recycling process of this low-value reuse consumes a lot of new energy, water, machinery and also destroys value (Meuffels & Hoppe, 2021). As discussed, the circular economy aims to ensure that no new raw materials are extracted and that the raw materials are kept in the production chain as long as possible. High-value reuse is an important part of this. In chapter 2.3.4, a distinction is made between low-value and high-value reuse and the determination for this research.

As described reusability is an important part of the circular built environment. However, recycling is the main way of handling waste at the moment. There are also other strategies beyond recycling to reduce the use of raw materials and make a more circular economy. This can be done by focusing on the reuse and repair of products and parts. By focusing on other strategies on the 10R ladder, achieving the ambitions of the Netherlands for 2050 becomes less dependent on recycling alone (Rood et al., 2019). Therefore, it is useful to use the 10R ladder as a base for determining the reusability potential. Taken into account the higher you are on the ladder, the better (Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020; Platform CB'23, 2020b; Ten Bosch et al., 2019). However, the link with the R ladder is not always clear. A product may have a lower environmental impact with recycling than a product that will be high-value reused one on one (Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020).

As described in chapter 2.1, the circular economy creates about 54,000 job opportunities in the Netherlands. When the government focuses more on reuse, this also has a positive effect on employment in the Netherlands. According to Nederland Circulair (2015) the reuse of products in case of remanufacturing and repair are more intensive than the labour for only manufacturing. Therefore, more reuse will lead to higher labour inputs and therefore creating more jobs in the Dutch economy.

A study by Webster & Costello in 2005 stated that “Reuse is the most desirable option because it is most effective in reducing the demand for virgin resources and reducing waste.” This is in line with the meaning of a circular economy. Circular designing of buildings is also becoming increasingly important. During the design process, important decisions are made regarding circularity. This happens with clients, designers and other parties (Platform CB'23, 2021b). This requires thinking about reusability at an early stage. Thinking about material reuse does not start when a building reaches the end of its life. It is the intention to increase the chances for material reuse at the moment a building is designed (Webster & Costello, 2005).

2.3.2 Reusability versus Recycling

In terms of recycling, the Netherlands is one of the top European countries (Rood et al., 2019). However, it is important to do more than just recycle. In practice, there is still too much (low-value) recycling and downcycling at the moment. It is assumed that the project is circular. However, it is the opposite way. This subchapter makes a distinction between reuse and recycling to provide clarity and reusability is therefore differentiated from recycling.

Reuse should be seen as a priority in comparison to recycle. Unfortunately, this does not happen at the moment. Reusing requires much less processing before it can be used in another application. Unlike recycling, that requires more processing such as labour and energy. Recycling mainly leads to breaking down waste into materials and be used for a lower value application as described in the past chapter, or used in new manufacturing products (Hobbs & Adams, 2017; Van Vliet, 2018; Webster & Costello, 2005).

Durmisevi (2006) stated that: “Generally it is assumed that recovery of materials for reuse is more beneficial from an energy and resource point of view than for recycling. Reusing materials can reduce the energy needed for the production of new materials. Accordingly, reduction of environmental damage, in particular greenhouse gas production, can be achieved.” It can be concluded that recycling takes place on a material level. This means that

it can only preserve the value on a material level. However, by reusing whole products or elements, this value can be better preserved because less labour, energy and investment are required (Nederland Circulair, 2015).

And in the circular economy short loops, such as maintain and reuse are preferred over long loops, such as recycling and recovery (Van Vliet, 2018). This is in line with the Ladder of Lansink and also the 10R ladder. Eventually, when the shorter cycles for reuse are used so often that reusing of something is not possible anymore, due to a lot of influences, then only recycling is left. And even when recycling is not possible anymore this turns into waste. Then bio-based and renewable materials are needed to not result in waste (Coenen, 2019). However, this is out of the scope of this research. In Figure 11 the difference between reuse and recycle is depicted with the feedback loops. The next chapter will be described what the reusability potential covers during this research. This will be validated by the interviewing of experts in the working field.

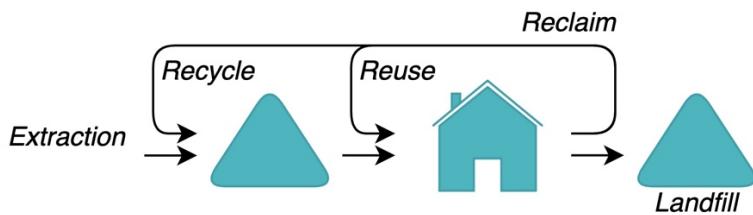


Figure 11 – Reuse versus Recycle (Coenen, 2019)

2.3.3 Levels of reusability potential

As described in the previous chapter recycling is out of the scope of this research and the focus is on the reusability of building products. Furthermore, it is described that the recycling is on the material level and the reusability on the product or component level. Therefore, the focus for the rest of this research is on the product and component level. This is also in accordance with BCI Gebouw and the Disassembly Index where products and components (elements) are assessed in the model. Because the 10R model is already used to make a clear distinction within the circular economy, the 10R model is also used in this study for reusability. In addition, the 10R model is a widely used and scientifically supported application. It started with the Ladder of Lansink as discussed in chapter 2.2. Eventually, this ladder has been extended to the 10R ladder (Cramer, 2014).

In various studies, some of these R principles are classified for reusability. Coenen (2019) made a distinction between reuse and recycling in his research and to define reuse he also used repair before reuse, refurbished before reuse, remanufacture before reuse, and repurpose. Furthermore, Planbureau voor de Leefomgeving (2018) and Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2020) have classified reusability in terms of the Ladder of Lansink, whereby reusability is determined with the R principles: Reuse, Repair, Refurbished, Remanufacture and Repurpose to aim for a lifespan extension of the products and components.

Only "Repurpose" is an R principle that may not quite fit the reusability. In general, it is about one on one reuse for the same function with or without a modification such as repair. Repurpose will be used in another application. But for now, it will be determined as part of reuse. It might be possible that "Repurpose" is the last stage of the reusability potential. In

the case of this research when a product is repurposed for another application than within the Layers of Brand that are in BCI Gebouw then it is not recommended. For example, when a door is repurposed for a table (stuff layers) it might not be part of the reusability potential. It is even possible that repurpose is sort of a creative form of reuse that can be used for art. It is reused but the initial value is lost. The question that then arises is: Is it better to repurpose in a lower level or better to recycle if all the other R principles are not possible anymore?

The 5 R principles with their definition that will be used for reusability potential are described in Table 3 below (Cramer, 2014; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Platform CB'23, 2020a; Recycling, 2019; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020; Rood et al., 2019; Verberne, 2016).

Table 3 – Reusability potential with their definitions of the R principles

	R principle	Definition
Reusability potential	Reuse	Process of using a product for the same application in its original form. Either with or without little modification and enhancement.
	Repair	Process of repairing or maintenance of a broken product for the use in the intended application.
	Refurbish	Process of renovate and improve a discarded product to a good condition by replacing faulty parts or using parts of another discarded product
	Remanufacture	Process of creating a new product in the same application by using parts of a discarded product.
	Repurpose	Using a discarded product in another application than originated without

The first stages of the R ladder: Refuse, Rethink and Reduce are also out of the scope of this research because those R principles are important for the whole circular economy system. These three R principles need to be considered for every circular project and are part of the ambition in the circular economy and are not connected to the reusability potential.

2.3.4 High-value reuse vs low-value reuse

As described in the previous chapters, in the Netherlands most materials are reused in a low-value process. The circular economy aims to reuse materials, products, and components in the most high-valuable way as possible, which preserves their value. To determine the reusability potential, it is a good addition to make a distinction between high-value and low-value reuse. Unfortunately, little research has been done into the difference between high-value and low-value reuse. The report from Van Vliet et al. (2021) indicates that the 10R ladder is used to define high-value reuse. Furthermore, Meuffels & Hoppe (2021) describe that high-value reuse is at least reused on the same level. For example, a roof tile is used as a roof tile and a support beam is used as a support beam. In this case, the R principle “Repurpose” is not a part of high-value reuse. Besides that, recycling and recovery are not a part of high-value reuse because it is on the material level and there is always labour, energy and investment involved. When concrete is recycled and used for other purposes or also concrete then it is high-value from the sustainable perspective but not for the circular perspective. It is then stated as high-value recycling and not as high-value reuse.

Platform CB'23 (2020) has for indicator 2 - Output (The quantity of material available for the next cycle a realistic end-of-life treatment determined based on three criteria that are based on the research of (Van Dijk, 2018). The three criteria are: Proportion of the object that is technically reusable; Proportion of technical output which there is a demand when it becomes available and Negative effects of reusing. These criteria are not put into practice yet. With this realistic end-of-life treatment, there is still no distinction made between high-value and low-value for this indicator. In order to complement this, indicators for value retention have been designed. Those are measured by two dimensions. (1) Techno-functional value and (2) Economic value for the initial value (input), value available for the next cycle (Output) and existing value lost (output). These indicators are still in development. They concluded that it is more useful to use a scale (such as the 10R ladder) for the high-value than using an indicator (number or percentage).

As there is still a lack of research into the difference between high-value and low-value reuse, I want to make a simple distinction by using the 10R ladder as a scale for high-value reuse. This is in line with the previous research whereby high-value is stated that it is used for the same application. Therefore, the R principles Reuse, Repair, Refurbish and Remanufacture are described as high-value reuse within the reusability potential and Repurpose is low-value reuse.

2.3.5 Limitations of assessing the reusability

This research is focused on assessing the reusability potential. Ideally, an assessment of reusability has to be implemented in current measuring methods for circularity. A brief literature review, on the existing measuring methods for circularity, is attached in Appendix 1 – Circularity measurements. In this brief literature review, different measuring methods are described with strengths and weaknesses. BCI Gebouw is ideal for implementation. The reason for this is that BCI Gebouw uses the calculation of material use and disassembly. The material use is based on the MCI of the Ellen MacArthur Foundation. In this model, the reusability of materials and products is only determined by means of percentages and is not further supported. The disassembly is researched by Van Vliet (2018). He concludes that reusability is the goal of disassembly. However, reusability was out of the scope of his research. Also, when disassembly is possible on the level of which an element or product is reusable, it can be considered as a circular product. He recommended to considering which building elements or products are reusable.

It is not clear which criteria need to be met to determine whether a product can be reused when it is disassembled from the building in an early stage of the building process. Various factors influence the reusability potential of a building product. In the current BCI model, the reusability potential is not properly assessed and integrated into BCI Gebouw. Reusability within BCI Gebouw is based on the values of the Life Cycle Analysis (LCA) from the existing databases and an own developed database from Alba Concepts. Think of future scenarios and waste scenarios of objects. However, in actual practice, the values of the LCA regularly deviate from actual values. This creates no consistency in the calculation of the reusability potential for the buildings. Therefore, the reusability potential must be based on supported data and not on assumptions.

2.4 Identifying the factors that influence reusability

According to the research of Van Vliet (2018) disassembly influences the reusability potential. However, in BCI Gebouw it is not assessed properly what makes a product or element reusable. In order to have a clear understanding of what makes a product or element reusable, the goal is to identify all factors that influence the reusability. Only the disassembly of a product or element is not enough for a product or an element to be reused immediately. Therefore, this chapter focuses on identifying the influencing factors for reusability according to existing literature. It is still unclear which influencing factors are important for the reusability potential of the building product or element and how this can be measured in an early design process.

As described in Appendix 1 – Circularity measurements, the circularity indicators in the BCI model from Verberne (2016) are based on KPI's categorised in technical requirements, preconditions, and drivers. In the research from Van Vliet (2018) where he further developed the disassembly within the BCI model, he also uses these categories to eventually integrate the disassembly factors in the BCI model. He made a relation with the IPF model from Van Oppen (2017) because she stated that the circular economy will be achieved by the technical side, the process side and the finance side of a building development project (Figure 1). The latest report on Disassembly by Van Vliet et al. (2021) is still using this method for the determination of the disassembly factors. Therefore, this method will be used during this research to categorise the influencing factors for the reusability potential.

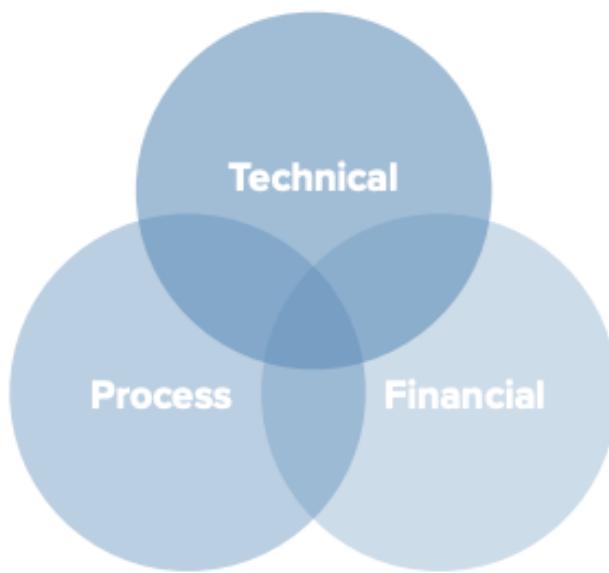


Figure 12 – IPF model (Van Oppen, 2017)

This chapter describes the factors that have a general influence on reusability in all phases of a building project. Twenty different sources have been used to investigate the influencing factors. An overview of the factors from the literature is shown in Table 4 and a comprehensive overview in Appendix 2 – Literature grid. Further in this research, it will be investigated whether some factors can be linked to each other, and which factors are further developed for the reusability potential because not all factors can be included to assess the reusability potential.

Table 4 – Overview Literature factors

Technical-based factors	Process-based factors	Financial-based factors
Adaptivity	Aesthetic	Financial
Disassembly	Certification	Storage and third markets
Material quality	Data management	
Standardisation	Dematerialisation	
Toxicity	Development	
	Geographical	
	Guarantees	
	Law and regulations	
	Logistics	
	Supply and demand	
	Time	
	Willingness	

Disassembly

In the study of Van Vliet (2018), it is concluded that disassembly influences the reuse of building products. According to the literature that is found disassembly is a recurring variable when speaking about reusing products or elements. Akanbi et al. (2018) stated that the use of bolt and nut-joint instead of nails and glue have a positive influence on the reusability. This is covered in the Disassembly Index from Alba Concepts. By using design for deconstruction and design for disassembly, the reuse of building materials will be increased (Coenen, 2019). Various reports also recommend that the connection of different materials are must be well demountable (Van Dijk, 2018). Furthermore, when aiming for high-value reuse, disassembly needs to be the base in the design of a building project (Durmisevic et al., 2017; Kozminska, 2019; Van Vliet et al., 2021; Verberne, 2016). The disassembly factor is the most mentioned factor that influences the reusability potential according to the literature.

Toxicity

One of the main challenges for the circular economy is the toxicity of materials and products (European Environment Agency, 2020). This is also called material health or the hazardousness of materials. In a circular economy, we do not want to use toxic products or materials at all (Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020). In addition, toxic materials that are emitted during use or for reuse and recycling cause the product to be discarded. (Platform CB'23, 2020b). When using toxic or hazardous materials it makes it impossible to recycle or reuse at the end of life of a building and for future use (Akanbi et al., 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2015). It is difficult to estimate how toxicity can be determined at an early stage. However, by ensuring a good disassembly index in a building, products that are identified as toxic or polluted can easily be removed. Therefore, toxicity is directly related to disassembly (Heijer & Kadijk, 2020).

Data management

Data management is not just about whether data is present, but also about the robustness of the data (Hobbs & Adams, 2017; Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020). This is an important factor that can be influenced at an early stage of the building process and ensures that reusability is better addressed. Data management is also related to toxicity and disassembly. A precondition for the design of a building is the availability of work plans for disassembling (Van

Dijk, 2018). Therefore, proper documentation regarding deconstruction, sourcing and processing is necessary (Coenen, 2019; Kozminski, 2019) In addition, it is important that as much as possible is known about all products in a building in order to make reuse possible (Platform CB'23, 2019a). Important parts of proper data management are, for example, the technical composition of a building, quality of the elements and materials, availability and amount of materials (Durmisevic et al., 2017; Kozminski, 2019). Proper data management can be achieved by a more elaborated material passport for example (Hobbs & Adams, 2017) and by the specification of reusable materials in the design phase (Akanbi et al., 2018).

Material quality

The quality of materials also influences its future reusability potential and can cause a product to be discarded. When the quality of a product or material is relatively low, it can always be recycled, but the aim is to reuse the product to the highest possible value (Van Dijk, 2018). That is why quality is important. It is necessary because the product must be able to perform its intended function. A support beam must be able to be used again as a support beam. It is therefore important to determine what the quality of this product is when it will be reused. Over-dimensioning can be a solution for the material quality to support a longer lifespan and better quality (Circo, 2020; Meuffels & Hoppe, 2021).

Supply and demand

There is a mismatch of supply and demand for the quantity and the quality. When products cannot be used on the same site, there should be a match for the supply and demand (Beurskens & Durmisevic, 2017; Hobbs & Adams, 2017). There may be several reasons why supply and demand affect reusability. For example, unique designs or there is not enough quantity of a product to be used (Coenen, 2019). Nowadays, there are more new construction projects than there are demolition projects. Furthermore, there is not enough secondary material in order to accommodate the demand (Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020). This factor could be related to the Storage and third markets factor due to the time mismatch that requires the storage of products.

Development

The technological developments within the construction sectors also have an indirect effect on the reusability potential. When products are made smarter over time, the reusability is positively affected (Hobbs & Adams, 2017; Platform CB'23, 2019b). This is very hard to predict it depends on the market developments. Therefore, the influence of the development on reusability potential is also time-dependent and the reusability potential will decrease without the development of new technologies (Park & Chertow, 2014).

Financial

A more general challenge for reuse is the financial aspect (European Environment Agency, 2020). Within the financial aspect, a lot of factors can be included, but for now, it is separately described. Due to all the costs involved it might be more interesting to just buy a new product instead of a reused product (Durmisevic et al., 2017; Hobbs & Adams, 2017). For example, the storage cost, labour cost for disassembly, certification cost and transport cost. Due to quality loss or low-value reuse and recycling, the residual value also decreases.

Storage and third markets

This is more a financial aspect. When products need to be reused at the end of their lifespan, those products need to be stored to find a demand for them eventually. The storage cost will then be included in the price of the reused product at the end. This can have a negative effect of using the reused product instead of new products (Hobbs & Adams, 2017).

Time

In general, time has a crucial role when it comes to circularity (European Environment Agency, 2020). Therefore, also for the reusability. In the design of a circular project, it takes more time for evaluation of certain choices and future scenarios (Van Dijk, 2018). Furthermore, disassembling a building takes more time than just traditional demolishing of a building. Due to the taxes on labour instead of products, it will result in extra cost.

Certification

Hobbs & Adams (2017) and Durmisevic et al. (2017) stated that a product without certification is a big barrier for reuse. In their study, they also mentioned that testing of the performance or quality can be expensive (e.g., time, labour cost, processing cost etc.). This cost needs to be added to the product and can make reusing more expensive. Kozminski (2019) also stated that the reuse of building materials is hindered by the lack of material certification. The lack of certification can also cause fear for the user in the way of the quality of products (Meuffels & Hoppe, 2021).

Logistics

Transport is also influencing the reusability potential. (Coenen, 2019) stated that transportability is a pre-condition for the reusability of components. When a component cannot be transported after use it will not be reused elsewhere. This can be related to the disassembly. For example, when two big components are transported to the construction site and then welded or glued together it is harder to disassemble and demolition may be the only option. Also, environmental impact is involved. When heavy materials are moved for long distances this will increase the environmental impact (Hobbs & Adams, 2017). Therefore, it is more recommended to look at local suppliers or transport within a small range as possible (Durmisevic et al., 2017; Gladek, 2019; Platform CB'23, 2019a).

Law and regulations

A factor that cannot be easily influenced by the user is the law and regulations. However, this factor has a major influence on the reusability potential. When used parts are reused now, there are several barriers in terms of law and regulations. Since this is now resulting in problems, it is smart to include it in the current research. The barriers are mainly caused due to CE markings from the European laws and the national Bouwbesluit 2012, which is constantly being adjusted (Meuffels & Hoppe, 2021). The law and regulations can also create opportunities for reusability. Van Dijk (2018) stated that high-value reuse needs to be rewarded compared to low-value reuse.

Guarantees

Guarantees can influence the reusability of building products. When a user is ensured that there is a warranty on a reused product, it is more likely the user will be using it for a new project. There are some initiatives about return guarantees (Stichting Nationale

Milieudatabase, 2020) and return policies for reused products. However, this is still in an early stage of development. This can also be related to supply and demand and logistics.

Standardisation

The dimension of a building product is also a barrier for reusability (Durmisevic et al., 2017). When an object is unique by means of a specific dimension, materials or extra features it is less likely to be reused (Coenen, 2019). He also recommended avoiding complexity and stimulate standardisation and simplicity. This can be done by using standardised dimensions or prefab elements (Akanbi et al., 2018; Circo, 2020; Platform CB'23, 2019a). When the modular products are also designed by considering the disassembly they will likely be reusable.

Willingness

There is still a perception that reused materials are not good enough to be used in new building projects. There is a fear for material quality (Meuffels & Hoppe, 2021) and due to the lack of certification, there is a reluctance for reused products (Hobbs & Adams, 2017). Furthermore, the MKI score is still high enough that reused products can be declined (Platform CB'23, 2019a). The aesthetic has also an influence on the willingness for reusability.

Dematerialisation

Dematerialisation means that materials are used only when it is necessary. This is not directly influencing the reusability potential but is a strategy within the circularity to reduce the material use (Akanbi et al., 2018; Gladek, 2019; Platform CB'23, 2019a).

Geographical

On an international level, the geographical boundaries also have a part in the reusability potential. This also depends on the differences in technological development and the differences in material quality. Furthermore, there are differences in laws and regulations (Park & Chertow, 2014). This research is focused on the Netherlands therefore this is not relevant for this study at all.

Aesthetic

The aesthetical appearance of a building is also responsible for the reusability potential. However, this is hard to quantify because the aesthetic of a building is debatable and is depending on the taste of a person or an organisation (Kozminski, 2019). When something like a product is more aesthetic and therefore the user attached more value to it. It is less likely to replace the product (Circo, 2020).

Adaptivity

When objects are designed as dynamic structures that can be modified, they are easier to be reused. Furthermore, the initial applications can be enhanced and the objects can be used for other purposes (Circo, 2020). However, high-value reuse is more often used for reuse in the same application.

2.5 Sub-conclusion

The literature review provides a foundation of general information about the circular economy, the role of reusability within the circular economy and the factors that influence the reusability. The circular economy concept that is used in this research consists of the economic model, biological cycles, and technological cycles. The reusability of products is part of the technological cycle of the circular economy concept. A transition to a circular economy is required in order to achieve the ambition of the Dutch government by 2050 and reducing the waste and consumption of the resources on earth. The first step is the challenge to translate the circular economy into a concept with operational measurement. Several studies have been carried out on the measurement of building circularity. However, none of these measuring methods or instruments supports the reusability properly by means of scientific research. This research aims to fill this gap.

Furthermore, there is no consistency yet on what high-value reuse implies. Various studies indicate that reuse is one on one reuse, and others indicate that reuse is determined based on several R-principles of the 10R ladder. From the literature, it can be concluded that recycling is not part of high-value reuse. Moreover, reuse is defined at the product level and recycling at the material level. Downgrading existing products to a material level can be considered in general as not beneficial. The focus of this research is on the reusability of the product level. Therefore, recycling is out of the scope of this research. This research aims to provide a more unambiguous definition of the high-value reuse and the reusability potential of products.

It can be concluded that reuse is a pre-condition for enabling a circular economy. Although reuse is one of the most important aspects for enabling the circular economy, there is no unambiguous method yet to assess whether a building product will be reused or what the possibility is that a building product will be reused in the future. This possibility will be determined as the reusability potential. Moreover, only limited research has been carried out into identifying what makes a building product reusable.

To fill this gap, this research aims to develop an assessment tool that can determine the reusability potential of building products by assessing the factors that influence the reusability. The influencing factors are assessed by using proposed assessment criteria based on this research. The results of this literature review are used as input for determining the influencing factors. The next chapter describes the methodology and research methods that are used to achieve the aim of this research.

In total nineteen general influencing factors are identified by investigating existing and current research. All these factors influence the reusability potential of building products. The influencing factors are converged because determining nineteen factors to one reusability assessment would be too complex. This will result in a selection of influencing factors that will be determined and implemented in the assessment tool. Furthermore, the influencing factors are independently addressed in this research and correlations are out of the scope of this research.

3 Research approach

This chapter contains the research approach that is used in this research. The four stages of the Design Research Methodology (DRM) are described as the research methodology. Furthermore, the research methods with the data collection that are used in order to answer the research questions are described. This contains the literature review, the expert interviews, the expert panels, and the case study. Subsequently, ethics and data management are discussed, and a conclusion is drawn.

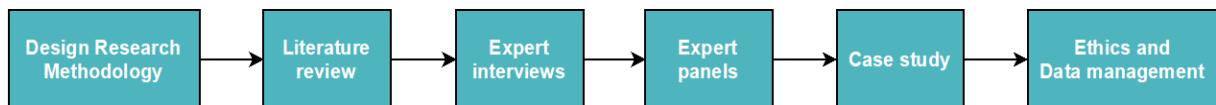


Figure 13 – Schematic overview of the research approach

3.1 Design Research Methodology

For this research, the Design Research Methodology (DRM) from Blessing and Chakrabarti (2009) is chosen as methodology and supporting framework during this research. The methodology consists of four stages: Research Clarification (RC), Descriptive Study I (DSI), Prescriptive Study (PS) and Descriptive Study II (DS-II). The purpose and explanation of these stages are described in this section. Figure 14 gives a representation of the DRM framework with the four stages and how they correspond to this research. Furthermore, the methods and steps are displayed. The blue arrows represent the research methods that are used in the corresponding stages with the corresponding results. The bolded black arrows represent the main process flow of the research. The dotted black arrows represent the iterations between the stages.

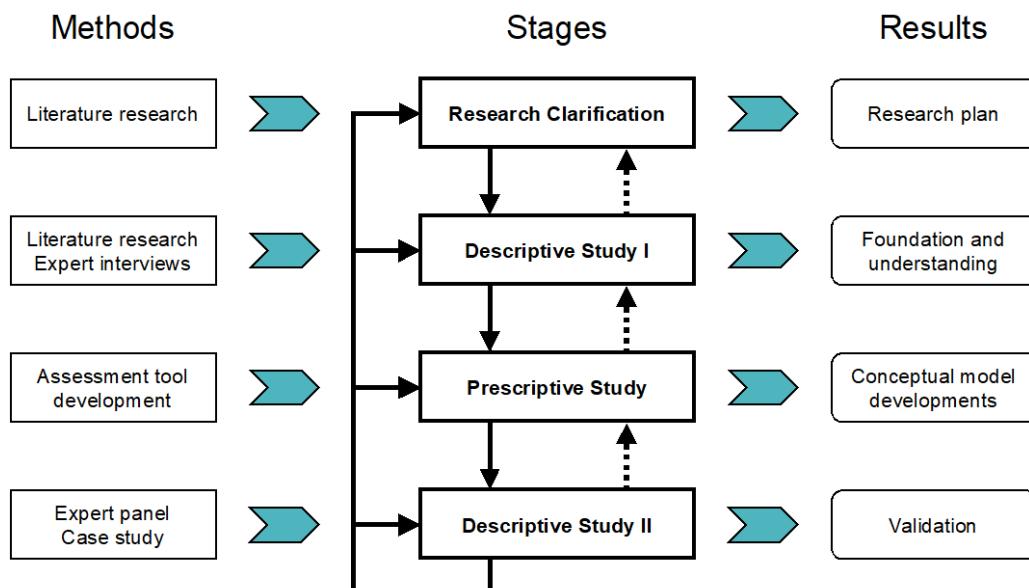


Figure 14 – The four Design Research Methodology stages adopted in this research design
(Blessing & Chakrabarti, 2009)

Overall there are two objectives of design research, namely: formulating and validating models and theories as well as developing and validating knowledge, methods and tools to improve the design (Calderon, 2010). According to Blessing and Chakrabarti (2009), a

methodology should be used in a flexible way. Therefore, DRM aims to help research becoming more effective and efficient. The reason that this methodology is chosen for this research is due to the variety of research approaches and methods that can be used in this methodology (e.g., interviewing, case study, observation, etc.). Furthermore, it uses a framework for individual research by providing the four stages and approaches for a rigorous research design.

Table 5 – Overview advantages and disadvantages of Design Research Methodology (DRM)

Advantages	Disadvantages
Clear framework with stages for a systematic way	The methodology can be time-consuming and too comprehensive to use
A rigorous research design	
Allow a variety of research approaches and methods	

3.1.1 Research Clarification

“The RC stage helps clarify the current understanding and the overall research aim, develop a research plan and provide a focus for the subsequent stages” (Calderon, 2010).

This is the start of the research. According to Blessing and Chakrabarti (2009), the objective of this stage is to identify the goals that the research is expected, the development of an assessment tool to determine the reusability potential. Furthermore, the focus of the research, research problems and the establishment of the main research questions and the sub-questions is part of this stage. In this stage, a part of the literature research has been done that will further be reviewed and elaborated in the following stage. This stage is the result of a more elaborated proposal and refers to the Introduction chapter. The main result is to have a research plan with corresponding research questions.

3.1.2 Descriptive Study I

“The DS-I stage aims at increasing the understanding of design and the factors that influence its success by investigating the phenomenon of design to inform the development of support, where the term support is used to cover the possible means, aids and measures that can be used to improve the current situation and that enable the evaluation of the core contribution of the researcher” (Calderon, 2010).

The first research stage is completed, and a clear research goal is established that is supported by the research questions. This means that a research plan has been made which is used for the subsequent stages. The focus of this stage is to obtain a better understanding of the current situation. This stage will be the input for the Prescriptive Study stage to develop the support for assessing the reusability potential.

The goal is to find a working definition for the reusability potential and determine the factors that have an influence on the reusability of a product. In addition, the circular economy and measuring methods for the circular economy are studied, and a distinction is made between high-value and low-value reuse. Furthermore, it aims to increase the understanding by setting the boundaries of this research and have the working definitions for the key variables such as the reusability potential. If necessary, changes are made to the research plan.

This research stage is supported by the literature review and the expert interviews. These are the main data collection methods for Descriptive Study I. Therefore, the Comprehensive DS-I is used which involves a literature review as well as empirical studies. The two methods are described in the next sections.

3.1.3 Prescriptive Study

"The PS stage aims at developing support in a systematic way, taking into account the results of DS-I" (Calderon, 2010).

The focus of the Prescriptive Study is the development of a support system from the findings in the previous stages. The input for this stage is based on the results from the Descriptive study I and Descriptive Study II. The DS-I stage resulted in the development of the "Reference Model", in this research conceptual model one. After the first validation of conceptual model one through the expert panels, the "Impact Model", in this research conceptual model two, is developed in this stage. The second model is improved and adjusted, and the importance of the factors is weighted. The assessment tool is developed by means of conceptual model two. This research is limited to the two conceptual models and the practical assessment tool. However, the case study will also result in a more optimised model and more validation rounds through expert panels or case studies will also result in more optimised models in the future.

3.1.4 Descriptive Study II

"The DS-II stage focuses on evaluating the usability and applicability of the actual support and its usefulness" (Calderon, 2010).

As well as Descriptive Study I, Descriptive Study II also involve empirical studies. However, the aim of this stage is different. One main point of the DS-II stage is to identify necessary improvements to the concept and evaluate the application of the "design support" that is developed in the Prescriptive Study (Blessing & Chakrabarti, 2009). The empirical studies that were performed in this research are expert panels and a case study. The expert panels were conducted in order to validate the first conceptual model and to determine weights for the influencing factors. Chapter 3.4 describes in more detail how the expert panels were conducted and how the data was collected and analysed. The main purpose of using the Design Research Methodology are the feedback loops between the different stages. The expert panels validate the first results from the PS stage. After the expert panels were conducted, the results are processed and conceptual model one is improved. This results in the development of a second conceptual model. A case study is conducted to validate the second conceptual model. In chapter 3.5 the case study is further explained.

3.2 Literature review

For the literature review, the data is collected by using academic articles/journals, reports for institutions and companies, webpages, news reports and, the internet in general. Google Scholar, ResearchGate, ScienceDirect, the TU/e Online Library and well-known sources for this topic have been used as data sources. For the collection of the most relevant references, all possible keywords for reuse, reusability and circular economy were used. Also, the influencing factors were used as keywords related to the reusability and reusability potential.

Furthermore, the references of others were checked and used as input. The cooperating company, Alba Concepts also provided documents that could be useful for this research. All the literature and documents can be found online, and every source is listed in the references. During the literature research, a literature grid was used. This literature grid was used to organise and structure the collected data. Table 6 shows an example of the literature grid, and the full literature grid is attached in Appendix 2 – Literature grid.

Table 6 – Example of the literature grid

Influencing factor	Source	Description
Data management	(Heijer & Kadijk, 2020)	Lack of valid data about the technical composition of the building and quality of the elements
Toxicity	(Durmisevic et al., 2017)	Toxicity is a game-changer in the circular building economy: it limits the possibilities for reuse in the next 'cycle'.
Logistics	(Coenen, 2019)	If a component is not transportable after use, it will not be reused in another location. As such, transportability is treated as a precondition for reuse

3.3 Expert interviews

Interviewing is one of the data collection methods that can be used in the Descriptive Study. The purpose of an interview is to collect thoughts, beliefs, opinions, reasons, etc. from different parties about past, present or future facts or other events by asking questions (Blessing & Chakrabarti, 2009). The main goal of this interview is to gain insight into what is essential to enable high-value reuse and what influences the reusability potential of a product. The interviews are conducted to validate and elaborate on the findings from the literature. Eventually, this data will be used to determine the influencing factors and converging them into a short-list that will be used to develop the actual model for reusability within BCI Gebouw. This subchapter will discuss the components and steps that are taken to make it possible to conduct a thorough interview.

Interview design

The interviews are conducted in a semi-structured (in-depth) way. The main reason for using semi-structured interviews is that the interview guide with questions can be prepared in advance. In addition, the use of semi-structured interviews provides freedom for follow-up questions (that are not in the interview guide) and space for discussion on a topic that can be off track from the interview. This allows for deviations from the standard questions, which can lead to broader follow-up questions and insights during the interview. This is not possible for other forms of interviews or surveys. An overview of the advantages and disadvantages is shown in Table 7 according to (Cohen & Crabtree, 2006; Fuelcycle, 2021).

Table 7 – Overview advantages and disadvantages of semi-structured interviews

Advantages	Disadvantages
Allow for follow-up questions	Time-consuming
Provides qualitative data	Enough number of participants to draw conclusions
Questions can be prepared beforehand	

During the interview, an interview guide is used. This is a list of questions formulated prior to the interview and which must be addressed during the interview. By using an interview guideline, the same subjects are covered in all interviews. This ultimately ensures a good comparison and data analysis between the various interview results by providing reliable, comparable qualitative data (Cohen & Crabtree, 2006).

Interview questions

As mentioned before, by using an interview guideline, the questions can be determined before the interviews are conducted. This allows to be more prepared and construct thorough questions. Before asking the interviewee the first question, the researcher gives an introduction about himself, the subject, and the aim of the interview. Therefore, the interviewee knows what to expect from the interview. In this way the researcher and the interviewee get to know each other, this will create a good overall vibe for the start of the interview. The questions of a semi-structured interview are mainly open-ended and descriptive. This gives the participant the space to elaborate on their questions in sense of their experience and their meanings (Blessing & Chakrabarti, 2009; Cohen & Crabtree, 2006). Before conducting the interviews, the questions were checked and discussed with the supervisor of the TU/e and the company supervisor from Alba Concepts. Furthermore, a pilot interview with a colleague within Alba Concepts was conducted to check if the questions were correct and the setup was proper. After that, some feedback was given for sharpening the questions and the interview guideline.

Themes and subjects per interview question:

- Question 1 till 4 = Reuse (high-value, definition, experience, and influence)
- Question 5 = Barriers high value reuse
- Question 6 and 7 = Pre-conditions
- Question 8 and 9 = Guidance and safeguarding
- Question 10 = Roles
- Question 11 = Features of a product

The interview guideline with questions that is used for all the interviews is included in Appendix 3 – Expert interview guideline Dutch and in Appendix 4 – Expert interview guideline English.

Interview participants

In contrast to a structured interview, the validity of a semi-structured interview is on a lower level. Therefore, it is important to interview the right participants with high expertise in the working field that can contribute to my research. “It is very important to know who participated in a study. Their experience, education, current position, motivation, culture, etc., are of interest, as these could help explain the findings.” (Blessing & Chakrabarti, 2009).

Therefore, the participants for the interview in this research were carefully selected according to their expertise and experience within the circular built environment, the working field and role within the building process. There is chose for participants from the following working fields: Consultant, Platform, Demolisher, Architect, Contractor, Housing corporation and Government. To gain validity, two participants per working field were selected. In total 19 participants were selected for this research. In order to follow the privacy policy from the TU/e

and the Dutch Government (GDPR), chapter 3.6 entails the ethics of the participants. The names are anonymised, and every participant has their own ID.

In total 19 interviews were conducted. Table 8 shows an overview of the interviews with the participants, the date and how the interviews were conducted. Summarised transcripts of all the interviews can be found in Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts.

Table 8 – Overview interviews

ID	Working field	Function	Date	Conducted
1	Consultant	Partner	15-03-2021	MS Teams
2	Architect	Founder / Architect	16-03-2021	MS Teams
3	Housing corporation	Project leader	19-03-2021	MS Teams
4	Architect	Architect	19-03-2021	MS Teams
5	Platform	Action team	22-03-2021	MS Teams
6	Housing corporation	Project Manager	24-03-2021	MS Teams
7	Demolisher	Director Circularity	24-03-2021	By phone
8	Contractor	Developer Circularity	25-03-2021	MS Teams
9	Contractor	Project Manager	26-03-2021	By phone
10	Platform	Founder	30-03-2021	MS Teams
11	Contractor	Tender Manager	30-03-2021	MS Teams
12	Government	Project leader	30-03-2021	MS Teams
13	Consultant	Founder / Consultant	31-03-2021	MS Teams
14	Demolisher	Manager	02-04-2021	MS Teams
15	Consultant	Consultant	29-03-2021	MS Teams
16	Platform	Manager Circularity	23-04-2021	MS Teams
17	Demolisher	Project Coordinator	19-03-2021	Writing
18	Consultant	Manager	25-03-2021	Writing
19	Architect	Architect	01-04-2021	Writing

Conducting and transcribing

The selected participants were approached by mail. The mail contained a short introduction of the research and the researcher, giving the participant an idea of what to expect. The participants were asked to fill in a time slot when they were available. This was done by using the program Doodle. This is a free online meeting scheduling tool.

A total of 19 interviews were conducted. Almost all interviews have been conducted online through Microsoft Teams. Two interviews were conducted by phone and three interviews were conducted in writing. Since semi-structured interviews consist of open questions and have room for discussion, it is recommended to record the interviews (Cohen & Crabtree, 2006). In Microsoft Teams it was quite easy to make a recording of the interviews. The two interviews by phone were recorded by using another phone as a tape recorder.

Before the data of the interviews can be analysed, the data must first be processed (Blessing & Chakrabarti, 2009). In this research, this means transcribing the recordings and the written interviews. For transcribing, the choice was made to use summarised transcripts. Parts of the summarised transcripts were also literally transcribed. For example, when a segment is important for the research, or a participant stated something literally that could not be

summarised. This is not the most desirable option for transcription. However, due to the number of expert participants, it will be more valuable for assessing the influencing factors for the reusability potential. In order to prevent incorrect interpretation from the researcher of the data or information, the summarised transcripts were sent to the participants for checking and to give their approval. This results in a more valid data collection.

Coding and data analysis

After transcription and approval from the participant, the data can be processed and analysed. Processing of data (e.g. from interviews) often involves the coding of the data in order to analyse the data and organise it (Blessing & Chakrabarti, 2009). When conducting a semi-structured interview, qualitative data is gathered. Therefore, this research is using qualitative data analysis. For the coding and analysis, the program ATLAS.ti is used as a qualitative data analysis tool.

The first step is open coding. This involves examining all the interviews and then adding labels/codes and highlighting sections in the summarised transcripts that had been imported in ATLAS.ti. Through open coding of all interviews, the interpretations and opinions of different participants can be compared in the next step of the coding process. A total of 188 codes were coded in the open coding. Figure 15 and Figure 16 shows an example of an open coding scheme of a paragraph. In total six labels are added to the paragraph.

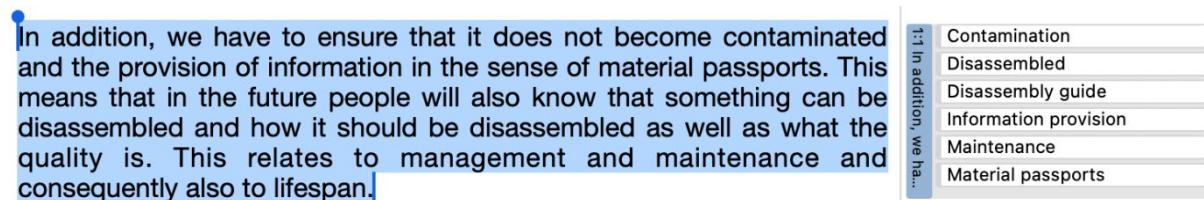


Figure 15 – An example of a comprehensive open coding scheme

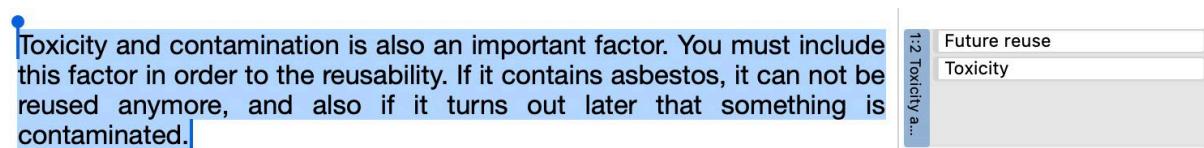


Figure 16 – An example of a simpler open coding scheme

After all the interviews have been open coded, the labels/codes are linked to each other by identifying patterns in the codes. This results in various themes with combined codes. In the program ATLAS.ti, this is done by creating code groups. Not all code groups are used in this research as they are not relevant or too vague for use in this research.

Figure 17 and Figure 18 show an example of axial coding. The 6 codes from open coding are grouped in the code group “Factor: Disassembly”. The codes: Hard to disassembly, connection, disassembly, stuck together, demountable, demounting are all codes that are part of disassembly and therefore grouped in the code group “Factor: Disassembly”. The 189 labels/codes resulted in 33 code groups.

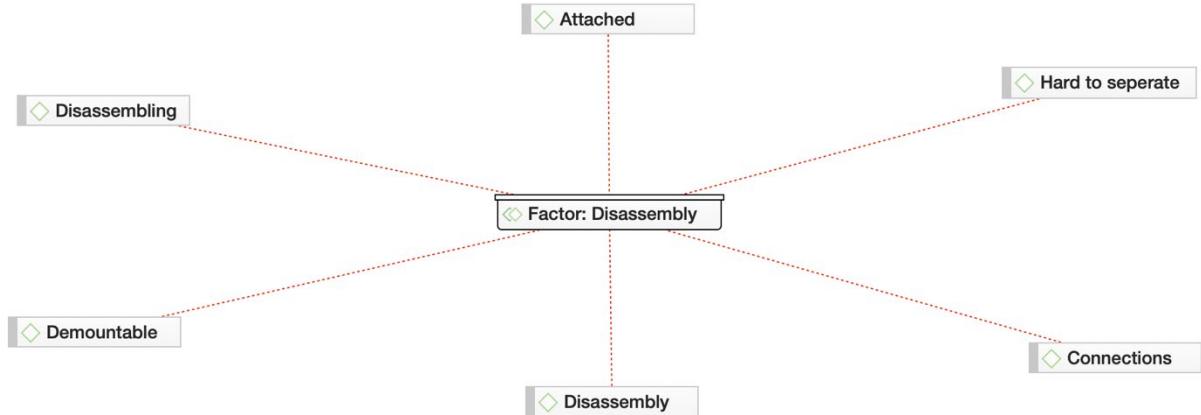


Figure 17 – An example of axial coding “Factor: Disassembly”

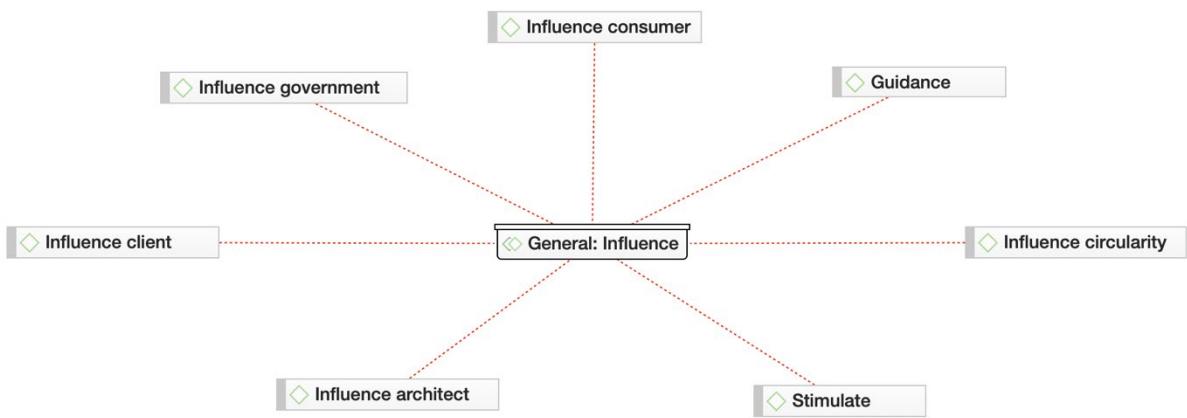


Figure 18 – An example of axial coding “General: Influence”

3.4 Expert panel

The expert panels are part of the Descriptive Study II. The purpose of the expert panels is to validate the first conceptual model. Based on the input from the expert panels, improvements are made to the first conceptual model, resulting in a second conceptual model. The validation of the first conceptual model is done by presenting and discussing the influencing factors, the assessment criteria that are determined in chapter 5 and conceptual model number one (Figure 28) according to the participants of the expert panels. All influencing factors have equal importance in the first conceptual model. In addition, the weighting of the criteria is based on assumptions. To improve the second conceptual model, an important step in the process is assigning weights to the influencing factors and their assessment criteria.

In order to do this, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) tools can help to achieve the goal. In this research, the common Analytical Hierarchy Process (AHP) is used to determine the weights of the influencing factors and the assessment criteria. This method can also be helpful to understand the differences between the assessment criteria per influencing factor and determine the importance. In 1977, Saaty developed the AHP method as an effective tool for decision making of multiple criteria. Although this method is developed many years ago it is still a widely used method for determining weights and the numerical evaluation of criteria (Issar, 2008) and used for selection, prioritisation and forecasting (Mu & Pereyra-Rojas, 2017). An overview of the advantages and disadvantages of the AHP method is shown in Table 9.

Table 9 – Overview advantages and disadvantages of Analytical Hierarchy Process (AHP) (Coyle, 2004; Mu & Pereyra-Rojas, 2017)

Advantages	Disadvantages
Qualitative and quantitative	Time-consuming comparison process
Ease of management	The scale can be questionable
Transparent decision making	Consistency is harder to handle with group decision
Rank choices in order of their effectiveness	

Participants

The participants are based on a selection from the expert interviews. Per working field, an expert is chosen by the researcher. Expert panels were chosen instead of surveys because of the knowledge required to evaluate the influencing factors, the assessment criteria and to determine the importance. Table 10 shows an overview of the participants in the expert panels

Table 10 – Overview participants expert panels

ID	Working field	Function	Date	Conducted
E.1	Government	Project leader	15-07-2021	On location
E.2	Contractor	Developer Circularity	27-07-2021	MS Teams
E.3	Demolisher	Project Coordinator	29-07-2021	MS Teams
E.4	Platform	Action team	29-07-2021	MS Teams
E.5	Housing corporation	Project leader	30-07-2021	MS Teams
E.6	Consultant	Partner	09-08-2021	On location

3.4.1 Steps of the AHP

The first step in the AHP method is to create a hierarchy. This hierarchy is depicted as the first conceptual model (Figure 28). The AHP hierarchy consists of three levels. Level 1 as Goals, level 2 as Criterion and level 3 as alternatives. Figure 19 shows a general overview of an AHP hierarchy.

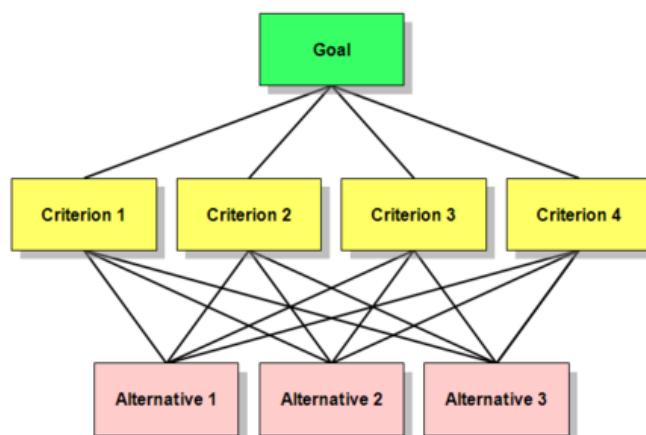


Figure 19 – AHP Hierarchy (Finan & Hurley, 2002)

In this research, the Goal is the Reusability Potential, and the Criterion are the influencing factors. In this research, the assessment criteria are not the alternatives of the influencing

factors because the assessment criteria are only related to the corresponding influencing factor. Therefore, this research consists of only single-level hierarchies. In this case, two AHP analyses have to be conducted. One on the Reusability potential with the influencing factors and one on the influencing factors with the assessment criteria. The format of the hierarchies is shown in Figure 20 below.

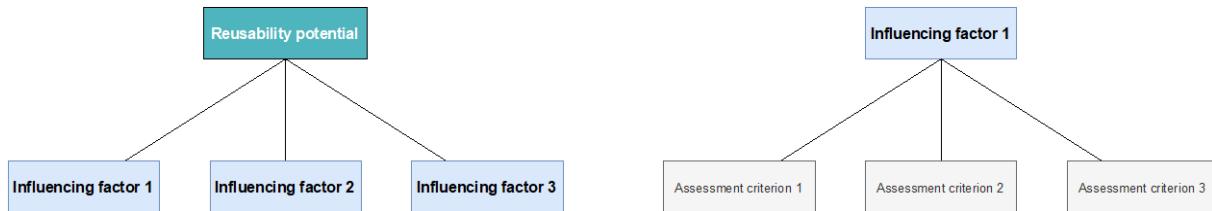


Figure 20 – Format for the AHP hierarchies

Data collection

The second step is to conduct the expert panels to collect their opinions in order to obtain the data collection for the next step. To collect the data, all expert panels used two entry sheets. One entry sheet for the influencing factors and one entry sheet for the criteria. In the entry sheets, all possible comparisons are shown in which the experts can indicate whether the left or right factor/criterion is more important and what the intensity of importance is of that specific factor/criterion. For this purpose, the numeric scale of Saaty (1977), shown in Table 11, is used in which the numeric scale is translated to a definition and explanation. In Appendix 6 – Expert panel entry sheet influencing factors and Appendix 7 – Expert panel entry sheet criteria, the entry sheets are attached that were used during the expert panels. This will give an overview of the collection of the data.

Table 11 – Numeric scale and description (Saaty, 1977)

Intensity of importance	Definition and explanation
1	x and y are equally important
3	x is slightly more important than y
5	x is more important than y
7	x is strongly more important than y
9	x is extremely more important than y
2, 4, 6, 8	Intermediate values if compromise is needed (not necessary in this research)

Pairwise comparison

After conducting the expert panels, the next step is to determine the weights of the influencing factors and the criteria. This is done by pairwise comparison matrices. According to (Hummel et al., 2014; Rajan et al., 2019; Saaty, 2008), it is not desirable to combine each decision maker's judgement in one pairwise comparison matrix. Therefore, individual pairwise comparison matrices are made per Decision Maker (DM), in this research the expert. The final outcomes are then calculated by taking the geometric mean of their judgements.

Every matrix is a $n \times n$ matrix where n is the number of intensity of importance of that criterion C (influencing factor or criteria). All the cells (a_{xy}) in the matrix representing the importance

of x relative to y with the check of $a_{xy} * a_{yx} = 1$. The format of the pairwise comparison matrices is shown in Table 12 with the following interpretations:

- For $a_{xy} > 1$, criterion x is more important than y
- For $a_{xy} < 1$, criterion x is less important than y
- For $a_{xy} = 1$, criterion x is equally important to y

Table 12 – Format of pairwise comparison matrix

Criteria (C)	C1	C2	Cn
C1	1	a_{12}	$1/a_{1n}$
C2	$1/a_{12}$	1	$1/a_{2n}$
Cn	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1

Derive the weights

The third step is to derive the weights of the criteria. This is done by using the Geometric Mean prioritisation method. First, the Geometric Mean per row is calculated by multiply each cell in a row and power to $1/n$, where n is the total number of Criteria (C). This is done by the use of Formula 1.

$$GM_x = (1 * a_{12} * 1/a_{1n})^{1/n}$$

Formula 1 – Geometric Mean

Then the weights of the criteria are derived by Formula 2 and the total sum of the weight is equal to one (Formula 3).

$$w_x = \frac{GM_x}{\sum_{x=1}^n GM_x}$$

Formula 2 – Weights

$$\sum_{x=1}^n w_x = 1$$

Formula 3 – Sum of the weights

Normalisation

When the weights of the criteria are derived the weight will be normalised. Normalisation is the first step of any decision-making process to transform the data into a common scale and comparable units (Camarinha-Matos et al., 2016). This will result in one Criteria be one. This will eventually be the most preferable Criteria. The Linear: Max normalisation technique is used for the normalisation of this research. The normalised factors are eventually the weights that are assigned to the influencing factors and the criteria (Formula 4).

$$N_x = \frac{w_x}{w_{max}}$$

Formula 4 – Normalisation

After the normalisation step, the Criteria can be ranked from high to low. Table 13 shows the format for the total pairwise comparison matrix to give a clear overview of the deriving of the weights that will be used in the second conceptual model.

Table 13 – Format of total pairwise comparison matrix

Criteria (C)	C1	C2	Cn	Geometric Mean (GM _x)	Weight (w _x)	Normalised (N _x)	Rank
C1	1	a ₁₂	1/a _{1n}	GM ₁	w ₁	N ₁	1
C2	1/a ₁₂	1	1/a _{2n}	GM ₂	w ₂	N ₂	2
Cn	1/a _{1n}	1/a _{2n}	1	GM _n	w _n	N _n	3
				Sum GM	1.00		

Consistency

The final step is to calculate the Consistency Ratio (CR) to measure how consistent the judgement has been relative to large samples of purely random judgements. To calculate the CR, the Consistency Index (CI) is calculated prior to the CR with the following formula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Formula 5 – Consistency Index

λ_{max} = total sum of the Geometric Mean

When the CI is calculated the Consistency Ratio (CR) can be calculated with the following formula. The Random Consistency Index is depending on the number of Criteria (C) and can be found in Table 14.

$$CR = \frac{CI}{RCI}$$

Formula 6 – Consistency Ratio

Table 14 – Values of Random Consistency Index (Saaty, 1977)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Saaty suggested that if the CR exceeds 0.1 the set of judgements is too inconsistent. However, in practice ratios of more than 0.1 can be accepted (Coyle, 2004). A CR lower than 0.1 is reasonable, lower than 0.2 is tolerable and higher than 0.2 should be reassessed or discarded (Saaty, 1980). Furthermore, the experts have enough knowledge about the subject in order to assume that the collected data is valid enough for this research.

3.5 Case study

As well as the expert panels, the case study is also part of the Descriptive Study II stage. Both are validation techniques. The validation of the first conceptual model is done by presenting and discussing the influencing factors, the criteria, and the conceptual model to the participants in the expert panel. After that, the second conceptual model will be developed and validated through a case study.

The selected case is a list of traditional and circular products that will be assessed by the assessment tool. The main goal of the case study is to illustrate how the assessment tool works and what the findings are when conducting the assessment tool to assess the reusability potential of the building products. Furthermore, the results of the weighted average formulas will be discussed, and an expectation is given of the formula that will best suit the practice.

For all products, a base scenario is set up to assess the reusability potential. Since the data required for the assessment is dependent on a real-time project, sensitivity and scenario analysis are used to determine the results when different data is available. The sensitivity analysis involves adjusting the data for one specific influencing factor. Scenario analysis, on the other hand, involves the adjustment of several influencing factors. This provides insight into which factors will have the most impact on the reusability potential and what is needed to achieve a better reusability potential of products in order to manage the reusability in the future.

3.6 Ethics and data management

Due to AVG and GDPR, a consent form must be signed before each interview with which the interview participant gives his/her consent. A Pre-Pia assessment was made for privacy and a Consent letter. This has been discussed with the data steward Sjef Öllers and approved by the Ethical Review Board (ERB). The consent letter is included in Appendix 8 – Consent letter. Here is also described how data and personal data are handled. The summarised interview transcripts are included in Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts. The interviewees have been made anonymous or a pseudonym has been used. Where necessary, personal statements have been omitted or replaced. Only the job title of the person and the sector in which they work is indicated during the research. All data collected during the interviews is stored on OneDrive. This is an Approved and well-secured Storage. Sometimes iCloud Drive was used to store temporary data. After the data has been analysed, any data that was not required was removed from OneDrive and iCloud Drive.

3.7 Sub-conclusion

The Design Research Methodology (DRM) with four main research stages was used as a supporting framework during this research. This chapter has described which research methods are followed in order to answer the sub-questions and collect data at each research stage. The first stage of the research, The Research Clarification, formulates the research plan including the main and sub-questions of this research. In the second stage of the research, Descriptive Study I, sub-question 1, 2 and 3 are answered regarding the reusability potential within the circular economy and the factors that influence the reusability potential of building products. The data in this stage is collected by reviewing the literature and conducting expert interviews. In stage three, Prescriptive Study, the model for assessing the reusability potential is developed. This involves the development of two conceptual models and the development of the assessment tool. This provides the answer for sub-question 5. In the last stage, Descriptive Study II, the emphasis is the validation of the research. The influencing factors and conceptual models are validated and the weights for the influencing factors and criteria are determined. This provides the answer for sub-question 4. The data is collected by conducting expert panels and a case study. The case study is conducted by using deliberately assumed data which is set up with the cooperation of Alba Concepts.

4 Determination of the reusability factors

This chapter contains the determination of the factors that influence the reusability potential. In addition, the definition of the reusability potential is described according to this research. The results of the literature and expert interviews are addressed and analysed. Subsequently, a converging process is carried out in order to determine the influencing factors that have to be included in the development of the assessment tool in chapter 5.



Figure 21 – Schematic overview of the determination

4.1 Reusability potential

Before determining the influencing factors, this chapter describes what the reusability potential in this research implies and what the scope of the reusability potential in this research entails. The reusability potential is the potential that a building product can be reused at the end of its lifespan. In more detail, the reusability potential is the possibility that a building product may be reused. However, there is still a chance that the building product will not be reused due to other crucial circumstances.

This research aims to develop an assessment tool that can determine the reusability potential and express it in a score between 0 and 1. The basic principles include the assessment of new individual building products that are reused at a new location. The products must be reused at the highest value possible. By preference, as high as possible on the 10R ladder. Finally, the reusability potential is determined at an early stage of the building process. This provides insight into the reusability potential at an early stage of the building process and is expected to manage and support circular product choices.

In order to assess the reusability potential, this chapter determines, by using different research methods (literature and expert interviews), which factors influence the reusability potential. These factors are assessed by setting up assessment criteria based on literature, expert interviews, and propositions of the researcher. The influencing factors with the corresponding assessment criteria, and the development of the assessment tool are described in chapter 5.

4.2 Results from the expert interviews

The results from the interviews are divided according to the themes used when conducting the expert interviews (chapter 3.3). The goal of this research is to investigate the factors that influence the reusability potential of building products in an early stage of a building project. The other general results from the interviews are described in the following sections and can be used to give an understanding of the subject. This information is obtained from the expert interviews. Summarised transcriptions of the expert interviews are attached in Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts.

4.2.1 Reusability

From the expert interviews, it can be concluded that reusability plays an essential role in enabling the circular economy and reducing the depletion of the earth. The key was stated by Participant 13 "Reusability is crucial and we ultimately save significant CO₂ emissions and ensure that fewer virgin resources have to be exhausted". The literature differentiates between low-value and high-value reusability. This is in line with the information from the expert interviews. The 10R ladder can be used to provide an insight into low-value and high-value reusability. The results indicated, the higher on the R ladder the better. In addition, it should always be the ambition in the current economy. Almost all of the experts agreed on the classification and the use of the 10R ladder for determining reuse. However, it is clear that Recycling and Recovery should not be part of low-value reusability. The reason for this is that Reuse is at the product level, and Recycling is at the material or resource level. Also, it was questionable whether Repurpose would be a type of high-value reuse because of the function of the product or object changes. In addition, it was noted that it is also dependent on the type of product and that it is difficult to make a generalised statement about what is better.

Participant 7 indicated that they recycle old concrete and use it to make new concrete that will be used for new buildings. This has a big impact because it preserves the value of concrete instead to use it in civil construction as filler, road base or foundation. Furthermore, disassembly plays an important role in enabling high-value reuse. Disassembly is part of the circular design of a new product that they are designed with disassembly and reusability in mind. Everything that is added to a building should be approached from the perspective of reuse. Finally, participant 15 stated that we should always focus on reducing the impact on the earth as much as possible and using fewer materials. However, at the end of the day, more material is used, and stocks run out and have to be replenished. Therefore, it is essential to reuse building products and apply it in the highest value possible. This will be essential with a perspective on the future.

4.2.2 Barriers to the reusability of building products

According to the expert interviews, there are several barriers to enabling the reuse of building products in the future. First of all, reused products are often more expensive than new products. The reason for this is that extra labour is needed to disassemble, transport, or store the product. In addition, investors are often focused on short-term investments. The added value to enabling reuse is not yet recognised.

Not to mention the lack of trust in reused products. This is due to guarantees and insurances, but also to the ambition of the clients and the laws and regulations. Furthermore, the demolishers expect that the demand for reused products will exceed the supply of products. This is due to the fact that there are more new construction projects than demolition projects. This may be a barrier for the reusability. Finally, laws and regulations have a major impact on making reusability possible at all.

4.2.3 Roles that can positively influence the achievement of reusability

According to the expert interviews, the government has a major role to ensure that reusability is possible in the future. One of the reasons for this is the impact they can carry out regarding the data management of products. For example, they can require a materials passport, or they can require a certain detail level of data management that have to be included in the passport.

Furthermore, the government can have a major impact on the reuse of building products through laws and regulations. The ever-changing Dutch Building Decree (Bouwbesluit) can sometimes make it impossible for products to be reused at the moment they are demolished, extracted, or disassembled. Since this is a problem at the moment, it may also become a problem in the future. This also applies to taxes on labour instead of products. Finally, the government can also stimulate the reuse of building products by granting subsidies when circularity or reusability is part of the building project.

Several experts indicated that involving a demolisher in the design and decision process could have a positive impact on the reusability of products in the future. The demolishers tend to know exactly how products should be disassembled and where the market demand is. Finally, it turned out that the ambition of the client, and cooperating integrally is the key to success for achieving a circular economy and enabling reusability in the future.

4.2.4 Influencing factors

The expert interviews were conducted to validate the factors that influence reusability according to the literature research. As a result of the coding process, the factors depicted in Table 15 are the influencing factors that are identified by analysing the expert interviews. In the next section, the literature influencing factors and the expert interview factors are compared to each other.

Table 15 – Overview of the interview factors

Technical	Process	Financial
Adaptivity	Aesthetic	Financial
Disassembly	Certification	Taxes
Maintenance	Contracting	
Over-dimensioning	Data Management	
Quality	Design	
Repairability	Guarantees	
Standardisation	Law and regulations	
Toxicity	Logistics	
Value	Supply and demand	
	Technical developments	
	Willingness	

4.3 Comparing the influencing factors

Literature research and expert interviews are conducted to set up a long list of factors that influence the reusability potential. A comparison of the two data collections is shown in Table 16. The factors that are marked green are mentioned in the literature and the expert interviews. The differences between the literature and the expert interviews are described below. The results of the expert interviews are also used as a validation of the literature factors by comparing the factors and identify the differences between the two data collection methods.

Table 16 – Comparison literature and interview factors

Factors in the literature	Factors from the expert interviews
Adaptivity	Adaptivity
Aesthetic	Aesthetic
Certification	Certification
Data management	Contracting
Dematerialisation	Data Management
Development	Design
Disassembly	Disassembly
Financial	Financial
Geographical	Guarantees
Guarantees	Law and regulations
Law and regulations	Logistics
Logistics	Maintenance
Material quality	Over-dimensioning
Standardisation	Quality
Storage and third markets	Repairability
Supply and demand	Standardisation
Time	Supply and demand
Toxicity	Taxes
Willingness	Technical developments
	Time
	Toxicity
	Value
	Willingness

Factors in literature - not in expert interviews

Dematerialisation is more of a broad concept used within the circular economy rather than an influencing factor on the reusability potential. Dematerialisation should always be the main objective of a circular economy. The factor Storage and third markets is not directly mentioned within the interview. However, it could be a financial aspect. According to the literature, the geographical factor is more of a general factor that includes the laws and regulations and the technical developments in other parts of the world. Furthermore, these factors were mentioned only once in the literature that was reviewed and are excluded from this research.

Factors in expert interviews - not in literature

The expert interviews resulted in an additional set of influencing factors. A frequently mentioned aspect for the Contracting factor was the return guarantee of building products. This should be part of the contract in order to influence the reusability potential. Design is also a factor that is frequently mentioned. However, this is more a general factor that can be determined by various aspects. For example, a design is based on reused products, or a building is designed to be disassembled. Design is also a part of the 10R ladder in which circular design is defined as Redesign. In the analysis, the factors Repairability and Maintenance are separated from each other. However, both are focused on the life span extension of building products.

Over-dimensioning is also focused on the life span extension of products. When a product is manufactured to be extra thick in order to meet the requirements in all time, it has a positive effect on the reusability. However, when a product is over-dimensioned, it will use a lot more materials. Therefore, over-dimensioning is not in line with the aim to reduce the use of (raw) materials. Furthermore, the expert interviews indicated that the taxation on labour is relatively high and the taxes on material relatively low. This causes reuse to be hampered because reuse usually involves additional labour and tasks. Therefore, there should be a switch in taxation. The CO2 tax and the Ex'tax project are examples of initiatives. This factor is mainly influenced by the government and the laws and regulations.

4.4 Converging of the influencing factors

The comparison between the literature and the expert interviews shows that there are many corresponding influencing factors. However, not all factors can be implemented in the assessment tool. The assessment tool would then be too complex to assess. It is important to investigate which factors have the most influence on the reusability potential or cannot be excluded when determining the reusability potential. Furthermore, it is expected that some factors will not have a direct influence on the reusability potential, but rather serve as general overarching factors. By performing three consecutive steps, the factors are converged into a shortlist of nine final influencing factors. The three consecutive steps are described below, and an overview of the converging process is displayed in Figure 22.

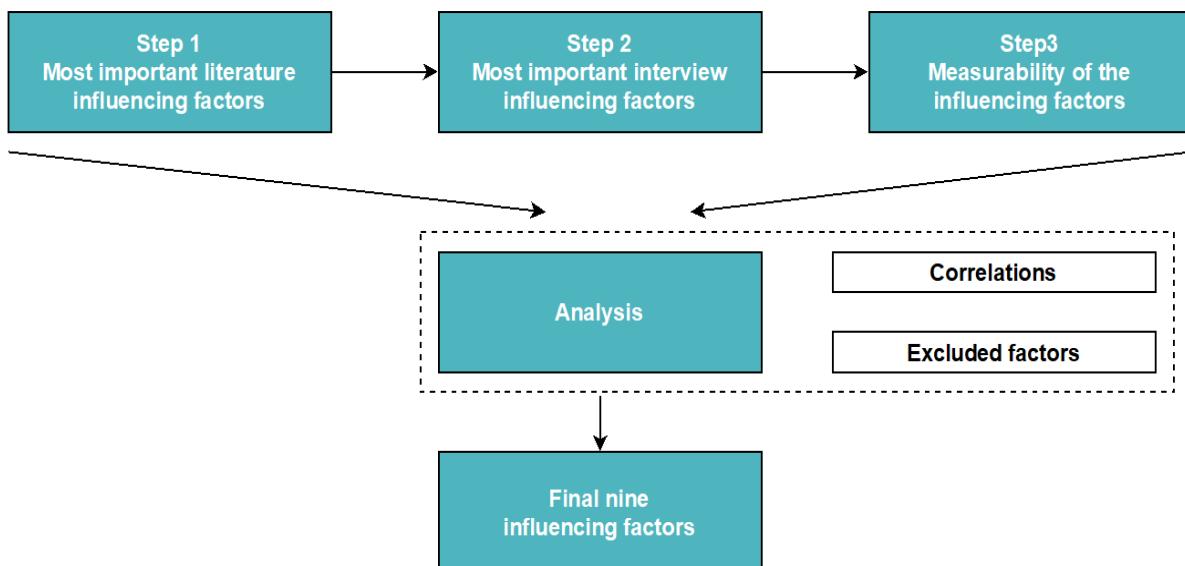


Figure 22 – Converging process of the influencing factors

4.4.1 Step 1: Most important factors according to literature research

The first step is to identify the most important factors according to the literature. It is assumed that when certain factors are mentioned frequently, they have a bigger impact on reusability. Besides that, the factors that are mentioned as essential are appointed. An overview of the literature factors is shown in Table 17 and Figure 23.

Table 17 – Overview literature factors

Factor	Times mentioned	Mentioned as essential	Type
Adaptivity	3		Technical
Aesthetic	2		Process
Certification	3		Process
Data management	12	Yes	Process
Dematerialisation	1		Process
Development	4		Process
Disassembly	16	Yes	Technical
Financial	5		Financial
Geographical	1		Process
Guarantees	2		Process
Law and regulations	2		Process
Logistics	5	Yes	Process
Material quality	4		Technical
Standardisation	7		Technical
Storage and third markets	1		Process
Supply and demand	5		Process
Time	3		Process
Toxicity	6	Yes	Technical
Willingness	3		Process

According to the literature, four factors are essential for making reuse possible. Data management, Disassembly, Logistics and Toxicity are the factors that have to be assessed when determining the reusability potential of building products. In addition, the factors that are mentioned more than three times are considered as important.

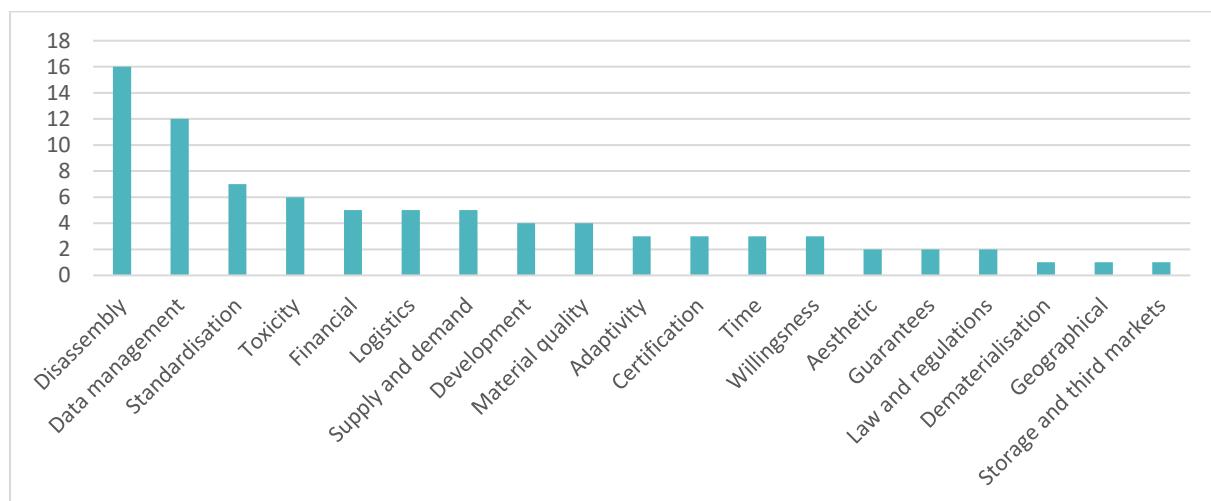


Figure 23 – Quantitative analysis of the literature factors

4.4.2 Step 2: Most important factors according to expert interviews

The second step is to identify the most important factors according to the expert interviews. This is done by conducting a quantitative and qualitative analysis. The two analyses are described below. This step starts with conducting a quantitative analysis and after that, a qualitative analysis is conducted.

4.4.2.1 Quantitative analysis

First, a quantitative analysis of the number of factors mentioned per working field is performed. An overview of the working fields is shown in Table 18. For each working field, the times a certain factor is mentioned is indicated. It is assumed that when a factor is mentioned often it will have the most impact on the reusability. The quantitative analysis is shown in Table 19 and an overview is shown in Figure 24.

However, a weakness of this method is that when a certain factor is mentioned more than once in one expert interview, the amount that the factor is mentioned is higher for the quantitative analysis. For example, if someone has mentioned toxicity five times in one interview, this will result in five times mentioned. Therefore, it is necessary to perform an extra qualitative step to analyse the expert interviews.

Table 18 – Overview of the working fields

WF number	Working Field	Amount of participants
Working Field 1	Consultant	Four participants
Working Field 2	Platform	Three participants
Working Field 3	Demolisher	Three participants
Working Field 4	Architect	Three participants
Working Field 5	Contractor	Three participants
Working Field 6	Housing corporation	Two participants
Working Field 7	Government	One participant

Table 19 – Quantitative analysis of the expert interview factors

Factor	WF 1	WF 2	WF 3	WF 4	WF 5	WF 6	WF 7	Total
Adaptivity	1	0	2	4	2	1	3	13
Aesthetic	2	5	0	3	2	1	0	13
Certification	4	3	0	3	1	2	0	13
Contracting	2	4	2	13	4	5	0	30
Data Management	7	21	8	10	8	7	2	63
Design	2	7	0	8	2	1	1	21
Disassembly	10	9	7	11	10	9	4	60
Financial	4	7	4	5	4	4	5	33
Guarantees	4	2	4	2	8	4	1	25
Law and regulations	12	7	4	11	1	5	5	45
Logistics	1	1	2	2	2	0	0	8
Maintenance	1	0	1	1	1	1	0	5
Over-dimensioning	2	3	1	1	1	3	0	11
Quality	7	7	4	15	3	3	1	40

Repairability	2	0	0	1	2	2	0	7
Standardisation	9	0	3	1	5	6	1	25
Supply and demand	4	8	7	5	7	3	0	34
Taxes	3	2	3	2	2	2	1	15
Technical developments	0	0	2	0	0	1	0	3
Time	1	1	0	1	0	1	0	4
Toxicity	4	7	1	4	3	3	0	22
Value	11	3	4	2	0	2	3	25
Willingness	1	1	1	1	3	1	0	8

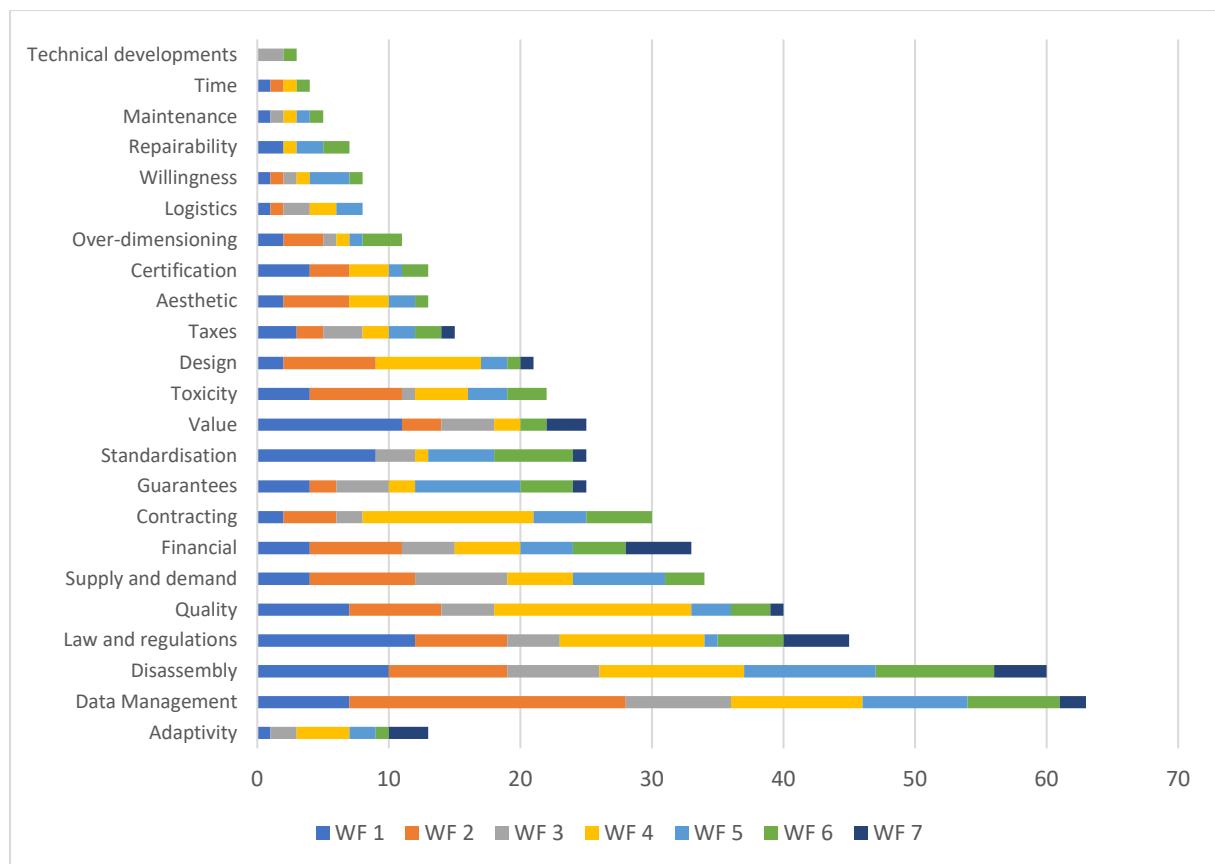


Figure 24 – Quantitative analysis of the expert interview factors per Working Field

4.4.2.2 Qualitative analysis

By performing the quantitative analysis in the previous section, factors can be mentioned several times per working field. Therefore, it is recommended to conduct an additional analysis step. First, an analysis is conducted to determine whether a factor is generally mentioned in an expert interview. In concrete terms, when the factor toxicity is mentioned five times, the factor is indicated as being mentioned once in this qualitative analysis instead of five times mentioned in the previous quantitative analysis.

To analyse the factors with the most impact on the reusability potential, a distinction is made between the two results. One (+) is put in the cells when an influencing factor is mentioned by more than two participants in the working field. Two (++) are put in the cells when it is mentioned by all the participants in the corresponding working field. Table 20 shows an overview of the qualitative analysis of the expert interview factors.

Since working field 6 only consists of two participants and working field 7 only consist of one participant, a slight change is made. One (+) is put in the cells of working field 6 when all the participants mentioned a certain factor, and one (+) is put in the cells of working field 7 if it is mentioned by the one participant. It can be questionable if working fields 6 and 7 need to be included in this research. However, it is expected that it will not significantly influence the outcome of the final influencing factors.

Table 20 – Qualitative analysis of the expert interview factors

Factor	WF 1	WF 2	WF 3	WF 4	WF 5	WF 6	WF 7
Adaptivity			+		+		+
Aesthetic	+	+		++			
Certification				+			
Contracting		+		+		+	
Data Management	++	++	++	++	++	+	+
Design	++	++		++			+
Disassembly	++	++	++	++	++	+	+
Financial	++	++	+	+	++	+	+
Guarantees	+	+	++	+	++	+	+
Law and regulations	++	++	++	++		+	+
Logistics			+		+		
Maintenance							
Over-dimensioning	+						
Quality	++	+	++	++		+	+
Repairability	+					+	
Standardisation	+				++	+	+
Supply and demand	+	++	++	+	++		
Taxes	+	+	+	+	+	+	+
Technical developments			+				
Time							
Toxicity	+	++		+	++	+	
Value	++	++	+	+			+
Willingness					+		

After the first step in the qualitative analysis of the expert interviews, the second step is conducted by analysing the essential factors according to all the participants. These results are based on the answers of the interview questions 6 and 7. These two questions are mainly focused on the pre-conditions for enabling the reuse of building product in the future. The following two questions were asked:

- What are (essential) pre-conditions to enable high-value reuse?
- When is a building product no longer suitable for reuse in the circular building economy?

The result of this analysis is shown in Table 21. The essential factors per working field are depicted with a green cell. In addition, Table 22 shows which factors are most mentioned as essential for reuse across the working fields. The detailed qualitative analysis is attached in Appendix 9 – Qualitative analysis influencing factors.

Table 21 – Result: Essential factor per Working Field

Factor	WF 1	WF 2	WF 3	WF 4	WF 5	WF 6	WF 7
Aesthetic							
Data Management							
Disassembly							
Law and regulations							
Quality							
Standardisation							
Supply and demand							
Toxicity							
Value							

Table 22 – Result: Most times mentioned as essential in total cross sector

Factor	Times mentioned as essential
Disassembly	8
Toxicity	6
Data management	4
Law and regulations	4
Aesthetic	2
Quality	2
Value	2
Standardisation	1
Supply and demand	1

4.4.3 Step 3: Measurability of the factors

The purpose of this research is to assess the reusability potential of a building product by performing a quantified assessment. Therefore, this analysis determines which influencing factors are measurable or can be made measurable. Based on the experience of experts and the knowledge of the researcher the factors are categorised into three categories:

- Measurable: A measurable factor is already measurable, or expected to be measurable, or it might be possible to make it measurable or assessable.
- Discrete measurable: A discrete measurable factor is expected to be measurable only on a yes or no basis.
- Not measurable: A non-measurable factor cannot be measured at all. The reason for this is that the factor can only be determined for products that are currently going to be reuse, or that it is a general factor and cannot be predicted or assessed.

The factors that can be measurable or can be discrete measurable are further investigated in chapter 5 to test this hypothesis and to examine whether there are existing measurement methods. The factors that cannot be measurable are further explained in the next section to describe their influence on the reusability potential. The result of the measurability of the influencing factors is shown in Table 23.

Table 23 – Measurability of the factors

Measurable	Discrete measurable	Not measurable
Disassembly	Toxicity	Time
Logistics	Standardisation	Supply and demand
Financial value	Contracting	Willingness
Data management		Design
Quality		Law and regulations
Maintenance		Certification
Over-dimensioning		Aesthetic
		Taxes
		Adaptivity

4.5 Factors which are not implemented

The factors described in this chapter cannot be measured. However, in general they have a large impact on the reusability potential of products. These factors are overarching and general factors instead of influencing factors that can assess an individual product. Since this research is focused on the quantitative assessment of individual building products, these factors are not implemented in the assessment tool.

The bottom line is that the reusability of products is in general influenced by these factors. This indicates that the reusability potential can be very high, but when one of the following factors is insufficient, it is possible that a product will not be reused after all. The factors are briefly discussed below. These factors are not implemented in the assessment tool and not further investigated. Although, these factors will always be important and must be considered when assessing the reusability potential. Figure 25 shows an overview of the overarching factors.

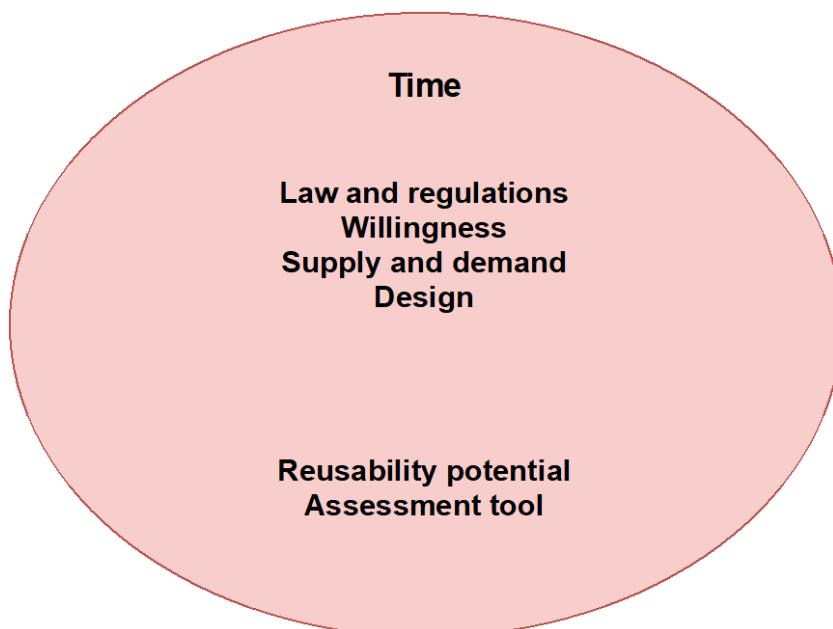


Figure 25 – Overview of the overarching factors

Time

This is not exactly a factor that directly influences the reusability. Time is more of a general term on which everything depends. For example, it can be related to technical developments in the field of reuse or recycling. All the factors described below can be time-dependent in a certain manner.

Supply and demand

Supply and demand have a large influence on the reusability potential. When products are extracted from a building and there is no demand to reuse them in another project. It can happen that it becomes waste, despite having a high reusability potential. However, it is impossible to determine whether there will be sufficient supply and demand for reused products in the future. Therefore, this factor is not included.

Law and regulations

The law and regulations have a major influence on the reusability potential of products. The government plays an essential role in stimulating the reuse of products. They can do this through the taxation of labour instead of the taxation of products or more flexible regulations regarding reused products. Since it is not possible to predict what the laws and regulations will be in the future, this factor is not implemented in the assessment tool.

Design

Design is also an overarching factor that is influenced by other factors as described in the previous chapter. This factor is therefore not measurable and is not implemented in the model.

Willingness

Willingness is an important factor that influences the general reusability. This is related to supply and demand. The willingness can be on an architectural level, but it can also have to do with the fact that people prefer not to use reused products, just as a matter of principle. Furthermore, it is also a matter of time before reused products are accepted. There is a perception that reused products are always worse than new products. However, this is not always the case.

Adaptivity

If the products are easy to disassemble, standardised or over-dimensioned, this contributes to the adaptive capacity of a building. Because the adaptive capacity is determined at the building level according to Brink and CB23. Therefore, this factor is not included in the assessment tool.

Aesthetic

The aesthetic value of a product has a major influence on the reusability potential. Cultural and social values also contribute to this. Unfortunately, this factor is impossible to assess for the future. Because the continuously changing trends and developments for products, it is not possible to determine this factor in this assessment tool. However, this factor could, and should be assessed at the time the product reaches its lifespan and is ready to be reused.

4.6 Final influencing factors

The most important and final influencing factors per consecutive step of the converging process are shown in Table 24. These factors are the input for the development of the first conceptual model for the reusability potential assessment.

Table 24 – Total results of the influencing factors

Literature	Interviews	Measurable
Disassembly	Disassembly	Maintenance
Data management	Toxicity	Logistics
Standardisation	Data management	Financial value
Toxicity	Law and regulations	Data management
Financial	Aesthetic	Quality
Logistics	Quality	Disassembly
Supply and demand	Value	Over-dimensioning
Development	Standardisation	Toxicity
Material quality	Supply and demand	Standardisation
		Contracting

The following influencing factors are mentioned as essential in the literature and the expert interviews. Furthermore, it is expected that these factors are measurable or can be made measurable.

- Disassembly
- Data management
- Standardisation
- Toxicity
- Quality
- Financial value
- Logistics

The following factors are not mentioned as essential or often mentioned. However, it is expected that these factors can be measurable.

- Maintenance
- Over-dimensioning
- Contracting

4.7 Intermediate analysis

The expert interviews and the literature research have resulted in a long list of factors that influence the reusability. Since this research is focused on developing a quantifiable assessment tool, several factors will not be implemented in the assessment tool because they are not measurable. However, these factors will influence the reusability indirectly as described in the previous chapter. In addition, it is expected that certain factors can strengthen or weaken each other. These correlations and or causations are not further investigated in this research. This research particularly focuses on the individual impact and assessment of the factors. Further research is needed to determine these correlations and causations and their impact on the influencing factors and eventually the reusability potential.

Given these points, a hypothesis model is developed in which all influencing factors of the long list are presented in an overview where the expected correlations and causations are shown. Figure 26 shows an overview of this hypothesis. The blue factors are the non-pre-conditional factors that will be implemented in the first conceptual model and the red factors are the pre-conditional factors that will be implemented. The next chapter describes the difference between the pre-conditional and non-pre-conditional influencing factors.

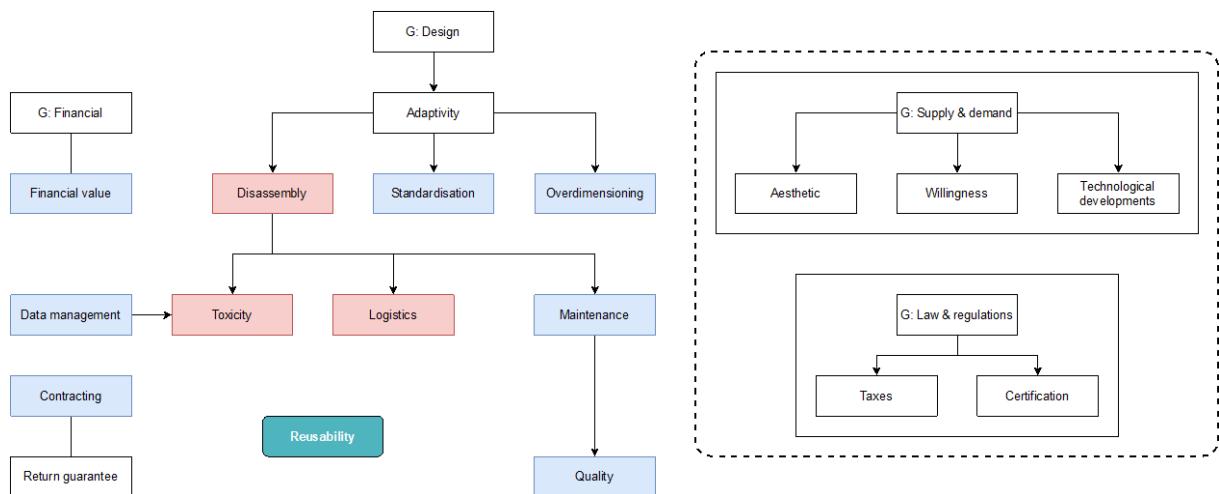


Figure 26 – Hypothesis model

It is expected that the Disassembly factor can influence the Toxicity, Logistics and Maintenance. For example, when a product can be disassembled it is easier to transport and maintain in the future. And if it turns out that a product is toxic when assembled, but can easily be disassembled, it will have a positive influence for replacement of a certain product. This also applies to products that need maintenance or needs to be replaced that eventually influence the overall quality of that product.

Finally, despite the expectation that maintenance could be measured it will not be implemented in the conceptual model. It turned out that this factor has no direct influence on the reusability potential, but rather influence the life extension as part of the quality of a building product. The maintenance factor could be assessed by means of a multi-year maintenance plan (MJOP) in order to provide insight into the level and frequency of maintenance.

4.8 Sub-conclusion

This chapter has presented the results of the expert interviews and the converging process of the influencing factors. This provides an answer to sub-question 2 and sub-question 3. The results from the expert interviews show that there are still enough barriers to enable reuse. One of the major barriers is the law and regulations due to the constantly changing Dutch Building Decree. Another major barrier is that the costs of labour are relatively expensive compared to the costs of new products. Therefore, it is generally not cost-effective to reuse products.

The government plays an essential role in enabling reuse. They could be more flexible regarding the law and regulations of used products, stimulating by offering subsidies when constructing with used products, or taxation of the products instead of the labour. The barriers we are facing today will certainly be the barriers in the future.

In this chapter, the final factors that influence the reusability of products are indicated. The validation of the literature influencing factors by conducting expert interviews resulted in a long list of factors. Some factors were not mentioned in the literature but were mentioned in the expert interviews. Therefore, a comparison is made, and the differences are described in this chapter.

Not all influencing factors can be implemented. Through three consecutive steps, the factors are converged into the factors that have the most influence on the reusability potential. The factors that do influence the reusability potential but will not be implemented in the conceptual model are discussed in this chapter. The final factors that will be implemented for the development of the first conceptual model in the next chapter are shown in Table 25.

Table 25 – Overview of the final influencing factors

Mentioned as essential. Can be assessed	Not mentioned as essential. Can be assessed
Disassembly	Over-dimensioning
Data management	Contracting
Standardisation	
Toxicity	
Quality	
Financial value	
Logistics	

Finally, it can be concluded that some factors show correlations or causations between each other. This research focuses on the individual factors and therefore the correlations or causations between the factors have not been further investigated. However, a hypothesis for this has been established. Although further research must show whether this hypothesis can be accepted. In the next chapter, it is examined how the influencing factors can be assessed by establishing assessment criteria for each influencing factor and developing an assessment tool to determine the reusability potential.

5 Development of the reusability potential assessment tool

In the previous chapter, the input for this chapter is gathered. This chapter contains the development of two conceptual models and the development of the reusability potential assessment tool. First, conceptual model one is described based on the assessment and determination of the influencing factors and the assessment criteria. A distinction is made between pre-conditional and non-preconditional influencing factors based on the literature review and the expert interviews. After that, conceptual model one is validated by conducting six expert panels and results in the development of conceptual model two and the assessment tool. Then, conceptual model two and the assessment tool are validated and tested by conducting a case study. Finally, a conclusion is drawn.



Figure 27 – Schematic overview of the development

Management experts often say that “you can’t manage what you can’t measure.” What is measured, how it is measured, and how data are presented can affect how problems are evaluated and solutions selected.

(Litman, 2011)

5.1 Conceptual model one

After identifying the factors that influence the reusability potential according to the extensive analysis of the literature and the expert interviews, a conceptual model is developed that serves as a basis for this research. The relationships between the influencing factors are not included in this conceptual model and are out of the scope of this research. Further research can elaborate on this and investigate the exact correlations and causations between the factors. Therefore, the influencing factors are assessed individually from each other to determine the reusability potential and the impact on the potential reusability potential.

This chapter determines and defines the nine final influencing factors as a result of the previous chapter. Per individual influencing factor, a brief literature review is carried out to investigate existing measurement or assessment methods. If there are no available measurement or assessment methods, a proposition is made by the researcher through setting up assessment criteria based on the current findings in order to assess the individual influencing factor. In this research, a distinction is made between pre-conditional factors and non-pre-conditional factors in the conceptual model. The differences and consequences are described in the next sections. Finally, the expected data required for determining the input for the influencing factors is described. This input will be validated by six expert panels in different working fields. Afterwards, a second conceptual model will be developed with the results of these expert panels.

Conceptual model one is displayed in Figure 28, which shows the individual influencing factors with the proposed assessment criteria. The red component indicates the three pre-conditional factors and the blue component the six non-pre-conditional factors. These two components together represent the total conceptual model with the factors and criteria that influence the

reusability potential. The grey blocks are the influencing factors (depicted in bold font) with the corresponding assessment criteria. The orange blocks indicate the assessment criteria if a pre-conditional factor is no longer met. This will be further explained in the next sections.

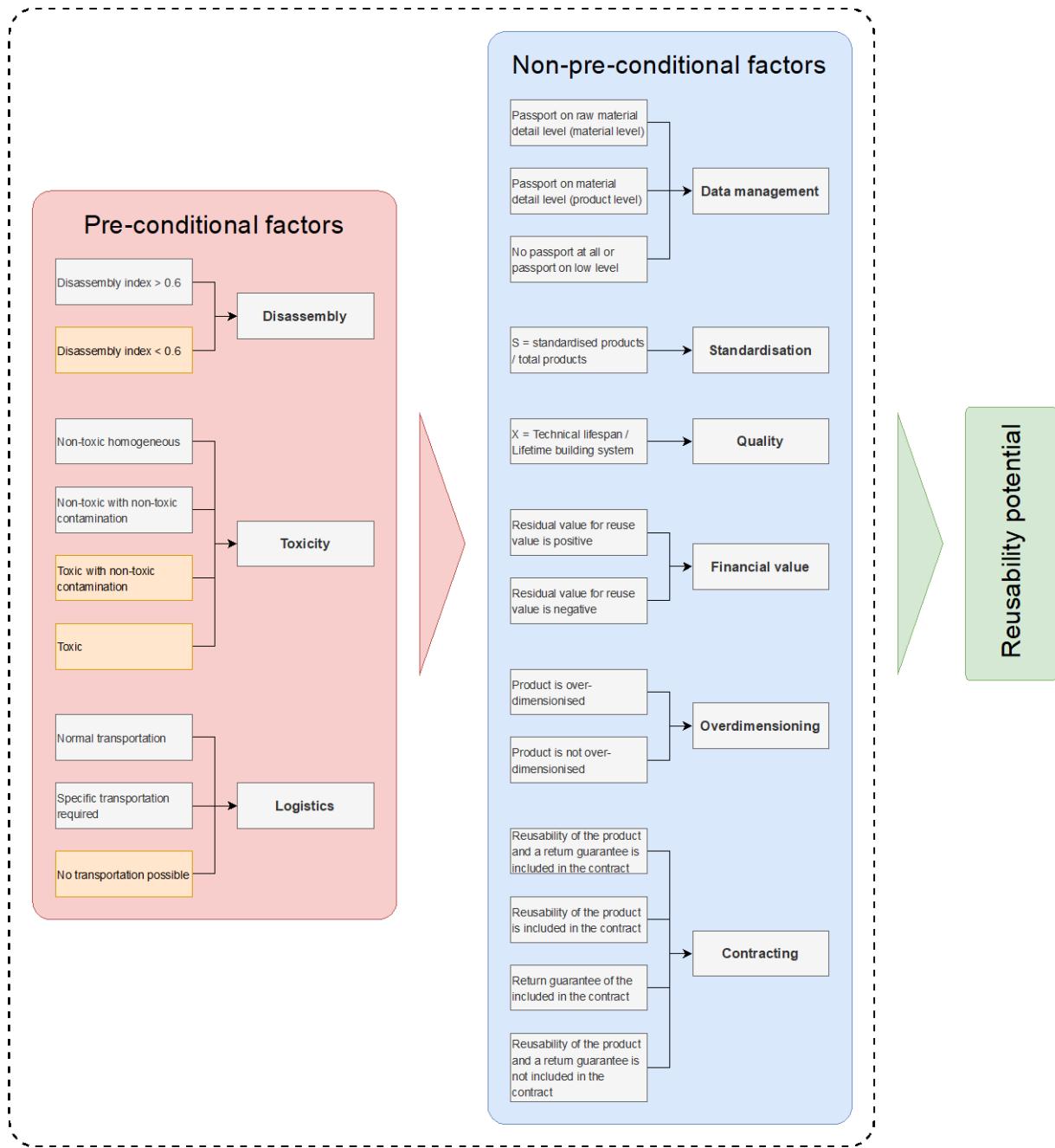


Figure 28 – Conceptual model one

5.2 Assessing and determining the influencing factors

The first conceptual model is developed by using the nine influencing factors. These factors are elaborated in this chapter. To give an interpretation of the influencing factors, three different aspects (Definition, Assessment and Data requirements) are examined. First of all, the reasoning for the factor is supported by the expert interviews and the literature. Quotations from the expert interviews are depicted to get a better understanding of the influencing factor and the importance of for enabling a reusability potential.

After that, it is investigated if there is an existing measuring method or framework that can be used to determine an individual influencing factor. If there is no existing method, a proposition is made for the assessment of the factor. This first conceptual model with the influencing factors and the proposed assessment criteria will be validated with a series of expert panels in different working fields. The weighting of the criteria is just an assumption to distinguish the different criteria. These weights will be determined by the expert panels before developing the second conceptual model.

Finally, in order to assess the influencing factors, data collection is required. For every influencing factor described below, the data requirements are set up. The data that is required is listed in the format of Table 26 to give a clear overview of what is required. The data that is required, the source of that data and the method to gather the data is discussed per factor.

Table 26 – Format data requirements

Data required	Source	Method
The required data	The source of the data	Method to get the data
“...”	“...”	“...”
“...”	“...”	“...”

5.2.1 Pre-conditional influencing factors

As described, this research differentiates the pre-conditional from the non-pre-conditional influencing factors. The pre-conditional factors have been determined through the analysis of the literature and the expert interviews in the previous chapters.

Disassembly, Toxicity and Logistics are the pre-conditional influencing factors. It can be concluded that if a building product cannot be disassembled, if it contains toxic substances or if it cannot be transported to another location, there is no possibility for the building product to be reused. Therefore, the pre-conditional influencing factors have a major consequence on the reusability potential of a building product and have to be met. These three pre-conditional influencing factors are described in the following sections and supported by the literature and the expert interview. Per pre-conditional factor, a threshold assessment criterion (orange blocks displayed in Figure 28) is proposed that have to be met in order to have a potential that a building product will be reused at the end of its life span.

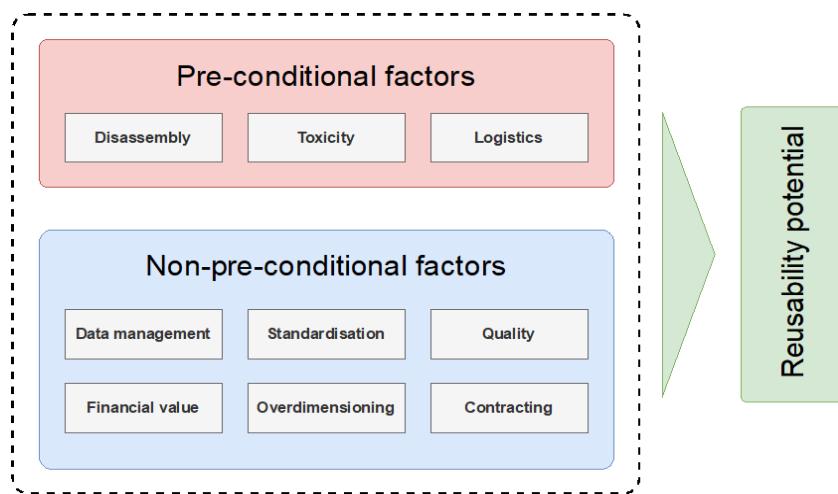


Figure 29 – Pre-conditional influencing factors

5.2.1.1 Disassembly

From the literature and the interviews, it can be concluded that disassembly is essential for the reusability of a product and that it is a pre-condition for future reuse. It is stated that when a building product cannot be disassembled, it cannot be reused on an individual product level. According to the interviews and literature this factor is mentioned as the most important influencing factor. Extensive research is already conducted for disassembly. Verberne (2016) adopted the Disassembly Determining Factors from Durmisevic (2006) in his research for developing an approach for measuring the circularity of a building using the Building Circularity Indicator. Van Vliet (2018) further improved the BCI by elaborate on the disassembly factors. Further research within Alba Concept resulted in a measuring method for Disassembly.

Quotation box 1 – Disassembly

“One of the things is that it must be easy to disassemble. Because it costs a lot of money if it is not. And also, that you know what's inside. A kind of data management or material passport.”

Expert interview 7 - Demolisher: Director Circularity

“Many materials that are not reused from existing buildings. This is due to their disassembly potential. It is therefore important to take this into account. It is a pre-condition for reuse.”

Expert interview 3 - Housing corporation: Project leader

“Disassembly is also very important. Because if something cannot be dismantled, it will also be more difficult to reuse it.”

Expert interview 4 - Architect: Architect

“Not being able to disassemble properly leads to damage and therefore a lower percentage of products that can be reused with a good quality.”

Expert interview 9 - Contractor: Project Manager

Assessment

To determine whether a product can be dismantled, the threshold of 0.6 is used. This threshold is set up in the research done by Van Vliet (2018). The examination of this threshold is out of the scope of this research. Further research on this threshold is recommended.

Table 27 – Assessment criteria for Disassembly

Disassembly	Disassembly index > 0,6	1.0
	Disassembly index < 0,6	0.0

Data collection

Using data from BCI Gebouw, the data of the disassembly is retrieved from the Alba Concepts database. For all the products in this database, the disassembly index is defined. At a design stage, the disassembly can also be adjusted according to the existing measuring method for disassembly

Table 28 – Data collection Disassembly

Data required	Source	Method
Disassembly Index	Alba Concepts Database	Retrieved from database

5.2.1.2 Toxicity

From the interviews can be concluded that toxicity is essential for the reusability of a product and that it is even a showstopper for future reuse. No measuring methods have yet been developed to make toxicity measurable. However, it is possible to provide insights into whether a certain building product is toxic and what the level of toxicity will be. There is probably a correlation between data management and toxicity. This correlation will not be directly visible, but when there is a passport on a raw material level, the toxicity of a certain product can be made visible during all phases (production, construction phase, usage phase, demolition, and processing phase).

In addition, there is also a correlation between disassembly and toxicity. After all, if a product can be easily disassembled when it is toxic, it will positively affect the reusability potential. A high level of disassembly leads to less contamination (Heijer & Kadijk, 2020). Whether a building product or material is toxic can be determined by various lists of toxic substances. The Cradle 2 Cradle Banned List of Chemicals and the Restricted Substances List. The Restricted list is a new and more comprehensive list of the C2C Banned List.

It can be assumed that if a product or a material from this product appears on this list, it should not be used. Contamination can also be an obstacle to reuse. Think for example of PIR insulation or paint and glue. These materials are not directly toxic, but contamination can hinder the reusability potential. Unfortunately, there are no strict regulations yet for new buildings using new materials or products. However, to increase the reusability potential and to contribute to the circular building economy, we must prevent toxic substances or contamination. Both for the incoming materials and during the different phases of a building (Heijer & Kadijk, 2020). It can happen that a client still chooses a toxic product after all and that the reusability potential of this product is lower.

Quotation box 2 – Toxicity

“Toxicity and contamination is also an important factor. You should include this factor. If it contains asbestos, it is not reusable and if it turns out later that something is toxic it is also no reusable.”

Expert interview 15 - Consultant: Consultant

“When it is contaminated, and the product does not function properly anymore the product is no longer suitable for reuse in a circular building economy.”

Expert interview 4 - Architect: Architect

“You don't want toxic materials that hinder health. This is really a pre-condition for reuse.”

Expert interview 9 - Contractor: Project Manager

Assessment

Heijer & Kadijk (2020) have made a classification of different forms and mixtures of toxicity and contamination. This categorisation is used to make the toxicity factor measurable (Figure 30). For each product, it is determined in which category it falls and the C2C Certified Banned List of Chemicals must be approached. If a product or material is included in this list, the reusability potential will be zero.

Production process	Example
1. Toxic	Asbestos/Chromium 6/Pur/Arsenic/ Lead pipes
2A. Tox with non-tox chemical contamination	Concrete with fly ash slag / Reuse of gypsum (slabs) in agriculture / Released EPS beads / PIR sheets as filler / PFAS soil / Sheet material with formaldehyde / EPS with bromine
2B. Tox with non-tox physical contamination	Spray plaster / Spray insulation / Varnished wood / PUR brick / Sealant dilatation joint brick / Glass sealant / Adhesive channel board / Spray plaster concrete / PVC lead pipe.
3A. Non-tox with non-tox chemical contamination	Wood with natural stain / Loam with natural paint / Rock wool
3B. Non-tox with non-tox physical contamination	Gypsum on concrete brick
4. Non-toxic homogeneous	Untreated timber

Figure 30 – Categorisation toxicity and contamination (Heijer & Kadijk, 2020)

For the assessment of the Toxicity factor, the four main categories are used. When a product is Toxic according to category 1 or 2 it has no reusability potential. For category 3, an assumption is made for a criteria score of 0.8 and for category 4 the score will be 1.0. A suggested assessment of Toxicity of a score between 0 and 1 is provided below.

Table 29 – Assessment criteria for Toxicity

Toxicity	Category 4: Non-toxic homogeneous	1.0
	Category 3: Non-toxic with non-toxic contamination	0.8
	Category 2: Toxic with non-toxic contamination	0.0
	Category 1: Toxic	0.0

Data collection

The data is collected by checking the C2C Banned List of Chemicals or the Restricted Substances List. In addition, the DGBC report should be examined.

Table 30 – Data collection Toxicity

Data required	Source	Method
Toxic product	C2C Banned List of Chemicals / C2C Restricted Substances List	Check the list of chemicals
Contamination of the products	Example list from (Heijer & Kadijk, 2020)	Check for related products

5.2.1.3 Logistics

This factor is not directly mentioned in the interviews as essential but noted as essential in the literature. Therefore, this factor will be more of a precondition because when something cannot be transported it needs to be demolished and then you cannot reuse the product anymore for the same purpose and the product needs to be recycled. (Coenen, 2019) stated that if a component is not transportable after use, it will not be reused in another location anymore.

Disassembly has an indirect effect on this. If something cannot be disassembled, it cannot be transported when the product is too heavy or too big. Think of two products that are welded together on the construction site or casted concrete. Of course, it can be taken apart with damage, but then the reusability potential is lower, or it cannot be reused 1:1. That is why it is not a pre-condition for logistics, but these two factors are both part of the pre-conditions. In this research, the logistics factor is only determined by the transportability. However, other factors can also be included in this factor, such as *storageability* for the time that a product must be stored before it can be reused. Also, the *deconstructability* of products where is considered what kind of material is needed for disassembly.

Quotation box 3 – Logistics

"There are other things which make reusability profitable such as transport or extra operations. For example, installations that are too large to transport will less likely be reused."

Expert interview 7 - Demolisher: Director Circularity

"I cannot influence the logistics, but it is very important. Disassembling it and storing it properly so that it remains available for six months or a year. Then you have a greater chance of supply."

Expert interview 4 - Architect: Architect

Assessment

The scope of this factor is focused only on road transport. There are research studies that also address transport by water or rail. However, this would be too complex for the assessment in this research. Further research is recommended to extent the assessment of the Logistics factor. For the assessment of the logistics factor, three criteria are distinguished.

Normal transportation means that the product can be transported according to the Dutch "Regeling Voertuigen" and no exemption is needed. In case a product is heavier or larger so that it cannot be transported with normal transportation, it is determined whether it can be transported with specific transportation based on the "Algemene Voorwaarden Exceptioneel Transport (AVET)". When specific transport is needed, this results in extra costs. This can lower the consideration for reuse and therefore the reusability potential of the individual product. This means that normal transportation is more desirable than specific transportation. If no transportation is possible, the product cannot be reused. The environmental impact of transport is not included in this factor, as this is already covered in the product's MKI (Milieu Kosten Impact). A suggested assessment of logistics of a score between 0 and 1 is provided below.

Table 31 – Assessment criteria of Logistics

Logistics	Normal transportation	1.0
	Specific transportation required	0.8
	No transportation possible	0.0

The maximum dimensions for transport with indivisible load are 22.00 m x 3.00 m x 4.00 m and the maximum mass is 50 tonnes (50,000 kg). Indivisible load means that the load cannot be divided or disassembled into smaller parts. If these dimensions are exceeded, an application must be made for a permit for exceptional transport. (EPS Permits, 2021; RDW, 2012).

There are two types of exemptions within exceptional transport. A long-term exemption and an incidental exemption. In this study, the incidental exemption is not taken into consideration. In the case of incidental exemption, it is assumed that the transportation is not desirable anymore and will take too much effort. Therefore, results in no transportation possible. However, there are exceptions for example when a product is too large but represents a very high historical or cultural value then every effort will be made. The maximum dimensions for the long-term exemption of exceptional transport are 27,50 m x 3,50 m x 4,25 m. The maximum weight is 100 tonnes (100,000 kg). This results in the following guideline for the logistics factor (Overheid, 2015).

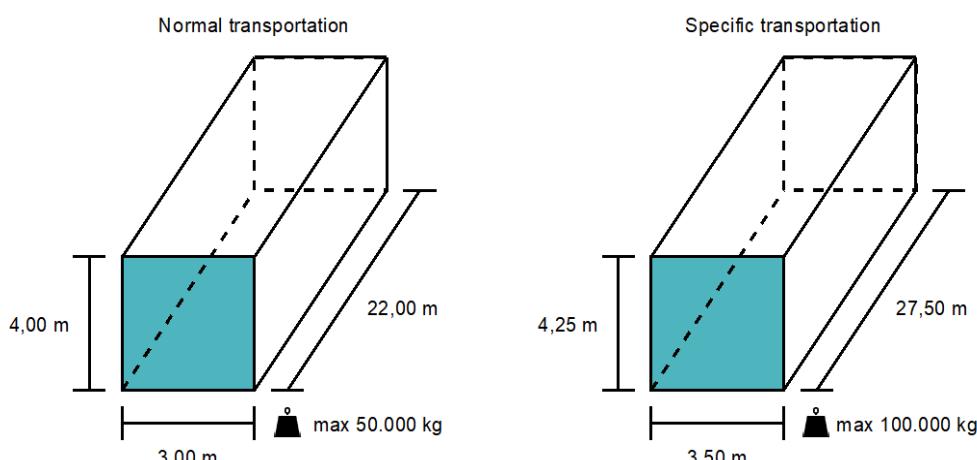


Figure 31 – Transportation assessment

Data collection

To calculate the transportability, it is important to know what the transport rules are. In addition, there must be an insight into the volume and the weight of the product.

Table 32 – Data collection Logistics

Data required	Source	Method
Volume of the product	Designer or supplier	Retrieve information
Mass of the product	Designer or supplier	Retrieve information

5.2.2 Non-pre-conditional influencing factors

In addition to the pre-conditional influencing factors, the model also consists of non-pre-conditional influencing factors. As well as the pre-conditional factors, the non-pre-conditional influencing factors are determined by analysing the literature and the expert interviews.

Data management, Standardisation, Quality, Financial value, Over-dimensioning, and contracting are the non-pre-conditional influencing factors. These factors also have a major influence on the future reusability potential of a building product. However, the non-pre-conditional influencing factors are not showstoppers for enabling future reuse.

This indicates that when a certain criterion has been set up for an influencing factor, it can influence the reusability potential positively or negatively. For example, if no materials passport is available this negatively influences the reusability potential. However, there is still a potential that the product can be reused if it is not toxic, can be disassembled and can be transported. In the following sections, the six non-pre-conditional influencing factors are described.

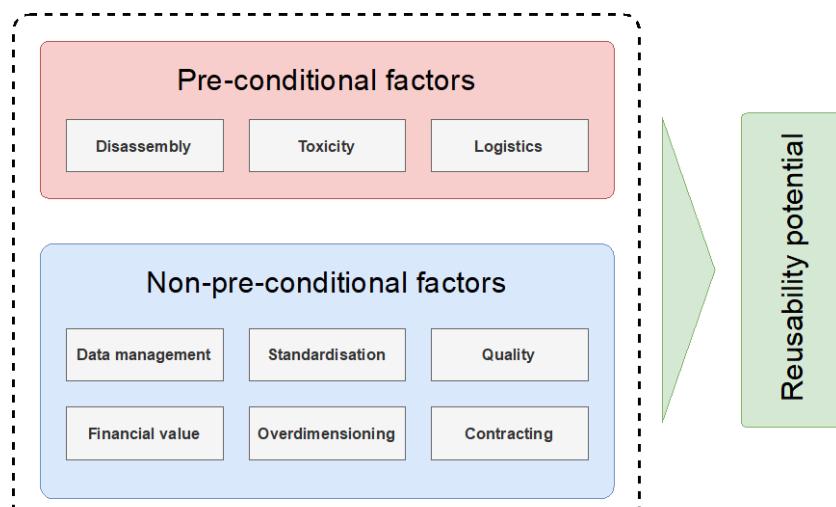


Figure 32 – Non-pre-conditional influencing factors

5.2.2.1 Data management

According to the literature and the interviews, it is clear that product information is an important aspect of future reuse. Even more important is how this data is handled. (Platform CB'23, 2020c) indicates that passports in the construction sector are seen as an important tool for safeguarding these data and for realising the circular construction economy. Unfortunately, there is no measurement method yet for determining the quality and quantity of data and Platform CB'23 (2020c) has recommended developing a tool for this in the future. This makes it difficult to make this factor measurable.

However, a distinction can be made between different types of levels of scale for a passport which is related to the levels of scale in the construction sector as described in chapter 2. In (Platform CB'23, 2020c) the following levels of scale for a passport are considered:

- passport for a structure or an object to be managed;
- passport for element, construction part or component;
- passport for part or construction product;
- passport for material;
- passport for raw material.

Quotation box 4 – Data management

“Waste is material without an identity”

Thomas Rau (2017)

“The better the data required for the reuse of materials has been recorded, the greater the probability that these materials will actually be reused.”

Platform CB'23 (2020c)

“Before starting a new construction or demolition project, it is important to make an inventory of everything that is in the old or new building. A material passport is important for this.”

Expert interview 3 - Housing corporation: Project leader

“I think a material passport is also important. For us, it is almost standard to do. Because when something has no identity, it is labelled as waste. And once it's labelled as waste, you are not allowed to just use it according to the Dutch law. So, you have to give it a name or a label.”

Expert interview 8 - Contractor: Developer Circularity

“It is also important to know what you have when you want to assign a value to it. You can say that something can be reused, but if you don't know what's inside, you don't know if it complies with laws and regulations. So, this information is very important. If you have more data about your product or assign more data, there is more incentive to reuse.”

Expert interview 13 - Consultant: Founder / Consultant

Assessment

This research is focused on the product level. Therefore, it is important for the data management that the passport is handled at least at the product level. It can be concluded that when more information is known about a product, it is more likely that it can be reused or at least increase its reusability potential. However, to create a passport at the product level, the passport must be created at the material level as shown in Figure 33.

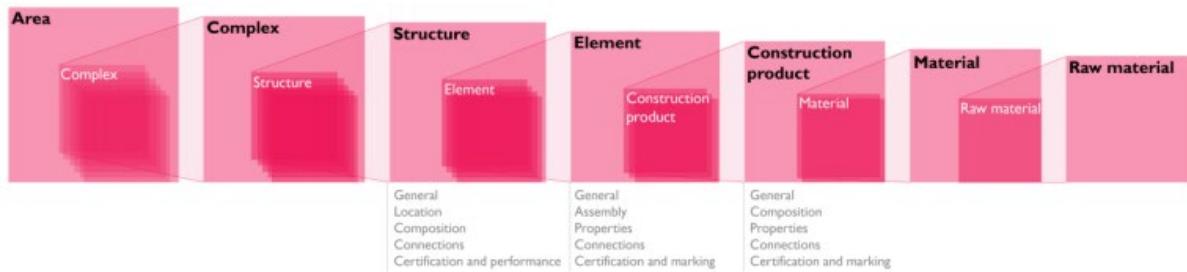


Figure 33 – Aggregation levels of passports (Platform CB'23, 2020c)

Because there is no measurement method for data quality or quantity, an assessment is made based on the level of aggregation of the data. It is assumed that when the data is available at the raw material level, it has the greatest chance of reuse. When all data of the product are available at the material level, this also has a high re-use potential, but slightly less than at the raw material level. Also, data on (raw) material level provide a better insight into the toxicity of a product. This makes it possible to manage reuse in both the construction phase and the use phase of a building. This also means that when there is a passport at a lower level, it does not relate to the products and therefore there is not much information that can be used to determine the reusability potential.

Table 33 – Assessment criteria for Data Management

Data management	Passport on raw material detail level (material level)	1.0
	Passport on material detail level (product level)	0.8
	No passport at all or passport on low level	0.1

Data collection

For the collection of data, it is also important that suppliers cooperate. This means that suppliers of products already have data on these products.

Table 34 – Data collection Data management

Data required	Source	Method
Level of passport	Supplier or client	Retrieve information

5.2.2.2 Standardisation

There is no hard definition of standardisation, but it can be concluded from the literature and the interviews that it mainly has to do with the standard dimensions of a product and that a specific dimension or shape has a hindering effect on reusability. But what exactly is the standard size of a product is different for each product and there is no straightforward answer to this. The interviews also revealed that when a product is scalable this is positive for its reuse. Scalability means that a certain product is used more often in a building. These two elements give interpretation to the definition of the standardisation factor. The definition for standardisation in this research is that when a product occurs more than twice, using the same dimensions, the chances of reuse are increased. This increases the chance of reuse. Further research has to show what exactly the threshold should be for standardisation, but in this research, it is assumed that there are 2 or more products. And when there is only one product it will be a unique product.

Quotation box 5 – Standardisation

Expert interview 15: Consultant

“If there are standard dimensions, you also get that circulation speed. If there are specific sizes, it can happen that someone needs the product after three years.”

Expert interview 15 - Consultant: Consultant

“You also reduce the chance of reuse when the product is not a standard colour and or not a standard size.”

Expert interview 8 - Contractor: Developer Circularity

“It is also beneficial when products just consist of standard sizes.”

Expert interview 7 - Demolisher: Director Circularity

Assessment

For example, there is a certain product with 50 boards in total. 40 of these have the same dimensions and 10 are unique. This means that 40 is divided by 50. This indicator represents the percentage of standardisation of a product.

$$S_p = \frac{SD_p}{T_p}$$

Formula 7 – Proposed standardisation formula

S_p = Standardisation of product p

SD_p = amount of product p with standardised/corresponding dimensions

T_p = total amount of product p

Data collection

The data that is required for determining the standardisation factor is mainly the dimensions and the amount of a certain product within a building project.

Table 35 – Data collection Standardisation

Data required	Source	Method
Type of product	Supplier or designer	Retrieve information
Amount and dimensions	Supplier or designer	Retrieve information

5.2.2.3 Quality

Quality is an important factor for future reuse. Unfortunately, it is almost impossible to estimate what the quality will be in 50 or even 100 years. Maintenance is a factor that can influence this and ensure that the quality at the end of the lifecycle is higher than normal. In this study, however, these are determined separately from each other. Further research should investigate the relation between the quality and the maintenance of a product. It is therefore decided to determine the quality based on the lifespan of the product. The technical lifetime of the product is used because the actual lifespan is hard to determine.

Quotation box 6 – Quality

"Lifespan is important in terms of quality, because you want to know how old something is and you can use this to determine the residual value. And also, how you should disassemble something. This is all data management."

Expert interview 14 - Demolisher: Manager

"Quality is also important. It must be ensured that it still performs what it was designed for."

Expert interview 8 - Contractor: Developer Circularity

Assessment

It is very hard to determine the quality of a product in advance. This has to do with many other factors such as condition, safety, and performance. In order to determine the quality factor, the measuring method as included in the MCI of The Ellen MacArthur Foundation (2015) and the Building Circularity Indicators from Verberne (2016) for determining the utility is used. The Utility can be calculated by Formula 8. If the technical lifespan is higher than the lifetime of the building system layer, the maximum results would be 1.0.

$$X = \frac{L_p}{L_{sys}}$$

Formula 8 – Utility formula to determine quality

X = Utility

L_p = Technical lifetime of the product

L_{sys} = Lifetime of the building system of the product

Data collection

The technical lifetime of the product is determined based on the existing database of Alba Concepts. When, based on the experience of the supplier or client, an actual life span can be chosen, this can be filled in with the technical life span. This will then have a positive effect on the Utility. The lifetime of the building system of the product is determined based on the Layers of Brand (1994) that are described in chapter 2.

Table 36 – Data collection Quality

Data required	Source	Method
Technical lifespan	Alba Concepts database	Retrieved from database
Functional lifespan	Supplier or client	Retrieve information
Layers of Brand of the product	Alba concepts database	Retrieved from database

5.2.2.4 Financial value

The financial factor is quite broad. In this study, only the residual value of a product is considered, because the goal is to determine the reusability potential of a product. From the interviews, it was clear that a financial value must be assigned to a product and that valuation plays an important role to do this. This value ultimately has a positive effect on the reusability potential. Especially when at the start of a project a residual value is determined for a new product.

When the product has a negative residual value beforehand, the possibility of reuse is less. Unfortunately, the residual value cannot yet be assigned as an accounting value. This means when there is a positive residual value is assigned to a building product it will be treated with care. This ultimately results in a positive influence on the reusability potential. This could be a follow-up study for this factor. In this research, it is assumed that if the residual value is positive, this would be a boost factor for the reusability potential of building products.

Quotation box 7 – Financial value

“Property owners are very focused on now (investment costs) and not on operating costs over 30 years. This has to change as well because circularity is about future value and reuse.”

Expert interview 3 - Housing corporation: Project leader

“Reuse can be guaranteed through taxation and give value to the products.”

Expert interview 9 - Contractor: Project Manager

“In my opinion, the reusability potential will also be increased if we put an economic value on it. If something has no economic value in the books, you treat it as if it has no value. Then you don't bother to reuse it and just dispose it. Basically, the accounting value.”

Expert interview 13 - Consultant: Founder / Consultant

Assessment

At Alba Concepts the residual value is determined internally, using various factors which also include costs such as storage and transport costs. That is why the calculation of Alba Concepts is used for this factor. To calculate the residual value, a distinction is made between the reuse value and recycling value. The reuse value is focused on the product residual value and therefore the reuse value will be used for this factor. Because it is difficult to quantify a financial value, a score is used when the number is positive or negative. When the product has something of a positive residual value, it is more likely a product will be reused.

To calculate the reuse residual value, the following calculation is used:

Reuse residual value = purchase value of product - damaging percentage - quality reduction - disassembly cost - repair cost - transport costs - storage costs.

Table 37 – Assessment criteria for the Financial Value

Financial value	Residual value for reuse value is positive	1.0
	Residual value for reuse value is negative	0.1

Data collection

In order to collect the data that is required to assess the Financial value factor, different sources are required. This data is mainly collected by reference numbers from existing projects from Alba Concepts. Therefore, this data depends on the information from Alba Concepts. This might complicate the use of this model in practice by other researchers or companies.

Table 38 – Data collection Financial value

Data required	Source	Method
Purchase value	Budget and Cobouw GWW	Material component
Disassembly cost	Cobouw GWW	Estimation
Repair cost	Reference numbers Alba Concepts	Percentage of the purchase quality reduction
Transport cost	Reference numbers Alba Concepts	Transport cost per m3 or kg/tonnes
Storage cost	Reference numbers Alba Concepts	Storage cost per kg and average time of storage
Quality reduction	Reference numbers Alba Concepts and cost experts	Assumptions
Damaging percentage	Reference numbers Alba Concepts	Assumptions

5.2.2.5 Over-dimensioning

Over-dimensioning is a technique that was used when accurate construction calculations did not exist. There are many ways that a product can be over-dimensioned. It is possible on quantity level, length, thickness or constructive strength (Meuffels & Hoppe, 2021). No current literature on the influence of over-dimensioning on reusability was found during the literature review. However, in the expert interviews, this factor was mentioned to increase the reusability of a building product. The disadvantage of over-dimensioning is the fact that it requires more material that results in higher cost. This is not in line with the ambitions for reducing the use of resources. Further research is recommended to find out whether the advantages of over-dimensioning outweigh the disadvantages to increase the reusability potential.

Quotation box 8 – Over-dimensioning

“Even when something is over-dimensioned, the potential for reuse can be increased.”

Expert interview 14 - Demolisher: Manager

“It can work when additionally, the circular cycle is extended by the producer by making the products better. If you don't do this, you only get short cycles.”

Expert interview 3 - Housing corporation: Project leader

“We must certainly look at quality in the future. I would support over-dimensioning. However, it is no longer affordable so there will always be a time and money factor.”

Expert interview 16 - Platform: Manager Circularity

Assessment

There is no method available to measure the degree of over-dimensioning. Therefore, this factor is assessed whether products are over-dimensioned or not. During design, it has to be determined whether the product is over-dimensioned or not. If it is over-dimensioned, it must be more than the safety margins prescribe. The safety margins are already a kind of over-dimensioning (De Vree, n.d.).

Table 39 – Assessment criteria for Over-dimensioning

Over-dimensioning	Product is over-dimensioned	1.0
	Product is not over-dimensioned	0.5

Data collection

To determine over-dimensioning, a lot of data is required from the products. Think of construction calculations, general dimensions etc. It is also possible that a product is already over-dimensioned by the supplier for example. In this case, there is not much data required and it can easily be determined.

Table 40 – Data collection Over-dimensioning

Data required	Source	Method
Detailed product information	Supplier, client, or constructor	Retrieve information

5.2.2.6 Contracting

There is no measurement method yet for the contracting of reuse. It is probably very hard to create a uniform method of measurement for this factor. A proposition is made for the assessment of this factor. This factor is assessed at the product level, based on whether a reuse scenario is established for the products within the contract and or a return guarantee is included. The expert interviews have shown that the return guarantee influences the reusability potential. By means of this guarantee, agreements can be made for the products. The most important thing is whether reuse is included in the contract. Therefore, the reuse strategy in a contract scores slightly higher than the return guarantee in a contract.

Quotation box 9 – Contracting

"I also think that return guarantees help to ensure reuse. When a producer is responsible for a product. Because then the producer will make something clever to take it apart to be reused or that is so good that it lasts a long time."

Expert interview – 12. Government: Project Leader

"Through contract management it is possible to steer towards high-value reuse at an early stage."

Expert interview – 18. Consultant: Manager

"The tender shows that there are more points to be gained in the area of finance than in the area of circularity. It might help to reward contractors, for example, if they have circular plans or start using reused products."

Expert interview 8 - Contractor: Developer Circularity

Assessment

Based on the information of a project, the factor contracting is assessed by means of a return guarantee and or a reusability strategy for the product. The reusability of the product means that reusability is part of the contract strategically or technically. The return guarantee means that there is a working returning system for the product.

Table 41 – Assessment criteria for Contracting

Contracting	Reusability of the product and a return guarantee is included in the contract	1.0
	Reusability of the product is included in the contract	0.8
	Return guarantee of the product is included in the contract	0.5
	Reusability of the product and a return guarantee is not included in the contract	0.1

Data collection

For this influencing factor, the data is mainly collected from the supplier or the client.

Table 42 – Data collection Contracting

Data required	Source	Method
Information of the contract on availability of a return guarantee	Supplier or client	Retrieve information
	Contracting documents	

5.3 Expert panel: Validation conceptual model one

The first conceptual model is developed in the previous chapters and the first outlines for the assessment and data requirements of the influencing factors are described. To validate the first conceptual model, the data is collected by a series of expert panels within the construction sector. As discussed in the Methodology chapter, the input for this validation are the entry sheets during the expert panel discussion. All the results of the entry sheets are attached in Appendix 10 – Expert panel entry sheet results and the analysis and results of the AHP is discussed in this chapter.

The purpose of the expert panels is to validate the factors and criteria of the first conceptual model as well as determining the relative importance (weights) of the factors and criteria to examine the impact of the individual factors on the reusability potential. First, this chapter indicates the validation of the factors. Next, the results of the AHP analysis are presented for determining the relative importance (weights) of the influencing factors. Finally, the same is executed for the assessment criteria. The output of this chapter results in the input for the second conceptual model.

5.3.1 Validation and determination of the influencing factors

After the expert panel discussions, the first conceptual model can be optimised. It became apparent that two factors would not directly influence the reusability potential or would simply be too difficult to quantify. Based on the propositions and the opinions of the experts this resulted in the deletion of the following influencing factors:

- **Standardisation:** There are many different definitions that the standardisation factor can cover. Some examples are modularity, prefabrication, uniformity, and standardised dimensions. Because this factor is very extensive, there is no single measurement method for standardisation. The expert panels also indicated that this factor is difficult to quantify.
- **Over-dimensioning:** The expert panels pointed out that this influencing factor is difficult to quantify. It was also validated that this factor interferes with the idea of the circular economy. And finally, the influence according to the AHP method is significantly low. Therefore, this factor will be excluded in the second conceptual model. However, it would be interesting to investigate whether the extra raw materials for over-dimensioning would in the end compensate for the benefits of a longer life span.

These two factors are still included in the AHP results but will be removed from the results later. It is important to include these two factors to get a better understanding of the change in factors when these factors are removed. To determine the importance of the influencing factors, the AHP analysis method was used. As described in the Methodology, pairwise comparisons were performed for all expert panels. Then, by means of the geometric mean and the normalisation, a weighting was obtained, and the ranking of the factors was determined. The result of the pairwise comparisons and the determining of the Geometric Mean with the weights are shown in Table 43 and Table 44.

Table 43 – Total pairwise comparison results of the nine influencing factors

	D	DM	S	T	Q	FV	L	O	C
Disassembly	1,00	0,76	1,66	1,19	2,05	1,48	3,00	5,28	3,61
Data management	1,31	1,00	1,44	1,31	1,31	1,31	1,20	4,15	3,61
Standardisation	0,60	0,69	1,00	0,28	1,89	0,51	3,61	2,20	1,71
Toxicity	1,44	0,76	3,51	1,00	2,47	1,86	1,53	4,27	2,26
Quality	0,49	0,76	0,53	0,41	1,00	1,09	2,17	4,99	2,69
Financial value	0,67	0,76	1,97	0,54	0,92	1,00	3,18	5,99	4,79
Logistics	0,33	0,83	0,28	0,66	0,46	0,30	1,00	3,82	0,95
Over-dimensioning	0,19	0,24	0,45	0,23	0,20	0,17	0,26	1,00	0,36
Contracting	0,28	0,28	0,53	0,44	0,37	0,21	1,06	2,76	1,00

Table 44 – Determining GM and weights of the nine influencing factors

	Geometric	Weight	Normalised	Rank
Disassembly	1,86	0,1766	1,00	1
Data management	1,62	0,1538	0,87	3
Standardisation	1,05	0,0998	0,57	6
Toxicity	1,86	0,1765	1,00	2
Quality	1,11	0,1054	0,60	5
Financial value	1,53	0,1454	0,82	4
Logistics	0,66	0,0631	0,36	7
Over-dimensioning	0,29	0,0277	0,16	9
Contracting	0,54	0,0516	0,29	8
	10,52	1,00		

Figure 34 gives a clear overview of the relative importance (weights) of the nine influencing factors that resulted from the AHP.

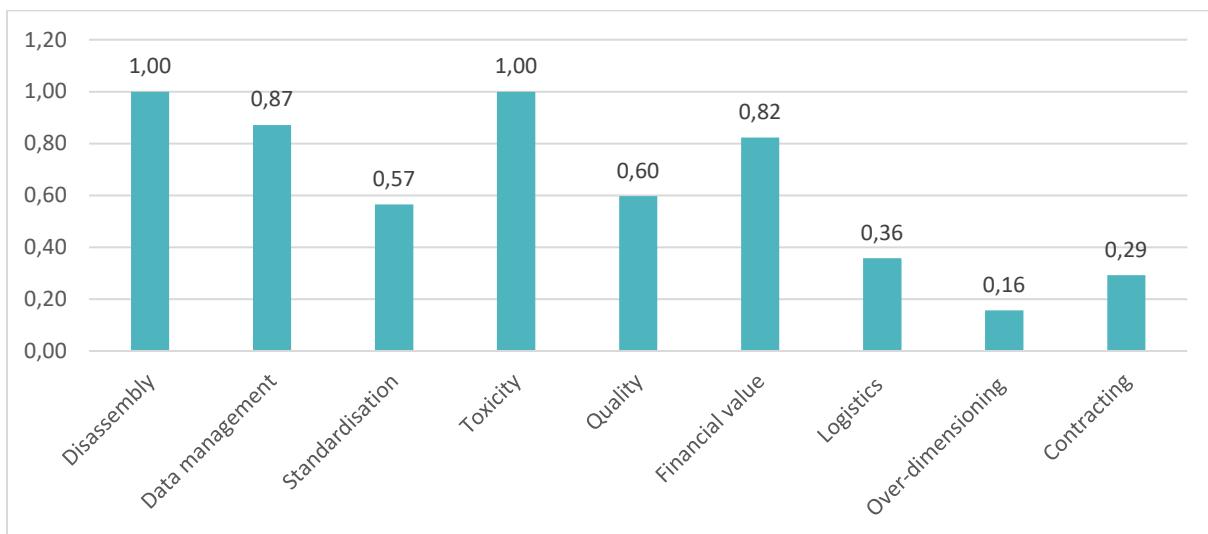


Figure 34 – Importance weights of the nine influencing factors

As discussed, two factors have to be removed from the results. Therefore, an extra analysis step has to be carried out. In literature was stated that the AHP has been criticised for the rank reversal phenomenon that may occur when deleting or adding a factor (Wang & Elhag, 2006). This step is carried out in order to provide an insight in the weights changing.

However, when an AHP only contains a single-level hierarchy for the factor, the rank-order will not be affected by the rank reversal phenomenon (Finan & Hurley, 2002; Wijnmalen & Wedley, 2008). Therefore, further investigation of the rank reversal is not necessary for this research and can be avoided.

In Table 45 and Table 46 the results of the seven influencing factors are displayed. The two factors Standardisation and Over-dimensioning are deleted. This resulted in a slight change of the weighing of importance. The ranking of the influencing factors is still the same as the first results.

Table 45 – Total pairwise comparison results of the seven influencing factors

	D	DM	T	Q	FV	L	C
Disassembly	1,00	0,72	1,23	2,37	1,61	3,74	4,66
Data management	1,38	1,00	1,38	1,38	1,38	1,25	4,66
Toxicity	1,55	0,72	1,00	2,95	2,10	1,66	2,67
Quality	0,42	0,72	0,34	1,00	1,11	2,54	3,27
Financial value	0,62	0,72	0,48	0,90	1,00	4,00	6,54
Logistics	0,27	0,80	0,60	0,39	0,24	1,00	0,93
Contracting	0,21	0,21	0,37	0,31	0,15	1,07	1,00

Table 46 – Determining GM and weights of the seven influencing factors

	Geometric	Weight	Normalised	Rank
Disassembly	1,79	0,22	1,00	1
Data management	1,55	0,19	0,86	3
Toxicity	1,63	0,20	0,91	2
Quality	0,99	0,12	0,55	5
Financial value	1,26	0,16	0,70	4
Logistics	0,53	0,06	0,29	6
Contracting	0,36	0,04	0,20	7
	8,11	1,00		

Figure 35 gives a clear overview of the importance weights of the seven influencing factors that resulted from the AHP. Disassembly, Data management, Toxicity and Financial value are still the most important factors that influence the reusability potential. The most discussed and mentioned influencing factors from the expert interviews and the literature have the most impact on the reusability potential according to the expert panels. The weights of the seven influencing factors will be used as input for the second conceptual model for the development of the assessment tool.

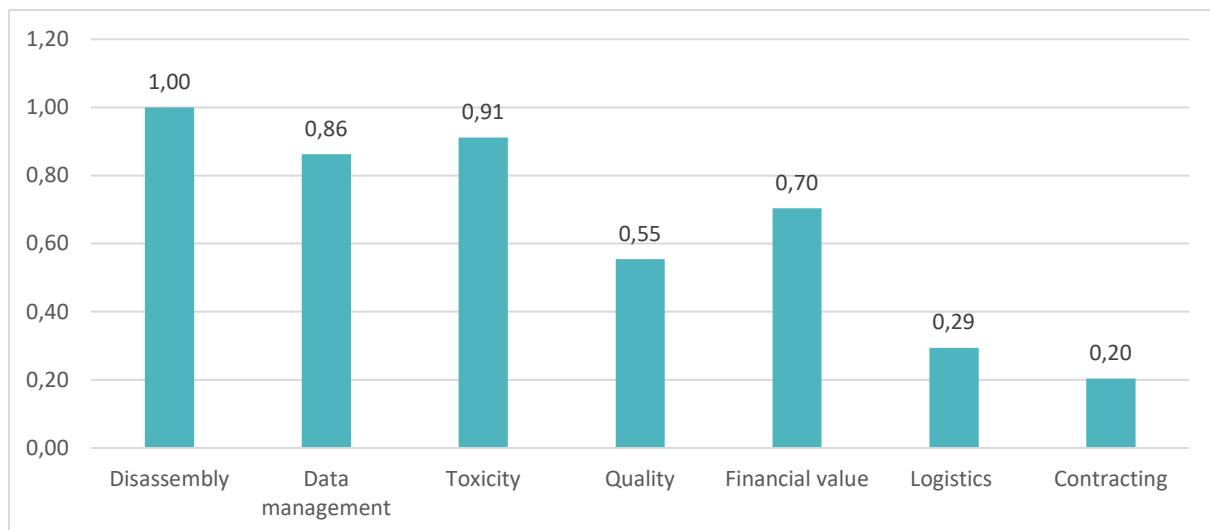


Figure 35 – Importance weights of the seven influencing factors

A total overview of the analysis and results of the pairwise comparisons per expert panel for the influencing factors can be found in Appendix 11 – AHP analysis and results influencing factors.

5.3.2 Validation and determination of the assessment criteria

During the expert panel discussions, the assessment criteria that were established during the determination and assessment of the factors in chapter 5.2 were also validated. Based on the propositions and the expert opinions two criteria were adjusted because they would be too vague and too complex. The following criteria are adjusted.

Data management

In the first conceptual model, three criteria were defined for the Data Management factor. The criteria were determined by means of two levels at which a materials passport can be created and whether a materials passport was present. In order to reuse an individual product a materials passport is required at the material level and the product level. The result of the expert panels indicated that it is more important to distinguish whether or not there is a material passport at all. It was therefore decided to adjust the criteria in the second model based on the availability of a materials passport. The results are shown in Table 47 and 48 according to the entry sheets, the AHP analysis and the deletion of one criterion.

Table 47 – Results of the Data management criteria

	R	M	No	Geometric	Weight	Normalised
Raw material level	1,00	0,75	5,50	1,61	0,41	0,79
Material level	1,32	1,00	6,34	2,03	0,52	1,00
No passport	0,18	0,16	1,00	0,31	0,08	0,15
				3,95	1,00	

Table 48 – Adjusted result of the Data management criteria

	Passport	No passport	Geometric	Weight	Normalised
Passport	1,00	6,34	2,52	0,86	1,00
No passport	0,16	1,00	0,40	0,14	0,16
			2,91	1,00	

Contracting

The results of the expert panels indicate that the return guarantee is more important than when there is a reuse strategy available. In addition, it is too complex to distinguish between four different criteria for this factor based on this short investigation. It is therefore decided to assess these criteria also only in terms of the availability of a return guarantee. The results are shown in Table 49 and Table 50 according to the entry sheets, the AHP analysis and the deletion of two criteria.

Table 49 – Result of the Contracting criteria

	B	RS	RG	B not	Geometric	Weight	Normalised
Both included	1,00	4,46	4,86	6,80	3,48	0,58	1,00
Reusability strategy	0,22	1,00	0,38	6,26	0,85	0,14	0,24
Return guarantee	0,21	2,65	1,00	7,20	1,41	0,24	0,40
Both not included	0,15	0,16	0,14	1,00	0,24	0,04	0,07
					5,98	1,00	

Table 50 – Adjusted result of the Contracting criteria

	Included	Not included	Geometric	Weight	Normalised
Included	1,00	6,80	2,61	0,87	1,00
Not included	0,15	1,00	0,38	0,13	0,15
			2,99	1,00	

Financial value

In Table 51 the results of the AHP analysis for the criteria of the factor Financial value are shown. When the residual value is positive it scores significantly higher than when there is a negative residual value. This is in accordance with the opinions from the expert interview that showed that a residual value is very important and when it has accounting value it will have a big impact on the reusability potential in the future.

Table 51 – Results of the Financial value criteria

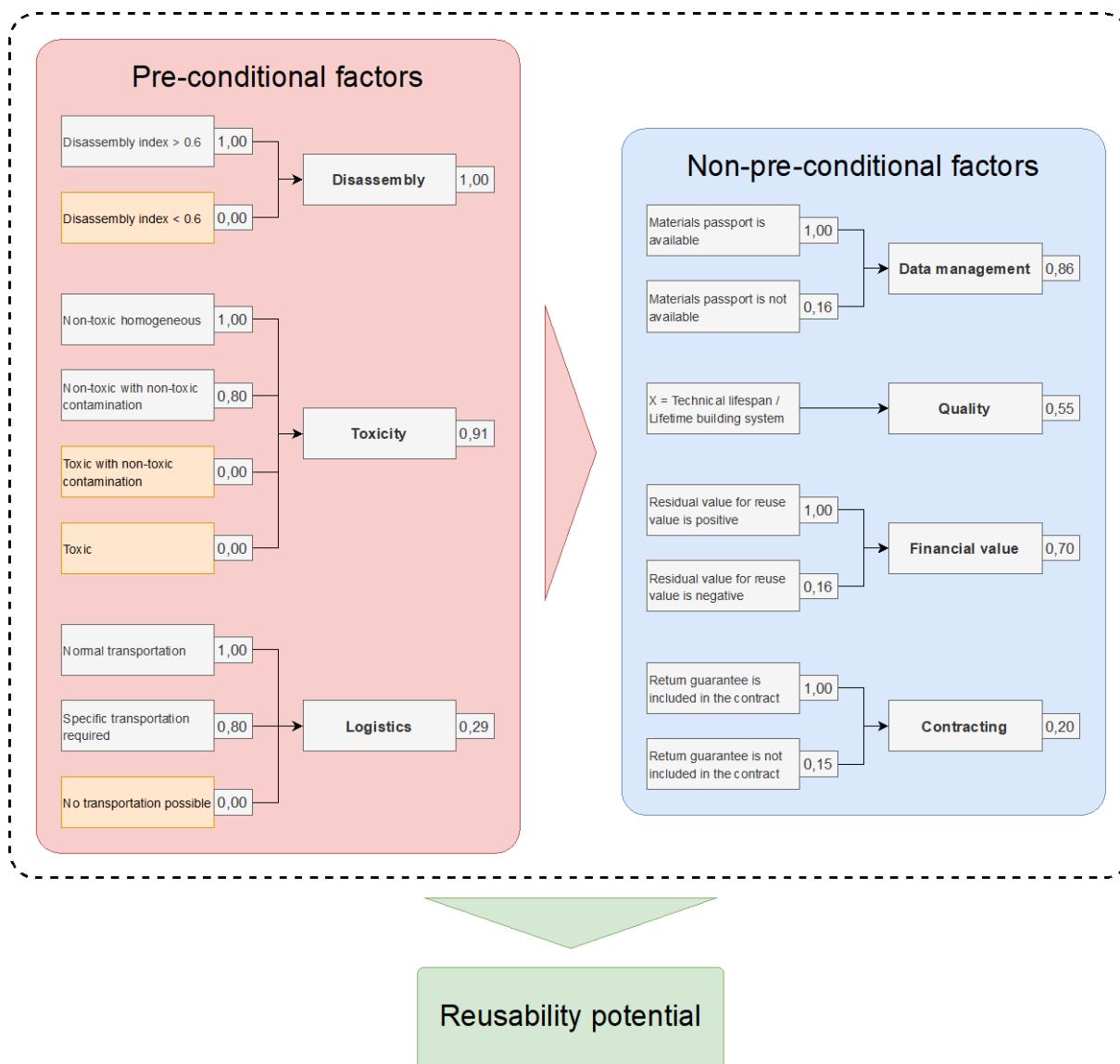
	Positive	Negative	Geometric	Weight	Normalised
Positive	1,00	6,80	2,61	0,87	1,00
Negative	0,15	1,00	0,38	0,13	0,16
			2,99	1,00	

A total overview of the analysis and results of the pairwise comparisons per expert panel for the influencing factors can be found in Appendix 12 – AHP analysis and results criteria.

5.4 Conceptual model two

In the previous chapter, the first conceptual model was developed with the factors that at first sight influence the reusability potential. The assessment criteria that correspond to these factors have been validated by a series of expert panels. In addition, all influencing factors and assessment criteria have been weighted. The results of the expert panels are used for the development of the second conceptual model. The second conceptual model is displayed in Figure 36 which shows the optimised influencing factors and assessment criteria with their relative importance (weights). As a result of the expert panels, the factors Standardisation and Over-dimensioning are excluded in this conceptual model. In addition, the assessment criteria of the factors Data management and Contracting have been simplified, allowing for a better assessment of the reusability potential per individual building product.

This chapter describes how the influencing factors result in an assessment of the reusability potential of an individual building product and how the assessment tool works. Finally, this conceptual model and the assessment tool will be validated and tested by conducting a case study.



5.5 Assessment tool

In order to calculate a total score for the reusability potential, this chapter describes how the assessment tool is developed by using the results of this research. Moreover, it describes how the assessment tool is used in practice.

Conceptual model one (chapter 5.1) determines the influencing factors based on the literature and the expert interviews. The expert panels were conducted to validate the influencing factors with the corresponding assessment criteria and the determination of the relative importance (weights) of the influencing factors and assessment criteria. This resulted in the development of Conceptual model two (chapter 5.3). The reusability potential assessment tool is developed based on conceptual model two.

All the individual factors are used to quantify the reusability potential of an individual product. To achieve this, weights are determined for the influencing factors and the assessment criteria. In order to construct an assessment tool for the reusability potential, Microsoft Excel is used as software platform. In the future, this tool may also be implemented as a platform in the form of a website or app. For now, Microsoft Excel is sufficient enough to develop the model, give an understandable output and to use it in practice.

The purpose of the development of the assessment tool is that the reusability potential can be assessed based on the individual factors and assessment criteria in one practical assessment tool. The aim is to calculate a total score between 0 and 1 that provide an insight into the reusability potential of an individual building product. Moreover, the assessment model consists of three components. The Bill of Material (BoM), the input parameter and the weighted average. The three components are described below, resulting in the three steps for assessing the reusability potential (Figure 37).



Figure 37 – Roadmap of the assessment tool

5.5.1 Bill of Materials (BoM)

The Bill of Materials (BoM) is a list of the building products that will be assessed. For all the products of a building project, data is collected that is required for the assessment of the influencing factors. The data collection for the individual products is shown in Table 52. This is based on the data collection of each influencing factor as described in chapter 5.2.

Table 52 – Data collection for the reusability potential model

Factor	Data requirements	Data source	Method
Disassembly	Disassembly index	Alba Concepts Database	Retrieved from Alba Concepts database
Toxicity	Toxic product	C2C banned list of chemicals	Check the list of chemicals
	Contamination of product	Examples from DGBC report	Check for related products
Logistics	Volume	Designer or supplier	Retrieve information
	Mass	Designer or supplier	Retrieve information
Data management	Availability of a material passport	Supplier or client	Retrieve information
Quality	Technical lifespan	Alba Concepts database	Retrieved from database
	Functional lifespan	Supplier or client	Retrieve information
	Layer of Brand of the product	Alba Concepts database	Retrieved from database
Financial value	Purchase value	Budget and Cobouw GWW	Material component
	Disassembly cost	Cobouw GWW	Estimation
	Repair cost	Reference numbers Alba Concepts	Percentage of the purchase quality reduction
	Transport cost	Reference numbers Alba Concepts	Transport cost per m3 or kg/tonnes
	Storage cost	Reference numbers Alba Concepts	Storage cost per kg and average time of storage
	Quality reduction	Reference numbers Alba Concepts and cost experts	Assumptions
	Percentage reusable	Reference numbers Alba Concepts	Assumptions
Contracting	Information of the contract on availability of a return guarantee	Supplier or client	Retrieve information
		Contracting documents	

5.5.2 Input parameters

When all the required data is collected from the related sources, the criteria can be determined that results in the grading of the influencing factors. The influencing factors with the weighting and the assessment criteria with the grading are presented in a clear overview in Table 53. This assessment input is the result of the first conceptual model and the validation with the expert panels.

Table 53 – Reusability potential assessment input

Factor	Grading	Weighting
Disassembly		1,00
Index =/ > 0,6	1,00	
Index < 0,6	0,00	
Toxicity		0,91
Non-toxic homogeneous	1,00	
Non-toxic with non-toxic contamination	0,80	Assumption
Toxic with non-toxic contamination	0,00	
Toxic	0,00	
Logistics		0,29
Normal transportation	1,00	
Specific transportation needed	0,80	Assumption
No transportation possible	0,00	
Data management		0,86
Passport for individual product available	1,00	
Passport for individual product not available	0,16	
Quality		0,55
Formula		
Financial value		0,70
Residual value for reuse value is positive	1,00	
Residual value for reuse value is negative	0,16	
Contracting		0,20
A return guarantee is included in the contract	1,00	
A return guarantee is not included in the contract	0,15	

5.5.3 Weighted average

In order to obtain a total outcome, an average calculation method is required. For example, the factors may be added together and divided by the number of factors. However, this research is focused on the relative importance of the factors and their impact on the reusability potential. This implicates that an average has to be calculated in which the weight of the importance of the influencing factors is included. In total there are three types of weighted averages. For the reusability potential assessment tool, all three are calculated. This is shown in Figure 41. The case study in the next chapter will also be used to identify which weighted average formula is most suitable for practice. The three types of weighted averages are described below.

Weighted Arithmetic Mean (WAM)

This average has the highest outcome of the three averages. The criterion with a high grading has the most impact on the arithmetic mean. Furthermore, this mean formula will not result in a zero outcome because zero can be summed. However, that would be required according to the expert interviews and when one of the three pre-conditional influencing factors (Disassembly, Toxicity or Logistics) is not met, the product cannot be reused anymore. The calculation of the WAM is shown in Formula 9.

$$WAM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Formula 9 – WAM

w = Weighting of factor
 x = Grading of criteria

Weighted Harmonic Mean (WHM)

This average has always the lowest outcome of the three averages. By using this formula, the weights are equalised. This means that the influencing factor or assessment criteria with the lowest outcome have the most impact on the reusability potential. Furthermore, this formula can result in a zero outcome when a pre-condition is not met as division by zero is not possible. The calculation of the WAM is shown in Formula 10.

$$WHM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{x_i}}$$

Formula 10 – WHM

Weighted Geometric Mean (WGM)

This average is between the arithmetic and harmonic average. The criterion with a low grading has the lowest impact. This mean formula has a lower outcome than the arithmetic mean. Nevertheless, this mean can result in a zero outcome. The calculation of the WAM is shown in Formula 11.

$$WGM = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i^{w_i}}$$

Formula 11 – WGM

5.5.4 Using the assessment tool

This chapter describes how the assessment tool is used in practice. The assessment tool consists of three steps to determine the reusability potential. The three steps are performed in this chapter using an example product and a brief explanation.

Step 1 – Setting up the Bill of Materials

First of all, a BoM is set up for all the individual building products in a project. The user of the tool must ensure that all information is available for the calculation of the reusability potential. It is possible to make assumptions for some influencing factors to check the impact of certain choices, or if certain data is not yet available. Figure 38 shows an example of a building product with the collected data.

Bill of Materials (BoM)								
Product	Description							
Example	Description of the example product according to BCI Gebouw							
Disassembly index								
The disassembly is 70 according the Alba Concept database								
Toxicity / contamination								
The product belongs to Category 3								
Logistics								
Volume (m³)	Lenght (m)	Width	Height (m)	Mass (kg)				
max 30,00	max 10,00	max 3,00	max 1,00	max 1.000kg				
Data mangement								
There is not materials passport available for this product								
Quality								
Technical lifespan	Layer of Brand	Years						
50 years	Skin	50						
Financial value								
The residual value is postive according the Alba Concepts calculation								
Contracting								
There is no reurn guarantee included in the contract								

Figure 38 – Step 1: Bill of Materials (BOM)

Step 2 – Fill in the input parameters

After collecting the required data, the data is entered into the assessment tool of the corresponding influencing factors. By clicking on the factors in the tool, the different assessment criteria can be filled in according to the collected data of a building product from step 1. Filling in the assessment criteria will automatically result in the corresponding weights and grading from the table shown in Table 52. Figure 39 shows the steps to assess the influencing factor in the reusability potential assessment tool.

Precondition	L
Logistics	1,00
Normal transportation	1,00

Precondition	L
Logistics	1,00
Normal transportation	1,00
Normal transportation	1,00
Specific transportation needed	
No transportation possible	

Precondition	L
Logistics	1,00
No transportation possible	0,00

Figure 39 – Influencing factor assessment

All the influencing factors with their corresponding assessment criteria and scores are assessed. A total overview of the input parameters sheet is shown in Figure 40.

Input parameters	
Precondition	
Disassembly	D
Index =/> 0,6	1,00
Precondition	
Toxicity	T
Non-toxic with non-toxic contamination	0,80
Precondition	
Logistics	L
Normal transportation	1,00
Data management	DM
Passport for individual product not available	0,16
Quality	Q
Space plan	1,00
Financial value	F
Residual value for reuse value is negative	0,16
Contracting	C
A return guarantee is not included in the contract	0,15

Figure 40 – Step 2: Input parameters

Step 3 – Calculation of the Reusability Potential

The final step of the assessment tool is the calculation of the reusability potential. The assessment tool will calculate the reusability potential of a building product by using three different weighted average formulas. The weighted averages are calculated by all the influencing factors, the assessment criteria, and the corresponding relative importance (weights). Figure 41 shows an overview of the three calculated weighted averages (reusability potentials). The validation in the next chapter will indicate which formula is the most appropriate to apply in practice. Figure 42 shows the result of the assessment tool when a pre-conditional factor is not met. This is indicated in the red text “Pre not met”.

Weighted average		
Weighted Arithmetic Mean	Potential	
High grading, high impact, cannot be zero	$WAM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$	0,63
Weighted Harmonic Mean		
Lowest outcome most impact, can be zero	$WHM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{x_i}}$	0,32
Weighted Geometric Mean		
Low grading, low impact, can be zero	$WGM = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i^{w_i}}$	0,61

Figure 41 – Step 3: Weighted average (Reusability Potential)

Weighted Arithmetic Mean	Potential
High grading, high impact, cannot be zero	$WAM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$ 3,60 0,80
Weighted Harmonic Mean	
Lowest outcome most impact, can be zero	$WHM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{x_i}}$ 0,00 0,00 Pre not met
Weighted Geometric Mean	
Low grading, low impact, can be zero	$WGM = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i^{w_i}}$ 0,00 0,00 Pre not met

Figure 42 – Pre-conditional factor not met

5.6 Case study: Validation of conceptual model two

The second conceptual model and the assessment tool are developed in the previous chapter. The influencing factors and assessment criteria are validated and a weighting of importance for the factors and criteria has been defined according to the expert panels. This will help to give an insight into which factor is more important than another. To validate and test the second conceptual model, the data is collected by a case study and by using the output data from the reusability potential tool. A case study research is a legitimate research method that is appropriate for qualitative and quantitative research that is dealing with the understanding and change of interwoven complexities that are associated with interpersonal processes that emerge in a wider social context (Rubaie, 2002).

The purpose of this case study is to validate and test the second conceptual model as an assessment tool for the reusability potential. The case study provides an insight into what happens when changes are made to the influencing factors and the impact of the factors on the reusability potential of the products. For this case study, the weighted average formulas are also compared with each other, and the results can be used to determine which formula is best for practical purposes.

5.6.1 Case description

A case study was developed in cooperating with Alba Concepts. To perform the case study, several different products are used that are related to one of the layers of the Brand model. As described in chapter 2, this case study is performed by a combination of a sensitivity and scenario analysis. For each layer of Brand, a traditional product and a circular product are chosen. These two products are compared with each other, and the results from the reusability potential tool are discussed. After that, for each product different scenarios are set up, which are also assessed and discussed. Adjusting certain inputs and make assumptions on the input for the factors is used to build multiple scenarios. The scenarios are discussed in the next chapter and the format of the case study is shown in Table 54. The wall is an inner wall, the sandwich panel is used for wall finishing and the hollow-core slab is a concrete flooring.

Table 54 – Format of the case study

Layer Space plan: Wall	Layer Skin: Sandwich panel	Structure: Hollow-core slab
Traditional product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios	Traditional product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios	Traditional product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios
Circular product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios	Circular product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios	Circular product <ul style="list-style-type: none">- Base scenario- Various scenarios

In order to specify the case study, a few boundaries are set up to scope the case study. First of all, the layers of Brand are used as the main category for the product. This is due to the fact that the layers are used to determine the Quality factor. Furthermore, three layers of Brand are discussed in this case study. Because this model is not focused on the installations, the Services layer is not included in the case study. Furthermore, this model does not consider the attachment between products and how a product is assembled within the building. This is already incorporated in the Disassembly Index. Finally, the assessment tool is focused on assessing individual building products.

5.6.2 Performing the case study

The first step for performing the case study is to create the Bill of Materials (BoM). This is a list of products that will be used during the case study. It is not relevant for this study. However, a BoM can serve as a materials passport for construction projects and additional information can be added to the products. The BoM is set up in BCI Gebouw. This is shown in Figure 43. In BCI Gebouw, the Alba Concepts database is being used. Therefore, all Disassembly Indices are already determined by experts within Alba Concepts. In practice, these indices can be adjusted, but for the input of this case study, it is a perfect starting point.

Klantgegevens 0027, TU Eindhoven (Student)	Projecten TU Eindhoven (Student), 00...	Producten	Product Historie
<input type="radio"/> Geen filter			
Omschrijving	Bevat	Zoeken...	X
St... Klant referentiecode	▲ Omschrijving		Losmaakbaarheid
<input checked="" type="checkbox"/> Producten (6)			
✓ Falk Cradlecore	Sandwich paneel trapeziumvormige, staal + PIR; gepoedercoat 55mu [Sandwich panelen] ...	0,68	
✓ Juunoo	Demontabel binnenwandsysteem HERBRUIKBAAR TOEKOMSTSCENARIO	0,9	
✓ Kanaalplaatvloer Circulair	Kanaalplaatvloer excl druklaag (dikte 200 mm) [verdiepingsvloer (overspanning van 5,4 m)]	0,25	
✓ Kanaalplaatvloer traditioneel	Kanaalplaatvloer (200mm) o.b.v. losmaakbare detaillering RECYCLING TOEKOMSTSCENA...	0,63	
✓ Metalstud wand	Staal/aluminiumframe; tweezijdig gipskartonplaat [Gesloten systeemwanden]	0,48	
✓ Sandwichpaneel PIR	Sandwich paneel vlak, staal + PIR; gepoedercoat 55mu [Sandwich panelen]	0,68	

Figure 43 – Bill of materials within BCI Gebouw

Different data is needed to perform the case study. Ideally, all the data is needed to perform the case study. However, not all the data to assess the criteria and the factors to calculate the reusability potential was directly available or determined. This data can only be determined when a real project is started and when you know how the project will be established. Therefore, some data is based on assumptions and experiences from colleagues within Alba Concepts.

The parameters for the Disassembly Index, Technical Lifespan are collected by the Alba Concepts database within BCI Gebouw. The data for the Logistics factor is collected by various general construction websites and the information of the suppliers, for example, the Juunoo website with technical information about their product. The data in the cells within Logistics are the maximum parameters for that product. The category for the Toxicity factor is determined by the researcher by investigating the DGBC report and the C2C Banned List of Chemicals. Data management is assumed that a traditional product has no materials passport, and a circular product has a materials passport. The Contracting factor with the availability of a return guarantee is based on the same assumption as the Data Management factor. And the factor Financial value if there is a residual value of the product is based on knowledge and reference numbers within Alba Concepts. The input data for the base scenarios are displayed in Table 55. Impressions of the products that are used in this case study are displayed in Figure 44, Figure 45 and Figure 46 below.



Figure 44 – Impression of a traditional metal stud wand and the Juunoo wall system

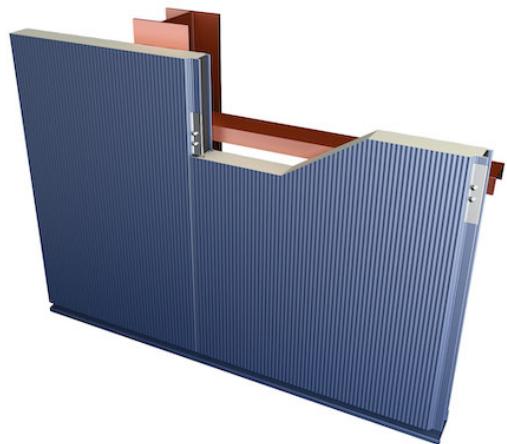


Figure 45 – Impression of a traditional sandwich panel and a Falk CracleCore sandwich panel

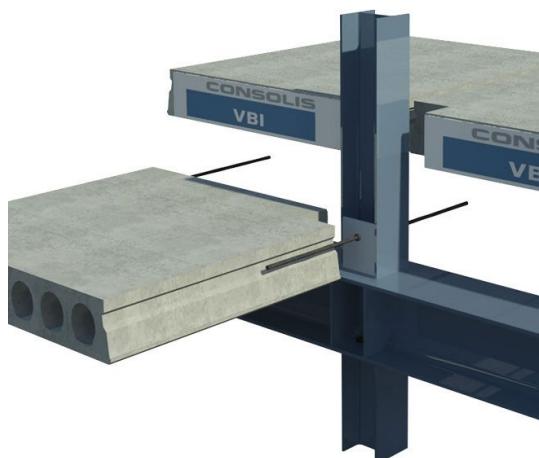


Figure 46 – Impression of a traditional hollow-core slab and a demountable hollow-core slab

Table 55 – Input data for the case study and scenarios

Product	Product name	Disassembly index	Toxicity category	Logistics					Data management	Quality			Financial value	Contracting
				Volume (m³)	Length (m)	Width	Height (m)	Mass (kg)		Technical lifespan	Layer of Brand	Years		
Wall	Metalstud wand	0,48	2	1,21	7,50	1,20	0,28	100	No	25	Space plan	10	No	No
	Juunoo	0,90	4	1,93	3,50	1,10	0,50	10	Yes	25	Space plan	10	No	Yes
Sandwich panel	Pir Sandwich paneel	0,68	3	5,10	19,20	1,20	0,22	1.500	No	50	Skin	20	No	No
	Falk CradleCore	0,68	4	4,80	20,00	1,20	0,20	408	Yes	50	Skin	20	Yes	Yes
Hollow core slab	Kanaalplaatvloer	0,25	3	10,50	17,50	1,20	0,50	11.016	No	75	Structure	100	No	No
	VBI kanaalplaatvloer	0,63	4	10,50	17,50	1,20	0,50	11.016	Yes	75	Structure	100	Yes	Yes

5.6.3 Case study results

To calculate the reusability potential, the case study used the three different weighted averages from the previous chapter. The results of the case study resulted in a number between 0.00 and 1.00. This means that the minimum reusability potential is 0% and the maximum reusability potential is 100%. The data collection resulted in the reusability potential of six products with a base scenario and different scenarios for each product.

5.6.3.1 Traditional product versus Circular product

First, the model is tested on a traditional product and a circular product to find out what happens to the reusability potential when a circular alternative is chosen. The input data in Table 55 and the base scenario of each individual product are used. As described, for the calculation of the reusability potential three different weighted averages are used. These different formulas are shown next to each other in the figures below. Figure 47 shows the results of the first outcomes from the reusability potential tool for the product in the. The traditional product scores very low on the reusability potential because the product cannot be disassembled. Since Disassembly is a pre-condition for the reusability potential this results in a 25% reusability potential for the WAM formula and because a pre-condition is not met it results in a 0% reusability potential for the WHM and WGM formula. Because the circular product has no residual value it has a lower score on the reusability potential in general.

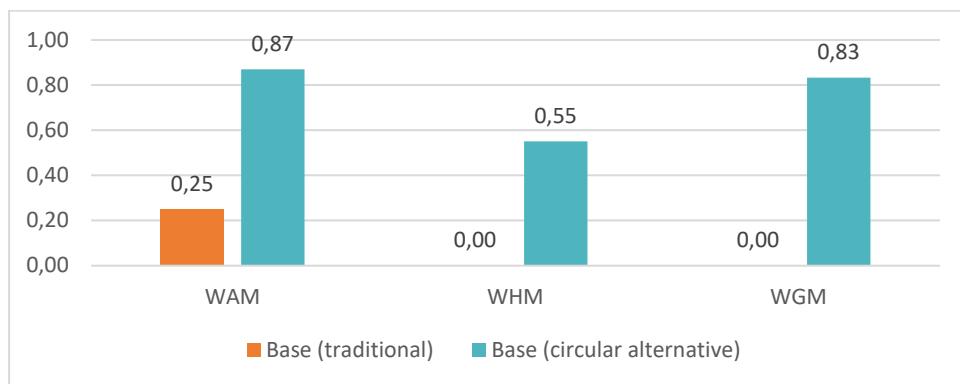


Figure 47 – Result reusability potential Inner walls

The results displayed in Figure 48 are the results from the Skin layer where the traditional sandwich panel is compared to a circular panel. Both panels score equally on the Disassembly index. The traditional PIR sandwich panel get a lower score on the Toxicity factor. However, it is not toxic according to the DGBC report and the C2C Banned List of Chemicals and therefore scores a category 3. The other, not pre-conditional factors have a lower score and therefore resulting in an overall low score. The WHM formula resulting in the lowest reusability potential because the factor with the highest weighting has the most impact on the final result. The Falk CradleCore panel has the maximum score on every factor the reusability potential will be 100%.

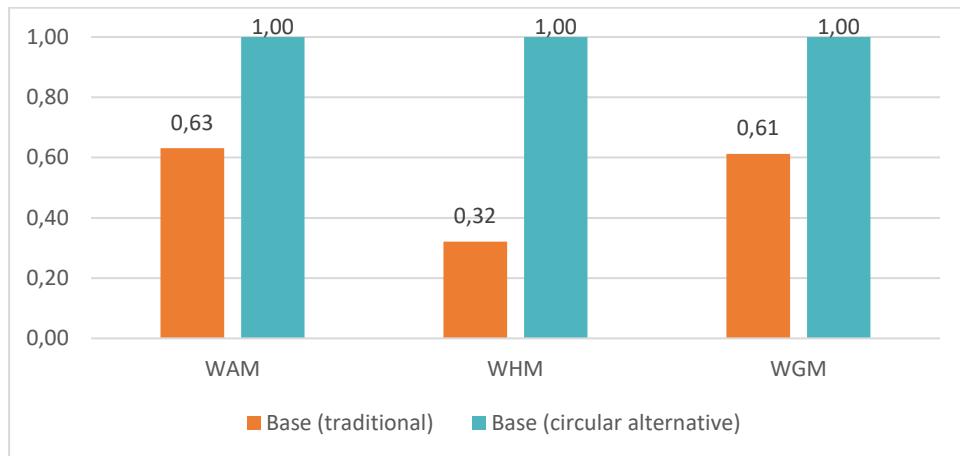


Figure 48 – Result reusability potential Sandwich panel

The results for the Structure layer are displayed in Figure 49. The traditional product has almost the same result as the Space plan layer. The reason is that this product is not demountable. As a result, it scores 22%, 0% and 0% on the reusability potential. On the other hand, the circular has almost a reusability potential of 100%. Because the technical lifespan of the products is lower than the corresponding years from the Layer of Brand where the product belong it will not get a reusability potential of 100%.

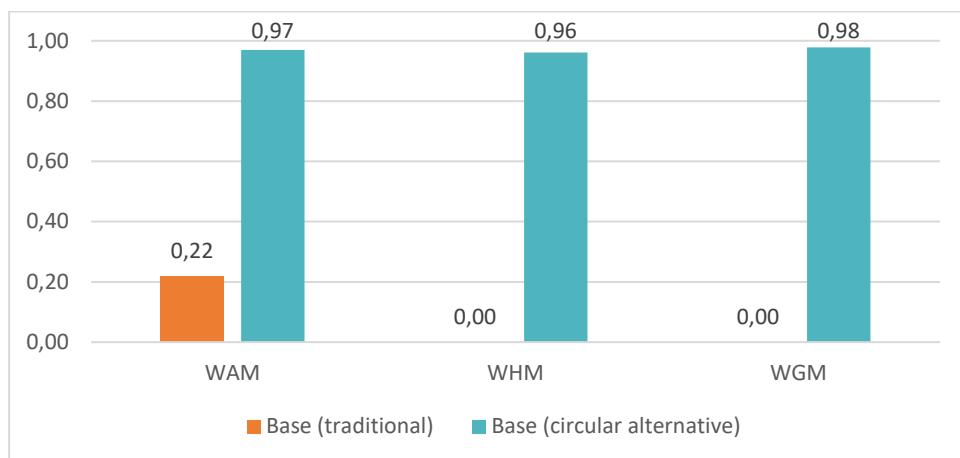


Figure 49 – Result reusability potential Hollow-core slab

5.6.3.2 Product scenarios and sensitivity

Now that the results of the traditional and circular products have been discussed, different scenarios are created for each product. This makes it possible to analyse the impact of adjusting the parameters of a certain factor. Per product, the first calculation of the reusability potential is based on the base scenario. These base scenarios are the same results as discussed in the previous chapter and will not be discussed in this chapter anymore. Four or five scenarios are assessed per product. In some scenarios, only one parameter of a factor is adjusted and in some, several parameters are adjusted. This makes the analysis a combination of sensitivity and scenario analysis. The products and scenarios are discussed below within their Layer of Brand.

Space plan

In Table 56, the results of the four different scenarios of the Metalstud wand are shown. When the product can be disassembled the reusability potential of the WAM will be higher. However, the reusability potential for the WHM and WGM will still be zero because a pre-condition is not met. When the parameters for the Disassembly and Toxicity factor are adjusted there is reusability potential. When the technical lifespan will be lower in practice the reusability potential will be lower. However, this is not as significant as when the product has a positive residual value.

Table 56 – Results of the Metalstud wand scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (traditional)	0,25	0,00	0,00
2. Can be disassembled	0,47	0,00	0,00
3. Demountable and non-toxic	0,63	0,32	0,61
4. Demountable, non-toxic, less lifespan	0,57	0,31	0,58
5. Demountable, non-toxic, with residual value	0,76	0,43	0,73

In Table 57 the results of the Juunoo wall are shown. This contrasts with the Metalstud wand a circular alternative. However, according to references from Alba Concepts it does not have a residual value at this moment. Disassembly is a pre-condition therefore scenario 2 will have a reusability potential of 0% if using the WHM and WGM. For the WAM formula, it scores significantly lower because the factor Disassembly is the most important factor with the highest weighting. When the Juunoo wall will have a residual value then the reusability potential will be 100%. When a return guarantee is not included it will result in a lower score than the base scenarios. However, when no material passport is available this will have a more significant impact on the reusability potential.

Table 57 – Results of the Juunoo wall scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (circular alternative)	0,87	0,55	0,83
2. Cannot be disassembled	0,65	0,00	0,00
3. With positive financial value	1,00	1,00	1,00
4. Return guarantee not included	0,83	0,48	0,79
5. No material passport	0,71	0,36	0,66

Skin

Table 58 the results of the traditional Sandwich panel from PIR are shown. This panel can be disassembled and the toxicity scores on a category 3. However, the non-pre-conditional factors have a low score therefore the reusability potential for the WHM is only 32%. If the product or something within the product is toxic or contaminated the pre-condition is not met and therefore has a 0% reusability potential for the WHM and WGM. For the WAM the reusability is significantly lower. If a material passport will be available this will increase the reusability potential and if a return guarantee is also available, the reusability potential will significantly increase compared to the base scenario.

Table 58 – Results of the PIR Sandwich panel scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (traditional)	0,63	0,32	0,61
2. If PIR is toxic or contaminated	0,47	0,00	0,00
3. Material passport included	0,79	0,47	0,77
4. Passport and return guarantee	0,83	0,54	0,81

In Table 59 the results of the circular alternative Falk CradleCore are shown. The base scenario has a reusability potential of 100%. This panel has the highest score on all the factors. However, when the product cannot be disassembled the reusability potential will decrease for the WAM and will result in a 0% reusability potential for the WHM and WGM. When looking at the WHM a negative residual value will significantly lower the reusability potential. When a return guarantee is not available, or the technical lifespan is lower than given it will also lower the reusability potential.

Table 59 – Results of the Falk CradleCore scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (circular alternative)	1,00	1,00	1,00
2. Cannot be disassembled	0,78	0,00	0,00
3. Negative financial value	0,87	0,55	0,83
4. Return guarantee not included	0,96	0,80	0,95
5. Technical lifespan low	0,91	0,73	0,90

Structure

In Table 60 the results of the scenarios of the traditional Hollow-core slab are shown. Since the Hollow-core slabs cannot be disassembled and are toxic according to the DGBC report, the base scenario, the scenario with positive financial value and the scenario with a return guarantee will result in a 0% reusability potential for the WHM and WGM. When the product can be disassembled it will automatically be non-toxic anymore. The reason for this is that the product is not contaminated with any form of toxic substances. The small change of the toxicity category results in an equally reusability potential for the WAM and WGM.

Table 60 – Results of the Hollow-core slab scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (traditional)	0,22	0,00	0,00
2. If it can be disassembled	0,60	0,32	0,60
3. With positive financial value	0,51	0,00	0,00
4. Return guarantee included	0,42	0,00	0,00

In Table 61 the results of the scenarios of the demountable Hollow-core slab from VBI are shown. If specific transportation is necessary, it will not influence the reusability potential much. When the transportation is not possible it will result in a 0% reusability potential according to the WHM and the WGM because a pre-condition is not met. If a material passport is not available, it will significantly decrease the reusability potential for the WHM. When the return guarantee is not included it will also result in a lower reusability potential.

Table 61 – Results of the VBI Hollow-core slab scenarios

	WAM	WHM	WGM
1. Base (circular alternative)	0,97	0,96	0,98
2. Return guarantee not included	0,93	0,77	0,93
3. If specific transport needed	0,96	0,95	0,97
4. If transportation is not possible	0,91	0,00	0,00
5. No material passport available	0,81	0,49	0,78

A total overview of the results can be found in Appendix 13 – Total results of the case study.

5.7 Sub-conclusion

This chapter has presented the results of the expert panels which, together with the input from the literature and expert interviews, have resulted in the development of the first conceptual model. Furthermore, the results of the case study were presented that have resulted in the development of the optimised second conceptual model and the Reusability Potential Assessment Tool. This provides Alba Concepts with a practical tool to assess the reusability potential of individual building products at an early stage of the building project and support circular decision making in the Built Environment. The conclusion of the two research methods within the Descriptive Study II is described below. Therefore, this chapter provides an answer to sub-question 4 and sub-question 5

5.7.1 Expert panels

The expert panels were conducted to validate the factors and determine the importance of the influencing factors relative to the reusability potential. The validation of the influencing factors resulted in the deletion of two influencing factors. Over-dimensioning is excluded for the assessment of the reusability potential since this factor is very hard to quantify and interferes with the sustainable goals of the future and the factor Standardisation is excluded since there are too many different definitions, and it could not be determined in this research. Furthermore, in order to practically assess the reusability potential, it resulted in adjustments in the assessment propositions. Contracting should in this case only be assessed on the availability of a return guarantee and the Data Management factor should only be assessed on the availability of a material passport since this would have the most impact on the reusability potential.

In addition, the results of the expert interviews identified the importance of the influencing factors relative to the reusability potential. This importance has been turned into a quantifiable weighting by applying the Analytical Hierarchy Process method. It can be concluded that Disassembly and Toxicity are the most important influencing factors. These are also the factors that were mentioned in the expert interviews and the literature research as pre-conditions. Data management also plays a major role in enabling reuse. Remarkable is that the factor Logistics has a low influence on the reusability potential. However, it is a pre-conditional factor according to the literature. When a building product cannot be transported due to its volume or mass, it cannot be reused in another location. Therefore, this factor is implemented as a pre-conditional influencing factor. The Contracting factor for the availability of a return guarantee is the least important according to the expert panels. This is because it is still quite complex to arrange and not all suppliers are prepared for it.

5.7.2 Case study

The case study was conducted to validate the second conceptual model and to test the assessment tool in practice using traditional and circular products. In addition, the weighted average mean formula was tested during the case study. Not all data required for assessing the reusability potential of the product could be acquired for this case study. Therefore, assumptions were made for the data input of the assessment tool. This is because the data required for assessing the reusability potential depends on a particular building project.

The assessment tool needs to be validated by real projects. Because some factors, such as return guarantee are project-specific. Also, the residual value can depend on a project. For

example, one product can have a negative residual value. However, when 100 products are part of the project it could result in a positive residual value. This is a drawback of the case study conducted in this research. It is therefore recommended that the assessment tool should be further tested by using an actual project case. Nevertheless, by applying the scenario and sensitivity analysis, it was possible to obtain significant results.

Another drawback is the assessment of the Toxicity factor. Because toxicity is a very comprehensive factor, it was difficult to make a concrete assessment based on the four categorisations provided. The DGBC report and the C2C Banned List of Chemicals were able to determine reasonably well whether a product is toxic or non-toxic. However, the other categories were still a bit ambiguous. Further research into the direct influence of toxicity on reusability is therefore highly recommended.

Furthermore, three different weighted average formulas were assessed during the case study. The case study was also aimed to provide insight into which formula would best suit the practice. From the research can be concluded that the Disassembly, Toxicity and Logistics factor serve as pre-conditional factors that will result in a no reusability potential for a product. Therefore, it is not recommended to use the Weighted Arithmetic Mean to assess the reusability potential. It almost results in the same outcome as using the Weighted Geometric Mean. However, it does not include the pre-conditional factors as a threshold for a positive reusability potential.

The Weighted Harmonica Mean and Weighted Geometric Mean can both be used to assess a zero outcome on the reusability potential. However, it can be concluded that the factors with the highest importance should have the most impact on the assessment of the reusability potential. This is also suggested by the expert panels. Therefore, the Weighted Harmonic Mean is expected to best suit in practice. Extra validation of this weighted average is however recommended. This weighted average will result in the lowest reusability potential. However, it is better to not be too optimistic when it comes to this deliberate assessment.

6 Conclusion

This research aims to provide insight into the factors that influence the assessment of the reusability potential of building products and how these factors can be applied through the development of a practical assessment tool. To achieve the aim of this study, a literature study, nineteen expert interviews, six expert panels and a case study were conducted. These research methods were carried out in order to answer the main research question, which states:

How can the reusability potential of building products be assessed in an early stage of a building process by developing an assessment tool?

First of all, this main research question was divided into sub-questions. Therefore, in order to answer the main research question, the sub-questions need to be answered. After that, the contribution of this research will be discussed by examining the scientific and social relevance. Finally, limitations of this research will be identified and recommendations for further research and improvement will be given.

6.1 Answers to the research questions

Reusability is a key aspect for enabling and promoting a circular economy in the future. However, it is also clear that this is a complex concept at the same time. This research shows that factors can be applied to assess the reusability potential of building products by developing an assessment tool. These findings are supported by answering the sub-questions below.

Sub-question 1: What is the reusability potential and why is it a key characteristic of the circular economy?

The circular economy consists of three integrated parts (Figure 3) that are based on the Cradle-to-Cradle concept. The biological cycle, the economic model, and the technical cycle. Reusability is part of the technical cycle, and it can be concluded that the shorter the feedback loops are, the better the circularity. Therefore, products need to be reused at the highest level possible. The purpose of the circular economy is to keep resources, materials, and products in use as long as possible, thereby eliminating waste at the end of their lifespan. This enables the preservation of the optimal value in the environment. In order to make this possible, it is necessary that products can be reused as high-value products. The reusability potential determines the possibility that a building product may be reused at the end of the lifespan. However, there is still a chance that the building product will not be reused due to crucial circumstances.

Sub-question 2: Which factors influence the reusability potential of building products?

Based on the literature, a total of nineteen factors were identified that influence the reusability. After the literature review, expert interviews were conducted in seven different working fields to validate these factors and gain additional knowledge and insights. Based on the expert interviews, a total of twenty-three factors were identified. The data collected from the literature was to a great extent in line with the data collected from the expert interviews. The main differences are described and identified in this research. Table 62 shows an overview in order to answer this sub-question.

Table 62 – Comparison literature and interview factors

Factors in the literature	Factors from the expert interviews
Adaptivity	Adaptivity
Aesthetic	Aesthetic
Certification	Certification
Data management	Contracting
Dematerialisation	Data Management
Development	Design
Disassembly	Disassembly
Financial	Financial
Geographical	Guarantees
Guarantees	Law and regulations
Law and regulations	Logistics
Logistics	Maintenance
Material quality	Over-dimensioning
Standardisation	Quality
Storage and third markets	Repairability
Supply and demand	Standardisation
Time	Supply and demand
Toxicity	Taxes
Willingness	Technical developments
	Time
	Toxicity
	Value
	Willingness

Sub-question 3: Which of the influencing factors can be determined to assess the reusability potential?

The most preferred option is to implement all twenty-three influencing factors in a comprehensive model for determining the reusability potential. If all influencing factors were implemented to determine the reusability potential, the research and assessment tool would become too complex. Therefore, the nine most important influencing factors are identified based on the literature review, the expert interviews, and the measurability according to expert opinions. From the results of the expert panels and the determination of the influencing factors, it can be concluded that two factors (Over-dimensioning and Standardisation) could not be implemented in the model.

All the factors that could not be implemented and are excluded from the assessment are described and motivated in this research. Some of these factors serve as overarching pre-conditions for enabling reusability. Moreover, these factors will either make or break the reusability of building products, although the reusability potential is very high. However, these factors cannot be determined or quantified and are too dependent on the matter of time. In total seven influencing factors are deliberately selected that are determined for the assessment of the reusability potential. The following influencing can be determined to assess the reusability potential in this research:

- Disassembly: Disassembly potential of a product
- Data management: Availability of a materials passport
- Toxicity: If a product is toxic
- Quality: Technical lifespan relative to the building system layer
- Financial value: Residual value of a building product
- Logistics: Transportability of building products
- Contracting: Availability of a return guarantee

Sub-question 4: What is the importance (weights) of these influencing factors relative to the reusability potential?

An important part of this research was to investigate the influencing factors. In addition, the aim was to assess the importance of these factors in order to determine which factors have the most impact on the reusability potential. These weights were determined by performing an extensive Analytical Hierarchy Process on the results from the expert panels. It can be concluded that Disassembly and Toxicity have the most impact on the reusability potential. These were also mentioned as pre-conditional factor to enable and assess the reusability. Data management also has a significant impact on the reusability potential due to the availability of a materials passport. The Logistics factor has a relatively low importance on the reusability potential according to the expert panels. However, this factor should be a pre-conditional factor according to the literature. In Table 63, the influencing factors with their relative importance (weights) are shown.

Table 63 – Influencing factors with their relative importance

Influencing factor	Relative importance (weighting)
Disassembly	1,00
Toxicity	0,91
Logistics	0,29
Data management	0,86
Quality	0,55
Financial value	0,70
Contracting	0,20

Sub-question 5: How can the influencing factors be applied in an assessment tool in order to assess the reusability potential of a building product?

This research developed a tool for assessing the reusability potential. The total reusability potential of a building product is assessed by determining the influencing factors and the assessment criteria. Per factor, the assessment criteria are being defined based on the information that is collected about the product (data input). The factors are individually assessed based on the assessment criteria and will result in an overall average. Because the relative importance of the influencing factors is determined, it can be concluded which factors have the most impact on the reusability potential. Therefore, a weighted average must be determined as well because the weighting of the factors must be included in calculating the overall average. The expert interviews and expert panels indicated that the influencing factors with the most impact should be weighted more heavily in the final outcome of the reusability potential. This implies that the Weighted Harmonic Mean should be used to calculate the reusability potential. The influencing factors were finally combined into a practical assessment tool for assessing the reusability of building products.

6.2 Contribution of this research

In this chapter, the contribution of this research is presented by describing the scientific and societal relevance of this research.

6.2.1 Scientific relevance

This research validates the factors that influence the reusability potential of a building product by using a literature study, expert interviews, and expert panels. Therefore, it emphasises the factors that must be considered when assessing the reusability potential. In order to assess the reusability potential, a practical assessment tool is provided that indicates the potential that a new building product can be reused at the end of its lifespan. Furthermore, the input from the expert panels has enabled the determination of the importance of the influencing factors, providing insight into which factors have the most impact on the reusability of building products. Finally, this research is of scientific relevance due to the limited publications about the reusability and the growing popularity of the upcoming circularity topics. Therefore, this research can be used as valuable input for further research.

6.2.2 Societal relevance

The ever-growing world population is also requiring more and more raw materials. Unfortunately, the earth is running out of resources and a transition from a linear to a circular economy is inevitable. A move towards a circular economy not only benefits the shortage of raw materials but also has social and financial benefits. On the one hand, a lot of investment is needed in research, innovations, and pilot project in the short term. On the other hand, this will definitely pay off in the long term. The reuse of products is one of the keys to success to achieve a circular economy.

Until now, there was no existing method or tool for determining the reusability of building products by assessing the most important influencing factors. This research aims to address this gap by developing an assessment tool that assesses several influencing factors in order to assess the overall reusability potential of a building product. This assessment tool can be used in practice to support and manage decision making for more circular and sustainable building products. It helps Alba Concepts and scholars to assess the reusability potential of individual building products at an early stage of the building project. Overall, this research and assessment tool contributes to the big challenge we are facing today of making circularity in the built environment measurable and the move towards a circular economy by 2050 for the Netherlands.

6.3 Limitations and recommendations

Besides the scientific and social contribution of this research, there are also limitations. The limitations are described below with recommendations for further research.

Limited scope of this research

The reusability potential can be determined at different levels. For example, at the product level, the building level, and the element level. This research only focused on the assessment of the reusability potential on a product level that uses the products from the Nibe and Alba Concepts database. The influencing factors are also determined relative to the assessment on a product level. It would be recommended to investigate if this assessment tool can be used on other building levels and or other stages of the building process, by changing or modifying

some of the influencing factors or criteria. For example, Adaptivity should be added when the reusability potential of a whole building is assessed and the NEN2767 condition measurement might be useful for determining the Quality factor of a building product during the use or demolition stage.

Limited research on the final influencing factors

According to the literature and expert interviews, a total of 25 factors are identified that influence the reusability. This research has not been able to implement all factors in an assessment tool and only seven factors were implemented. Therefore, it is recommended to conduct further research into the factors that have not been implemented and how they can be determined in relation to the reusability potential. Ideally, all 25 factors should be assessed in one comprehensive assessment model in order to provide the reusability potential.

The factors that have been determined in this study have only been investigated to a limited extent. Each of these factors can be a research object on its own. Therefore, it is recommended to conduct further research on the factors that have been determined and implemented in this research. In addition, it is expected that some factors may strengthen or weaken each other. However, this research has not been able to investigate the correlations and causation among the factors. Therefore, it is recommended to investigate what the correlations and causations are among the influencing factors.

Excluding the overarching factors

The overarching factors (Time, Supply and Demand, Design and Willingness) are not implemented in this assessment tool, although they do have an important role in enabling reusability. Further research is required into the exact influence of these factors and what impact it has on the potential of reusing products. This also concerns the stakeholders that influence the potential for reuse, such as the government, architects, and demolishers.

Limited detail assessment

This research is focused on the product level within a building and the information is based on the products from the Alba Concepts database. However, the Metalstud wand and Juunoo consist of several small products. This level of detail is too low to identify in this research. However, it is possible that the insulation within the Metalstud wand is toxic. In this research, the whole wall will be assessed as toxic. It is recommended to investigate if the products and the disassembly index can be determined on a lower detail level.

Lack of validation of the results

It is not clear whether the reusability potential is an accurate representation of reality. It is still a prediction for the future. Further research is recommended to have more products validated and put the assessment tool into practice.

Integration in existing Circularity measurement tools

The assessment tool for assessing the reusability potential is a stand-alone model. However, reusability is essential to enable a circular economy in order to achieve the social challenges we are facing today. Therefore, a next step should be to integrate this tool into existing measuring instruments for the circularity of buildings. Since the Alba Concepts database and reference numbers are used for this assessment tool, it is recommended to integrate this tool

into BCI Gebouw. The assessment tool in this research can be integrated as a supporting tool for determining the future scenario of the material output in the Material Circularity Indicator that is part of BCI Gebouw. Currently, there is no support for the material output and no distinction is made between reuse, recycle, remanufacture, and recover. The assessment tool could also be used as an integral part of BCI Gebouw by adapting the influencing factors or the reusability potential. For example, Disassembly is already part of BCI Gebouw. Therefore, adjustments must be made. Further research is recommended to determine how this model can be integrated into BCI Gebouw.

Limited validation and data requirements

The assessment tool has only been validated once by conducting a case study. No actual project data was used to conduct the case study. Only scenario and sensitivity analysis has been used. The assessment tool uses three different weighted average mean formulas in order to assess the reusability potential. While this research provides a suggestion of the formula that should be used, it has not been validated in this research. It is recommended to validate this assessment tool with actual project data input in order to validate whether the chosen formula (Weighted Harmonic Mean) is the appropriate formula to apply in practice.

References

- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>
- Alba Concepts. (2021). *Circulair bouwen*. <https://albaconcepts.nl/circulairbouwen/>
- Bastein, T., Roelofs, E., Rietveld, E., & Hoogendoorn, A. (2013). *Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands. Report commissioned by the Netherlands Ministry of Infrastructure and Environment*. <https://www.tno.nl/media/8551/tno-circular-economy-for-iemn.pdf>
- BCI Gebouw. (2021). *Uitgebreide toelichting BCI Gebouw*. <https://bcigebouw.nl/uitgebreide-toelichting/>
- Beurskens, P., & Durmisevic, E. (2017). Increasing reuse potential by taking a whole life-cycle perspective on the dimensional coordination of building products. *Vital Cities and Reversible Buildings: Conference Proceedings, October*. https://www.researchgate.net/publication/320281675_Increasing_reuse_potential_by_taking_a_whole_life-cycle_perspective_on_the_dimensional_coordination_of_building_products
- Blessing, L. T. M. M., & Chakrabarti, A. (2009). DRM: A Design Research Methodology. *DRM, a Design Research Methodology*, 13–42.
- Brand, S. (1994). *How buildings learn : what happens after they're built*. Viking.
- Calderon, M. L. (2010). *The design research methodology as a framework for the development of a tool for engineering design education*.
- Camarinha-Matos, L. M., Falcão, A. J., Vafaei, N., & Najdi, S. (2016). *Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study*. 470(October 2017), 127–134. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4>
- Circle Economy, TNO, & Fabric. (2015). *Amsterdam Circular - A Vision Roadmap for the City and Region* (Issue October). https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5ede5a03e4cd056426b86d8b_20152115-Amsterdam%20scan%20-%20report%20EN%20web%20single%20page%20-%20297x210mm.pdf
- Circo. (2020). *Ontwerp strategieën*.
- Coenen, T. (2019). *Circular bridges and viaducts - Development of a circularity assessment framework*.
- Cohen, D., & Crabtree, B. (2006). *Qualitative Research Guidelines Project*. <http://www.qualres.org/HomeSemi-3629.html>
- Coyle, G. (2004). The Analytic Hierarchy Process Introduction. *Pearson Education*, 1980, 11. <https://link.springer.com/content/pdf/bbm%3A978-3-319-33861-3%2F1.pdf>
- Cramer, J. (2014). *Elementaire deeltjes 16 - Milieu*. Athenaeum.
- De Vree, J. (n.d.). *Overdimensionering*. <https://www.joostdevree.nl/shtmls/overdimensionering.shtml>
- Duffy, F. (1990). *Measuring building performance*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/EUM0000000002112>
- Durmisevic, E. (2006). *Transformable Building Structures - Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*.
- Durmisevic, E., Beurskens, P., Adrosevic, R., & Westerdijk, R. (2017). *Systemic view on reuse potential of building elements, components and systems-comprehensive framework for*

- assessing reuse potential of building element. June, 275–280.*
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy - Economic and Business Rationale for an Accelerated transition.*
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity Indicator - An approach to measuring circularity.*
https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Methodology_May2015.pdf
- EPS Permits. (2021). *Uitzonderlijk transport Nederland.*
<https://www.epspermits.com/nl/uitzonderlijk-transport-nederland/>
- European Environment Agency. (2020). *Construction and Demolition Waste : challenges and opportunities in a circular economy. January, 8.*
https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges/at_download/file
- Finan, J. S., & Hurley, W. J. (2002). The analytic hierarchy process: Can wash criteria be ignored? *Computers and Operations Research*, 29(8), 1025–1030.
[https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(00\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(00)00100-3)
- Fuelcycle. (2021). *A Quick Guide to Semi-Structured Interviews.* <https://fuelcycle.com/blog/a-quick-guide-to-semi-structured-interviews/>
- Gladek, E. (2019). *The Seven Pillars of the Circular Economy.*
<https://www.metabolic.nl/news/the-seven-pillars-of-the-circular-economy/>
- Government of the Netherlands. (2019). *Circular Dutch economy by 2050.*
<https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050>
- Heijer, R., & Kadijk, J. (2020). *Verkenning schone en smet(te)loze materiaalstromen.*
- Hobbs, G., & Adams, K. (2017). *Reuse of building products and materials – barriers and opportunities. June.*
- Hummel, J. M., Bridges, J. F. P., & IJzerman, M. J. (2014). Group decision making with the analytic hierarchy process in benefit-risk assessment: A tutorial. *Patient*, 7(2), 129–140.
<https://doi.org/10.1007/s40271-014-0050-7>
- Issar, A. (2008). *Exploring and evaluating factors affecting success of Iranian e-commerce web sites using fuzzy analytic hierarchy process A.* <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1023145/FULLTEXT01.pdf>
- Khodeir, L. M., & Othman, R. (2018). *Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry.*
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.12.005>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kozminska, U. (2019). *Circular design: Reused materials and the future reuse of building elements in architecture. Process, challenges and case studies.*
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012033>
- Kuppevelt, M. Van, & Stoutjesdijk, P. (2020). *Indicatoren voor circulariteit in de Bouw.*
- Litman, T. (2011). Measuring Transportation - Traffic, Mobility and Accessibility. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers).*
- Meuffels, J., & Hoppe, F. (2021). *Circulaire materialen in de bouw.*
- Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2017). *Practical Decision Making An Introduction to the Analytic*

- Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions* (Issue 9). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-33861-3>
- Nederland Circulair. (2015). *High-Value Reuse in a Circular Economy*.
<https://www.circulairondernemen.nl/uploads/27102a5465b3589c6b52f8e43ba9fd72.pdf>
- NEN. (1996). *NEN 2660:1996 - Ordeningsregels voor gegevens in de bouw - Termen, definities en algemene regels*.
- Overheid. (2015). *Beleidsregel Ontheffingverlening exceptionele transporten RDW 2015*.
<https://wetten.overheid.nl/BWBR0035903/2021-02-01>
- Park, J. Y., & Chertow, M. R. (2014). Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. *Journal of Environmental Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.053>
- Plaha, S. (2020). *The circular economy: goodbye to ‘take, make, dispose’, hello to a well-intentioned generation*. <https://www.paconsulting.com/insights/the-circular-economy-goodbye-to-take-make-dispose--hello-to-a-well-intentioned-generation/>
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2018). *Circulaire economie - Wat we willen weten en kunnen meten*.
- Platform CB'23. (2019a). *Framework Circulair Bouwen*.
- Platform CB'23. (2019b). *Kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw*.
- Platform CB'23. (2020a). *Circulaire Bouw: eenduidige termen en definities*.
- Platform CB'23. (2020b). *Meten van circulariteit - Werkafspraken voor een circulaire bouw*.
- Platform CB'23. (2020c). *Paspoorten voor de Bouw*.
- Platform CB'23. (2021a). *Circulair inkopen in de bouw*.
- Platform CB'23. (2021b). *Circulair ontwerpen*.
- Rajan, V., Sridharan, R., & Kumar, P. N. (2019). Supply chain risk inter-relationships and mitigation in Indian scenario: An ISM-AHP integrated approach. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 32, 548–578.
<https://doi.org/10.1504/IJLSM.2019.10019775>
- RDW. (2012). Overzicht maten en gewichten in Nederland. *Regeling Voertuigen*, 5.18.11, 3.
[http://www.rdw.nl/SiteCollectionDocuments/Ontheffingen \(TET\)/ThemasiteOntheffingen/Handleidingen/2 B 1097b Overzicht maten en gewichten.pdf](http://www.rdw.nl/SiteCollectionDocuments/Ontheffingen (TET)/ThemasiteOntheffingen/Handleidingen/2 B 1097b Overzicht maten en gewichten.pdf)
- Recycling. (2019). *Recycling niveaus*. <http://www.recycling.nl/>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020). *R-ladder meet circulariteit*.
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/r-ladder>
- Rood, T., Kishna, M., Dassen, T., Dignum, M., Hanemaaijer, A., Prins, A. G., & Reudink, M. (2019). *Circulaire economie in kaart*. <https://www.pbl.nl/publicaties/circulaire-economie-in-kaart>
- Rubaie, T. Al. (2002). The rehabilitation of the case-study method. *European Journal of Psychotherapy & Counselling*, 5(1), 31–47.
<https://doi.org/10.1080/13642530210159198>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services*

- Sciences Int. J. Services Sciences*, 1, 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Schut, E., Crielaard, M., & Mesman, M. (2015). *Circular economy in the Dutch construction sector*.
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2020). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2020/07/Bepalingsmethode-Milieuprestatie-Bouwwerken-juli-2020.pdf>
- Ten Bosch, W. S., Levels-Vermeer, J. B., & De Graaff, S. A. (2019). *Indicatoren van circulariteit gebouwen en GWW-werken*.
- van der Leest, A. (2018). *Mooi die materiaalspoorten, maar hoe zit het met de restlevenstijd van materialen?* <https://www.crow.nl/blog/september-2018/mooi-die-materiaalspoorten,-maar-hoe-zit-het-met>
- van der Palen, J., & Luijten, C. (n.d.). *Circulair ontwerpen*.
- Van Dijk, E. (2018). *Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen*.
- Van Oppen, C. (2017). *Circulair: meer dan een verandering van vocabulair*. <http://www.copper8.com/circulair-vocabulair/>
- Van Vliet, M. (2018). *Disassembling the steps towards Building Circularity*.
- Van Vliet, M., Grinsven, J. van, & Teunissen, J. (2021). *Circular Buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0*.
- Verberne, J. J. H. (2016). *Building Circularity Indicators – An approach for measuring circularity of a building*.
- Wang, Y. M., & Elhag, T. M. S. (2006). An approach to avoiding rank reversal in AHP. *Decision Support Systems*, 42(3), 1474–1480. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.12.002>
- Wautelet, T. (2018). *Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach*. February, 177. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17085.15847>
- Webster, M. D., & Costello, D. T. (2005). Designing Structural Systems for Deconstruction: How to extend a new building's useful life and prevent it from going to waste when the end finally comes. *Greenbuild Conference*.
- Wijnmalen, D. J. D., & Wedley, W. C. (2008). Non-discriminating criteria in the AHP: Removal and rank reversal. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15(5–6), 143–149. <https://doi.org/10.1002/mcda.430>

Appendices

Appendix 1 – Circularity measurements	122
Appendix 2 – Literature grid.....	128
Appendix 3 – Expert interview guideline Dutch.....	130
Appendix 4 – Expert interview guideline English.....	131
Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts	132
Appendix 6 – Expert panel entry sheet influencing factors	186
Appendix 7 – Expert panel entry sheet criteria	187
Appendix 8 – Consent letter.....	188
Appendix 9 – Qualitative analysis influencing factors	192
Appendix 10 – Expert panel entry sheet results	194
Appendix 11 – AHP analysis and results influencing factors.....	200
Appendix 12 – AHP analysis and results criteria	201
Appendix 13 – Total results of the case study	204

Appendix 1 – Circularity measurements

Measuring the circularity

As described in the previous chapters, it is important to make the transition to a circular economy in order to ultimately achieve the 2050 goal in the Netherlands. To achieve this, the challenge is to translate the circular economy into a concept with operational measurements. The goal of making a circular economy measurable is to get insight into how circular a building actually is. Daily decisions like material use, product design, recycling options are linked to the goals of the circular economy for measuring as an important part (Alba Concepts, 2021; Nederland Circulair, 2015).

Various studies have already been conducted to measure the circularity. In this study, some measurement methods are discussed and explained. One of the first measurement methods for measuring the circularity was the Material Circularity Indicator (MCI) developed by the Ellen MacArthur Foundation in 2015. After that, in 2016, Verberne developed the Building Circularity Indicators. This approach for measuring the circularity was based on the MCI but focused on the construction sector. In 2018, van Vliet redeveloped the Building Circularity Indicators and focused on the assessment of the disassembly. The studies from Verberne and van Vliet were used to develop the Building Circularity Index. This method will be used as BCI Gebouw during this research. Furthermore, Platform CB'23 is also developing a core method to measure the circularity in the construction sector. A core method for measuring the circularity has added value besides measuring the sustainability (Platform CB'23, 2020b). The different measurement methods are briefly explained with their strengths and weaknesses.

Material Circularity Indicator (Ellen MacArthur Foundation, 2015)

The MCI methodology is a tool to measure the circularity at the product level. The MCI measures the extent of the linear and restorative flow for the component materials and compares the lifespan and intensity from use with similar industry average products. It is focused on the restoration of materials flow from product and company level. It is based on the four principles:

- Using feedstock from reused or recycled sources;
- Reusing components or recycling materials after the use of the product;
- Keeping products in use longer (e.g., by reuse/redistribution);
- Making more intensive use of products (e.g., via service or performance models).

The result of this method is the MCI indicator. This indicator is mainly constructed from the mass of virgin raw materials in manufacturing (material input), mass of unrecoverable waste for the product (material output) and the utility factor that indicates the intensity and lifespan of a product (lifecycle). The indicators give a score between 0 and 1 for representing the circularity. 1 mean fully circular and 0 means fully linear. Within the MCI the reusability is not established and it is assumed that reuse has an efficiency of 100% (Ellen MacArthur Foundation, 2015) and the MCI focuses on the material flows instead of the reusability of components or products. Furthermore, the MCI is more applicable for consumer products than for public assets such as the construction sector (Coenen, 2019; Kuppevelt & Stoutjesdijk, 2020) and only focuses on stocks of materials.

Building Circularity Indicator / BCI (Verberne, 2016)

Verberne's BCI model is a method developed to make the circularity of the construction sector measurable. This model is based on 11 circularity Key Performance Indicators (KPI's) and categorised in technical requirements, drivers, and preconditions. This method is based on the MCI from the Ellen MacArthur Foundation (2015) which is translated to the construction sector and the Disassembly Determining Factors from Durmisevic (2006). The BCI from Verberne is calculated in four steps. The Material Circularity (MCI), Product Circularity Indicator (PCI), System Circularity Indicator (SCI) and Building Circularity Indicator (BCI). The steps are described below:

- The first step is to calculate the MCI. This indicator is based on the MCI of Ellen MacArthur Foundation (2015) but is more simplified. The MCI can be determined by the input, utility, and output. The material input of virgin or non-virgin materials, the technical lifespan for the utility and the material output of reusable or non-reusable (energy recovery or landfill) materials.
- The second step is calculating the PCI. The PCI is calculated by the MCI and the interfaces and connections between the products. Those interfaces and connections were represented by the Disassembly Determining Factors. Eventually, seven factors were adopted in the BCI to assess the disassembly potential.
- After that, the SCI is an aggregation of the MCI's and PCI's of all products toward one systematic value. These are categorized by the Layers of Brand (chapter 2) and the product mass has been used as a normalising factor.
- Finally, the BCI is calculated by aggregation of all the SCI's into one total score. This total score is eventually corrected by the level of importance according to the Layers of Brand. Verberne (2016) stated that systems with a short lifetime are more important than systems with a long lifetime

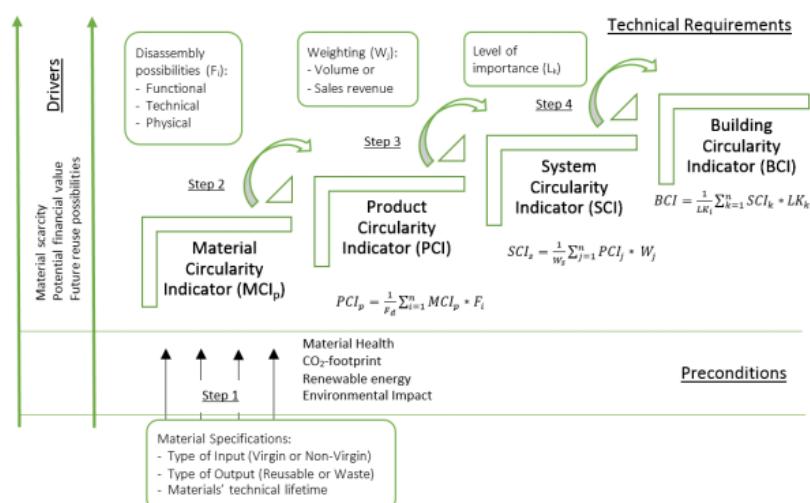


Figure 50 – BCI model of Verberne (2016)

Building Circularity Indicator / BCI 2.0 (Van Vliet, 2018)

The BCI model of Verberne (2016) was further developed by Van Vliet (2018). Especially the determination of the disassembly potential within the PCI is totally changed. As stated in the research of Verberne (2016) the interfaces and connections between the products are important to determine the circularity of a building. In this model from Van Vliet (2018) (Figure 51) the same four steps are determined but the calculation of the PCI, SCI and BCI are changed.

- The MCI is still calculated according to the MCI from the Ellen MacArthur Foundation (2015). Material input, utility, and material output.
- The PCI is calculated by the MCI multiplied by the Disassembly Potential (DP). The disassembly potential is assessed by using relational patterns of products from a detailed drawing. This is a two-dimensional technical representation of a junction in a building. This method will enable the assessment of all products and related connections of that product. The seven disassembly factors were distinguished between the connection disassembly factor and the product disassembly factor.
- The SCI is calculated by multiplying the MCI and the DP from the system as a whole. In contrast to the BCI model from Verberne (2016) the products in this model are grouped in systems by either determining a disassembly potential threshold or the reusability of the system instead of using the Layers of Brand and the normalizing factor.
- The BCI is an aggregation of the PCI and the SCI of the products and systems. The PCI represents products, and the SCI represents a collection of products. Furthermore, because the SCI step is changed, products can be categorized in multiple Layers of Brand. Therefore, the relative importance is not a part of this model anymore. The results of the BCI are normalised with a normalizing factor (e.g., weight, price, and volume).

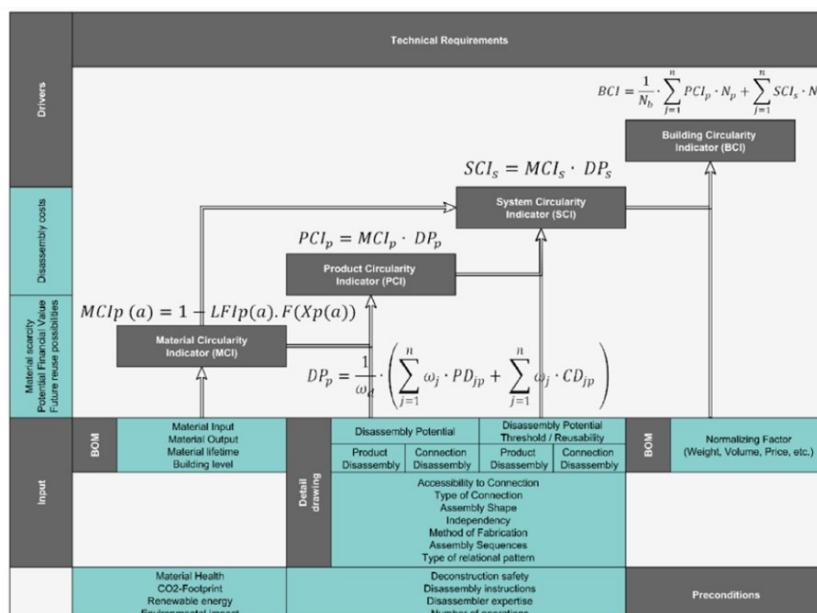


Figure 51 – BCI model of Van Vliet (2018)

Building Circularity Index / BCI Gebouw (BCI Gebouw, 2021; Van Vliet et al., 2021)

Based on the studies of Verberne (2016) and van Vliet (2018), Alba Concepts developed the Building Circularity Index. This measurement method has been translated into a platform called BCI Gebouw, an online tool to measure the circularity of a building. This method is also based on the four steps of previous studies. However, there are some changes made during the process of the measurement.

MCI

The MCI is also calculated by the material input, output, and lifespan. The material input is determined by the percentage of new, recycled, reused and biobased material. The material output is determined by the percentage of landfill, incineration, recycling and reusing. And the lifespan is calculated by the technical lifetime and the functional lifetime. The MCI represents the circular potential of a product, regardless of the way it is assembled in a building.

Disassembly Index (DI)

The Disassembly Index (DI) is calculated by four technical disassembly factors divided in two categories. See Figure 52 for a representation of the categorisation. The disassembly index of the connection represents the possibility to disassemble a product or an element at the end of the life of a building. This consists of the type of connection and the accessibility of the connection. The disassembly index of the composition represents the ease to disassemble a product in mid-term (e.g., renovation, repair, deletion of products). This consists of crossings and edge closures (Van Vliet et al., 2021).



Figure 52 – Determination of the disassembly index of a product (Van Vliet et al., 2021)

PCI

Then the PCI is calculated with the MCI and the DI. It is the square root of the MCI multiplied by the DI. The PCI represents the circular potential of a product when it is assembled in a building.

ECI

The ECI is also calculated by the MCI and the DI. In contrast to the BCI model from Verberne (2016) and van Vliet (2018) this model is using elements instead of systems. “An element is a component consisting of several products that arrive at the construction site as one assembled piece.” (BCI Gebouw, 2021). Therefore, it is possible that a product that cannot be disassembled within an element, that the element on its own is easy to disassembly. An example of an element is an HSB element or a prefab façade with frames and stone strips. An element has its own composed MCI and DI.

BCI

Finally, the BCI is a weighted average of all the products with the Milieu Kosten Index (MKI) as a normalising factor. This is an index for the total environmental impact of a product, from cradle to grave. Therefore, products with a relatively high environmental impact have a bigger share in the final BCI score. The MKI that is used in BCI Gebouw is an indicative MKI and not based on the SBK method (Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken) from (Stichting Nationale Milieudatabase, 2020).

BCI Gebouw is the most advanced version of the Building Circularity Indicators from Verberne (2016) and due to the research from Van Vliet (2018), the disassembly index is also elaborated within BCI Gebouw. The disassembly index is essential for the possibility to reuse a product and enables material reutilisation (Durmisevic et al., 2017; Van Vliet, 2018; Van Vliet et al., 2021).

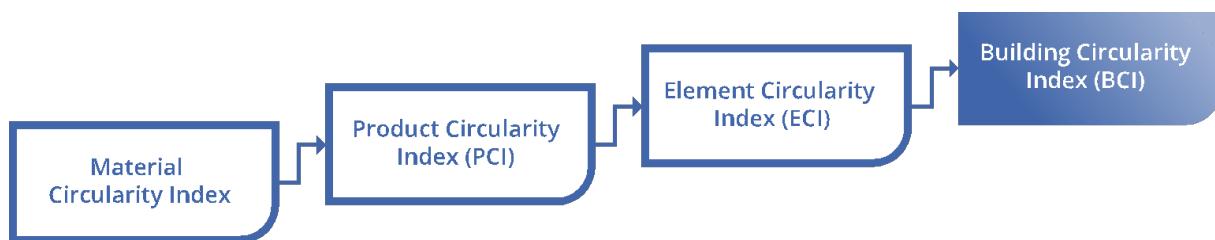


Figure 53 – BCI Gebouw model (BCI Gebouw, 2021)

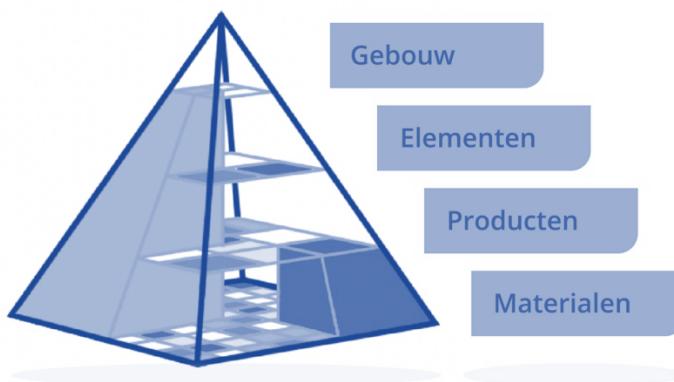


Figure 54 – Building layers BCI Gebouw (BCI Gebouw, 2021)

Core measurement method (Platform CB'23, 2020b)

Platform CB'23 is an organisation initiated by Rijkswaterstaat, Rijksvastgoedbedrijf (The Dutch Central Government Real Estate Agency), De Bouwcampus and NEN (Netherlands Standardization Institute). This organisation is committed to making uniform agreements on circularity with various stakeholders in the construction sector (e.g., designers, suppliers, constructors, scholars, clients). The agreements are no formal standards, but rather working agreements for measuring circularity in the construction sector (buildings sector and civil engineering sector). The aim is to achieve more uniformity by developing a core measurement method. This core measurement method is based on three key goals for the transition to a circular construction. Namely, to protect stock of materials, environmental protection, and value retention. According to these key goals they set up a list of 7 core indicators created with 34 individual indicators. The 7 core indicators are listed below:

1. The quantity of materials used (input)
2. The quantity of material available for the next cycle (output)
3. The quantity of material lost (output)
4. Impact on the environment
5. The quantity of initial value (input)
6. The quantity of value available for the next cycle (output)
7. The quantity of existing value lost (output)

The measurement for core indicators 1 till 3 (protect the stock of materials) is mainly based on materials balance in the environmental impact analyses, also known as Life Cycle Analysis (LCA). The indicators in core indicator 4 (environmental protection) are based on the SBK Method and the European life cycle analysis method for the construction sector (NEN-EN 15804). For the measurement of indicators 5 till 7 (value retention) there was no existing measurement method. Therefore, the action team of Platform CB'23 has developed their own method for those indicators. A limitation of this measurement method is that all indicators are measured individually from each other, and no overall total score is calculated in the end. In addition, the adaptive capacity of a building can only be determined in a qualitative manner and only focuses on the structure/building scale level. This measurement method is not suitable for making a fully circular assessment of a project, but the core indicators can be embedded in existing tools that measuring the circularity. In Table 64 an overview is given with the advantages and disadvantages of the circularity assessment models.

Table 64 – Circularity assessments overview

Measurement tool	Advantages	Disadvantages
MCI (Ellen MacArthur Foundation, 2015)	- Method from a prestigious organisation. - Well known and adopted by numerous studies.	- Only focused on material stocks. - Only applicable for consumer products. - No distinction for reusing.
BCI Verberne (2016)	- Applicable for the construction sector.	-
BCI Van Vliet (2018)	- Framework to assess the disassembly potential of a building.	-
BCI Gebouw (2021)	- Put into practice. - A supported measuring tool/instrument. - Using MKI as normalizing factor	-
Core measurement method (Platform CB'23, 2020b)	- Incorporated a large number of circularity indicators. - Goal to develop a core measuring method for the circularity in the construction sector.	- Method is under development. - The indicators are calculated separately without a total score for circularity.

Appendix 2 – Literature grid

Influencing factor	Mentioned in source	Source	Description
Supply and demand	Supply and demand	Hobbs, G., & Adams, K. (2017). Terms of quantity and quality if heavy materials need to be moved long distances to reuse of building products and reach their markets, this can increase costs and environmental impacts significantly!	
Logistics	Supply and demand	Materials – barriers and opportunities.	Terms of quantity and quality if heavy materials need to be moved long distances to reach their markets, this can increase costs and environmental impacts significantly!
Financial	Extra cost		Length to deconstruct or demolish will result in extra cost. Or packaging of reused products
Time	Time		Length to deconstruct or demolish will result in extra cost. Or packaging of reused products
Logistics	Lack of facilities		Storage and third market
Certification	Without certification		without certification of tested performance is one of the biggest barriers to reuse, particularly in a structural capacity. Testing of performance can be expensive and require destruction of samples to mitigate possible risks of further use. These costs will be added to the cost of the product/material and may override savings from without certification of tested performance is one of the biggest barriers to reuse, particularly in a structural capacity. Testing of performance can be expensive and require destruction of samples to mitigate possible risks of further use. These costs will be added to the cost of the product/material and may override savings from
Willingness	Reluctance to use reused products		Opportunity: Standards and testing of products to promote reuse
Standardisation	Standards and testing		Design for deconstruction and adaptability
Disassembly			Therefore using mechanical deconstruction
Toxicity	Health and safety risks		Development of new techniques
Development	Building technology		the incentive to reuse versus the cost of careful removal can be low or negative.
Financial value	Value of material/product		BAMB, BIM, Material passports. Address gaps in buildings of the future
Data management	Robustness of data		Other factors that influence the reusability of recoverable materials include: use of bolt and nut/joints instead of nails and gluing
Disassembly	Design for deconstruction	Alanki, et al. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator.	the use of prefabricated assemblies
Standardisation	Prefabricated assemblies		Another factor that connects to the specification factor is avoidance of the use of toxic and hazardous materials for the construction (Crowther 2005; Guy et al., 2006). The use of toxic and hazardous materials makes it impossible for the materials to recyclable at the end-of-life of the building.
Toxicity	Toxic and hazardous materials		Minimisation of types of building components
Dematerialisation			Specification of reusable materials during design
Data management			
Disassembly	Losmaakbaarheid	Van Vliet, M., Grinsven, J. van, & Teunissen, J. (2021). Circular Buildings – een meetmethode voor losmaakbaarheid 2.0.	Als producten onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, is het oogsten niet mogelijk waardoor slopen de enige optie is. Hoe meer een gebouw losmaakbaar is, hoe gemakkelijker het is om producten te oogsten en des te wazelfsprekender dit is. Daarom ligt losmaakbaarheid ter grondslag aan het mogelijk maken van een circulaire bouweconomie (figuur 1). Hieruit blijkt dus dat losmaakbaarheid geen doel is, maar een middel om hergebruik mogelijk te maken.
Disassembly	Disassemblability	Coenen, T. (2019). Circular bridges and viaducts - Development of a circularity assessment framework.	is the key to using materials in construction as future source of raw materials. As a result, reuse of construction materials will increase through design for deconstruction and design-for-disassembly, design accessible connections and jointing methods and minimize e.g. chemical and welding connections;
Supply and demand	Demand		A component will only be reused when there is a demand for it. A very unique design is made up out of a specific geometry, materials and additional features. This specificity results in a decreased likelihood for fit at a new location and moreover decreased opportunities for applying another component in case of replacement – as a result, a decreased demand.
Standardisation	Uniqueness		If a component is not transportable after use, it will not be reused on another location. As such, transportability is treated as a precondition for reuse in the reusability indicator: the disassembled components should be transportable in line with the rules and legislation for transportation to be considered for reuse.
Logistics	Transportability		
Data management	Proper documentation		proper documentation on materials and methods regarding deconstruction
Standardisation	Simplicity and standardization		avoid constructional complexity and encourage simplicity and standardization ;
Disassembly	Disassembly	Durmisevic, E. (2006). Transformable Building Structures	In other words, product and building structures. Therefore, attention in future should be on development of design concepts that master the transformation of structures based on disassembly
Adaptivity	Dynamic structures		should not be designed as static but as dynamic structures, which can be modified and their components easily recovered, reused, and recycled.
Development	Technological options / Time dependent	Park, J. Y., & Chertow, M. R. (2014). Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources.	The reuse potential increases as technological options increase, enabling more material recovery. This indicates that the concept of reuse potential is inherently time dependent. It can track how materials change from waste into a potential resource or vice versa, representing an evolutionary process or even a devolutionary process.
Geographical	Geographical boundaries		Reuse potential also depends on the assumption of geographical boundaries, since reusability varies regionally owing to differences in material quality and the level of technological development. Thus, defining temporal and geographical scope is important for calculating a reuse potential.
Development	Level of generation		Lastly, reuse potential is influenced by the level of generation. As a larger quantity of a given material is generated, ceteris paribus, the necessity for technological development would increase, and the reuse potential value would decrease without development of additional technologies.
Disassembly	Disassembly	Beurkens, P., & Durmisevic, E. (2017). Increasing reuse potential by taking a whole life cycle perspective on the dimensional coordination of building products.	A base line for both concepts, aiming for high transformation capacity and high reuse potential is disassembly, upon which reversibility of building space and reversibility of building structure to initial set of elements can prosper.
Certification	Certification		Certification of reusable elements
Data management	Valid data		Lack of valid data about the technical composition of the building and quality of the elements
Material quality			Lack of valid data about the technical composition of the building and quality of the elements
Logistics	Reversed logistics		Lack of reversed logistics strategies in place
Supply and demand	Market strategies		Lack of market strategies. Is there a market for reuse and how to define these in procurement documentation?
Financial value	Costs of new elements		Costs of new elements are often cheaper than the costs of recovered elements

Quality	Quality	European Environment Agency.	
Toxicity	Hazardous	(2020). Construction and	
Data management	Data	Demolition Waste : challenges	
Time	Time	and opportunities in a circular	
Financial	Price	economy.	
Law and regulations	Wet- en regelgeving	Van Dijk, E. (2018). Circulair	Beloon hoogwaardig hergebruik ten opzichte van laagwaardig hergebruik.
Material quality	Functionele eisen	sturen op hoogwaardig	De beschikbare tijd voor planning speelt een rol omdat de circulaire economie heeft een ontwerp nodig waarbij over toekomstige consequenties wordt nagedacht. Dit kost tijd. Een sloopbestek waarbij het maximale uit de vrijkomende grondstoffen wordt teruggewonnen vereist aandacht voor verschillen in materialen in het slopen.
Time	Planning / tijd	hergebruik van toegepaste en	Als toch verschillende materialen in een werk worden toegepast wordt Rijkswaterstaat gedwiveerd te zorgen dat verbindingen tussen verschillende materialen goed demonteerbaar zijn.
Financial	Kosten	toe te passen materialen.	Eis bij een ontwerp van een werk in een contract dat ook een werkbaar plan voor demonteren aanwezig is.
Disassembly	Demonteerbaar		
Data management	Plan		
Toxicity	Vrijkomende toxicische stoffen	Platform CB'23. (2020)- Meten	Toxische stoffen die vrijkomen tijdens gebruik en bij toekomstige pogingen tot hergebruik of recycling, kunnen zorgen dat een (deel)object moet worden afgedankt.
Supply and demand	Vraag	van circulairiteit - Werkafspraken voor een circulaire bouw.	het aandeel van de technisch herbruikbare outputstroom waarmee vraag is als deze vrijkomt;
Disassembly	Technisch herbruikbaar		het aandeel van het (deel)object dat technisch herbruikbaar is; dit is onder andere afhankelijk van de losmaakbaarheid;
Aesthetic	Hechting en vertrouwen	Circ. (2020). Ontwerp	De gebruiker minder snel vervangen van het product door hechting.
Adaptivity	Aanpasbaarheid en opwaardeerheid	strategieën.	Mogelijk om het product te veranderen. Hierdoor worden de huidige functies beter functioneert in samenwerking met andere producten.
Standardisation	Standaardisatie en compatibiliteit		Makkelijker om product te demonteren en reassembleren met behoud van de functies van verschillende producten.
Disassembly	Demonteerbaar		
Data management	Materiaalpaspoort	Kuppewelt, M. Van, & Stoutjesdijk, P. (2020). Indicatoren voor circulairiteit in de Bouw.	Voor het realiseren van circulaire bouw is losmaakbaarheid van componenten belangrijk. Het begrip en de meetbaarheid van losmaakbaarheid zijn nog volop in ontwikkeling.
Supply and demand	Vraag en aanbod		Aanwezigheid materiaalpaspoort en kwaliteit en detail van data
Toxiciteit	Toxiciteit		De transitie naar een circulaire economie heeft baat bij het gebruik van schone en veilige materialen. Schadelijke stoffen willen we immers niet hergebruiken, maar juist waar mogelijk verwijderen uit onze samenleving.
Disassembly	Disassembly	Nederland Circulair. (2015). High-Value Reuse in a Circular Economy	
Material quality		Meuffels, J., & Hoppe, F. (2021). Circulaire materialen in de bouw.	Angst over kwaliteit
Willingness			Acceptatie voor hergebruik
Guarantees			Risico omtrent garanties
Law and regulations			Beleringen door het het bouwbesluit en normeringen.
Quality	Durability	Webster, M. D., & Costello, D. T. (2005).	
Adaptivity	Adaptability	Heijer, R., & Kadijk, J. (2020). Verkenning schone en smet(te)loze materiaalstromen.	Toxiciteit is immers een spelbreker in de circulaire bouweconomie: het beperkt de mogelijkheden voor hergebruik in een volgende 'cyclus'
Disassembly	Losmaakbaarheid		Het thema toxiciteit en verontreiniging of smet heeft een directe relatie met het thema remontabiliteit of 'losmaakbaar'. De verontreiniging of smet ontstaat immers vanwege de onmogelijkheid om (al dan niet toxicische) toegepaste materialen afzonderlijk los te maken.
Logistics	Transported	Gladek, E. (2019). The Seven Pillars of the Circular Economy.	Materials are transported within as small a geographic range as possible.
Disassembly	Mixing of materials		Materials are not mixed in ways which preclude separation and recovery, unless they can continue to cycle infinitely at high value in their mixed form (although this is still not ideal because it limits choice).
Dematerialisation	Dematerialization		Materials are used only when necessary: there is an inherent preference for dematerialization of products and services.
Data management		Platform CB'23.. (2019). Kemmethode voor het meten van circulairiteit in de bouw.	Registreer restanten
Standardisation			Flexibel en adaptief
Logistics			Koop dichtbij om transport te verminderen
Guarantees			Afspraken met leveranciers
Willingness			Kies hernieuwbare of hergebruikte materialen in nabije projecten
Disassembly			Demontabel of losmaakbaar
Development			Slimmer maken van huidige gebouwen
Dematerialisation			Zo min mogelijk bouwmaterialen gebruiken
Data management	Lack of data	Kozminski, U. (2019). Circular design: Reused materials and the future reuse of building elements in architecture.	The main challenge concerning the reuse of building materials is a lack of data about their availability, amount, quality and ways of sourcing or processing.
Disassembly	Disassembly		The reuse of building materials is also hindered by inadequate disassembly procedures, contamination of secondary resources, unstable properties of reused materials, lack of material certification, difficult identification of their content and lack of material certification
Certification			Debatable aesthetic
Aesthetic			
Standardisation	Dimensional coordination	Durmisevic, E., Beurskens, P., Adrosovic, R., & Westerdijk, R. (2017). Systemic view on reuse potential of building elements.	Since a major barrier that prevents building products to be compatible for reuse in new structures is their dimensional coordination
Disassembly	Disassembly		A building consists of many building products. At the end of their first life these building products, if possible could be disassembled and reused directly on a different structure

Appendix 3 – Expert interview guideline Dutch

Vragen

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?
2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Hergebruik is belangrijk aspect binnen de circulaire bouweconomie. In mijn onderzoek maak ik een onderscheid tussen hoogwaardig en laagwaardig hergebruik aan de hand van het 10R model. Reuse tot en met Repurpose beschouw ik als hoogwaardig en Recycling en Recovery als laagwaardig hergebruik.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?
4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?
5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken?
6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?
7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Voor het mogelijk maken van een circulaire bouweconomie vinden wij het van belang om zo vroeg mogelijk inzichtelijk te maken hoe circulair een bouwwerk is en in hoeverre het in de toekomst hoogwaardig hergebruikt kan worden.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?
9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?
10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?
11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?
12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Appendix 4 – Expert interview guideline English

Questions

1. Do you agree that reuse is an important aspect of the circular building economy?
2. What is your experience with the reuse of building products within the construction sector?

Reuse is an important aspect of the circular building economy. In this research I make a distinction between high and low value reuse based on the 10R model. I consider Reuse up to Repurpose as high-value and Recycling and Recovery as low-value reuse.

3. What is your opinion about this classification of reuse?
4. What influence do you have to facilitate (future) reuse of building products?
5. What do you think are the barriers (in terms of technology, process and finance) to enable reuse at this moment?
6. What are (essential) preconditions to enable high-grade reuse?
7. When is a building product no longer suitable for reuse in the circular building economy?

In order to enable a circular building economy, we believe it is important to provide insight into the circularity of a building at the earliest possible stage and to determine the extent to which it can be reused at a high level in the future.

8. How can high-value re-use be managed at the earliest possible stage of a construction project, and what is needed to achieve this?
9. How can high-value reuse be safeguarded?
10. Which parties play a major role in facilitating and guaranteeing high-value reuse?
11. Which aspects/characteristics should be known about a product, in the early stage of a construction project, in order to determine its reusability?
12. Is there anything else you would like to say in addition to the questions?

Appendix 5 – Expert interview summarised transcripts

Expert interview – 1. Consultant: Founder / consultant

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Eens, wanneer we kijken naar de uitputting van de grondstoffen en de doelstellingen van 50% minder primair grondstof verbruik moet er volop ingezet worden op andere alternatieven. Dit zijn er drie. Meer recyclaat toevoegen, biobased of hergebruikt. Het terugdringen van primaire grondstoffen is het makkelijkst te bereiken door hergebruiken.

In mijn visie kan het niet meer voorkomen dat we onlosmaakbare producten met elkaar verbinden waarmee we te veel schade aanbrengen aan de producten om ze te kunnen hergebruiken. Er zijn wel verschillende redenen die ervoor zorgen dat het nog niet 100% gebeurd zoals de kwaliteit, garanties en kosten.

Het hergebruik van producten uit het verleden is heel complex. Daarom komt het ook nog niet van de grond. Dit heeft met bijvoorbeeld wet en regelgeving te maken. Je moet eigenlijk al rekening houden met de wet en regelgeving van de toekomst. Een voorbeeld is een trap die in de toekomst 10cm hoger moet zijn aan de hand van het Bouwbesluit.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Als het monostromen zijn dan zie ik veel kansen voor hoogwaardig hergebruik omdat het relatief eenvoudig is. We hadden bijvoorbeeld beschoeiingshout dat verrot was en later opgeschuurd werd en het weer mooi hardhout was.

Dus wanneer het een type grondstof is.

Beton is geen monostroom want daar zit weer zand, cement, staal etc in. Een dakpan is bijvoorbeeld een monostroom wanneer het van een soort klei is gemaakt.

Het gebeurt ook regelmatig dat ze de CV ketels vervangen en later blijkt dat de woningen gesloopt worden. Wanneer de ketels goed zijn en nieuw kunnen ze nog prima gebruikt worden, maar oude ketels zitten zoveel componenten en onderdelen die dus moeilijk een op een her te gebruiken zijn.

Het is afhankelijk wat in het product zit en wat de kansrijkheid is om het te recyclen. Wanneer de grondstoffen bijvoorbeeld schaars zijn.

Hergebruik is belangrijk aspect binnen de circulaire bouweconomie. In mijn onderzoek maak ik een onderscheid tussen hoogwaardig en laagwaardig hergebruik aan de hand van het 10R model. Reuse tot en met Repurpose beschouw ik als hoogwaardig en Recycling en Recovery als laagwaardig hergebruik.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik zou recycling gewoon recycling noemen en geen laagwaardig hergebruik. Het kan ook voorkomen dat recycling beter is dan hergebruiken. Wanneer bijvoorbeeld iets hergebruikt wordt en meer in de vorm van levensduurverlening van bijvoorbeeld 10 jaar kan het beter zijn om het product te recyclen en in een nieuw losmaakbaar systeem te plaatsen dan te gebruiken

voor iets wat over 10 jaar zo technisch gedegradeerd is dat het niet eens meer gerecycled kan worden.

Als we het hebben over materialen en grondstoffen dan hebben we het over recycling. Als we het hebben over producten of elementen willen we hergebruiken.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Het stimuleren van de circulaire economie en het meedenken over innovaties.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken?

Hergebruik heeft het meeste impact op het beleid, maar is tegelijkertijd ook het meest complex. Er is in het verleden niet nagedacht met als doel dat een product of element hergebruikt wordt. Dus de wet- en regelgeving waaronder het Bouwbesluit en de normeringen. Ook de angst over de kwaliteit van gebruikte materialen

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Voor hergebruik is ook de courantheid van de vorm belangrijk en de technische specificaties. Hierdoor kan het Multi inzetbaar zijn door verschillende sectoren heen.

Je wilt wel toe naar iets dat procesmatig geïndustrialiseerd kan worden bij hoogwaardig hergebruik. Het zou schaalbaar moeten zijn.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Niet meer voldoet aan wet en regelgeving en niet meer gecertificeerd kan worden. Kan iets niet meer her-gecertificeerd worden is het eigenlijk niet meer her te gebruiken. Het moet dan de recycling in. Dit komt ook mede doordat de productdata is niet meer aanwezig. Dit hangt dus af van een goed data management systeem.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Alles wat we nu nieuw toevoegen aan de gebouwde omgeving moet sowieso vanuit het perspectief van hergebruik worden benaderd.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Door middel van de wet en regelgeving en zorgen dat het design vanuit het perspectief van hergebruik is benaderd.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Over het algemeen zal de overheid door middel van de wet en regelgeving een belangrijke rol spelen in het mogelijk maken van hergebruik.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Geen toxische stoffen, losmaakbaar en de kwaliteit van de producten.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Pre en post consumer products. Pre is nooit inzetbaar geweest. Deze afvalstroom kan vaak hoogwaardig hergebruikt worden. Dit is wel vooral voor producten die er al zijn of in een project zitten.

Expert interview – 2. Architect: Founder / Architect

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja het is belangrijk om materialen her te gebruiken. Nog belangrijker om materialen die we nu door gezonde materialen te gebruiken in de toekomst her te gebruiken. Alleen voor grotere bouwprojecten is het bijna nooit mogelijk om hergebruik in te zetten. De ontwerpmethode moet veranderen om hergebruikte producten een plek te geven. Vooral voor bijzondere elementen, specials. Ook hetgeen dat we nu gebruiken te vervangen voor biobased producten, maar ook met name losmaakbaarheid, adaptiviteit en flexibiliteit in onze gebouwen inbrengen zodat er ook op een andere manier vastgoedwaarde kan worden berekend en deze waarde behouden blijft. Helaas komt het nog te weinig voor dat ontwerpen worden gemaakt aan de hand van de oogstkaarten van slopers. Hergebruikte producten toepassen hangt heel erg af van de contractvorm die wij hebben, maar ook de contractvorm of aanbestedingsmethode die een opdrachtgever wilt hanteren in het proces. Voor het gebruik van hergebruikte producten moet het product vastgelegd worden van te voren, voldoende kwaliteit hebben en de prestatie kunnen waarmaken. Het is wel makkelijker als het zuiver kan blijven in een aanbesteding. Mijn prestatie die ik vraag en als het specials of kleine eenheden betreft ook makkelijk te verwerken.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

De ambitie van de Overheid wordt bijna niet waargemaakt. Uiteindelijk zou je gestraft moeten worden voor het gebruiken van nieuwe materialen en beloont moeten worden met hergebruikte materialen. Stimulans kan zijn door middel van belasting of CO2 tax. Wij proberen het nu heel erg te koppelen aan grondstofwaarde en vastgoed flexibeler maken. Dus een ander ontwerp maken van tevoren waardoor het effect groter is. In de UAV mag de aannemer een vergelijkbaar materiaal aanbieden. Door economische redenen wordt er dan vaak een andere keuze gemaakt. Heb ik de juiste certificaten van een gebruikt product of project waardoor ik ook de nieuwe prestatie kan garanderen. Dit is complex, maar kan wel. Dit moet je belonen om hier versnelling in te krijgen. Wij hebben veel ervaring met hergebruik. Ook beeld wat wel en niet kan. Alles kan in principe hergebruikt worden, maar in welke conditie en welke manier. Hierachter hangt ook veel wet- en regelgeving. Het komt nu vooral door de ambitie van de architect of adviseur, maar zou eigenlijk een incentive moeten zijn van de opdrachtgever en dat die ook bereid is hiervoor te betalen.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Eens, Ik hou daarnaast ook de eerste drie aan. Reduce niet geen omzet, maar Rethink en Reduce. Liefst helemaal terug naar Why, How and What van de opgave. Als architect ga ik op alle R principes zitten en vooral zo hoog mogelijk op de ladder.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Door te ontwerpen aan de hand van een drager inbouw principe. Hierdoor wordt het gebouw flexibeler en dus geschikter voor hergebruik in de toekomst. Daarnaast is anders aanbesteden ook een goede oplossing. Er worden dan andere keuzes gemaakt aan het begin, maar helaas zit dit nog niet in de genen van de bouw.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

De Inkoop en contractvorm met de aannemer is de belangrijkste.

a. Hoe krijg je hergebruikte spullen goed gewaarborgd in een definitief ontwerp?

Ik kan oogsten en heb materialen tot mijn beschikking ik weet ze te vinden bij slopers.

Maar ik wil ook de prestatie en kwaliteit kunnen garanderen.

De schaalbaarheid maakt het vaak ook lastig. Voor specials vaak wel mogelijk want daar kan je je ontwerp weer makkelijker op aanpassen. Ook doordat de eisen van het bouwbesluit steeds aangepast worden zijn de producten vaak onvoldoende van kwaliteit en prestatie. Dit is een lastig punt voor hergebruik. Het zijn vooral dus twee grote belemmering voor het mogelijk maken van hergebruik:

1. Prestatie van materiaal (door middel van certificering en wet- en regelgeving)
2. Contractvorm (door middel van gelijkwaardigheid kan alternatief aandragen)

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

- Organisatievorm
- Kwaliteit inzichtelijk en waarborgen
- Daarna een losmaakbare constructie

Niet alleen eigenschappen van de constructie, maar ook van de materialen zelf zijn bepalend of dat ik iets op een hoogwaardige manier kan inzetten op voorhand. Als de verantwoordelijkheid bij de leverancier ligt dan wordt de prestatie wel gehaald.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Wanneer de milieu impact hoger is dan een x aantal. Toxiciteit is ook belangrijk. Dit meenemen in een soort straf als je toch verontreinigde materialen of producten hebt gebruikt in het project.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

De kwaliteit van een materiaal moet op een hele goede manier worden vastgelegd. Dan ga ik toch richting het materialenpaspoort. Dus de eigenschap moet goed genoeg in kaart gebracht zijn om te weten of het hoogwaardig hergebruik mogelijk is. Er moet dus waarde aan de materialenpaspoorten komen. Voor nieuwe materialen lukt dit redelijk, maar voor hergebruikte materialen wordt dit lastiger. In nieuwe projecten moeten ook nieuwe materialen. Dus kan niet alleen maar hergebruikte materialen.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Voornamelijk door de contractvorm en het inzichtelijk maken van de materiaalkwaliteit door middel van materiaalpaspoorten.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

- Leverancier de verantwoordelijkheid krijgen. Hierdoor sluit je de keten.
- Dan kan de architect makkelijk spreken over hergebruikte materialen en deze materialen kiezen.

- Opdrachtgever verantwoordelijk voor het stellen van de ambitie.
- Aannemer speelt belangrijke rol in aanbesteding. Hij maakt het gebouw en aan de hand van UAV mag de aannemer alternatieven aandragen.

In het bouwteam de sloper betrekken. Betrokkenheid en participatie van de **sloper** in het beginstadium. en het belang van de sloper bij bijvoorbeeld goed losmaakbaar gebouw.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

- Kwaliteit
- Toxiciteit en vervuilbaarheid
- Samenstelling met andere producten
- Prestatie (druk en trek): Wanneer iets gelamineerd is, is het natuurlijk wel gewoon hout en is het ook niet virgin, maar het lamineren brengt ook impact met zich mee.
- Het verhaal achter het materiaal
- Positie waar het komt te zitten
- Schaalbaarheid
- Losmaakbaarheid
- Aanpasbaarheid

Niet alleen van de constructie, maar ook van de materialen zelf zijn bepalend of dat ik iets op een hoogwaardige manier ik kan zetten.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee

Expert interview – 3. Housing corporation: Project leader

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja, het gaat er ook om het hergebruik in de toekomst mogelijk te maken. We moeten de toekomstige cycli faciliteren. Om de cycli te verlengen moet het niet alleen lang meegaan, maar ook goed repareerbaar zijn. De gebouwen moeten in de toekomst een magazijn worden van bouwproducten. En voor de producent kan een terugnamegarantie goed zijn voor circulaire economie. Maar hierdoor wordt een bouwproduct misschien wel minder goed in het circulaire netwerk ingezet. Het kan wel werken wanneer aanvullend de circulaire cyclus verlengt wordt door de producent door het beter maken van de producten. Doe je dit niet dan krijg je alleen maar korte cycli.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

In de praktijk lijkt het hergebruik van bouwproducten tegen te vallen. Voornamelijk zie je houten balken, deuren, kozijnen, sanitair en dakpannen die hergebruikt kunnen worden. De rest wordt slechts gerecycled of is totaal niet meer herbruikbaar.

a. Wat is de reden dat het niet meer herbruikbaar is?

De bouwproducten zijn vroeger niet gebouwd met de gedachte voor hergebruik. Alles zit te goed aan elkaar vast gemaakt.

Het doel is om al het materiaal dat uit een woning komt aan te bieden aan de circulaire economie. Eerst een inventarisatie maken om te kijken wat er nu precies in zit. Het is van belang om voor dat je aan een nieuw bouwproject of slooppject begint alles te inventariseren wat in het oude gebouw zit. Hiervoor is het paspoort belangrijk. Alleen het zou niet alleen zo moeten zijn dat de overheid eisen stelt aan een materialenpaspoort wat erin moet komen. Dat kan ertoe leiden dat de overheid relatief weinig eisen stelt aan een materiaalpaspoort, omdat zij de markt minder wil belasten. Het zou mooier zijn als dit vanuit de eigen intrinsieke motivatie komt van de vastgoedeigenaren en de bouwwereld. Een subsidie verstrekken voor goede materiaalpaspoorten kan een manier zijn. Hierbij is belonen beter dan straffen. En uiteindelijk gaan we waarschijnlijk naar een CO₂ tax. In dit geval wordt het wel een soort straf.

3. Wat vind u van deze onderverdeling van hergebruik?

Eens, en de dingen die niet goed losmaakbaar zijn zou je goed moeten kunnen repareren.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Door de uitvraag richting aannemers en sloopbedrijven en ze nadrukkelijk meegeven dat ze ervoor moeten zorgen dat het op een zo hoog mogelijk niveau wordt hergebruikt en gebouwen op een modulaire manier en losmaakbaar worden ontworpen en gebouwd. Voor woningcorporaties is beschikbaarheid en betaalbaarheid van woning belangrijk. Hierin moet circulariteit nog in verweeft worden. Vastgoedeigenaren zijn heel erg gefixeerd op nu (investeringenkosten) en niet op exploitatiekosten over 30 jaar. Ook dat moet veranderen, want bij circulariteit gaat het om toekomstige waarde en hergebruik.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Als we het hebben over oude producten nu hergebruiken is dit best wel een gedoe.

- **Organisatie:** Want je moet inventariseren en opzoek naar een nieuwe toepassing
- **Acceptatie:** Dat iets hergebruikt is accepteren. Hangt samen met architect die er mee moet leven om met hergebruikte spullen te ontwerpen.
- **Financieel:** Door handelingen (opknappen) oude product net zo duur als nieuwe product
- **Garanties:** Wat voor garantie krijg je op het hergebruikte. Vaak tot de voordeur
- **Kwaliteit:** Het product moet ergens aan voldoen (wet- en regelgeving). Bij ons is ons PvE duurzaam gemaakt. Zorg ervoor dat toekomstige producten goed gemaakt worden waardoor ze later beter hergebruikt kunnen worden. En ook dat eisen in je PvE circulariteit niet tegen houden maar juist bevorderen.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Veel materialen die niet hergebruikt worden van bestaande gebouwen. Dat zit hem in de **losmaakbaarheid**. Het is dus belangrijk om hier rekening mee te houden. Het is een voorwaarde voor hergebruik. Wanneer je iets nieuws toevoegt denk er dan over na of dat in enige vorm modulair is of dat het losmaakbaar is. Ook het goed vastleggen van data van producten is van belang.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Wet- en regelgeving waaraan het moet voldoen en de esthetische waarde. Wordt een hergebruikte deur nog geaccepteerd door de gebruiker, esthetisch gezien. Wat is nou mooi? Toxiciteit zit in wet- en regelgeving voor zowel nieuwe als hergebruikte producten.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Het zou mooi zijn als wij onze bestaande gebouwen exact weten wat voor materialen daar inzitten en hoe circulair ze zijn en wat we moeten doen om ze circulair te houden. In het verleden werd dit nooit bijgehouden.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Data management is wel het belangrijkste voor de toekomst van hergebruik. Dit moet je natuurlijk wel in je uitvraag meegeven. De uitvraag vanuit de opdrachtgever blijft belangrijk daarin. Ook door middel van een terugnamegarantie stimuleer je weer de producent om zijn producten te verbeteren door modulair of herbruikbaar te ontwerpen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Iedereen heeft zijn eigen rol.

- Opdrachtgever: uitvraag doen
- Overheid: innovaties stimuleren (opdrachtgever kan niet alles betalen) en wet- en regelgeving, de MPG verder ontwikkelen en aanscherpen.
- Producenten: leveren van circulaire, modulaire en losmaakbare materialen en producten
- Kennisinstellingen (universiteiten): Maar wel de samenwerking aangaan met de producenten om het daadwerkelijk te realiseren.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Om het te bepalen voor de toekomst moeten er vragen gesteld worden als:

- Is het modulair? Is het losmaakbaar?
- En wat voor waarde heeft het in de toekomst? Bepaalde grondstoffen hebben nu en in de toekomst meer waarde dan andere grondstoffen door de schaarste bijvoorbeeld.
- De MPG score moet beter uitgewerkt worden. De modulariteit en losmaakbaarheid zou hier deel vanuit moeten maken. En verder moeten biobased producten zoals hout beter gewaardeerd worden qua CO₂-opslag. Door nu al meer biobased producten toe te passen, stoten we nu al samen minder CO₂ uit, waardoor we de klimaatdoelen 2030 en 2050 beter kunnen halen. Biobased is een kans voor deze doelen en laten we die verloren gaan, dan hebben we daar straks enorm veel spijt van.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee, verder goede vragen.

Expert interview – 4. Architect: Architect

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja, super belangrijk. De definitie zoals CB23 hem schets, waarbij het gaat om het beschermen van de bronnen, vind ik een goede insteek. En in dit kader is het belangrijk om eerst te kijken of je iets kan gebruiken dat er al is of in ieder geval de levensduur kan verlengen. Circl Amsterdam, 6 jaar geleden gedaan, maar was lastig om aan hergebruikte producten te komen. De eerste vraag bij circulaire projecten is altijd kunnen we hier gebruikt materiaal of onderdelen voor gebruiken en daarbij een andere manier van ontwerpen.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Het vrij komen van producten en dus de timing speelt een grote rol voor gebruikte onderdelen. Dit hangt samen met vraag- en aanbod. Het gebruiken van gebruikte producten biedt meer mogelijkheden voor mij als architect. een voorbeeld hiervan was treinramen te gebruiken als gevel in de fietsenstalling in Eindhoven. Over het algemeen is het leuk, maar wel lastig en er is een andere mentaliteit en vaardigheid benodigd.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Dit is een duidelijke verdeling.

4. Welke invloed heeft u om (hoogwaardig) hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Ik heb geen invloed in de logistiek, maar die is wel heel erg belangrijk. Het demonteren en het goed opslaan zodat het een halfjaar of jaar beschikbaar blijft. Dan heb je grotere kans van afname. Dit wordt wel steeds makkelijker gemaakt in de markt. Architecten hebben een grote invloed door middel van het ontwerp een beetje in te passen of te finetunen. Ook losmaakbaar ontwerpen is hierin van belang. Daarmee vergroot je de kans op hoogwaardig hergebruik. En ook door het stimuleren en enthousiasmeren van circulair bouwen. Ik probeer zo veel mogelijk hergebruikte onderdelen te gebruiken. Als dit niet mogelijk is maak ik het ontwerp met nieuwe onderdelen die goed hergebruikt kunnen worden door middel van losmaakbaar te ontwerpen bijvoorbeeld. Het staat en het valt bij de opdrachtgever. Ik ben als architect super afhankelijk van de opdrachtgever. Als die een circulaire ambitie heeft dan is er heel veel mogelijk. Zo niet, dan is het trekken aan de dood paard.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Er zijn twee dingen die hergebruik belemmeren:

1. Belastingen: belasting op arbeid hoog en materiaal laag → Ex'tax
2. Wet- en regelgeving van de overheid.

Een andere belemmering is dat de losmaakbaarheidsindex nog niet wordt meegenomen in de MPG berekeningen. Misschien wordt door de overheid de MPG aangescherpt. Net als de EP normen, die hebben veel impact gehad op de Nederlandse bouw.

a. Hoe kijk je aan tegen de circulaire aanbestedingen en de wet- en regelgeving vanuit de overheid?

Er zijn personen binnen de grote aannemers die echt een intrinsieke motivatie hebben en alles op alles willen zetten voor de transitie naar de circulaire economie. Er zijn nog weinig circulaire uitvragen, maar degene die er zijn wordt er veel op ingeschreven.

Hierbij spelen de gemeenten als opdrachtgever een grote factor. De overheid is niet zo snel als het bedrijfsleven in de innovaties, maar wanneer het loopt gaat het wel echt lopen.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

- Beschikbaarheid
- Ontwerphouding van de architecten
- Motivatie opdrachtgever
- Wet- en regelgeving
- Kennis bij gemeenten bijvoorbeeld

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Wanneer het verontreinigd is en het product niet goed meer functioneert en of niet meer gebruikt kan worden voor dezelfde of een andere functie. Ook losmaakbaarheid is heel erg belangrijk. Want als iets niet meer gedemonteerd kan worden is het ook moeilijker om het te hergebruiken. Bouwkundige staat/materiaal kwaliteit: te beschadigd dan kan je het niet meer repareren. Afstand, transport en logistiek: te veel energie om te transporterden als het bijvoorbeeld aan de andere kant van de wereld moet komen. En vooral kijken naar bedrijven die het al doen op het gebied van opslag. Esthetica is ontzettend belangrijk, maar het is de kunst om de schoonheid te zien in de gebruikte onderdelen. Taak van architect om het mooi te maken. In CB23 heb ik meegedraaid in een actieteam en hierbij het onderwerp koesterung (schoonheid) voorgesteld. Want als iets mooi is en gewaardeerd wordt gaat het langer mee, maar dit is moeilijk te kwantificeren. Ook speelt de motivatie om hergebruikte materialen te gebruiken een belangrijke rol. De willingness of reuse. In plaats van hergebruikte spullen zou je het bijvoorbeeld wel pre-loved spullen kunnen noemen.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

"Het is niet alleen circulair als je hergebruikte materialen gebruikt, maar juist ook als je deze hergebruikte materialen of nieuwe materialen weer kan hergebruiken."

Een circulaire toets uitvoeren kan een hulpmiddel zijn. Dat je een soort rapportcijfer moet behalen in het ontwerpproces in verschillende fasen van het VO, DO en TO/

a. Hoe zou je een soortgelijke toets voor je zien?

Door de overheid of opdrachtgever bepaald worden wat er behaald moet worden. Dit stel je van tevoren vast op een kwantitatieve manier in bijvoorbeeld een contract. Het inventariseren en het overdragen van deze extra informatie is essentieel om hergebruik mogelijk te maken. Dus materiaalpaspoorten zijn zeer nuttig voor nieuwe gebouwen. Voor bestaande gebouwen is het lastiger. Hierbij kan een sloper mee helpen om te rapporteren. Alleen de markt is hier nog niet klaar voor.

Bij Circl hebben we aan het BIM model meer data toegevoegd. Levensduur, eigenaar, geschatte levensduur, losmaakbaarheidsindex. Dit is gewoon handmatig via Excel toegevoegd. Hierdoor is het voor de beheerders en de onderhouders beter inzichtelijk waar ze mee te maken hebben en te maken gaan krijgen. Alleen de timing is niet goed voor uitgebreidere materiaalpaspoorten. Er zijn nog veel praktische bezwaren. De markt is nog heel erg terughoudend en conservatief. Onderhoud en facility management is super conservatief.

Dus goed datamanagement is van belang. En dit moet dan ook door de overheid (wet- en regelgeving) afgedwongen worden

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Door middel van wet- en regelgeving. Dit is de prikkel om de businesscase sluitend te krijgen. Het kan niet anders en moeten dit nu eenmaal doen om circulariteit te waarborgen.

a. Denk je dat een terugnamegarantie en modulariteit kan bijdragen hieraan?

Een soort statiegeld regeling is ook zeer nuttig. Het lastige met gebouwen is dat het over hele lange termijnen gaat. Een gevel gaat lang mee en bestaat het bedrijf dan nog? Met interieur is het beter te doen. Betreft de **modulariteit** is de locatie (waarde/mogelijkheden) en de businesscase (programma's) altijd anders. Hierdoor moet je het weer anders in elkaar sleutelen en maakt het de kans op herhaling moeilijker.

Eigenlijk zou je alle projecten zo moeten beschouwen dat ze maar 20 jaar blijven staan. Hierdoor is het vanzelfsprekend om demontabel te ontwerpen en bouwen. Er wordt dan tijdens de uitvraag aan de aannemer meegeven worden om ook na te denken over de bestemming van alle onderdelen te zijner tijd. Het zit zo in het systeem om te ontwerpen, bouwen en dan wegwezen, maar aan de toekomst denken zit niet in het systeem. Dit kan wel veel verandering brengen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Alle partijen zijn belangrijk. Als één partij niet goed functioneert is de kans groter dat het niet lukt om een circulaire opgave te voltooien. Maar de opdrachtgever moet het willen en de wet- en regelgeving vanuit de overheid moet er natuurlijk wel zijn. Bij elke fasen moeten mensen handelen op een goede manier. Het is momenteel een systeemverandering en hierin moet heel de keten veranderen. We staan nog aan het begin van de verandering. Denk aan het Roger model met de early adopters en de innovators. De politiek speelt ook een belangrijke rol. Er wordt meer subsidie gegeven aan fossiele bedrijven dan aan duurzame bedrijven.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

- Je moet iets weten van de chemie of het giftig is.
- De prestatie moet je weten. Is het slijtvast?, kan het tegen UV licht?
- De verbinding met andere onderdelen. Bijvoorbeeld kanaalplaat wordt geprobeerd ze losmaakbaar te monteren, maar dit is na mijn weten nog niet gelukt. Kan je maar 1 keer gebruiken.
- Hoe het onderhouden moet worden en of het schoon te maken is.
- Wie de eigenaar is van het product. De opdrachtgever of de producent.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Sommige aspecten maken het lastig om iets meetbaar te maken. Misschien is het handig om hierin een afwegingskader mee te nemen om deze aspecten toch te behandelen.

Expert interview – 5. Platform: Action team

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Zeker, hetgeen dat we niet hoeven kapot te maken of te veranderen is de beste manier om zo min mogelijk verspilling op te leveren, maar vooral ook te waarderen wat er nu al is. Dit geldt voor alle schaalniveaus. Je hebt kostbare materialen waar je tien keer over na moet denken om dat opnieuw te maken of te delven, zoals kostbare metalen. Op product en gebouwniveau is dat ook belangrijk. Op deze schaalniveaus moeten we ook kunnen zeggen dat het een waardevol iets is waarbij ruimtelijk veel opties zitten om her te gebruiken in verschillende functies en het is met een bepaalde architectonische kwaliteit mooi en aandachtig gemaakt. Sommige dingen zijn niet zo zeer technisch te berekenen, maar hebben wel een culturele of maatschappelijke waarde. Neem bijvoorbeeld het Colosseum en de Eiffeltoren.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Het gebruiken van hergebruikte materialen, producten of componenten daar kan je op ontwerpen. Het betekent voor het ontwerpproces wel wat anders omdat het makkelijker is om iets nieuws te bedenken en het gewoon te laten maken dan opzoek te gaan naar iets wat al bestaat en wat je nodig hebt. Hierin speelt Bekendheid met organisaties een grote rol. waar je de hergebruikte materialen of producten kan achterhalen. Zodanig dat je inzicht krijgt in de vraag en het aanbod van de hergebruikte materialen of producten. Dit geldt ook voor toekomstige scenario's.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik ben het eens hiermee.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

In de verschillende rollen die ik heb is dat vrij groot. De eerste kans die je hebt om met een opdrachtgever te spreken als bouwpartij is de eerste aanzet tot te komen tot het idee van hergebruik en dit ook op te nemen bij de start van een project. Hoe eerder het op de agenda staat met de opdrachtgever en de gebruikers is het meest primaire. Daarna krijg je dan de PVE en de inkoop. En dat bij de inkoop geen oude troep wordt gebruikt, maar hoogwaardige producten bij een sloper of materialenbank.

a. We hebben het nu over hergebruikte producten voor een nieuw gebouw, maar als we kijken naar nieuwe producten in een gebouw ontwerpen die uiteindelijk makkelijk herbruikbaar zijn?

In het ontwerp moet ervoor gezorgd worden dat het **demontabel** is. Ik heb ervaring gehad met het ontwerpen van een gevel met een soort haaksysteem dat opgehangen werd aan de hoofd-draagconstructie. Dit was makkelijk uit elkaar te halen.

Vanaf de jaren 60 een heel traject voor Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen. Alle aspecten die bij circulariteit nu weer terugkomen. Dit was gesubsidieerd door de overheid en toen de subsidie stopte toen stopte ook de ontwikkeling en beschikbare kennis ging verloren. Je moet dus de ontwikkeling financieren / ondersteunen voor lange termijn in plaats van projecten subsidiëren.

Bij circulaire projecten kost het meer tijd aan de voorkant omdat je meer moet onderzoeken. Normaal gesproken heb je een catalogus en beschikbare kennis. Dat is nu lastiger om bijvoorbeeld het achterhalen van materialen of producten die her te gebruiken zijn. Als je de organisaties kent dat is stap 1. Daarna komt hoe de kwaliteit (specificaties van kenmerken over oa. afkomst, opbouw, gebruik etc.) is van de producten. Hebben ze alles goed in kaart gebracht door middel van materiaalpassoorten. Daarnaast de beschikbaarheid. Als ik iets maal 1000 nodig heb is het dan ook maal 1000 beschikbaar. Maar je kan ook aan de hand van de beschikbaarheid ontwerpen.

“Hoe ethischer het is des te groter de kans dat het hergebruikt gaat worden.”

Esthetische waarde is weliswaar moeilijk te kwantificeren maar speelt wel een rol. In een rekenmodel kom je meer op een afwegingskader of waarderingsschaal om dat te bepalen. Dit hangt ook samen met de culturele en maatschappelijke waarde zoals we net besproken hebben.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Inzicht in de beschikbaarheid van bijvoorbeeld deuren en kozijnen. En waar het vandaan komt, wat de kwaliteit is en wie de eigenaar is. De beschikbaarheid en schaalbaarheid voor als je meer producten nodig hebt, maar daarvoor langs 50 verschillende winkels moet. Dit hangt ook samen met vraag en aanbod. Daarnaast het beheer van de beschikbare data over beschikbare materialen / producten en componenten – dit is een maatschappelijk / publieke opgave waar de overheid een rol in zou moeten (gaan) spelen. Madaster is hierover volgens mij wel in gesprek: zij willen dit heel bewust.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

In een rekentool zouden we het esthetische, architectonische en culturele, een waardering moeten geven in het totaal. Als je dat niet doet krijg je heel smalle manier om te kijken naar iets wat veel meer betekend dan alleen het technische gegeven van het materiaal zelf wat natuurlijk van belang is, maar het totaal is ook belangrijk. Daarnaast zoals genoemd de maatschappelijke en sociale waarde (bijvoorbeeld hoe / door wie iets geproduceerd wordt).

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Zit in de samenstelling van de materialen en dit inzichtelijk maken zodat wanneer later blijkt dat iets verontreinigd is of een bepaalde straling heeft dat je dan precies weet dat je dit product eruit moet halen. Dan speelt losmaakbaarheid een belangrijke rol. Denk hierbij aan asbest wat nu allemaal eruit moet komen. Als iets kapot of iets achterhaald of ongezond / onveilig is. Als we bijvoorbeeld geen stopcontacten meer nodig hebben kunnen we er ze net goed uithalen.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Bij het ontwerp integraal werken. Relatie met de investeerders. Beleggers beleggen nog traditioneel. Ze kijken op een bepaalde manier naar hergebruik. Andere manieren van waardering en het meenemen van andere waarden dan puur de financiële

(investeringswaarde). Denken in vastgoed in plaats van waarde van functie, adaptiviteit – roerend goed. De organisaties die geld vrij maken zoals banken, investeringsmaatschappijen en beleggers zijn belangrijk in de transitie. Traceerbare documentatie van de samenstelling, eigenschappen etc. van een product.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

De informatie die beschikbaar is gekoppeld aan het materiaal of product. Dus de materiaalpassoorten. Oorsprong, waar komt het vandaan, tracking and tracing. hoe vaak is het gebruikt. Dit moet afgestemd zijn en ook echt een status hebben. Een soort keurmerk dat er de garanties zijn van waarde en dat de data klopt. Het type beheer / beschikbaarheid van dit type data is daarbij essentieel – zie de eerdere opmerkingen. Misschien moet de traditionele vorm van aanbesteden worden veranderd om te komen tot die gezamenlijk maatschappelijke oplossing voor circulariteit. Andere manier van de vraag waarbij een gedeeld risico is, ook als opdrachtgever. Het gaat over het eigenaarschap van het probleem. Het is een maatschappelijk probleem. De integrale kijk op het probleem kan ook alleen maar opgelost worden door integraal door alle partijen met een gedeeld risico eraan te werken. Dit kan je doen door middel van bouwteam. Meer transparantie, integraliteit, inzichten delen en de professionaliteit.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Het is een maatschappelijk probleem, dus dit moet ook maatschappelijk en integraal worden opgelost. Hierin spelen alle partijen een grote rol

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Zoals besproken bij de vorige vraag de samenstelling / verontreiniging, losmaakbaarheid en de kwaliteit.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee dit was het.

Expert interview – 6. Housing corporation: Project manager

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Eens, ligt wel aan de manier. Hoeveel energie kost het betreft de CO₂. Wanneer het veel moeite, tijd, geld en vervoerbewegingen kost dan wordt het een uitdaging en zou het niet meer rendabel kunnen zijn.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Bijna 1/3 van de woningen is een corporatiewoning. Wij zijn de sector waar de innovatie moet beginnen. Wij werken vooral samen met partijen die ook wat doen in de circulaire economie. Het is wel een uitdaging voor ons. Wij bezitten vooral jaren 60 woningen die zijn niet gemaakt voor hergebruik. We beginnen dan met hele goede ideeën, maar blijkt in de praktijk moeilijker te zijn.

a. Wat zijn belangrijke lessen die jullie kunnen leren aan de hand van de woningen die jullie nu hebben?

Het is echt maatwerk. Om producten die in de basis niet zijn bedoeld om her te gebruiken vergt maatwerk en dat je er tijd voor neemt

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Eens, in overeenstemming hoe wij erin staan. Als wij het over recycling of recovery hebben dan noemen wij het niet alsof we iets circulair doen. Iets helemaal terugbrengen naar het basisproduct is het minst interessante.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Als opdrachtgever hebben wij veel invloed, maar het is altijd een samenwerking. Soms schrijven wij bepaalde dingen voor, maar het kan lang niet altijd. In de uitvoering ben je afhankelijk van elkaar. Ook zie je dat wij in samenwerking met professionals, opdrachtnemers kunnen stimuleren voor circulariteit.

a. Wanneer er niet integraal samengewerkt wordt dan blijft het lastig, maar hoe zou je dit kunnen aanpakken?

Bij ons is het onderdeel van de uitvraag. Partijen worden daarop beoordeeld. Voor traditionele aanbestedingen gaat 10 tot 20% van de uitvraag over circulariteit. Je kan punten scoren op circulariteit. Zo hebben wij dat gewaarborgd. Het is belangrijk dat wij opdrachtnemers belonen of afrekenen op hoe circulair hun plannen zijn.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Wat nu een belemmering is het van project naar project werken. Als je het hebt over grote stromen materialen hergebruiken moet je dit project overstijgend gaan aanpakken. En als je een grotere schaalbaarheid hebt wordt het ook betaalbaarder, interessanter en efficiënter. Je gaat niet voor het hergebruiken van bijvoorbeeld 30 keukens helemaal naar Zwolle, Duitsland of naar Brabant. Door het bouwbesluit wordt het vaak ook lastig om producten 1 op 1 her te gebruiken. Maar ook het vertrouwen hebben in een product.

a. Hoe zou je dat vertrouwen kunnen krijgen?

Door gewoon te doen. De sloper wordt steeds belangrijker. Die kan aan de voorkant al adviseren over de losmaakbaarheid en de levensduur.

Ook het bewijzen van, en de keurmerken die nodig zijn voor nieuwe producten tegenwoordig zorgen voor het stimuleren van nieuwe producten.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Voor ons is het essentieel om te kijken hoe losmaakbaar zijn die materialen die we toepassen. Ook samenwerking met sloper is belangrijk want volgens de theorie is het 100% losmaakbaar, alleen gaan we dat ook echt doen? Hier heb je de sloper voor nodig. En de mensen zijn duur dus als het heel lang duurt om weer alles los te maken van elkaar is er ook extra geld nodig en kan het zo maar 3,4,5 keer zo duur zijn om te slopen. Een voorbeeld is als wij het nieuwe beton uit de Smart Liberator van een oud project in een nieuwe project toepassen dan kopen wij niet het materiaal, maar betalen wij voor de service. Dan gebeurd er iets heel anders en heb je een BTW voordeel als we het in hetzelfde project toepassen.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Als het vergiftigd is, maar ook dat wanneer het ontzettend veel CO2 of moeite mee gemoeid gaat om iets her te gebruiken. Ook een financiële afweging wanneer het hergebruiken duurder wordt.

a. Wat is voor jullie dan een financiële afweging?

Wij hebben een budget per woning om te investeren in circulaire innovaties. Wij kijken hier ook naar wat voor partijen we gaan samenwerken met de juiste ambities en potenties op lange termijn in plaats van de meest circulaire optie te kiezen.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Van te voren inzichtelijk hebben hoe het gaat met de onderhoudscyclus. Een woning gaat 50 tot 70 jaar mee, maar in de tussentijd wordt er veel aan de woning gesleuteld. Dit moet inzichtelijk zijn gemaakt wat er moet gebeuren en wat er in het gebouw zit zodat je data management op orde is. Slopers in een vroeg stadium betrekken. Die hebben zicht op de stromen die vrij komen en zien waar de problemen zitten en hoe we die moeten voorkomen. Deze rol zie ik heel erg veranderen. Ook in samenwerking met een architect. Of in de vorm van keuringen. Zoals een losmaakbaarheidskeuring. Theorie versus praktijk. En door flexibel of modulair te bouwen en te kijken wat de vragen zijn van mensen. Bijvoorbeeld een wandsysteem bedenken waarbij je heel gemakkelijk een kamer kan toevoegen of verwijderen.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Dat is lastig want gaat over heel veel jaren. Op dit moment gebruiken wij gewoon Excel. Je moet bepaalde afspraken kunnen waarborgen. Wat nou als een partij failliet gaat waar je een terugnamegarantie mee hebt gemaakt. Misschien een idee om dan een soort van deze lease contracten te kunnen verhandelen onderling en daar mee geld te verdienen. De elementen met een korte cyclus zoals badkamers, keukens en toiletten die dingen die 15 jaar meegaan kunnen al redelijk goed waarborgen. Maar het is belangrijk dat de constructie goed losmaakbaar is en ook dat je gevets, dakpannen, dakleer goed los kan maken van de constructie. Het mooiste is als dat uniform kan doordat je producten gebruikt en deze zeker te weten kwijt kan aan de markt. Ook dat wanneer er concurrenten ontstaan van dat soort producten. Bijvoorbeeld gebruikt hout krijg je altijd kwijt.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De overheid door middel van het bouwbesluit. De opdrachtgeverdoor de uitvraag. De architect moet het doen en de aannemer moet ambitie hebben. Eigenlijk iedereen in het traditionele proces heeft een belangrijke rol, maar je zou hier wel een soort regisseur op moeten hebben, maar wie is dit dan? Op dit moment zijn wij als woningcorporatie dat.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

De losmaakbaarheid en de toxiciteit. Een goede eis kan zijn dat producten op dezelfde manier teruggebracht kunnen worden als hoe ze erin gebracht zijn.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Het zou mooi zijn als de rekenmodellen die er nu zijn of ontwikkeld zijn ook regelmatiger worden getest. Laat zeggen om de 10 jaar. Want het kan zijn dat er door ontwikkelingen de potentie anders kan zijn. We gebruiken materiaal X en over 10 jaar verwachten wij met de huidige technieken dat het 20% herbruikbaar is, maar over 30 jaar is het 60% herbruikbaar. Dus de technische ontwikkeling zijn heel belangrijk. In hoeverre is er potentie om bijvoorbeeld met een robot de ClickBrick eraf te halen waardoor de sloper dit overweegt in plaats van gewoon te slopen omdat het veel tijd en dus geld kost.

Expert interview – 7. Demolisher: Director Circularity

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

De bovenste stappen van de R ladder, refuse, rethink en reduce zijn voor mij het belangrijkste in het kader van een circulaire economie. Het beste is om een gebouw te laten staan en het een andere bestemming te geven. Het is dus belangrijk, maar in relatie tot de andere R principes. Net als bij de Ladder van Lansink die ook begint met voorkomen en preventie dat vind ik de belangrijkste stap.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Wij doen dit best veel. Voordat wij beginnen met slopen inventariseren wij eerst wat voor materialen kan je eruit halen en welke kan je weer opnieuw inzetten. En in potentie is dat best veel. Een gebouw bestaat over het algemeen uit staal, beton en dakleer. Dat heeft de grootste impact van een gebouw. Voor de materialen met de meeste impact staal, beton en dakleer is hoogwaardige recycling het beste wat je op dit moment kan doen. Als je een hal van staal zou afbreken en ergens weer op kan bouwen is dit ook afhankelijk van de vraag of iemand of een hal zit te wachten. Het is heel erg afhankelijk van het vraag en aanbod. Wat je merkt is dat het netwerk dat wij hebben van mensen die materialen willen afnemen het nog steeds voornamelijk gaat over staal, beton en dakleer.

a. Maken jullie ook mee dat klanten van te voren al zeggen dat ze geen gebruik willen maken van hergebruikte producten?

Ja heel vaak. Het eerste wat wij altijd proberen is om aan onze opdrachtgever te vragen of die de materialen kan hergebruiken in de toekomst. Er wordt dan vaak gezegd dat ze dat niet willen en de markt het wel oplost.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Hier ben ik het niet mee eens. Want wij maken van oud beton weer nieuw beton. En ik vind dat nog steeds hoogwaardig hergebruik. Want als je beton gaat breken en je stopt het onder de weg dan is dat laagwaardig hergebruik omdat je de waarde van je materiaal helemaal kwijt bent. Wij halen het oude beton helemaal uit elkaar en stoppen het weer in nieuw beton. Dit is wel recycling op de R ladder, maar ik vind dit wel hoogwaardig hergebruik. Bij mij gaat het om de waarde behoud. Als je waarde kan behouden en of waarde kan toevoegen dan vind ik het hoogwaardig.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wij zitten helemaal achterin de keten en proberen hem zo circulair mogelijk te slopen. En mijn invloed is eigenlijk wel om contacten te zoeken in de keten. Het lijkt mij ook heel goed om een sloper bij het ontwerp mee te laten kijken.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

De technologische ontwikkelingen. Bijvoorbeeld dat bakstenen nog niet gerecycled kunnen worden. In wezen kan een gebouw totaal opnieuw hergebruikt worden met alle veiligheidseisen, maar dit zal veel geld kosten en misschien wel drie keer zo duur zijn. Dit zal uiteindelijk goedkoper worden als de ervaring en technologie meegaat.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Ik denk dat het nu goed is om te kijken hoe je **het uit elkaar** kan halen en hoe **schaars** een materiaal momenteel is, maar hierin is de prijs wel weer doorslaggevend zoals je ziet bij staal. die prijs fluctueert heel erg. Ook is het voordelig wanneer producten gewoon bestaan uit standaard maten.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

We kunnen glazen tussenwanden, kozijnen, keukens, sanitair, deuren, tapijttegels, plafondplaten, airco's, aantal CV installaties, hekwerken hergebruiken. Als het oud is of wanneer er geen afnemer voor is dan is het niet meer geschikt voor hergebruik of wordt het niet hergebruikt. Een belangrijke en ook een zeker randvoorwaarde is de uniformiteit. Want sommige producten worden specifiek voor een gebouw gemaakt en daardoor zijn ze moeilijk herbruikbaar bij een ander gebouw. En wanneer er asbest of chroom 6 in zit is het met de huidige kennis niet meer herbruikbaar. Er wordt nu ook gezegd dat steenwol het nieuwe asbest is dus misschien moet je over 20 jaar wel steenwol ook net zo weghalen als nu asbest.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Een van de zaken is dat het goed demonteerbaar moet zijn. Want dit kost veel geld als dit niet het geval is. En daarnaast dat je weet wat erin zit. Een soort data management of materiaalpaspoort achtig. Er zijn nog meer dingen die spelen om het rendabel te maken zoals transport of extra handelingen. Bijvoorbeeld installaties die te groot zijn om her te gebruiken. Maar de meeste installaties zijn vaak te oud om nog hoogwaardig hergebruikt te kunnen worden. Ze worden dan gewoon laagwaardig gerecycled.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Ik denk dat uiteindelijk de wetgeving het moet waarborgen. Het is allemaal mogelijk maar je moet het wel met elkaar organiseren. Er zijn genoeg hulpmiddelen hiervoor zoals CO2 heffing of terugnamegaranties, maar dat laatste is over de lange termijn lastig, maar uiteindelijk denk ik dat het echt de wetgeving moet zijn die verplichtingen stelt. Een andere optie zou kunnen zijn hele hoge storttarieven en deze flink omhoog zetten wil je de doelstellingen met ze allen gaan halen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Ik geloof erg in ketensamenwerking. De partijen zien elkaar vaak alleen maar op contractuele basis, maar wat je eigenlijk nodig hebt is dat er ook een aantal mensen met een intrinsieke motivatie elkaar kunnen vinden en met elkaar willen regisseren voor het tot stand komen van de circulaire economie

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

demontabiliteit, standaard maten en het materiaal waar het uit gemaakt is. Dit is een soort materiaalbeschrijving wat bijvoorbeeld in een materialenpaspoort verwerkt kan worden.

Expert interview – 8. Contractor: Developer Circularity

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Het is wel een hele belangrijke. Er wordt ook in aanbestedingen steeds meer om gevraagd, maar in de praktijk zie je vaak dat mensen wel secundaire materialen willen, maar het er dan wel als nieuw uit moet zien en dat er garantie op zit zoals het nieuwe product. Wanneer je een product ergens uit moet halen en moet opknappen is het vaak duurder als een nieuw product. In de aanbesteding is te zien dat er meer punten zijn te halen op het gebied van financiën dan het gebied van circulariteit. Het zou kunnen helpen om bijvoorbeeld opdrachtnemers te belonen wanneer ze circulaire plannen hebben of hergebruikte producten gaan gebruiken.

a. Hoe zou je dat kunnen waarborgen?

Dat er een check komt van de producent en deze nog een soort garantie kan geven omdat hij weet hoe het kozijn er bijvoorbeeld aan toe is. Een aannemer kan eigenlijk geen garantie geven op iets wat niet van hem is. Er zijn dus qua veiligheid, kwaliteit en garanties veel uitdagingen. Er is geen onwil, maar er moet wel realistisch gekeken worden vanuit de opdrachtgever.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Het zou niet uit moeten maken of je nieuwe of hergebruikte of alternatieven producten gebruikt die voldoen aan de minimale eis.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik denk dat Repurpose ook hoogwaardig is mits het dan ook weer langer gebruikt wordt. Niet dat iets dan 3 weken gebruikt wordt terwijl het ook 10 jaar nog had mee kunnen gaan. Dit moet wel een afweging zijn voor je bepaald of het hoogwaardig is.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Het verschilt heel erg op welke **manier je aan tafel zit** met een opdrachtgever. Sommige opdrachtgevers staan er zeker voor open en vragen actief om mee te denken over de circulariteit in de toekomst. Maar er zijn ook opdrachtgevers die gewoon de tekening geven en zeggen dit moet je zo uitvoeren.

Werken jullie ook wel eens samen met alleen maar circulaire onderaannemers?

In de gemeente Amsterdam zijn ze best wel streng met betrekking tot circulariteit. Dus op het moment dat we daar gaan slopen moeten we ook een circulair sloopplan maken. En hierbij vertellen van alles wat we uit de panden halen waar het heen gaat en wat het is en hoe hoog het op de ladder van Lansink scoort. Hierdoor ga je ook circulaire onderaannemers gebruiken. En ze moeten dus ook een stukje onderbouwing aanleveren voor het circulaire plan.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Dan kom je op een stukje losmaakbaarheid. Je moet iets er een heel uit kunnen halen zonder dat je onderdelen sloopt.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Ik denk dat het belangrijk is dat er reguliere maten zijn. Denk bijvoorbeeld aan platen die standaard maatvoering hebben. En ook zoals de belemmering een stuk losmaakbaarheid. Als het gaat om de inrichting dat het ook wat eenduidige kleuren zijn en een stukje esthetisch is dus ook belangrijk. Als het allemaal knal roze is denk ik dat de hergebruikpotentie een stuk minder is.

Hoe zou je esthetica kwantificeren?

Misschien gebruik maken van een bepaald kleurenspectrum. Bijvoorbeeld zandkleuren tot baksteenrood en alles daarbuiten minder potentie.

Ik denk dat een **materialenpaspoort** ook belangrijk is. Bij ons is het al vrijwel standaard. Want wanneer iets geen identiteit heeft dan wordt het bestempeld als afval. En wanneer het eenmaal bestempeld is als afval dan mag je het niet zomaar gebruiken in de Nederlandse wet. Je moet het dus een naam of een label geven. En daarnaast moet er ook **vraag en aanbod** zijn. Wanneer er nu tapijttegels hergebruikt kunnen worden voor kantoren, maar door huidige situatie worden er bijna geen kantoren meer gebruikt.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Als het niet meer functioneel is. Je zou de producten dan eigenlijk een upgrade moeten geven, maar helaas zit deze optie er nu nog niet altijd in. Wil je een nieuwe branddeur of een oude branddeur, maar je wilt eigenlijk een optie dat je een onderdeel zoals rubbertjes wilt upgraden en hem dan nog een keer kan gebruiken. Je verkleint ook de kans op hergebruik wanneer het niet reguliere kleuren en niet reguliere maten zijn.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Je moet dan wel nadenken over de losmaakbaarheid. Dat als je iets erin stopt je het er ook weer makkelijk uit kan halen. Niet het doorkruisen van de Layers of brand. Dit lijkt mij onhandig. Je moet dus niet een keuken maken die 100 jaar moet blijven staan want dat is gewoon niet zo. Het moet van te voren duidelijk zijn voor de eindgebruiker waar iets weer heen kan. Dus dat er bijvoorbeeld een terugnamegarantie is. Hier kan een materialenpaspoort helpen. En behoefte van een database waarin staat welke partijen iets terugnemen. En dat je bij de sloop de verschillende partijen hun eigen producten laat ophalen. Mooier nog zou zijn dat er 1 partij is die dit inventariseert en dan verder de logistiek uitzet.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Misschien moet het materialenpaspoort uitgebreid worden met waar het product precies vandaan komt. Ik denk dan dat de leveranciers er dan ook bewuster van moeten zijn wat ze aanleveren. Zij moeten ook de noodzaak zien dat circulariteit leeft.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De **producent** moet de noodzaak wat meer voelen. Die moeten inzien dat bijvoorbeeld terugname van een grondstof voordeelig voor hun kan zijn. En dan hopelijk dat deze goedkoper is dan een nieuwe grondstof. Mijn voorkeur gaat er naar uit dat de producent zijn eigen producten terugneemt, omdat die exact weet welke materialen (en dus waarde) er nog toe te

kennen is aan zijn product. Optie 2 zou zijn bij een concurrent, maar die kan het product waarschijnlijk minder optimaal inzetten dan de originele producent zou kunnen.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Veiligheid komt altijd eerst.

a. Wat verstaat u onder veiligheid?

Het moet zijn functie kunnen uitoefenen en het moet niet verontreinigd zijn.

Daarnaast is kwaliteit ook belangrijk. Het moet wel de garantie hebben dat het nog steeds doet waar het voor gemaakt is. Bijvoorbeeld als isolatie zo verzadigd is dat het niet meer doet wat het moet doen.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Als je het hebt over secundair materiaal dat je echt de vraag stelt waar komt het secundaire materiaal vandaan? En wie gaat de route begeleiden? Slopers, producenten? en wie is verantwoordelijk voor de kwaliteitscheck of toxiciteitscheck. Dit is nu echt een grote bottleneck bij bestaande bouw. Ik krijg nu wel twintig partijen op een oogstlocatie. Dat is logistiek onhandig en kost planning technisch veel tijd. Mede omdat de oogstlocatie in de binnenstad van een grote stad is. Ik wil niet 20 vrachtwagens langs laten komen zodat we circulair kunnen slopen/oogsten. Het doel heiligt niet alle middelen. Er zou dus een andere oplossing moeten komen. Misschien een inzamelpunt van secundaire materialen? Een marktplaats? Wie gaat die beheren? Die partij zou dan ook direct de kwaliteitscheck of toxiciteitscheck kunnen uitvoeren.

Expert interview – 9. Contractor: Project Manager

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Hergebruik speelt een ontzettend belangrijke rol in die circulaire economie. Omdat er veel waardevolle materialen in de huidige economie rond hebben lopen en in gebruik zijn. Maar je moet hierin wel onderscheid maken hoe je hergebruik definieert.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Je hebt laagwaardige vormen en hoogwaardige vormen van hergebruik. Zelf vind ik de 10R ladder een mooi instrument om dat onderscheid te duiden. Alleen er is meer innovatie nodig om de hoogwaardige vorm van hergebruik te realiseren. Nederland is wereldkampioen recycling en dat is met name laagwaardig hergebruik. Maar hoe kan je nou een gehele constructie zo ontwerpen dat die een volgende levenscyclus in kan gaan? Dat je producten of onderdelen van gebouwen in zijn totaliteit kan demonteren en hergebruiken?

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Refuse, rethink en reduce hebben ook een impact. Je kan hier slimmere constructies maken of constructies optimaliseren. Bij een D & B contract heb je tijdens de voorbereidingsfase veel invloed op het ontwerp. Bij een RAW bestek is dit natuurlijk minder het geval. Hoe verder in het ontwerp- en/of bouwproces je aanhaakt, wordt de mate van invloed wel steeds kleiner. In grote lijnen ben ik het eens. Wat ik nog wel afvraag is of dat het herbestemmen (Repurpose) van een deur als meubilair of tafel een vorm is van hoogwaardig hergebruik. Je verlengt wel de levenscyclus, maar je hebt het niet meer op de waarde waar het oorspronkelijk voor bedoeld is. Het is beter dan recyclen, absoluut. Het is ook lastig om daar een generalistische uitspraak over te doen en hangt van de casus af.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wij hebben vrij diverse activiteiten. Vanaf de ontwerp fase tot en met de realisatie en daarna het beheer en onderhoud. Voor iedere fase in de levenscyclus van een gebouw aan de hand van de circulariteitsstrategie kan je de invloed bepalen. Bij een project hebben we als ambitie gesteld voor het ontwerp om 75 procent hergebruikte materialen onder te brengen in het ontwerp. Dan heb je het heel erg over die ontwerpinvloed waarin je eigenlijk vanuit een ambitie gaat werken en waarin je hergebruik een prominente plek kan geven. Het is interessant om in de realisatie projecten opzoek gaan naar secundaire materialen die goed in het ontwerp passen. Een mix van hoog- en laagwaardig hergebruik. Bij beheer en onderhoud invloed dat je bijvoorbeeld reserveonderdelen of hergebruikte reserveonderdelen op voorraad houdt om de impact op nieuwe grondstoffen te verkleinen. Alleen het is lastig om te weten wat je op voorraad moet hebben als die in een ander project vrijkomen en hoe maak je de match tussen wat ik nodig heb en het aanbod.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Mensen hebben nog steeds de perceptie dat hergebruikte materialen een slechtere kwaliteit leveren, maar dat is lang niet altijd zo. En ik denk dat je dat ook aan moet tonen wat de levensduur of wat de resterende levensduur van een element is. Je wilt dat weten bij het vrijkomen van het materiaal, maar ook dat fabrikanten van een product statistieken of

informatie leveren waaruit blijkt dat een product nog lang niet versleten of end of life is. Bij circulair slopen merk ik dat het heel lastig is om het vraag en aanbod in de tijd te matchen. Wanneer grondstoffen, materialen en producten vrijkomen en wanneer iets nodig is, is een ontzettend grote uitdaging. Ook dat er hele hoge kosten aan arbeid kleven en materialen relatief goedkoop zijn werkt beperkend. Het aandeel van de materialen in de totale maakkosten zijn betrekkelijk laag. Een CO₂ belasting zou hierin kunnen helpen. En de eisen in het bouwbesluit die constant blijven veranderen helpen ook niet echt mee. Bijvoorbeeld de wisselende hoogte van deuren in het bouwbesluit.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Slooppjecten anders aanpakken. Hier moet de demontage en circulaire aanpak meer in ondergebracht worden. Circulair slopen is momenteel nog niet de meest economisch rendabele manier van werken en hoe kunnen we de opbrengsten uit de demontage projecten verder vergroten en ook het vraag en aanbod matchen. We moeten ook aan de voorkant in het ontwerp veel meer op die losmaakbaarheid gaan sturen zodat er in de toekomst een grotere voorraad losmaakbare gebouwen is. Hierdoor kan het percentage hergebruik veder opgeschroefd worden. Industrialisering van de hergebruikmarkt. Een marktplaats waar er meer aanbod is en je zeker bent dat je producten vindt. Hier zit een deel schaalbaarheid in.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Niet goed losmaakbaar leidt tot schade en daarmee dus lagere percentage van producten die er met goede kwaliteit uitkomen en hergebruikt kunnen worden. Maar bij technische installaties lopen levensduren erg uiteen. Als je kijkt naar radiatoren of installaties die nu in de gebouwen zitten en die je wilt hergebruiken komt daar maar een heel klein deel voor in aanmerking omdat er allerlei nieuwe protocollen, standaarden en ontwikkelingen zijn van de hedendaagse bouwindustrie. Hierdoor kan er dus een groot deel niet hergebruikt worden. Doordat die technisch complexe producten moeilijk uit elkaar te halen zijn, maar ook geen nieuwe 1 op 1 bestemming in een gebouw kunnen krijgen omdat ze niet meer voldoen aan de hedendaagse standaarden. Maar hierin zitten wel veel schaarse materialen waardoor de impact voor de circulaire economie groot is.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Dat zit heel dicht tegen de indicatoren in BCI gebouw aan. Dat je zorgt voor losmaakbaarheid, eigenlijk scheiding van systemen. Dat je installaties niet allemaal gaat instorten in je constructie. Dat zorgt ervoor dat je hele systeem met elkaar vermengd is en verkleint eigenlijk de kans op hergebruik van een deel van het systeem.

a. Denkt u dat modulair of flexibel ook bijdraagt aan de sturing van hergebruik?

Voor het 1 op 1 hergebruik van hele componenten draagt het bij, maar als je meer naar deelsystemen gaat dan blijft het nog steeds belangrijk dat die modules opgebouwd zijn volgens de principes van de losmaakbaarheid.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Als je de informatie over het gebouw in een goed dossier hebt zitten dan helpt dit in de toekomst heel erg om die beslissingen te ondersteunen. Dat je een goed dossier hebt en dat het makkelijk toegankelijk is hoe het ooit in elkaar gezet is en dat er een soort demontage

handleiding bij ontwikkeld wordt. Dit kan je aan de voorkant al beïnvloeden en integreren in een materialenpaspoort. En betere afspraken met producten over terugname van bepaalde producten of elementen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Er is een nauwere samenwerking nodig met fabrikanten en producenten van producten over de terugname of take back. Uiteindelijk kan een leverancier die vraag naar producten makkelijker clusteren en is het voor een bouw- of sloopbedrijf best lastig om dat afzetkanaal te vinden. Er moet integraal gewerkt worden. De ambitie die een opdrachtgever stelt en dan met meerdere stakeholder een concrete invulling aan geven. Want als je als architect het ontwerp helemaal dichttimmert krijg je dit soort innovaties ook niet los. Het is een samenspel van meerdere stakeholders waarbij de neuzen dezelfde richting in moeten staan.

a. Denk je dat de overheid een belangrijke rol heeft m.b.t. wet- en regelgeving?

Momenteel wordt de MPG als meetmethodiek gehanteerd. Deze zit op de milieu impact van de materialen, maar nog niet op losmaakbaarheid. Terwijl dat ook een grote randvoorwaarde is om producten te kunnen hergebruiken. Ook gaat de overheid de MPG waarde verlagen per 1 juli 2021 naar 0,8. Dit kan dus ook een stimulans zijn voor bedrijven om hergebruikte producten te gaan gebruiken. Er moet wel een duidelijke spelregel komen binnen de MPG hoe we om moeten gaan met secundaire materialen.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Dit hangt heel erg af van de productgroep. Van een constructie wil ik iets heel anders weten dan van een technisch element in je Werktuigbouwkundige of Elektrotechnische installatie. Je wilt ook dingen weten over geometrie, maar ook certificaten, bepaalde garanties, bepaalde productspecificaties, dingen over gewicht, materiaal samenstellingen. Tevens wil je geen toxiche materialen die de gezondheid belemmeren. Dit is echt een randvoorwaarde.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee.

Expert interview – 10. Platform: Founder

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Mee eens, maar er zijn twee problemen. Een heel groot legacy probleem met bestaande bouw die zich zou kunnen lenen voor hoogwaardig hergebruik. Deze materialen zijn er al dus hier is hergebruik belangrijk voor. Als je ze niet hergebruikt wordt het per definitie afval. Het andere aspect is dat je ervoor zorgt in de verschillende processen, maar ook in het ontwerp dat de kans op afval zo klein mogelijk wordt gemaakt.

a. Hoe zorg je ervoor dat die kans zo klein mogelijk wordt gemaakt?

Door bijvoorbeeld de losmaakbaarheid te vergroten. Door je data management op orde te hebben. En ontwerpprocessen zo in te richten dat je maximaal gebruik kan maken van bestaande en nieuw te oogsten gebruikte materialen.

Daarnaast denk ik dat ook een goede stimulans voor een circulaire economie de scope 3, CO₂ emissies zullen zijn. Ex'Tax is bijvoorbeeld een elegante manier op dat mogelijk te maken.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Alle elementen die belangrijk zijn voor de circulaire economie proberen wij samen te brengen op 1 platform. Het paspoort denken. BCI heeft er mee te maken. Maar ook door te kijken naar tracking and tracing dat je materialen kan volgen door de waardeketen heen en ook het waarderen van reststromen op financieel gebied, maar ook op milieu technisch gebied. Per match wordt er een LCA light opgesteld voor de milieu impact te berekenen. Alleen we merken dat het nog lastig door twee barrières:

1. Timing: Dat wanneer producten vrij komen dat er niet automatisch een vraag voor is. Deze zou je dan moeten opslaan en opslagkosten zijn vaak vrij duur. Daarnaast zijn de materialen vaak ook niet veel meer waard.

2. Standaarden en certificaten: Als iets al gebruikt is mist het standaarden en certificaten om het zo maar weer in te zetten en de kwaliteit en performance te garanderen. Dit maakt het dan weer lastig voor gebruikers om het te verzekeren.

a. Wat is de rol van de verzekeringsmaatschappijen dan?

Dit is zo ingebakken in de processen. De aannemer hoeft alleen maar vinkjes te zetten waarbij die de kwaliteit en performance garandeert, maar dit kan momenteel niet bij hergebruikte producten. Dus kan het ook niet verzekerd worden.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik denk dat er geen circulaire bouweconomie bestaat zonder jouw definitie van hergebruik. Een element wat nog ontbreekt is dat je het anders gaat ontwerpen of meer bio-based materialen gaat gebruiken.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wij doen vooral voorbeelden creëren en laten zien dat het mogelijk is om her te gebruiken. Daarnaast hoop ik ook dat we kunnen bijdragen aan een betere informatievoorziening die dan ook weer toekomstig hergebruik beter maakt.

a. Wat zit er momenteel in jullie informatievoorziening die inzichtelijk maakt hoe herbruikbaar producten zijn?

Ons paspoort gaat best wel ver bijna op molecuul niveau zodat alle hergebruik opties open blijven. Hier zit ook de losmaakbaarheid, toxiciteit en transport bijvoorbeeld in. Alleen de logistiek is wel lastig te organiseren voor de circulaire economie.

Uiteindelijk zoeken we naar matches op:

- productniveau (meest hoogwaardige, maar lastig door certificering en data management)
- componentniveau (meer mogelijkheden, maar net zo lastig)
- materiaalniveau (eenvoudig omdat materiaal gerecycled wordt)

"Het blijft wel lastig aangezien bijvoorbeeld het kozijn 1 op 1 hergebruiken niet per se beter is dan beton recyclen. Dat heeft misschien wel een veel grotere impact."

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Het verschilt heel erg per project doordat de lineaire processen heel verleidelijk zijn is het namelijk makkelijker om iets nieuws te bestellen op basis van een ontwerp dat je hebt ingegeven, dan dat het is om te kijken wat er is en daar je ontwerp op aan te passen. Je merkt voornamelijk bij overheid gedreven klanten dat circulariteit belangrijker wordt en dat overheden dat vragen in tenders. Je merkt ook dat de transitie naar een circulaire economie gepaard gaat met transitie kosten, maar commerciële partijen zijn hier nog erg terughoudend in om daaraan bij te dragen.

a. Zijn bedrijven bereid om de meer circulair te gaan wanneer er subsidie verstrekt wordt?

Als de overheid aangeeft dat 100% gemaakt moet worden met hergebruikte materialen dan zal dit de transitie natuurlijk erg helpen. Maar uiteindelijk moeten partijen ook zelf het voordeel ervan in gaan zien.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Data management is een belangrijk element. Je moet weten wat het product nog kan en wat het heeft meegemaakt in de levenscyclus. Zeker voor kritieke elementen.

Certificering: Dit is ook een barrière, maar stel je maakt het mogelijk om materialen makkelijk te her certificeren is het natuurlijk ook aannemelijker. Beloond worden door circulair te bouwen en dus het verlagen van scope 3 emissies of andere vormen van impact in de bouw, de embedded impacts. Losmaakbaarheid: Wanneer je iets niet last maar met bouten vastmaakt kan je het veel makkelijker hergebruiken. Ook subsidie kan bijdragen, maar subsidie werkt voor de korte termijn, maar we moeten naar een systeem waarbij dat onderdeel is van hoe je zaken doet.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Wanneer iets heel erg specifiek ontworpen is voor een bepaalde functie. Dat maakt het lastig om goed her te gebruiken als we het hebben op productniveau. Heel veel producten zijn toxicisch, maar als de toxiciteit bekend is (zoals in PVC buizen) deze hoeveelheid is toegestaan dan kan het gewoon hergebruikt worden. Maar als er regelgeving is die het verbiedt dan moet het gewoon de reguliere bewerking in. Per case bekijken hoe toxicisch iets is en de Reach standaarden hanteren hoe je met bepaalde stromen om moet gaan. De eisen zullen wel

aangescherpt worden en hierin zal de informatievoorziening steeds belangrijker worden voor de waarde positie naar de klanten toe. En zodra je weet wat erin zit zorg je ervoor dat hoogwaardig hergebruik makkelijker wordt. Bij hergebruikte producten gebruiken en wanneer je niet weet wat erin zit dan is het voor bedrijven risicovoller en is het verleidelijker om het dan maar op de reguliere wijze te verwerken.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Materiaalpasoorten. Deze moeten dan vanaf begin af aan helemaal opgebouwd worden. Bijvoorbeeld beginnen bij de toeleverancier voor de producten die in de bouw gebruikt worden. Eigenlijk wil je gewoon dat de bouwer en de opdrachtgever aan alle toeleverende partijen als eis kunnen stellen: we willen dat je een paspoort meelevvert. Er moet wel een balans zijn in compleetheid en bruikbaarheid.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

De EPR (extended producer responsibility) kan hieraan bijdragen. Dat producten verantwoordelijk kunnen worden gehouden voor de levenscyclus na de verkoop van het product.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De overheid en met name de EU. De overheid speelt een belangrijke rol voor de economie. Want 1/3 van de Nederlandse economie wordt aangestuurd door de overheid. Dus de Wet- en regelgeving van de overheid kan natuurlijk een erg sterke sturende werking hebben op de waarde ketens. En als deze waarde ketens goed zijn ingericht kunnen deze makkelijk op zichzelf staan. Door de wet- en regelgeving kan er een nieuwe markt gecreëerd worden. Neem als voorbeeld de auto industrie waarbij een auto bij einde leven voor 95% hergebruikt moet worden in dit geval hoog- en laagwaardig. Dit heeft er wel voor gezorgd dat er allerlei markten zijn ontstaan voor verschillende onderdelen of materiaalstromen die zichzelf in stand houden en dus geen subsidie nodig hebben.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Vooral dus het data management, de losmaakbaarheid en of het toxicisch zou zijn of kunnen worden. En ook de kwaliteit van een product door middel van de certificering of garanties.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Laagwaardig verwerken van materialen moeten we ontmoedigen. Want dat is nu gewoon te makkelijk denk ik. Dat je bijvoorbeeld end of waste of zelfs begin of waste criteria gaat invoeren. Dit zou in ieder geval eraan bijdragen.

Expert interview – 11. Contractor: Tender Manager

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja zeker het is een belangrijk punt voor de circulaire bouweconomie.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Op het moment zijn we er niet op ingericht. Er is aan de voorkant nog niet over nagedacht. We hebben het dan over bijvoorbeeld:

- Overdimensionering in combinatie met uniformiteit zodat het in eerste instantie niet specifiek is voor een project, maar hierdoor wel langere levensduur omdat ze vaker ingezet kunnen worden
- Standaardisatie van dimensionering: Wanneer het vaker en in meer verschillende functies of gebouwen toegepast kan worden brengt dit meer waarde op.
- Eigenaarschap: wanneer iemand een verantwoordelijk heeft voor een element wordt het ook meer waard als het element vaker ingezet kan worden. Als niemand er verantwoordelijk voor is dan maakt het niemand meer iets uit en wordt het gezien als afval.

a. Wie zou dat eigenaarschap op zich moeten nemen?

Misschien de leverancier of de producenten want die kan het terugnemen en misschien opnieuw inzetten na reparatie bijvoorbeeld. Als wij installaties gaan leasen dan zou het voor ons gunstig zijn als de installatie op meerdere plekken toepasbaar is en zo min mogelijk onderhoud behoeven. Als het product van jou blijft dan dat je dan nog meer verantwoordelijk voelt.

In vergelijking tot de bouw is het voor installaties lastiger om hergebruikt te worden. Omdat installaties bestaan uit zo veel elementen en dat is ten eerste niet inzichtelijk. En sommige dingen gaan langer mee als anderen waardoor het complexer is en daardoor moeilijker is om circulair toe te passen.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik denk dat dit een goede verdeling is voor het bepalen van hergebruik.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Als we circulair te werk willen gaan moeten we dat met z'n allen doen. Dan moet de hele keten mee. De opdrachtgevers moeten de vraag stellen voor circulaire projecten en daar geld voorover hebben. Als de overheid ermee aan de slag gaat zullen wij daarop reageren en wij gaan daarover in gesprek met onze leveranciers.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Een grote belemmering is het vertrouwen in hergebruikte producten. Qua garanties bijvoorbeeld. Een andere belemmering is dat iedereen in de keten een beetje op elkaar aan het wachten is. Wij willen wel circulair inkopen, maar niemand biedt het aan en niemand wil meer betalen om circulair in te kopen. En wij kunnen misschien een onderscheid maken in de installatietechniek tussen de makkelijke en ingewikkelde elementen waardoor er gekeken kan worden wat wel en niet goed herbruikbaar is.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Ik denk als het uit zo min mogelijk elementen bestaat is het makkelijker her te gebruiken. Dus minder complex. Bijvoorbeeld kabelgoten zijn makkelijk, maar met kasten of pompen wordt het ingewikkelder. Dan moet er anders naar gekeken worden. Als je makkelijk bij een installatie kan om hem uiteindelijk te demonteren is ook belangrijk en hoe het met elkaar verbonden is zodat het makkelijk uit elkaar gehaald kan worden en er misschien zelf op element niveau reparatie uitgevoerd kunnen worden bij de installatietechniek.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Ik heb eens gehoord dat wanneer er pur bijkomt of chemische lakken dat dit van invloed is op hergebruik. Ook hoe zaken bewerkt zijn heeft ook invloed op de herbruikbaarheid. In ons geval zijn de installaties vaak te complex.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

De overheid heeft hier een grote verantwoordelijk in. Zolang zij de incentive niet geven. Eigenaarschap gaat een rol spelen. En er moet een impuls komen vanuit de overheid door middel van subsidies of door belastingen.

a. Hoe kunnen we de hergebruikpotentie van een installatie over 15 jaar bepalen?

Er moet dan eerst inzichtelijk zijn wat er allemaal in een installatiekast zit. Een soort materialenpaspoort, maar dan voor is installaties (data management).

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Ik denk dat de start van de overheid komt en daarna moeten bedrijven daar zelf mee aan de slag. Maar de overheid moet en kan die impuls geven.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De overheid heeft ook een invloed hierop door middel van subsidie vrij maken, maar ook door het beladen van producten en materialen in plaats van arbeidskosten. Als materialen goedkoop zijn ga je ook met een bepaalde manier er mee om. Installaties hebben een levensduur van 10-15 jaar dus wij hebben als installateur hier ook invloed in. Want deze hebben een snelle levensomloop en hierbij is het dus mooi als dit meer circulair kan worden en beter hergebruikt kan worden.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Mijn technische kennis is hierin wel beperkt, maar ik denk dat het vooral belangrijk is om te weten wat er in zit en hoeveel er van alles in zit.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Voor de installaties zou het mogelijk zijn om minder installaties te gebruiken door middel van de manier van ontwerpen. Denk bijvoorbeeld aan warmte en koelte dat je een gebouw richting de zon positioneert waardoor je minder installaties voor warmte nodig hebt.

Expert interview – 12. Government: Project Leader

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Je kan herbruikbaarheid in verschillende fasen verdelen

- Op korte termijn: heel snel iets kan aanpassen (muurtjes makkelijk kan verplaatsen, installaties plug en play)
- Middel lange termijn: Het gebouw aan kunnen passen (Van kantoor naar wonen)
- Eindwaarde: Wat betekend een gebouw aan het eind. (Kan je het uit elkaar halen kan je het hergebruiken.)

Het mooiste zou zijn als je een gebouw als een spaarpot ziet en dat je dus de eindwaarde kan behouden.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Wij zitten vanuit de rol van het midden bestuur. Tussen het rijk en de gemeente in. Wij proberen daarin het verschil te maken door het communiceren met beide partijen. Wetgeving volgt altijd heel laat en behoorlijk traag en is ook nog eens een politiek spel. Wat nu alleen is vanuit de wetgeving is de MPG die je minimaal moet behalen. Maar als organisatie, gemeente of opdrachtgever kan je natuurlijk wel een hogere ambitie hebben. Wat je minimaal moet doen is de wetgeving. Je kan dan als organisatie gemeente of opdrachtgever nog een hogere ambitie hebben. De consument heeft heel weinig invloed aangezien er een woning tekort is en iemand al blij is als die überhaupt in een woning zit. Woningen tot aan 1970 die zijn prima te slopen, maar alles daarna is aan elkaar gepunt, gekit en de materialen zijn moeilijk van elkaar te scheiden waardoor hergebruiken ook vaak lastig wordt wanneer iets kapot is gemaakt.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Mee eens. De R ladder is een prima instrument om toe te werken naar hoogwaardiger hergebruik van materialen. Daarnaast is de R ladder redelijk bekend.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Ik denk dat het belangrijk is dat we in ieder geval de problematiek zichtbaar maken. En dat je beleid ontwikkeld rondom circulariteit. Als je iets gaat slopen en je wilt het hergebruiken op dezelfde locatie moet je eerst weten welke materialen er zijn en wat kunnen de materialen doen. Hoe later je in het planproces bent hoe minder je er natuurlijk ook mee kan doen. Als je er geen afspraken over maakt dan blijven we gewoon standaard beton gebruiken. Dit is makkelijk en weten we alles van. Maar als we zeggen dat het beton circulair moet zijn. Dan wordt het spannender.

- Hoe gaan we dat doen?
- Hoe komt het vrij?
- Waar laten we het?
- Wat is de kwaliteit?
- Wat is de garantie?

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Het is geen markt probleem maar maatschappelijk probleem. De bouwbedrijven zitten vaak niet te wachten om circulair te gaan bouwen. Er moet dus meer innovatie komen op verschillende gebieden, maar hoe je die zou moeten regelen dat zou ik zo niet weten. Ik denk ook dat voor innovatie het ook belangrijk is dat we moeten samenwerken.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Als je het kijkt op productniveau moet het in ieder geval uit elkaar of losgemaakt kunnen worden. Een kozijn moet wel als een geheel uit elkaar gehaald kunnen worden. Welke producten komen in aanmerking voor hergebruik is belangrijk om te weten. Het heeft de hoogste omloopsnelheid heeft de meeste toegevoegde waarde. Als je het aanpasbaar kan maken maakt het interessant voor in de toekomst. Als je een huis aanpasbaar kan maken met bijvoorbeeld de binnenwanden zou dat super zijn. Die wanden duw ik wat naar achter of naar voren aan de hand van gezinssamenstelling.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Als het te duur is of vanuit wetgeving niet meer mag. Het is nu zo dat wanneer je een product koopt de kosten van verwerking in het eindstadium niet meegenomen worden. Vroeger hebben we veel met asbest gebouwd en dat is nu een groot probleem. Degene die het verkocht heeft draait niet op voor de rekening of verontreiniging. Dus als je de kosten van een product die waardoor je het in de toekomst niet meer kan hergebruiken bij het begin neerlegt gaan mensen de keuze niet meer maken. Want dan zijn er genoeg andere alternatieven. Als je in de toekomst laagwaardig gaat hergebruiken zouden die kosten in het begin al inzichtelijk moeten zijn of nu al duurder moeten zijn. Je ziet dat men nu alleen naar de investeringskosten kijkt, maar de beheer en eindwaarde wordt niet naar gekeken. Het hele financieringsstelsel is hierop gebaseerd. Als je naar een circulair financieringsstelsel heen gaat ga je ook anders naar hergebruik kijken.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Door wet- en regelgeving, maar die is over algemeen heel traag behalve dat wanneer er een maatschappelijk draagvlak komt waardoor iets snel veranderd moet worden. Kijk bijvoorbeeld naar de energietransitie waarbij we van het gas af moesten. Hier kwam de nul op de meter. Pas wanneer er noodzaak is komt de regelgeving in versnelling. Financieel vertalen van de aanpasbaarheid en de eindwaarde van producten. Ambities van opdrachtgevers en hierover afspraken over maken. Zoals de Citydeal circulair bouwen en de Brabantse standaard circulair bouwen. Hiermee zetten we het hoger op de agenda en proberen we meer invloed uit te oefenen en ondertussen werken aan financieringsmodellen zodat het voor partijen interessanter wordt om circulair te gaan bouwen.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Bij nieuwe producten een CO₂ tax waardoor je de keuze al niet meer maakt om een bepaald product te gebruiken. Ik denk dat er behoefte is aan een gestandaardiseerde methode voor bouwen. Ook denk ik dat terugname garanties helpen voor het waarborgen van hergebruik. Wanneer een producent verantwoordelijk is voor een product. Want dan maakt de producent

wel iets slims om het uit elkaar te halen om her te gebruiken of dat zo goed is dat het lang mee gaat. De losmaakbaarheid en aanpasbaarheid al meenemen in het ontwerp. En je kan hierbij ook veel leren van slopers die in dit proces betrokken worden. Daar zit de ervaring van het eindproduct.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De opdrachtgever van de ontwikkelaar. Als die er al op een andere manier naar kijkt en als die al zegt dat die producten wilt gebruiken die hoogwaardig hergebruikt kunnen worden zou dat super gaaf wezen. Het samenspel tussen de opdrachtgever en ontwikkelaar.

Dus eigenlijk Overheid → Opdrachtgever → Ontwikkelaars

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

- gebruikte materialen (materialenpaspoort)
- Herkomst van materialen / non virgin
- mate van losmaakbaarheid

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee niet echt.

Expert interview – 13. Consultant: Founder / Consultant

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja, het is heel erg van belang. We besparen er uiteindelijk significante CO₂ uitstoot mee en zorgen we ervoor dat er minder virgin bronnen uitgeput hoeven worden.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Er eindigt meer op het niveau van recycling en vaak is het om economische redenen niet rendabel. Wij proberen hier wel een richtinggevende rol aan te geven.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

-

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wij hebben een richtinggevende rol voor waar we naartoe moeten in deze beweging.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Voor de bestaande gebouwen is het lastig omdat deze nog niet met een circulair oogpunt zijn gebouwd. Hierbij loop je er tegen aan dat er op **economisch** gebied veel **arbeidskracht** nodig is om hergebruik mogelijk te maken en dat deze arbeid heel erg wordt belast. De sloop uitvragen worden traditioneel in de markt gezet en eindigen we vaak met een beperkte mate van hergebruik.

a Wat zijn belemmeringen voor de nieuwe gebouwen?

De procesmatige belemmering die ik zie is dat de gehele bouwketen ingericht moet zijn om het ook losmaakbaar (dit is technisch) in een gebouw te zetten bijvoorbeeld. Vaak wordt de aannemer ook aangestuurd op tijd dus geld en minder arbeid.

Economisch gezien is er ook een uitdaging omdat als je een product wilt gaan hergebruiken in de toekomst dan kan het meer gaan kosten, maar je ziet uiteindelijk dat die investeringsbeslissing wordt gemaakt op de korte termijn. Dus stel je zegt ons product kan ook een tweede levensduur mee dan is de vraag in hoeverre degene die de investeringsbeslissing neemt überhaupt over die eerste gebruikscyclus heen kijkt laat staan hier voorbereid is te betalen. Uit onderzoek van ons is te zien dat het niet loont voor een leverancier om die verantwoordelijkheid op zich te nemen omdat financiers het lastig vinden om in een model te stappen en dat het alleen geldt voor de producten in de binnenste S-lagen van Brand met een kortere levensduur.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

De zes factoren van Products That Last vind ik wel een goede opsomming voor het mogelijk maken van hergebruik en hoe producten circulair kunnen blijven

- Standaardisatie (uitwisselbaar tussen leveranciers)
- Bestendigheid
- Gemak van herstel
- Losmaakbaarheid
- Aanpasbaarheid
- Waardering en gevoel

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

De overheid speelt hierin een belangrijke rol. Je wilt natuurlijk dat iets blijft passen in het bouwbesluit. Sommige onderdelen van een gebouw zijn gevoeliger voor verandering dan anderen. Deuren zijn bijvoorbeeld gevoeliger en wordt vaker aangepast. Regelgeving voor bepaalde stoffen die je niet meer mag hergebruiken. In het kader van toxiciteit verwacht ik dat er ook regelgeving aan zit te komen voor nieuwe producten. De koplopers in de circulaire economie zullen de hergebruikspotentie lager schatten als ze nu al weten dat iets toxicisch is, maar wanneer er regelgeving voor is dan wilt heel de markt het niet meer en is er geen hergebruikwaarde meer. De netto milieuwinst van transport versus milieuwinst van het niet opnieuw een product kopen moet aantrekkelijk zijn. Dat de transport niet meer milieu impact veroorzaakt dat wanneer je het product opnieuw zou maken. De hergebruikpotentie zal naar mijn mening ook verhoogd worden wanneer we daar economische waarde aan hechten. Als iets economisch gezien geen waarde heeft in de boeken dan behandel je het ook alsof het geen waarde heeft. Dan doe je daar geen moeite voor om het her te gebruiken. Eigenlijk de boekhoudkundige waarde.

a. Hoe zou je deze economische waarde inzichtelijk kunnen maken?

Alle factoren die gekoppeld zijn aan die hergebruikwaarde ook weer een link hebben met de restwaarde. Ik denk dat ze heel erg verbonden zijn. Bij installaties zit een soort innovatiesnelheid. Je gaat waarschijnlijk die installaties niet als geheel hergebruiken omdat er veel betere op de markt zijn. Dus als iets heel erg aan verandering onderhevig is dat dat ook een belangrijke factor is.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Door wet- en regelgeving en meer waarde toe te kennen aan producten. Ik denk dat het belangrijk is dat er taxateurs in beweging komen.

a. Hoe kan je meer waarde toe te kennen?

Waarde toe te kennen aan het gebouw, maar ook als onderdelen van het gebouw. Als iets meer waarde toegekend krijgt denk ik dat het ook behandeld wordt als waardevoller.

Om hergebruik echt van de grond te krijgen moet er meer uniformiteit komen in hoe architecten ontwerpen. bijvoorbeeld met gestandaardiseerde maten. De een is daar meer een voorstander van dan de ander. Daarnaast is het ook belangrijk om te weten wat je hebt wanneer je hier een waarde aan wilt toe te kennen. Je kan wel zeggen dat iets hergebruikt kan worden, maar als je niet weet wat erin zit dan weet je ook niet of het voldoet aan wet- en regelgeving. Deze informatie is dus erg van belang. Als je meer data hebt over je product of data geeft en daar meer waarde aan kan koppelen dan is er dus ook meer incentive om te hergebruiken. En als de waarde gekoppeld kan worden aan de elementen ontstaat er een incentive voor de leverancier om beter producten te maken. Op het moment dat investeerders investeren in een gebouw waarvan ze weten dat die meer waard is omdat die meer circulair is dan nemen ze die investeringsbeslissing wel, maar op dit moment nemen ze die niet omdat ze op korte termijn denken en gericht zijn op kosten.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Dit kan gewaarborgd worden door taxatie en waarde geven aan producten en de wet- en regelgeving.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Dit is een rol voor de hele bouwketen.

- Architecten bepalen hoe ze iets ontwerpen en of ze met hergebruikte materialen willen ontwerpen.
- Aannemers hebben een belangrijke rol omdat zij ervoor moeten zorgen dat iets daadwerkelijk hergebruikt kan worden omdat het niet alleen de potentie heeft maar ook dat het op die wijze in een gebouw is gezet.
- De slopers die ervoor zorgen dat de elementen uit een gebouw komen en dat ze meedenken in het begin van projecten
- Ook de overheid een belangrijke rol. De overheid moet sturen op hogerop komen op de R-ladder. Dit doen ze nog te weinig na mijn mening.
- Taxateurs voor de waardebepaling
- En de adviseurs hebben een richtinggevende rol waar we heen moeten in deze beweging.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Kijk dan vooral naar de aspecten vanuit vraag 6

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee

Expert interview – 14. Demolisher: Manager

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Hergebruik is zeker een belangrijk onderdeel in de circulaire bouweconomie. Daarnaast denk ik dat biobased producten ook een belangrijke rol gaan spelen. Het hoogwaardig hergebruik van producten in een nieuwbouwwoning zal straks maar 5 tot 10 procent zijn. 20 tot 30 procent nieuwe producten gemaakt uit 100 procent secundaire grondstoffen. En dan de rest aangevuld met biobased. Hierbij moet dus je casco van hout maken met CLT, HSB en biobased isolatie is belangrijk.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Wij hebben ook een verkoopplatform. We weten dus naast het efficiënt oogsten ook aan wie we het moeten verkopen en voor hoeveel. Ik hoop dat we nu gaan overschakelen naar hout en dat in de toekomst weer veel hout uit de bebouwde omgeving geoogst kan worden in plaats van voornamelijk beton. Doordat het licht is, is het uiteindelijk goed te demonteren, transporteren en bewerken. Nog een aanvulling is dat in het derde kwartaal van 2020 er 16.000 woningen gebouwd zijn en er zijn er maar 2.500 gesloopt. Je kan de woningen dus niet gaan bouwen met alleen maar hergebruikte bouwmateriaal. Biobased moet dus ook zeker een toevoeging zijn

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Hier kan ik me 100 procent in vinden. Het woord hergebruik wordt nogal vaak misbruikt. Hoogwaardig hergebruik is voor ons voornamelijk 1 op 1 hergebruik. Het kan ook gerepareerd worden, maar dit is minder hoogwaardig. Hoogwaardig hergebruik heeft te maken met twee kanten de ingebedde CO₂ plus dat je geen nieuwe grondstoffen nodig hebt.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wij als delver hebben een hele belangrijke functie. Circulair slopen is inherent aan circulair bouwen. Ook heeft de overheid hier een rol in als we het percentage hoogwaardig hergebruik omhoog willen halen. Want wij delven de producten waarvan we weten dat de baten bij de verkoop de kosten overtreffen. Maar waar geen **vraag** naar is zetten we niet op het platform voor verkoop.

a. Worden jullie ook betrokken bij nieuwbouwprojecten?

Ja, want wij weten hoe we iets moeten delven en dus ook iets in elkaar moeten zetten en hoe je de verbinding moet maken tussen producten. Dus het adviseren in hoe je het moet toepassen en welke materialen, restwaarden. Als we het nu toepassen en morgen uit elkaar halen wat is dan de **waarde** van het materiaal? Hier kan je de Total Cost of Ownership mee bepalen. Als je puur op prijs gaat beoordelen wordt het nooit circulair. En je kan wel iets bedenken in de theorie, maar in de praktijk moet het gebeuren. Dus is het verstandig om de sloper al te betrekken in het begin en het samen te koppelen.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

De **vraag** gaat groter worden als het **aanbod**. Dat merken wij doordat er minder woningen gesloopt worden dan er bijgebouwd moeten worden dus we kunnen niet iedereen voorzien

van hergebruikte materialen of producten. Ook wet- en regelgeving natuurlijk waarbij het bouwbesluit veel dingen in handen heeft zoals deuren die dan breder worden. Deze deuren kunnen dan niet echt meer hergebruikt worden, maar zetten wij in als halffabricaat voor nieuwe deuren of kozijnen.

a. Vind je het toepassen van een deur voor een ander product hoogwaardig hergebruik?

Dit is in het 10R model repurpose. Dit is dus wel lager, maar altijd beter dan verbranden of shredderen voor recycling of warmte opwekking

Daarnaast zijn de arbeidskosten ook een belemmering aangezien deze vele malen hoger zijn dan de materiaalprijzen. Wij zijn ook aangesloten bij Ex'Tax om de shift te krijgen van belasting op arbeid naar belasting op materialen. Wij moeten over de hergebruikte producten in ons platform weer 21% BTW rekenen, maar over deze producten is het al een keer betaald. Gelukkig is het nog steeds competitief in verhouding tot nieuwe producten, maar het zou wel super zijn als die 21% niet nog een keer betaald hoeft te worden want dan zijn hergebruikte producten nog goedkoper en kan er nog eerder gekozen worden voor hergebruikte producten.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Hoe makkelijk is het te demonteren en wat is de staat van een product in de toekomst.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Elk product heeft een end of life. Je kan dit verlengen door refurbish of goed onderhoud. Maar op een gegeven moment is het gewoon op. Installaties zoals een CV ketel zijn na 18 jaar gewoon op. Dan vervangen alle woningcorporaties deze. Hier heeft ook de technische ontwikkeling het weer ingehaald. De innovaties maken het soms ook lastig om her te gebruiken in de toekomst en hier rekening mee te houden.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Als je weet waar het vandaan komt en daar iets aan mee kan geven. Een super mooi voorbeeld dat bepaalde bouwproducten van de ene Universiteit naar de andere Universiteit gaan. Deze uitwisselingen kan bijdragen aan circulaire ontwikkelingen. Eerst kijken of iets intern hergebruikt kan worden en anders kan de sloper ingeschakeld worden doordat andere al een vraag hebben aangeboden.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Door middel van terugnamegarantie denkt de producent misschien wel twee keer zo veel na om er een goed product neer te zetten. En ook productiejaar op hun bouwproducten zetten waardoor je weet hoe oud een product is.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Slopers spelen een belangrijke rol in de circulaire economie. De sloper is het middelpunt van heel de cirkel. En natuurlijk de overheid voor de wet- en regelgeving.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Levensduur want je wilt weten hoe oud iets is en hiermee kan je dan ook de restwaarde bepalen. En ook hoe je iets uit elkaar moet halen. Dit is allemaal data management. Dat zijn wel lastige dingen want als je daarin investeert dan pluk je daar later pas, misschien wel over 50 jaar, de vruchten van. Ook de waarde van de producten. Want alles wat we naar de stort brengen moeten we voor betalen en wat we demonteren levert geld op. Hierdoor is eigenlijk circulair slopen goedkoper dan traditioneel. Ook wanneer iets overgedimensioneerd is, is de kans op hergebruik veel groter.

a. Hoe waarborgen jullie de kwaliteit van de gebruikte bouwmateriaal?

Wij hebben de producten niet zelf gemaakt en zijn niet aansprakelijk voor eventuele vervolgschade. Maar als er binnen een jaar iets gaat lekken dan kunnen de producten gewoon omgeruild worden

De aanneemsom van traditioneel slopen bestaat voornamelijk uit:

- asbestkosten
- manuren
- machine uren
- recyclingskosten

Als er dus circulair gesloopt wordt kan dit ook weer voordelig zijn. De producten kunnen dan namelijk weer verkocht worden.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

De ontwikkeling is heel belangrijk ook zeker in de advies rol. Om het nog specifieker te maken en dichter bij de praktijk te brengen.

Expert interview – 15. Consultant: Consultant

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Zeker, we zijn altijd gericht op zo min mogelijk belasting en minder materiaal gebruik. Maar uiteindelijk gebruik je nog steeds materiaal en raken ergens de voorraden op en die moeten weer aangevuld worden. Dus absoluut noodzakelijk en hergebruik is meestal de beste en meest hoogwaardigste manier. Het is nu nog marginaal, maar dit wordt essentieel met oog naar de toekomst toe.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Het gebeurd heel marginaal. Het zou ook mooi zijn als er om hergebruikte producten heen ontwerpt wordt en eerst bekijkt wat er beschikbaar is. Er zijn twee routes die naar mijn mening nuttig zijn.

1. Je moet meer naar standaard maten, modulaire maten en meer prefab en industrieel bouwen. Je krijgt dan dus een hele andere manier van bouwen. Deze route is dat dan alle producten weer hergebruikt kunnen worden door middel van bijvoorbeeld de markt.
2. Dat je maatwerk doet, maar dan moet je totaal anders gaan denken. Kijken naar wat je hebt en wat beschikbaar is vind ik een goede gedachte, maar dit zie ik niet gebeuren voor die 100.000 woningen dat wordt lastig.

a. Bedoel je hiermee dus het IFD bouwen?

In ieder geval het stukje industrieel en demontabel. Deze twee componenten zijn essentieel hierin. Dat is heel anders bouwen dan nu bouwen en elke keer kijken wat er gebeurd en dat je niks meer met de producten kan. De maatvoering past voor daar, maar daarna is het ook klaar en kan je er niks meer mee.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Ik vind recycling en recovery meer voor materialen en grondstoffen hergebruiken. En hergebruik vind ik dat je echt het product ansicht. Ik vind het hoogwaardig als je iets gaat hergebruiken voor een hoogwaardige functie en waarbij je anders een vrij milieu intensief product voor nodig zou hebben. Als je met hergebruik een product vervangt wat normaal een grote milieu last heeft dan pak je daar winst op. Wat je ermee vervangt vind ik het belangrijkste.

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Ik zit zelf op de waardering van hergebruik. In de MPG is hergebruik nog lastig te waarderen. Zolang het niet gewaardeerd wordt zullen mensen het ook minder snel doen. Hierin kan ik dus een stimulans uitvoeren naar opdrachtgevers en nemers. In ons platform hebben wij voor de hergebruikspotentie vooral meegenomen dat het demontabel moet zijn en een marktwaarde moet hebben. Voor GPR Gebouw hebben wij voor de hergebruikspotentie dat het demontabel moet zijn. En het moet een marktwaarde hebben.

a. Hoe wordt deze marktwaarde bepaald?

Door middel van te kijken of het standaard maten zijn en het makkelijk ergens anders ingezet kan worden.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

De belemmering zijn ook vooral de twee routes van vraag 2. Daarnaast weten welke kwaliteit je in handen hebt. Je wilt wel een keuring hebben zitten op belangrijke producten.

a. Welke partijen kunnen deze keuring of certificering mogelijk maken?

Ik denk dat er marktplaatsen moeten komen waar dan de kwaliteiten worden gegarandeerd.

Wanneer er standaard maten zijn dan krijg je ook die omloopsnelheid. Als er specifieke maten zijn dan kan het zo maar zijn dat er na drie jaar iemand pas iets nodig heeft. Met modulair (standaard maten) bouwen los je dit in ieder geval op. Ook de arbeid die zo duur is en dat demontagekosten duurder zijn dan sloopkosten.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Vooral de losmaakbaarheid en het moet marktwaarde hebben door gestandaardiseerde en modulaire opbouw. Esthetisch kan ook belangrijk zijn. Er zijn veel dingen die bijvoorbeeld neutraal zijn. En ik denk dat je meer naar neutrale dingen toe moet. Hoe specieker iets is, hoe eenmaliger iets is. De basis moet standaard zijn, maar door het koppelen van allerlei modules kan je er dus voor zorgen dat je variatie realiseert.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Het begint met de kwaliteit/conditie als deze ondermaats is. Je kan het product wel opknappen tot op zeker hoogte. Daarnaast de verhandelbaarheid. Is het een bepaalde maat of is het esthetisch geschikt. De toxiciteit en smet is ook een belangrijke. Deze factor zou je er wel bij moeten trekken. Als er asbest inzit dan houdt het al snel op of als het later blijkt dat iets verontreinigd is.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Het moet demontabel zijn. De industriële bouwwijze en standaard maatvoering.

Dit zijn twee belangrijke voorwaarde om in de toekomst te kunnen hergebruiken. Daarnaast ook zorgen dat het niet verontreinigd raakt en de informatievoorziening in de zin van materiaalpaspoorten. Dat mensen in de toekomst dus ook weten dat iets demontabel is en hoe het uit elkaar gehaald moet worden en wat de kwaliteit is. Dit heeft ook betrekking op het beheer en onderhoud en dus ook de levensduur. Technische specificaties meegeven in een paspoort. Sommige producten nemen bijvoorbeeld ook nijs af. En dat wanneer je iets eruit haalt dat je weet wat de technisch specificaties zijn. Het gaan om veel informatie dus dit moet goed gesstructureerd worden en vooral als je deze data in de toekomst wilt door kunnen geven.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Ik geloof niet echt in de **terugnamegarantie** voor grote producten of hoge lagen in het 6s model, maar voor installaties, inrichten en inbouw zou dit wel kunnen. Hier kan je dan een soort grens aanduiden tot aan wat je kan terugnemen of leasen. Het zal niet voor alles geschikt zijn maar is wel een manier om een deel te waarborgen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De overheid door het goedkoper maken van hergebruik kan de overheid hergebruik stimuleren. Dus het materiaal beladen in plaats van het personeel. Ook door middel van de wet- en regelgeving aangezien die nu helemaal gericht is op nieuw. En hierdoor ook de aansprakelijkheid en verzekeringen. Dit is nog helemaal niet op hergebruik ingericht. Tussenhandelaren zouden bepaalde producten weer op oude nieuwe kunnen brengen, maar ook hier doordat de demontagekosten duurder zijn dan sloopkosten. Dit wordt allemaal belemmerd doordat arbeid zo duur is. Ook door private kwaliteitsborging voor het onafhankelijk waarderen van kwaliteit.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen in de toekomst?

Als eerste is de Conditie belangrijk

- Hoe snel gaat het product achteruit op een gegeven moment zijn deze gewoon op.
- Stabiliteit in conditie

a. Hoe kan je achter de conditie of kwaliteit komen van een product?

Veel kan je beoordelen op zicht of basis van ervaring. Maar bij constructieve producten (zoals balken) kan je minder risico nemen en zou je bijna opnieuw moeten testen. Bijvoorbeeld afname in stijfheid van een stalen balk is 30% in zoveel jaar. Dan weet je dat je wanneer je de stalenbalk nodig hebt en hij is zolang gebruikt dan moet je hem twee keer zo dik maken. Soort van over dimensioneren. Ook als hergebruik geaccepteerd wordt kan je meer toepassen.

Daarna demontabiliteit omdat wanneer je het er niet op een goede manier uit kan halen het ook bijna onmogelijk is om her te gebruiken. En dan de standaard maten van producten binnen een gebouw.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Als je gaat rekenen met een model of een afwegingskader maakt is het misschien slim om de zwakste schakel bepalend te maken. Bij de losmaakbaarheidsindex hebben we een harmonieus gemiddelde gemaakt. Het moet niet gecompenseerd worden. Bijvoorbeeld wanneer iets vastgelijmd zit moet het niet zo zijn dat iets anders mee telt. Bij een harmonieus gemiddelde hebben de lage scores meer invloed. Als je verschillende randvoorwaarden aan hergebruikpotentie koppelt van een product en een van die randvoorwaarde ontbreekt kan het zijn dat het niet meer herbruikbaar is.

Expert interview – 16. Platform: Manager Circularity

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Het antwoord kan alleen maar ja zijn. Het heeft zeker nut en functie. Ik denk dat we in de afgelopen 100 jaar volledig zijn doorgeslagen in de welvaartsgedachte dat de dingen die we maken ook maar weggegooid moeten worden na een bepaald aantal jaren. Er is een periode geweest waarin we dingen reparerde, maar dat doen we inmiddels ook niet meer. We zijn hierdoor een consumptie gedreven maatschappij geworden.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Onze ervaring is dat projecten nog steeds veel te laat aangeboden worden. Het is mooi als er 1 of 2 jaar voor een aanbesteding al gekeken wordt wat er gebruikt gaat worden. En dat een architect al inspiratie kan krijgen uit gebouwen die gesloopt gaan worden. We zien nu wel dat er hard aan de circulaire economie getrokken wordt door alle betrokkenen. En dat de nieuwe generatie veel bewuster wordt met hoe er omgegaan wordt met spullen. We lopen wel vaak tegen de kwaliteit van het materiaal aan en ook de losmaakbaarheid en dat daar geen goede rapportering van gemaakt is. Daarnaast merken wij dat het vraag en aanbod ook niet altijd goed op elkaar aansluiten.

a. Wat is een voorbeeld van vraag en aanbod?

Als een architect zegt dat die kozijnen wil overnemen, maar die heeft ze over drie jaar pas nodig dan kan ik het wel opslaan, maar dat kost geld uiteraard en wellicht kloppen de specificaties over drie jaar niet meer met betrekking tot de normen op dat moment. Denk bijvoorbeeld aan de isolatiewaarde van het glas. De wettelijke norm kan dan inmiddels wel verhoogd zijn

Er is nog veel onduidelijkheid en het gaat altijd over geld. Dus circulariteit is verbonden met investeringen. Ook door de corona schuift de circulariteit naar de tweede of derde plek. Het is een slippost, maar het zou aan de voorkant moeten staan. Er is al veel focus geweest op energie en klimaat, maar daar zijn al veel oplossingen voor. Binnen de circulariteit kijk je naar het behoud van primaire grondstoffen. Wij streven ook naar hergebruik op een zo hoog mogelijk niveau en het liefst in originele vorm. We zien ook sommige producenten inspelen op de losmaakbaarheid. Een voorbeeld hiervan is een grote producent van kanaalplaatvloeren die een bepaald haaksysteem gebruikt waardoor het makkelijk te hijsen is. Maar het heeft wel tijd nodig voordat producenten dat in gaan zien. Ten slotte moet de overheid hierin een voorbeeldfunctie nemen en zijn.

3. Wat vindt u van deze onderverdeling van hergebruik?

Eens, maar het is wel belangrijk om te weten uit welk decennia komt een gebouw en wat is de achtergrond en wat is de bouwmethode geweest. Er zijn dus wel nevenfactoren die invloed hebben op het 10R model. Het liefst op een zo hoog mogelijk niveau en aan de bovenkant van de ladder, maar het kan niet altijd. In dat geval aanpassingen doen in overleg met constructeur of aannemer

4. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Wat wij doen begint bij het begin en dat is de zichtbaarheid hebben op de kwaliteit van de producten die uit een gebouw komen. Digitaliseren van het gebouw op grondstoffen en

materialen niveau. Aangeven vanuit het R model wat we er mee kunnen. Dit doen we vanuit gebruikte producten die hergebruikt kunnen worden.

5. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Losmaakbaarheid is natuurlijk ook een ding want we maakten vroegen staalconstructie die aan elkaar gelast werden. Als je dan praat over hergebruik is dit een groot dilemma. Als we gaan inventariseren voor producten of materiaal uit een gebouw kunnen we helaas niet zien hoe de staalconstructie eruit ziet zonder het plafond eruit te slopen bijvoorbeeld. Hierbij is data management voor de toekomst dus belangrijk. Asbest is een vervelende indicator en als er bijvoorbeeld verf op hardhout zit wordt dit gewoon naar de verwerker gebracht. Dus toxiciteit is een belangrijk punt. Stel je zou ze schaven dan heb je gewoon weer hardhouten balken over. Ik vind dat de overheid te weinig doet aan herbruikbaarheid van materialen. Arbeidsloon mag van mij dat is ook met nieuwe projecten, maar als je over de hergebruikte materialen nog een keer BTW moet heffen vind ik niet kunnen. En als je de afval aanbieder, zoals sloopbedrijven pijn wilt doen moet je de stortkosten gewoon verhogen. Hierdoor kunnen ze alternatieve trajecten gaan verzinnen.

6. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

We moeten zeker kijken naar kwaliteit in de toekomst. Ik ben een voorstander van overdimensionering, maar het is niet meer betaalbaar dus komt altijd een factor tijd en geld bij kijken.

7. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Asbest is nog steeds een grote negatieve factor. Er worden goede asbest rapportages gemaakt. Eerst is er een globale indicatie en worden er stukjes meegenomen voor het lab, maar er moet ook een stuk deconstructief onderzoek gebeuren om de verborgen dingen te achterhalen. Fabrikanten moeten nadenken over niet zozeer prijs/kwaliteit. Ik moet voldoen aan bepaalde normen en bepaalde voorwaarden. We hebben te maken met NEN normen, SHR normen en helemaal dichtgetimmerd bouwbesluit en wetgeving. Daar moet flexibiliteit in gaan komen. En we moeten gewoon weer normaal gaan nadenken over als er een kozijn uit een bestaand gebouw komt waarom we deze niet gewoon in een nieuw gebouw kunnen zetten. Als er een constructeur/aannemer of timmerman dan zou het kunnen zijn dat het glas eruit moet, maar het kozijn dat daar 40 jaar heeft ingestaan waarom zou het niet nog eens 40 jaar kunnen staan in een ander gebouw. Het is een soort angstsyndroom om maar zo min mogelijk risico te lopen. We hebben natuurlijk wel te maken met isolatie normen. Het glas van 30 jaar geleden voldoet niet meer aan de normen van nu. Dan komen er dus wel extra kosten bij voor het vervangen van het glaswerk. Ik denk ook dat de timing belangrijk is. Als ik bijvoorbeeld 50 kozijnen heb die ik zou willen hergebruiken, maar die gaan er pas over drie jaar in want dan ben ik vanaf tekening/ontwerp tot het moment van inbouwen ben ik misschien wel drie jaar verder. Dan moet ik ze gaan opslaan. Voldoet mijn glas dan nog? Kwaliteit van de materialen en gebruik van de materialen. Ga je voor aluminium kozijn dat niet kan roesten of een stalen kozijn wat wel kan roesten. Als je kijkt naar PVC gebruik, moeten we dat wel doen? Als je lichtknoppen hebt of armaturen die zijn over 20/25 jaar helemaal vergeelt en broos geworden. Die is niet meer her te gebruiken. We moeten dus ook nadenken

over langere levensduur, beter en slimmer materiaalgebruik. Waardoor we de levensduur kunnen verlengen.

8. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

We moeten veel meer materiaalkennis binnen krijgen. Deze ligt nu vooral bij fabrikanten en waarin de overheid sturing moet geven.

a. Hoe kan de overheid deze sturing geven?

Door de wet- en regelgeving en op kwaliteitsstandaarden die je met elkaar kan bedenken en verzinnen. En in de toekomst meer op materiaal en grondstoffengebruik. Kunnen we de productieprocessen aanpassen zodat er levensduurverlening komt. Als iets 20 jaar langer mee zou gaan dan nu zal dit een enorme impact hebben op het milieu.

Ook de kennis vanuit de oorsprong. Waar komen dingen vandaan en hoe is het geoogst. Dit hangt dan weer samen met materiaalpasoorten.

9. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Ik denk dat dit echt een rol is van de overheid omdat het zo breed is. Als je weet wat de eigenschappen zijn van een materiaal en waar de grondstof uit bestaat. Er moet een database komen waarbij alles vastgelegd is. Ook weten we nog heel weinig over demontagekosten. Het is leuk om te zeggen dat iets losmaakbaar is, maar hoe dan? Een aannemer die kan het nog niet en weet niet hoe die een gebouw uit elkaar moet halen.

10. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

De rol van de sloper gaat heel anders worden. Het zal meer demonteren gaan worden. En de overheid speelt hierin een grote rol.

11. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Toxiciteit, maar je kan dus een deur makkelijker de verf eraf schuren en opnieuw lakken en weer hergebruiken dan bijvoorbeeld een dak dat verontreinigd is. Met name de product technische kwaliteit van een materiaal. Voldoet het nog aan de specificaties. Geen metaal moeheid en dat soort zaken. Veiligheid is ook een belangrijk thema dat meespeelt. Kan je oude stoep tegels nog hergebruiken of moet ik daar een nieuwe coating op doen om weer opnieuw een antislip laag aan te brengen vanuit de veiligheid voor de gebruikers. Er zijn steenfabrieken die dit doen. Je hebt dan weer een nieuwe anti slip laag. We weten van gebakken klinkers dat ze 120 jaar mee gaan. Maar het kan zijn dat die een bepaalde gladheid gaan krijgen en hoe zit het dan met de veiligheidsaspecten. Losmaakbaarheid want als dingen aan elkaar gepunt of geklit zijn dan trek je het waarschijnlijk kapot. Financiële component speelt ook een zware rol. Want het kan voorkomen dat met het uithalen van een oude kanaalplaatvloer uit de constructie de kosten van demontage etc. hoger liggen dan een nieuwe te kopen. Ik denk dat je hiermee al 80% van je beoordelingsrichtlijnen hebt. Maar sommige producten zijn heel simpel en andere vergen wat meer nadruk werk. Beleving en sentimentele/historische waarde zijn ook van belang voor het bepalen van de herbruikbaarheid.

a. Hoe zou jij dit kwantificeren of kunnen bepalen wat de waarde hiervan is?

Dit moet je echt apart parkeren. Als je praat over de circulaire (rest) waarde en op welke wijze kan ik het opnieuw gebruiken. Dan moet je alle emoties weglaten. Je moet heel zwart wit kijken naar puur het product. Kijk dus echt naar de waarde en niet naar de emotionele waarde.

12. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee

Expert interview – 17. Demolisher: Project Coordinator

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja, uiteraard afhankelijk van het niveau van hergebruik. In basis is hoe hoogwaardiger hergebruik, hoe minder primair materiaalgebruik.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Heb ervaring vanuit de gevelbouw met hergebruik van materialen en bouwproducten. Daarnaast ervaring met het opzetten van een platform (Cirlinq) om bouwproducten uniek identificeerbaar te maken met als doel een APK boek voor gebouwproducten.

3. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Veel. Wij halen materialen en producten uit bestaande gebouwen en hebben hierdoor veel kennis en ervaring over welke bouwproducten zich hier voor lenen en welke niet. Met name de reden waarom dit niet mogelijk is, is interessant.

4. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

De producten en/of materialen voldoen niet meer aan de huidige eisen en wensen en zijn daarmee niet meer toepasbaar door de lange levensduur.

5. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

-

6. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

-

7. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Uiteraard kan er circulair worden uitgevraagd maar dit zegt nog niks over hoogwaardig hergebruik. Het lijkt mij dat het uiteindelijk 9 op de 10 keer neerkomt op een geld kwestie. Je kan uiteraard wel een garantie vragen op terugname en/of hergebruik maar wanneer deze partijen wegvalLEN in de tijd zegt dat nog niks. Een gezond business model die hergebruik borgt blijft de belangrijkste drijfveer om na te denken over hergebruik, demontage, etc.

8. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Anders business modellen waarbij verantwoordelijkheid bij leveranciers blijven. Dit kan in samenwerking met partijen die de producten er weer uithalen aan het einde van de levensduur.

9. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

Producenten/leveranciers in combinatie met New Horizon (einde levensduur gebouw)

10. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

- Bereikbaarheid
- Kwaliteit
- Kwantiteit
- Prestaties/garanties,
- Dimensies,
- Toegankelijkheid/bereikbaarheid,
- Verbindingen,
- Locatie
- Positie

11. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee

Expert interview – 18. Consultant: Manager

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja. Zero Waste als key om ook circulair te bouwen (input = output gekoppeld). Etc.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Zie vraag 3

3. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

DGBC beheert en ontwikkelt BREEAM. Het meetinstrument in NL voor duurzame gebouwen (veelal private sector). Hierin ben ik voor circulair een belangrijk onderdeel, en via die weg ook hergebruik.

4. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

- **Technologie:** data en informatie over bestaand. Data is onbetrouwbaar en nooit up to date.
- **Proces:** handelingen waar huidige sector niet op is ingericht. Gebruiker/beheerder denkt niet of krijgt niet de vraag hoe om te gaan met hergebruik. Dus ook: huidige markt.
- **Financiën:** kosten materialen vs uurloon, en logistiek (kan ook onder proces).

5. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Dit kan via contractuele afspraken. Of via betere informatie (data), concurrerende marktwaarde van hergebruik (t.o.v. nieuw).

6. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Hergebruik focus ik nu alleen op Re-use: dus 2^e leven. Als niet meer aan wetgeving voldoet (veiligheid dan vaak denk ik), kwaliteitseisen om opnieuw in te kunnen zetten (bijv. isolatiewaarde, enkel glas etc.)

7. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

- Contractmanagement (garanties, afspraken terugname)
- Goede inventarisatie van bestaand, voorspelbaarheid.

8. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Zie vraag 7

9. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

- De leveranciers, die graag producten willen hergebruiken of terugnemen.
- De eigenaar/gebruiker: bewustwording dat iets nog (materiële) waarde heeft.
- De beheerder: incentive om ook hoogwaardig hergebruik te organiseren, dus niet alleen verantwoordelijk maken voor functie, maar ook over zero waste.

10. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Zie vraag 7

11. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Nee

Expert interview – 19. Architect: Architect

1. Bent u het eens dat hergebruik een belangrijk aspect is binnen de circulaire bouweconomie?

Ja, het hergebruik van materialen is een belangrijks aspect binnen de circulaire bouw. Op dit moment vergt het nog extra aandacht om een bestaand product in te passen in een ontwerp of bouwkundig. De technische levensduur van een object kan nog prima zijn, maar de rest van het object wordt toch gesloopt (bijvoorbeeld kozijnen die 10 jaar geleden geplaatst zijn in een pand dat 80 jaar oud is en nu gesloopt wordt i.v.m. gewijzigde conforteisen). Op de lange termijn zal het hergebruik nog belangrijker en eenvoudiger worden i.v.m. de verbeterde losmaakbaarheid, alsmede een te verwachte krapte op de grondstoffenmarkt. Daarnaast is de impact van een hergebruikt materiaal vaak vele malen lager, het is er immers nu al. Wel moet er altijd goed nagedacht worden over de prestatie-eisen, ontwerp, bouwkundige kwaliteiten en kosten alvorens wordt overgegaan op het hergebruik van materialen.

2. Wat is uw ervaring met het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouw sector?

Ik heb ruime ervaring in het hergebruiken van bouwproducten binnen de bouwsector. Dit varieert van het hergebruiken van elementen (kozijnen, radiatoren, containers, balkons) tot materialen (hout, steenschotten, staal) en het toepassen van materialen met een hoog percentage recyclede grondstoffen. Ik heb ervaring binnen het ontwerpen, toepassen, onderzoek en uitvoerproces van het toepassen van hergebruikte materialen.

3. Welke invloed heeft u om hergebruik van bouwproducten (in de toekomst) mogelijk te maken?

Als architect aan mij de schone taak om als eerste zo te ontwerpen dat het mogelijk is om met hergebruikte materialen te werken, of dat de toegepaste materialen in de toekomst herbruikbaar zijn. Dat past in het kopje producten slimmer gebruiken en maken. Daarnaast stimuleer en ondervraag ik actief fabrikanten en leveranciers hun producten te verbeteren zodat ze meer circulair worden, dat past in het kopje levensduur verlengen. Ik ben groot voorstander van betere producten, en breng die ook bij aannemers en opdrachtgevers onder de aandacht, om te laten zien dat er ook andere keuzes mogelijk zijn.

a. wat voor invloed heeft uw organisatie hierop?

Als architecten kunnen we invloed uitoefenen op de directe schil van partijen om ons heen. En door verder naar buiten te treden met interviews, presentaties en deelname aan kennisevents spreiden wij onze kennis, en zienswijze op het ontwerpen / de circulaire bouw.

4. Wat zijn volgens u belemmeringen (op het gebied van technologie, proces en financiën) om op dit moment hergebruik mogelijk te maken.

Tijd en geld om het mogelijk te maken. Het meest succesvol zijn nu de kleinere projecten of kleine ingrepen (het laaghangend fruit). Hier zien opdrachtgevers nu het meeste heil in. Vaak zijn in het begin de ambities heel hoog, en vlakken ze af naarmate de tijd vordert, en het budget niet meegroeit en vaak te krap gesteld is. Technologisch is er al veel mogelijk, qua uitvoering is het een aandachtspunt om de aannemer tijdig mee te nemen. Deels omdat zijn businesscase anders wordt bij circulair bouwen, deels omdat de uitvoering ook anders moet qua bevestigen etc. Op dit moment zijn er vooral pilotprojecten door het hele land, maar nog weinig echt circulaire "standaard" projecten. Dit zal ook zijn tijd nodig hebben voordat het

zover is. Stapjes worden gemaakt, maar we hebben nog een hele weg te gaan voordat we de doelstellingen gaan halen voor 2030 en 2050.

a. Wat voor soort belemmeringen zijn dit, en waarom zijn dit belemmeringen?

Geld, echte stimulans vanuit de overheid, soepelere wet- en regelgeving of soms strenger (MPG)

5. Wat zijn (essentiële) randvoorwaarden om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken?

Losmaakbaarheid, materialen in elementen zo samenvoegen dat het geüpgraded kan worden.

a. Wat moet er van te voren worden afgesproken?

Van wie is het afkomstig, wat voor grondstoffen zijn er gebruikt, wil iemand het na afloop terug? Wat zijn de technische specificaties? Hoe lang kan het product mee? Heeft het onderhoud nodig, en wanneer? Wie heeft er mogelijk belangstelling voor? materialenpaspoort.

6. Wanneer is een bouwproduct niet meer geschikt voor hergebruik in de circulaire bouweconomie?

Als een product niet meer estetisch voldoet (het zou zonde zijn als het enkel nu mooi gevonden wordt, over 5 jaar niet meer er allemaal arbeid en geld tegenaan moet om het weer bij de tijd te maken). Als het **bouwkundig** niet meer voldoet (brandwerendheid, akoestisch, thermisch, lekkage, kapot) Als het product niet meer herbruikbaar is, dan kan het nog wel zo zijn dat materialen herbruikbaar zijn, of desnoods de grondstoffen gerecycled kunnen worden. De ambitie zou altijd moeten zijn zo hoog mogelijk op de ladder van Lansink of 10R-model te blijven.

7. Hoe kan er in een zo vroeg mogelijk stadium van een bouwproject gestuurd worden op hoogwaardig hergebruik, en wat is hiervoor nodig?

Je kunt het als opdrachtgever vast meenemen in het PvE, of in de initiatieffase. Je zou dit organisatie breed kunnen opnemen als **beleid**. Dan is het ook te toetsen en moeten alle projecten daar aan voldoen. Als een project gestart is, dan kunnen adviseurs waaronder de architect hergebruik goed onder de aandacht brengen en samen met het team KPI's opstellen om de doelstellingen helder te hebben, en prestaties naar elkaar uit te spreken. Factoren die hier een invloed op hebben zijn:

Actoren, budget, visie, beleid, uitvraag, ambitie.

8. Hoe kan het sturen op hoogwaardig hergebruik gewaarborgd worden?

Door het formuleren van KPI's aan het begin van een project, of nog beter organisatie breed aanpakken. Of vanuit de overheid, alleen dat heeft wel veel impact op andere gebieden (geld, ambities, tijd) en is minder liberaal.

9. Welke partijen spelen een grote rol voor het mogelijk maken en waarborgen van hoogwaardig hergebruik?

- Opdrachtgevers,
- Architecten,
- Aannemers en
- Adviseurs qua hergebruik/duurzaamheid/circulariteit.
-

In kleinere mate constructeur, installatieadviseur en bouwfysicus.

10. Welke aspecten/kenmerken moeten bekend zijn van een product, in het beginstadium van een bouwproject, om de herbruikbaarheid te kunnen bepalen?

Hoeveelheid, status en kosten zodat de opdrachtgever / bouwteam een keuze kan maken tot het mogelijk maken van de inpassing binnen een project. Je zult altijd moeten kijken of iets past binnen het ontwerp / bouwkundig model. Van kozijn tot toiletpot.

11. Wil je naast de vragen nog iets kwijt?

Goede vragen!

Appendix 6 – Expert panel entry sheet influencing factors

Werkveld:

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangrijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker						
	Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Factor links	Factor rechts												
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit												
2	Losmaakbaarheid	Logistiek												
3	Losmaakbaarheid	Data management												
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie												
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit												
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde												
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering												
8	Losmaakbaarheid	Contractering												
9	Toxiciteit	Logistiek												
10	Toxiciteit	Data management												
11	Toxiciteit	Standaardisatie												
12	Toxiciteit	Kwaliteit												
13	Toxiciteit	Financiële waarde												
14	Toxiciteit	Overdimensionering												
15	Toxiciteit	Contractering												
16	Logistiek	Data management												
17	Logistiek	Standaardisatie												
18	Logistiek	Kwaliteit												
19	Logistiek	Financiële waarde												
20	Logistiek	Overdimensionering												
21	Logistiek	Contractering												
22	Data management	Standaardisatie												
23	Data management	Kwaliteit												
24	Data management	Financiële waarde												
25	Data management	Overdimensionering												
26	Data management	Contractering												
27	Standaardisatie	Kwaliteit												
28	Standaardisatie	Financiële waarde												
29	Standaardisatie	Overdimensionering												
30	Standaardisatie	Contractering												
31	Kwaliteit	Financiële waarde												
32	Kwaliteit	Overdimensionering												
33	Kwaliteit	Contractering												
34	Financiële waarde	Overdimensionering												
35	Financiële waarde	Contractering												
36	Overdimensionering	Contractering												

Appendix 7 – Expert panel entry sheet criteria

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor? Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?		Links (L) of Rechts (R)	Extrem belangrijker	Iets belangrijker	Belangrijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker	
	Criterium links	Criterium rechts		Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangrijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker	
Data management									
1 Paspoort op grondstof detail Paspoort op materiaal detail									
1	Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail							
2	Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig							
3	Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig							
Financiële waarde									
1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief							
Overdimensionering									
1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd							
Contractering									
1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie							
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie							
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract							
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie							
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract							
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract							

Appendix 8 – Consent letter

Informatie voor deelname aan wetenschappelijk onderzoek

Titel Onderzoek: Reusability potential in the Building Circularity

Naam van onderzoeker: Nick Kentie

Beste meneer of mevrouw,

Dit interview is gemaakt door onderzoekers van de Technische Universiteit Eindhoven en is deel van het onderzoek “Reusability potential in the Building Circularity - The determination and reassessment of the reusability potential in the Building Circularity Index”.

Het doel is om meer inzicht te krijgen in de hergebruikpotentie en factoren die invloed hebben op deze potentie

Wij vragen u om mee te doen aan een wetenschappelijk onderzoek d.m.v. het deelnemen aan een interview met onderzoeker Nick Kentie van de Technische Universiteit Eindhoven aan de hand van een vragenlijst over het boven genoemd onderzoek. Voor deelname aan het onderzoek, het invullen van de vragenlijst en het analyseren en verwerken van de door U verstrekte informatie voor het uitvoeren van het genoemde onderzoek willen we uw toestemming vragen.

Meedozen is vrijwillig. Voordat u besluit of u wilt deelnemen aan dit onderzoek, krijgt u uitleg over wat het onderzoek inhoudt op het informatieblad op de volgende pagina met meer details over het onderzoek en gegevensverzameling. Lees deze informatie zorgvuldig door en vraag de onderzoeker om uitleg als u vragen heeft.

1. Algemene informatie

Dit onderzoek is opgezet door Nick Kentie en wordt uitgevoerd onder supervisie van Dr. Q. (Qi) Han en Prof.dr.ir. B. (Bauke) de Vries van de Technische Universiteit Eindhoven.

2. Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om de hergebruikpotentie te waarderen aan de hand van verschillende factoren die invloed hebben op hergebruik, en hoe deze hergebruikpotentie geïntegreerd kan worden in BCI Gebouw.

3. Wat meedoен inhoudt

Tijdens het onderzoek zullen er gegevens worden verzameld over uw:

- Naam en e-mail (voor contact)
- Functie
- Uitleg / meningen bij vragen

4. Is u niet wilt meedoен of wilt stoppen met het onderzoek

U beslist zelf of u meedoet aan het onderzoek. Deelname is vrijwillig. Als u wel meedoet, kunt u zich altijd bedenken en toch stoppen, ook tijdens het onderzoek. U hoeft niet te zeggen waarom u stopt. De gegevens die tot dat moment zijn verzameld, worden gebruikt voor het onderzoek.

5. Einde van het onderzoek

Uw deelname aan het onderzoek stopt als:

- U zelf kiest om te stoppen;
- Het einde van het hele onderzoek is bereikt.

6. Gebruik en bewaren van uw gegevens

Het verzamelen, gebruiken en bewaren van uw gegevens is nodig om de vragen die in dit onderzoek worden gesteld te kunnen beantwoorden en de resultaten te kunnen publiceren. Wij vragen voor de opslag en het gebruik van uw gegevens uw toestemming.

Vertrouwelijkheid van uw gegevens

De gegevens worden verwerkt met goed beveiligde computersystemen waartoe onbevoegden geen toegang hebben. Om uw privacy te waarborgen, worden uw naam en contactgegevens gescheiden van uw onderzoeksgegevens bewaard. Voorafgaand aan de verwerking van de interviewresultaten krijgt u een uniek deelnemersnummer toegewezen. Bij het invullen van alle formulieren en bij het opslaan van de gegevens in databestanden wordt alleen uw deelnemersnummer gebruikt, niet uw naam of e-mail. In de rapportage zullen resultaten niet herleidbaar zijn tot de identiteit van individuele deelnemers.

TU Eindhoven garandeert dat uw gegevens alleen voor onderzoeksdoeleinden worden gebruikt. Uw gegevens zijn slechts toegankelijk voor daartoe bevoegde onderzoekers van de TU Eindhoven. Derden hebben geen toegang tot de verzamelde gegevens. In publicaties over het onderzoek zijn (de antwoorden van) individuele deelnemers op geen enkele wijze herkenbaar. Na afronding van het onderzoek zullen uw persoonlijke gegevens zoals naam, e-mail, etc. vernietigd worden.

Toegang tot uw gegevens voor controle

Sommige personen kunnen op de onderzoek locatie toegang krijgen tot uw gegevens. Dit is nodig om te kunnen controleren of het onderzoek goed en betrouwbaar is uitgevoerd. Personen die ter controle inzage krijgen in uw gegevens zijn: de commissie die de veiligheid van het onderzoek in de gaten houdt en de begeleiders (supervisors) van onderzoeker Nick Kentie. Zij houden uw gegevens geheim. Wij vragen u voor deze mogelijke inzage toestemming te geven.

Intrekken toestemming

U kunt uw toestemming voor het gebruik van uw persoonsgegevens altijd weer intrekken. Dit geldt voor dit onderzoek. De onderzoeksgegevens die zijn verzameld tot het moment dat u uw toestemming intrekt worden nog wel gebruikt in het onderzoek.

7. Heeft u vragen?

Bij vragen over het onderzoek kunt u contact opnemen met:

Nick Kentie (n.m.j.kentie@student.tue.nl; telefoon: +316 39 67 04 60)

8. Contactgegevens en klachten

Onderzoekers: Nick Kentie	(e-mail: n.m.j.kentie@student.tue.nl)
Prof.dr.ir. B. (Bauke) de Vries	(e-mail: b.d.vries@tue.nl)
Dr. Q. (Qi) Han	(e-mail: q.han@tue.nl)

Locatie: VRT. 9.10
The Built Environment
Eindhoven University of Technology (5600 MB)

Data Protection Officer: Annuska van den Eijnden
E-mail: dataprotectionofficer@tue.nl; Tel: 040 - 2476079

Indien u klachten heeft over het onderzoek, kunt u dit bespreken met de hoofdonderzoeker:
Nick Kentie (e-mail: n.m.j.kentie@student.tue.nl; telefoon: +316 39 67 04 60)

Dank voor uw aandacht.

Toestemmingsformulier voor deelname aan onderzoek

Voor het deelnemen aan een wetenschappelijk onderzoek is het belangrijk dat de deelnemers weten dat deelname volledig vrijwillig is en dat we uw toestemming nodig hebben om deel te nemen aan het onderzoek "Reusability potential in the Building Circularity - The determination and reassessment of the reusability potential in the Building Circularity Index" en om de informatie die u in dit interview verstrekkt te verwerken. Lees de onderstaande verklaringen aandachtig door. Als u het eens bent met onderstaande verklaringen, dan kunt u onderaan uw goedkeuring geven. Als u het niet eens bent met deze stellingen, kunt u de vragenlijst afbreken.

Door deel te nemen aan dit onderzoek ga ik akkoord met het volgende:

- Ik heb de informatie over dit onderzoek gelezen en begrepen. Ik heb, indien nodig, vragen over het onderzoek kunnen stellen aan de onderzoekers die dit onderzoek uitvoeren. Ik begrijp dat ik vrij ben om contact op te nemen met de onderzoeker met eventuele vragen over het onderzoek in de toekomst.
- Ik doe vrijwillig mee aan deze vragenlijst en ik begrijp dat ik te allen tijde kan weigeren vragen te beantwoorden en kan stoppen met deelname aan deze vragenlijst, zonder opgaaf van reden;
- Ik geef toestemming voor de verwerking en opslag van de gegevens die ik in het kader van het interview heb verstrekt ten behoeve van het onderzoek " Reusability potential in the Building Circularity - The determination and reassessment of the reusability potential in the Building Circularity Index ". De informatie verstrekt in de interviews wordt beveiligd opgeslagen op de servers van de TU Eindhoven.
- Ik begrijpen dat de informatie die ik verstrek niet naar mij teruggeleid kan worden in rapporten en wetenschappelijke publicaties over dit onderzoek.
- Ik heb bovenstaande verklaringen gelezen en begrepen en ben het eens met al deze verklaringen. Gelieve slechts één van de volgende opties te kiezen:

- Nee, ik ga niet akkoord
 Ja, ik ga akkoord

Deelnemer Onderzoek

Plaats, datum _____

Handtekening deelnemer interview: _____

Lid onderzoeksteam:

Ik heb me ervan vergewist dat ik deze deelnemer goed geïnformeerd heb over het onderzoek waaraan hij/zij gaat deelnemen. Ik heb mij ervan overtuigd dat deze persoon voldoet aan de selectiecriteria om aan bovengenoemd onderzoek deel te mogen nemen.

Plaats, datum _____

Handtekening deelnemer interview: _____

Appendix 9 – Qualitative analysis influencing factors

Working field 1: Consultant

ID 1	ID 13	ID 15	ID 18
Disassembly	Aesthetic	Disassembly	Law and regulations
Law and regulations	Disassembly	Standardisation	Data management
Toxicity	Standardisation	Aesthetic	Value
Standardisation	Toxicity	Toxicity	
	Law and regulations	Quality	
	Value		

Result: Aesthetic, Disassembly, Law and regulations, Standardisation, Toxicity, Value

Working field: Platform

ID 5	ID 16	ID 10
Aesthetic	Quality	Data management
Disassembly	Over-dimensioning	Disassembly
Toxicity	Toxicity	Law and regulations
Data management	Law and regulations	

Result: Disassembly, Toxicity, Data management, Law and regulations

Working field: Demolisher

ID 7	ID 14	ID 17
Disassembly	Disassembly	Disassembly
Standardisation	Quality	Data management
Quality	Technical developments	Over-dimensioning
Supply and demand		
Toxicity		

Result: Disassembly, Quality

Working field: Architect

ID 2	ID 4	ID 19
Disassembly	Supply and demand	Disassembly
Toxicity	Design	Data management
Quality	Law and regulations	Aesthetic
Data management	Toxicity	Quality
	Quality	
	Disassembly	
	Logistics	
	Aesthetic	

Result: Toxicity, Quality, Disassembly, Data management, Aesthetic

Working field: Contractor

ID 8	ID 9	ID 11
Standardisation	Supply and demand	Repairability
Disassembly	Disassembly	Disassembly
Aesthetic	Toxicity	Toxicity
Data management		Data management
Supply and demand		
Toxicity		

Result: Disassembly, Toxicity, Supply and demand, Data management

Working field: Housing corporation

ID 3	ID 6
Standardisation	Taxes
Disassembly	Disassembly
Data management	Toxicity
Aesthetic	Financial
Toxicity	

Result: Disassembly, Toxicity

Working field: Government

ID 12
Disassembly
Value
Adaptivity (building level)
Law and regulations

Result: Disassembly, Value, Adaptivity, Law and regulations

Appendix 10 – Expert panel entry sheet results

E.1: Government

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie? Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker	
	Factor links			Factor rechts					
Losmaakbaarheid Hoe goed kan het product uit elkaar gehaald worden?	1 Losmaakbaarheid	Toxiciteit		•					
	2 Losmaakbaarheid	Logistiek		•					
	3 Losmaakbaarheid	Data management		•					
	4 Losmaakbaarheid	Standaardisatie		•					
	5 Losmaakbaarheid	Kwaliteit		•					
	6 Losmaakbaarheid	Financiële waarde		•					
Toxiciteit Is het product toxicisch of besmet?	7 Losmaakbaarheid	Overdimensionering		•					
	8 Losmaakbaarheid	Contractering		•					
	9 Toxiciteit	Logistiek		•					
	10 Toxiciteit	Data management		•					
	11 Toxiciteit	Standaardisatie	L		•				
	12 Toxiciteit	Kwaliteit		•					
	13 Toxiciteit	Financiële waarde	L		•				
	14 Toxiciteit	Overdimensionering		•					
	15 Toxiciteit	Contractering		•					
	16 Logistiek	Data management		•					
	17 Logistiek	Standaardisatie		•					
	18 Logistiek	Kwaliteit		•					
	19 Logistiek	Financiële waarde		•					
	20 Logistiek	Overdimensionering		•					
	21 Logistiek	Contractering		•					
	22 Data management	Standaardisatie	L		•				
	23 Data management	Kwaliteit	L		•				
	24 Data management	Financiële waarde	L		•				
	25 Data management	Overdimensionering		•					
	26 Data management	Contractering	L		•				
	27 Standaardisatie	Kwaliteit		•					
	28 Standaardisatie	Financiële waarde	L		•				
	29 Standaardisatie	Overdimensionering		•					
	30 Standaardisatie	Contractering		•					
	31 Kwaliteit	Financiële waarde		•					
	32 Kwaliteit	Overdimensionering		•					
	33 Kwaliteit	Contractering		•					
	34 Financiële waarde	Overdimensionering	L			•			
	35 Financiële waarde	Contractering	L			•			
	36 Overdimensionering	Contractering	L			•			

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor? Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker	
	Criterium links			Criterium rechts					
Data management									

1 Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail	L		•				
2 Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L		•				
3 Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L		•				

1 Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L		•				
--	--------------------------------------	---	--	---	--	--	--	--

1 Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	L		•				
----------------------------------	-------------------------------------	---	--	---	--	--	--	--

1 Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L		•				
2 Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L		•				
3 Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L		•				
4 Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	R		•				
5 Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L		•				
6 Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L		•				

E.2: Contractor

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker						
	Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Factor links	Factor rechts												
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit	R					•						
2	Losmaakbaarheid	Logistiek	L		•									
3	Losmaakbaarheid	Data management	R		•									
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie	R		•									
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit	L		•									
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde	L	•										
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering	L			•								
8	Losmaakbaarheid	Contractering	L		•									
9	Toxiciteit	Logistiek	L		•									
10	Toxiciteit	Data management	L		•									
11	Toxiciteit	Standaardisatie	L		•									
12	Toxiciteit	Kwaliteit	L		•									
13	Toxiciteit	Financiële waarde	L		•									
14	Toxiciteit	Overdimensionering	L		•									
15	Toxiciteit	Contractering	L		•									
16	Logistiek	Data management		•										
17	Logistiek	Standaardisatie	R	•										
18	Logistiek	Kwaliteit	R	•										
19	Logistiek	Financiële waarde	R			•								
20	Logistiek	Overdimensionering	L		•									
21	Logistiek	Contractering	R			•								
22	Data management	Standaardisatie	L				•							
23	Data management	Kwaliteit	L			•								
24	Data management	Financiële waarde	R	•										
25	Data management	Overdimensionering	L			•								
26	Data management	Contractering	L		•									
27	Standaardisatie	Kwaliteit	L		•									
28	Standaardisatie	Financiële waarde	L		•									
29	Standaardisatie	Overdimensionering	L		•									
30	Standaardisatie	Contractering	L			•								
31	Kwaliteit	Financiële waarde	L		•									
32	Kwaliteit	Overdimensionering	L			•								
33	Kwaliteit	Contractering	L		•									
34	Financiële waarde	Overdimensionering	L			•								
35	Financiële waarde	Contractering	L			•								
36	Overdimensionering	Contractering	R			•								

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker						
	Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Criterium links	Criterium rechts												

Data management

1	Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail	L			•		
2	Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L				•	
3	Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L				•	

Financiële waarde

1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L			•		
---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	---	--	--

Overdimensionering

1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	L			•		
---	--------------------------------	-------------------------------------	---	--	--	---	--	--

Contractering

1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L			•		
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L			•		
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	R				•	
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L			•		
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	

E.3: Demolisher

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie?		Links (L) of Rechts (R)						
	Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?			Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker	
	Factor links	Factor rechts							
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit	L					•	
2	Losmaakbaarheid	Logistiek	R	•					
3	Losmaakbaarheid	Data management	R		•				
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie	R	•					
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit	R	•					
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde	R			•			
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering	L			•			
8	Losmaakbaarheid	Contractering	L			•			
9	Toxiciteit	Logistiek	R			•			
10	Toxiciteit	Data management	R		•				
11	Toxiciteit	Standaardisatie	R	•					
12	Toxiciteit	Kwaliteit	R		•				
13	Toxiciteit	Financiële waarde	R			•			
14	Toxiciteit	Overdimensionering	L		•				
15	Toxiciteit	Contractering	R		•				
16	Logistiek	Data management	R	•					
17	Logistiek	Standaardisatie	R		•				
18	Logistiek	Kwaliteit	R	•					
19	Logistiek	Financiële waarde	R		•				
20	Logistiek	Overdimensionering	L			•			
21	Logistiek	Contractering	L			•			
22	Data management	Standaardisatie	R		•				
23	Data management	Kwaliteit	R		•				
24	Data management	Financiële waarde	L			•			
25	Data management	Overdimensionering	L			•			
26	Data management	Contractering	L			•			
27	Standaardisatie	Kwaliteit	L			•			
28	Standaardisatie	Financiële waarde	R		•				
29	Standaardisatie	Overdimensionering	L		•				
30	Standaardisatie	Contractering	L			•			
31	Kwaliteit	Financiële waarde	R			•			
32	Kwaliteit	Overdimensionering	L			•			
33	Kwaliteit	Contractering	L			•			
34	Financiële waarde	Overdimensionering	L		•				
35	Financiële waarde	Contractering	L			•			
36	Overdimensionering	Contractering	R			•			

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor?		Links (L) of Rechts (R)						
	Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?			Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker	
	Criterium links	Criterium rechts							

Data management

1	Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail		•				
2	Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L					•
3	Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L					•

Financiële waarde

1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L					•
---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	--	--	---

Overdimensionering

1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	L					•
---	--------------------------------	-------------------------------------	---	--	--	--	--	---

Contractering

1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L					•
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L					•
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L					•
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	R	•				
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L					•
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L					•

E.4: Platform

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie?		Links (L) of Rechts (R)						
	Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?			Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker	
	Factor links	Factor rechts							
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit	L			•			
2	Losmaakbaarheid	Logistiek	L			•			
3	Losmaakbaarheid	Data management		•					
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie	L		•				
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit		•					
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde	L			•			
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering	L				•		
8	Losmaakbaarheid	Contractering		•					
9	Toxiciteit	Logistiek	R			•			
10	Toxiciteit	Data management	R			•			
11	Toxiciteit	Standaardisatie	L			•			
12	Toxiciteit	Kwaliteit	L			•			
13	Toxiciteit	Financiële waarde	L				•		
14	Toxiciteit	Overdimensionering	L				•		
15	Toxiciteit	Contractering	L		•				
16	Logistiek	Data management		•					
17	Logistiek	Standaardisatie	R			•			
18	Logistiek	Kwaliteit	R			•			
19	Logistiek	Financiële waarde							
20	Logistiek	Overdimensionering	L			•			
21	Logistiek	Contractering		•					
22	Data management	Standaardisatie		•					
23	Data management	Kwaliteit		•					
24	Data management	Financiële waarde	L			•			
25	Data management	Overdimensionering	L				•		
26	Data management	Contractering		•					
27	Standaardisatie	Kwaliteit	R			•			
28	Standaardisatie	Financiële waarde	R			•			
29	Standaardisatie	Overdimensionering	L				•		
30	Standaardisatie	Contractering		•					
31	Kwaliteit	Financiële waarde	L			•			
32	Kwaliteit	Overdimensionering	L				•		
33	Kwaliteit	Contractering		•					
34	Financiële waarde	Overdimensionering	L				•		
35	Financiële waarde	Contractering		•					
36	Overdimensionering	Contractering	R			•			

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor?		Links (L) of Rechts (R)						
	Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?			Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker	
	Criterium links	Criterium rechts							

Data management

1	Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail	R			•		
2	Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L					•
3	Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L					•

Financiële waarde

1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L				•	
---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	--	---	--

Overdimensionering

1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	R			•		
---	--------------------------------	-------------------------------------	---	--	--	---	--	--

Contractering

1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L		•			
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L		•			
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	L			•		
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L				•	
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	

E.5: Housing corporation

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie? Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker
	Factor links							
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit	R					•
2	Losmaakbaarheid	Logistiek	L				•	
3	Losmaakbaarheid	Data management	L		•			
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie	L		•			
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit	L	•				
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde	L		•			
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering	L				•	
8	Losmaakbaarheid	Contractering	L				•	
9	Toxiciteit	Logistiek	L				•	
10	Toxiciteit	Data management	L				•	
11	Toxiciteit	Standaardisatie	L				•	
12	Toxiciteit	Kwaliteit	L				•	
13	Toxiciteit	Financiële waarde	L				•	
14	Toxiciteit	Overdimensionering	L				•	
15	Toxiciteit	Contractering	L				•	
16	Logistiek	Data management	L		•			
17	Logistiek	Standaardisatie	R				•	
18	Logistiek	Kwaliteit	R				•	
19	Logistiek	Financiële waarde	R				•	
20	Logistiek	Overdimensionering	L		•			
21	Logistiek	Contractering	R		•			
22	Data management	Standaardisatie	R				•	
23	Data management	Kwaliteit	R				•	
24	Data management	Financiële waarde	R				•	
25	Data management	Overdimensionering	L	•				
26	Data management	Contractering	L	•				
27	Standaardisatie	Kwaliteit	L		•			
28	Standaardisatie	Financiële waarde	R		•			
29	Standaardisatie	Overdimensionering	L				•	
30	Standaardisatie	Contractering	L		•			
31	Kwaliteit	Financiële waarde	L		•			
32	Kwaliteit	Overdimensionering	L				•	
33	Kwaliteit	Contractering	L		•			
34	Financiële waarde	Overdimensionering	L				•	
35	Financiële waarde	Contractering	L			•		
36	Overdimensionering	Contractering	R		•	■	■	■

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extrem belangrijker						
	Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Criterium links	Criterium rechts												

Data management

1	Pspoort op grondstof detail	Pspoort op materiaal detail	R	•				
2	Pspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L				•	
3	Pspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L				•	

Financiële waarde

1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L				•	
---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	--	---	--

Overdimensionering

1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	L		•			
---	--------------------------------	-------------------------------------	---	--	---	--	--	--

Contractering

1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L			•		
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L			•		
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L			•		
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	R				•	
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L					
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	

E.6: Consultant

Nr.	Welke factor is belangrijker voor het bepalen van de hergebruikpotentie?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker						
	Factor links, factor rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Factor links	Factor rechts												
1	Losmaakbaarheid	Toxiciteit	L			•								
2	Losmaakbaarheid	Logistiek	L				•							
3	Losmaakbaarheid	Data management		•										
4	Losmaakbaarheid	Standaardisatie	L				•							
5	Losmaakbaarheid	Kwaliteit	L		•									
6	Losmaakbaarheid	Financiële waarde		•										
7	Losmaakbaarheid	Overdimensionering	L				•							
8	Losmaakbaarheid	Contractering	L				•							
9	Toxiciteit	Logistiek	L				•							
10	Toxiciteit	Data management	R					•						
11	Toxiciteit	Standaardisatie	L		•									
12	Toxiciteit	Kwaliteit	L		•									
13	Toxiciteit	Financiële waarde	R				•							
14	Toxiciteit	Overdimensionering	L		•									
15	Toxiciteit	Contractering	L		•									
16	Logistiek	Data management	R				•							
17	Logistiek	Standaardisatie	R			•								
18	Logistiek	Kwaliteit	L	•										
19	Logistiek	Financiële waarde	R			•								
20	Logistiek	Overdimensionering	L		•									
21	Logistiek	Contractering	L		•									
22	Data management	Standaardisatie	L					•						
23	Data management	Kwaliteit	L				•							
24	Data management	Financiële waarde		•										
25	Data management	Overdimensionering	L		•									
26	Data management	Contractering	L			•								
27	Standaardisatie	Kwaliteit	L	•										
28	Standaardisatie	Financiële waarde	R			•								
29	Standaardisatie	Overdimensionering	R		•									
30	Standaardisatie	Contractering	R			•								
31	Kwaliteit	Financiële waarde	R					•						
32	Kwaliteit	Overdimensionering	L				•							
33	Kwaliteit	Contractering	L		•									
34	Financiële waarde	Overdimensionering	L				•							
35	Financiële waarde	Contractering	L				•							
36	Overdimensionering	Contractering	R		•									

Nr.	Welk criterium is belangrijker voor het bepalen van de factor?		Links (L) of Rechts (R)	Even belangrijk	Iets belangrijker	Belangerijker	Veel belangrijker	Extreem belangrijker						
	Criterium links, criterium rechts of even belangrijk? En hoe veel belangrijker?													
	Criterium links	Criterium rechts												

Data management

1	Paspoort op grondstof detail	Paspoort op materiaal detail	R					•
2	Paspoort op grondstof detail	Geen paspoort aanwezig	L		•			
3	Paspoort op materiaal detail	Geen paspoort aanwezig	L				•	

Financiële waarde

1	Restwaarde op hergebruik is positief	Restwaarde op hergebruik is negatief	L					•
---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	--	--	---

Overdimensionering

1	Product is overgedimensioneerd	Product is niet overgedimensioneerd	L		•			
---	--------------------------------	-------------------------------------	---	--	---	--	--	--

Contractering

1	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Hergebruikstrategie	L		•			
2	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Terugnamegarantie	L			•		
3	Hergebruikstrategie en terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L				•	
4	Hergebruikstrategie	Terugnamegarantie	R				•	
5	Hergebruikstrategie	Niks opgenomen in contract	L				•	
6	Terugnamegarantie	Niks opgenomen in contract	L					•

Appendix 11 – AHP analysis and results influencing factors

E1: Consultant

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	1	7	5	5	1	7	7	7
Data management	1	1	9	9	7	1	9	5	7
Standardisation	1/7	1/9	1	1/5	3	1/1	7	1/5	1/7
Toxicity	5	1/9	5	1	5	1/7	7	3	5
Quality	1/5	1/1	1/3	1/5	1	1/9	1/3	7	5
Financial value	1	1	7	7	9	1	7	7	7
Logistics	1/7	1/9	1/7	1/7	3	1/7	1	5	5
Over-dimensioning	1/7	1/5	5	1/3	1/1	1/7	1/5	1	1/5
Contracting	1/7	1/7	7	1/5	1/5	1/7	1/5	5	1

E2: Housing corporation

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	5	5	1/9	3	5	7	9	9
Data management	1/5	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/3	3	3
Standardisation	1/5	7	1	1/9	5	1/5	7	9	5
Toxicity	9	9	9	1	9	9	9	9	9
Quality	1/3	7	1/5	1/9	1	5	7	9	5
Financial value	1/5	7	5	1/9	1/5	1	7	9	7
Logistics	1/7	3	1/7	1/9	1/7	1/7	1	5	1/5
Over-dimensioning	1/9	1/3	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1	1/5
Contracting	1/9	1/3	1/9	1/9	1/5	1/7	5	5	1

E3: Platform

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	1	3	5	1	5	5	7	1
Data management	1	1	1	5	1	5	1	7	1
Standardisation	1/3	1	1	1/5	1/5	1/5	5	7	1
Toxicity	1/5	1/5	5	1	5	9	1/5	9	3
Quality	1	1	5	1/5	1	5	5	7	1
Financial value	1/5	1/5	5	1/9	1/5	1	1	7	1
Logistics	1/5	1	1/5	5	1/5	1	1	5	1
Over-dimensioning	1/7	1/7	1/7	1/9	1/7	1/7	1/5	1	1/5
Contracting	1	1	1	1/3	1	1	1	5	1

E4: Demolition

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	1/5	1	7	1	1/7	1	7	7
Data management	5	1	1/3	5	1/3	7	1	7	7
Standardisation	1	3	1	3	5	1/3	3	3	5
Toxicity	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/7	1/5	5	1/5
Quality	1	3	1/5	5	1	1/5	3	5	5
Financial value	7	1/7	3	7	5	1	3	3	5
Logistics	1	1	1/3	5	1/3	1/4	1	5	5
Over-dimensioning	1/7	1/7	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1	1/5
Contracting	1/7	1/7	1/5	5	1/5	1/7	1/5	5	1

E5: Contractor

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	1/5	1/5	1/7	5	3	3	7	5
Data management	5	1	7	1/5	5	1/3	1	7	5
Standardisation	5	1/7	1	1/5	3	3	3	3	7
Toxicity	7	5	5	1	5	5	5	5	5
Quality	1/5	1/5	1/3	1/5	1	3	3	7	3
Financial value	1/3	3	1/3	1/5	1/3	1/3	7	5	7
Logistics	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/7	1	5	1/7
Over-dimensioning	1/7	1/7	1/3	1/5	1/7	1/7	1/5	1	1/5
Contracting	1/5	1/5	1/7	1/5	1/3	1/7	7	5	1

E6: Government

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting
Disassembly	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Data management	1	1	3	1	3	3	1	1	3
Standardisation	1	1/3	1	1/5	1	3	1	1	1
Toxicity	1	1	5	1	1	5	1	1	1
Quality	1	1/3	1	1	1	1	1	1	1
Financial value	1	1/3	1/3	1/5	1	1	1	7	7
Logistics	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Over-dimensioning	1	1	1	1	1	1/7	1	7	7
Contracting	1	1/3	1	1	1	1/7	1	1/7	1

Total Pair Wise Comparison Matrix

	Disassembly	Data management	Standardisation	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Over-dimensioning	Contracting	Geometric	Weight	Normalised	Rank
Disassembly	1,00	0,76	1,56	1,19	2,05	1,48	3,00	5,28	3,61	1,86	0,1766	1,00	1
Data management	1,21	1,00	1,44	1,31	1,31	1,20	4,35	3,61	1,63	0,1538	0,87	1,3	
Standardisation	0,60	0,69	1,00	0,28	1,89	0,51	3,61	2,20	1,71	1,05	0,0998	0,57	6
Toxicity	1,44	0,76	3,51	1,00	2,47	1,86	1,53	4,77	2,26	1,86	0,1765	1,00	2
Quality	0,49	0,76	0,53	0,43	1,00	1,09	2,37	4,99	2,69	1,11	0,1054	0,60	5
Financial value	0,67	0,76	1,97	0,54	0,92	1,00	3,38	5,99	4,79	1,53	0,1454	0,82	4
Logistics	0,23	0,83	0,25	0,66	0,46	0,30	1,00	3,82	0,95	0,66	0,0631	0,36	7
Over-dimensioning	0,19	0,24	0,45	0,23	0,20	0,17	1,00	1,00	0,36	0,29	0,0377	0,16	9
Contracting	0,28	0,28	0,53	0,44	0,37	0,21	1,06	2,76	1,00	0,54	0,0516	0,29	8
	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

0,19|Consistency Index (CI)

0,14|Consistency Ratio (CR)

Total Pair Wise Comparison Matrix without Over-dimensioning and standardisation factor

	Disassembly	Data management	Toxicity	Quality	Financial value	Logistics	Contracting	Geometric	Weight	Normalised	Rank
Disassembly	1,00	0,76	1,23	2,37	1,61	3,74	4,66	1,79	0,22	1,00	1
Data management	1,38	1,00	1,28	1,28	1,25	4,66	4,66	1,75	0,19	0,86	3
Toxicity	1,55	0,72	1,00	2,95	2,20	1,66	2,67	1,63	0,20	0,91	2
Quality	0,42	0,72	0,24	1,00	1,11	2,54	3,27	0,99	0,12	0,55	5
Financial value	0,62	0,72	0,48	0,90	1,00	4,00	6,54	1,26	0,16	0,70	4
Logistics	0,27	0,70	0,60	0,39	0,24	1,00	0,33	0,53	0,06	0,29	6
Over-dimensioning	0,21	0,21	0,37	0,31	0,15	1,07	1,00	0,36	0,04	0,20	7
Contracting	0,21	0,21	0,37	0,31	0,15	1,07	1,00	0,36	0,04	0,20	1,00

Appendix 12 – AHP analysis and results criteria

E.6: Consultant

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	1/9	3
Material level	9	1	7
No passport	1/3	1/7	1

E.5: Housing corporation

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	1/3	7
Material level	3	1	7
No passport	1/7	1/7	1

E.4: Platform

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	1/5	9
Material level	5	1	9
No passport	1/9	1/9	1

E.3: Demolisher

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	1	7
Material level	1	1	7
No passport	1/7	1/7	1

E.2: Contractor

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	5	7
Material level	1/5	1	7
No passport	1/7	1/7	1

E.1: Government

Data management

	Raw material level	Material level	No passport
Raw material level	1	5	3
Material level	1/5	1	3
No passport	1/3	1/3	1

Total

Data management

	Raw material level	Material level	No passport	Geometric	Weight	Normalised
Raw material level	1,00	0,75	5,50	1,61	0,41	0,79
Material level	1,32	1,00	6,34	2,03	0,52	1,00
No passport	0,18	0,16	1,00	0,31	0,08	0,15

Total

Data management adjusted

	Material level	No passport	Geometric	Weight	Normalised
Material level	1,00	6,34	2,52	0,86	1,00
No passport	0,16	1,00	0,40	0,14	0,16

E.6: Consultant
Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	9
Negative	1/9	1

E.6: Consultant
Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	3
No	1/3	1

E.5: Housing corporation

Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	7
Negative	1/7	1

E.5: Housing corporation

Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	3
No	1/3	1

E.4: Platform

Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	7
Negative	1/7	1

E.4: Platform

Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	1/5
No	5	1

E.3: Demolisher

Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	9
Negative	1/9	1

E.3: Demolisher

Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	9
No	1/9	1

E.2: Contractor

Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	5
Negative	1/5	1

E.2: Contractor

Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	3
No	1/3	1

E.1: Government

Financial value

	Positive	Negative
Positive	1	5
Negative	1/5	1

E.1: Government

Over-dimensioning

	Yes	No
Yes	1	1
No	1	1

Total

Financial value

	Positive	Negative	Geometric	Weight	Normalised
Positive	1,00	6,80	2,61	0,87	1,00
Negative	0,15	1,00	0,38	0,13	0,15
			2,99	1,00	

Total

Over-dimensioning

	Yes	No	Geometric	Weight	Normalised
Yes	1,00	1,91	1,38	0,66	1,00
No	0,52	1,00	0,72	0,34	0,52
			2,11	1,00	

E.6: Consultant

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	3	5	9
Reusability strategy	1/3	1	1/7	7
Return guarantee	1/5	7	1	9
Both not included	1/9	1/7	1/9	1

E.5: Housing corporation

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	5	5	5
Reusability strategy	1/5	1	1/7	7
Return guarantee	1/5	7	1	7
Both not included	1/5	1/7	1/7	1

E.4: Platform

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	3	3	7
Reusability strategy	1/3	1	5	7
Return guarantee	1/3	1/5	1	7
Both not included	1/7	1/7	1/7	1

E.3: Demolisher

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	7	7	7
Reusability strategy	1/7	1	1	7
Return guarantee	1/7	1	1	7
Both not included	1/7	1/7	1/7	1

E.2: Contractor

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	5	5	9
Reusability strategy	1/5	1	1/7	5
Return guarantee	1/5	7	1	9
Both not included	1/9	1/5	1/9	1

E.1: Government

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included
Both included	1	5	5	5
Reusability strategy	1/5	1	1/5	5
Return guarantee	1/5	5	1	5
Both not included	1/5	1/5	1/5	1

Total

Contracting

	Both included	Reusability strategy	Return guarantee	Both not included	Geometric	Weight	Normalised
Both included	1,00	4,46	4,86	6,80	3,48	0,58	1,00
Reusability strategy	0,22	1,00	0,38	6,26	0,85	0,14	0,24
Return guarantee	0,21	2,65	1,00	7,20	1,41	0,24	0,40
Both not included	0,15	0,16	0,14	1,00	0,24	0,04	0,07
					5,98	1,00	

Total

Contracting adjusted

	Both included	Both not included	Geometric	Weight	Normalised
Both included	1,00	6,80	2,61	0,87	1,00
Both not included	0,15	1,00	0,38	0,13	0,15
			2,99	1,00	

Appendix 13 – Total results of the case study

