

Building Circularity Indicators

– An approach for measuring circularity of a building

Colophon

Final presentation date February 18th, 2016

Author's information

Name Jeroen Verberne
Contact details jjh.verberne@gmail.com
+31 (0)6 22 26 75 21

Graduation committee

Prof. dr. ir. B. (Bauke) de Vries Chairman, TU/e
Ing. J. (Jan) Dijkstra Graduation Supervisor, TU/e
Ir. T. (Tristan) Kunen Senior Consultant, Brink Groep B.V.

Institute

University Eindhoven University of Technology
Faculty Faculty of the Built Environment
Department Construction Management and Engineering

Preface

Oil, natural gas, water, food, and minerals are critical to ensure our well-being and prosperity. Resources are crucial to the way we live, produce and consume. Natural resources make life on the planet possible; energy resources are the fuel for our economies, and minerals and metals are the ingredients we need to build the infrastructure of our civilisation. The mismatch between future supply and demand will be one of the most complex and urgent issues policymakers will face in the 21st Century.

This research looks at the buildings' level of circularity as a decision-making instrument in the built environment. Despite the variety of previous research, computable KPI's for the level of circularity are hardly known. Therefore, this computable circularity KPI's, and the mathematical methodology of Ellen MacArthur and Granta (2015) adopted as a basis with a view to develop an assessment model of the building circularity indicators.

This concludes my graduation project my master 'Construction Management and Engineering' at Eindhoven University of Technology. Previously, I first obtained the Bachelor 'Built Environment' at the Avans University of Applied Science Tilburg and then the pre-master degree of 'Construction Management and Engineering' at the Eindhoven University of Technology. This research was conducted in collaboration between the company Brink Groep B.V. and the Eindhoven University of Technology.

I would like to thank Brink Groep and my colleagues who were always very interested and involved me in their projects that were related to my research. Most of all I would like to thank Tristan Kunen, my Brink Groep supervisor. He was always motivating and inspired me in several ways. Additionally, I would also like to thank Woud Jansen, Alba Concepts, for his commitment and expertise in the technical guidance and personal motivation.

I also would like to thank my TU supervisor Jan Dijkstra for all his support and coaching last year. He always gives me constructive criticism and motivated me. In addition, this research would not have been possible without the help of all the experts (interviews & panel). Therefore, I would like to thank all the experts who participated in this study.

Finally, I would like to thank my parents for their continuous support during my entire study, my girlfriend for her sympathetic ear and patience and my friends for their advice and leisure distraction moments!

Don't forget that 'Measuring is knowing' and I hope you will enjoy reading this graduation thesis as much as I enjoyed writing it!

Jeroen Verberne

Eindhoven

February, 2016

Content

Management Summary English	7
Management Samenvatting Nederlands	9
1. Introduction.....	11
1.1. Research context	11
1.2. Problem definition.....	13
1.3. Research question	13
1.4. Research design	14
1.5. Expected results.....	15
1.6. Research outline	16
2. Understanding the Circular Economy	17
2.1. Definition of the circular economy.....	17
2.2. Principles of the circular economy	20
2.3. Value creation in the circular economy.....	21
2.4. Circular business models	22
2.5. Discussion	25
3. The Potential to Implement Circularity in the Built Environment Using Building Circularity Indicators	27
3.1. Introduction.....	27
3.2. The earth system science	28
3.2.1. Ecology systems theory.....	29
3.2.2. Eco-efficiency vs. eco-effectiveness.....	30
3.2.3. Triple bottom line (people, planet & profit)	31
3.2.4. Triple top line (economy, ecology, equity)	31
3.3. The built environment	32
3.4. A building level of detail	33
3.4.1. Building systems.....	34
3.4.2. Hierarchy of material levels	35
3.5. Building circularity indicators	36
3.5.1. Technical circularity indicators.....	37
3.5.2. Functional circularity indicators	42
3.5.3. Economic circularity indicators	44
3.6. Discussion	45
4. An Assessment Model for Measuring Building Circularity Indicators.....	49
4.1. Introduction	49
4.2. The conceptual model	51

4.2.1.	Expert interviews.....	51
4.2.2.	Expert panel	55
4.2.3.	Conceptual structure.....	56
4.3.	Assessment methodology	57
4.3.1.	Assessment methodology design.....	58
4.3.2.	Development of the building circularity indicator	59
4.3.3.	Drivers and preconditions of the building circularity indicator	70
4.4.	Model validation.....	74
4.4.1.	Validation of material circularity indicator	74
4.4.2.	Validation of product circularity indicator	76
4.4.3.	Validation of system circularity indicator	77
4.4.4.	Validation of building circularity indicator	78
4.5.	Discussion	79
4.5.1.	Discussion of the material circularity indicator	79
4.5.2.	Discussion of the product circularity indicator	80
4.5.3.	Discussion of the system circularity indicator.....	81
4.5.4.	Discussion of the building circularity indicator	81
5.	Conclusions.....	83
5.1.	Research questions.....	83
5.2.	Research relevance.....	85
5.2.1.	Societal relevance	85
5.2.2.	Scientific relevance.....	86
5.3.	Future research.....	86
6.	References.....	87
	Appendices	95
	Appendix 1: Product and service combinations	96
	Appendix 2: Transformation capacity scheme	97
	Appendix 3: Expert interviews.....	98
	Appendix 4: Expert panel.....	155
	Appendix 5: Model expert interview	157
	Appendix 6: Circularity indicators – an approach to measure circularity	159
	Appendix 7: Assessment model building circularity indicators.....	161
	Appendix 8: Case studie 1 – circular bill of materials (BOM)	163
	Appendix 9: Case studie 2 – non-circular bill of materials (BOM).....	164

Management Summary English

Since the Industrial Revolution, more than 250 years ago, the global economy has been on a steep growth trajectory initiated by a series of advances in technology. Technological advances appeared within the context of seemingly unlimited natural resources (ING Economics Department, 2015). This resulted in a linear 'take-make-dispose' model of production. It contains an economic model where the majority of feedstock ends up in waste. Additionally, it contains a model with many unsustainable side effects such as a loss of biodiversity, deforestation, air and water pollution as well as material depletion. Businesses across the world are facing new challenges. On the one hand they have to deal with increasingly constrained resources (energy, water, land or materials) adding to price volatility of raw materials. On the other hand they are faced with increasingly demanding customers and market when it comes to sustainability. The international discussion about sustainability has taken new dimensions through the development of the circular economy.

The circular economy is, in contrast to the linear system, a system that is restorative or regenerative by intention and design. It aims to rely on renewable energy; minimises, tracks, and eliminates the use of toxic chemicals, and eradicates waste through careful design. Adopting circular-economy principles could not only benefit Europe environmentally and socially, but could also generate a net economic benefit of €1.8 trillion by 2030 (Ellen MacArthur Foundation, 2015). With its system-wide perspective, the circular economy has the potential to help us make better decisions about resource use, design out waste, provide added value for business, and process along a secure route to society-wide prosperity and environmental sustainability for future generations.

Until now, there has been no established way of measuring the level of circularity of a building in making the transition from 'linear' to 'circular' models. This research aims to contribute to the assessment of the level of circularity which allows principals to initiate circularity by the design of a new product, internal reporting or during procurement decisions as performance indicators in the built environment. This offers the possibility to principals to give incentives to their contractors to become more and more circular using a 'standardized language'. Depending on the strategies concerning circularity (e.g. reuse, recycle, protect, and toxicity) related to the impact categories (e.g. energy, water, materials, and land), different approaches are requisite. In the built environment it is important to make a distinction between lifecycle phases such as; development, planning, design, construction, operation, and deconstruction.

Literature study, expert interviews and the expert panel showed that circularity, technically, only consists of two components: (1) circular material usage, and (2) circular design. Other indicators such as material health, toxicity and material scarcity are preconditions and drivers, which are not influencing the buildings' level of circularity in any way. The Building Circularity Indicator (BCI) measures the extent to which the linear flows have been minimized and restorative flows maximized for its component systems, products and materials and how long and intensively it is used compared to similar system-average products. The general idea behind the BCI is to look at the input, usage and output.

The BCI assessment model is made up of the Material Circularity Indicator (MCI), Product Circularity Indicator (PCI), System Circularity Indicator (SCI), and finally the Building Circularity Indicator (BCI). The MCI starts with the determination of the material input, utility, and material output and could be referred as the theoretical product circularity indicator. The PCI incorporates the product disassembly possibilities and could be referred as the practical product circularity indicator. The SCI assesses the circularity of products in a system together based on their weight and making a separation based on the six system layers, also known as the 'Shearing Layers' of Stewart Brand (1994). Finally assesses the BCI, the separate systems as a whole with a factor for the level of importance for each system.

In order to determine a BCI, the calculation requires additional data that is from a mathematical perspective. This data is, partially, founded in the conducted research of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) 'Circularity Indicators; an approach to measuring circularity'. Since this methodology does not answer the research question, additional development is done for an assessment methodology of the BCI. As part of the methodology and this research, an assessment model has been developed to support the assessing of the Circularity Indicators, which uses Excel functionality and is shown in Appendix 7.

The validation of the BCI assessment model has been conducted by case studies. Through the design and implementation of two different Bill of Materials (BOM), fictional buildings have been assessed in order to validate the reliability of the model.

Management Samenvatting Nederlands

Sinds de Industriële Revolutie, die meer dan 250 jaar geleden begon, is de wereldeconomie sterk gegroeid. Dit kwam o.a. door een grote reeks van technologische ontwikkelingen. Tijdens de technologische vooruitgang kon men ogenschijnlijk putten uit onbegrensde natuurlijke bronnen (ING Economics Department, 2015). Als gevolg hiervan ontstond vanzelf een lineair productie model, wat gebaseerd is op het 'take-make-dispose' principe. Dit principe omvat een economisch model waarbij de meeste grondstoffen aan het eind van het gebruik als afval (dispose) worden weggegooid. Het is echter ook een model wat veel bijwerkingen heeft, zoals o.a. het verlies aan biodiversiteit, ontbossing, lucht- en waterverontreiniging en materiaal uitputting. Bedrijven over de hele wereld worden steeds geconfronteerd met nieuwe uitdagingen. Aan de ene kant hebben ze te maken met beperktere natuurlijke bronnen (energie, water, land of materialen) die mede te danken zijn aan prijsschommelingen van grondstoffen. Aan de andere kant is er de confrontatie met steeds veeleisendere klanten en een "markt" waar het om duurzaamheid draait. De internationale discussie over duurzaamheid heeft met de ontwikkeling van de circulaire economie een nieuwe dimensie gekregen.

De circulaire economie is, in tegenstelling tot het lineaire systeem, een systeem dat uitgaat van herstellende of regeneratieve opzet en gaat tevens uit van de vormgeving van materialen en producten. Het doel van de circulaire economie is: (1) een beroep doen op hernieuwbare energie (2)minimaliseren, traceren en elimineren van het gebruik van giftige chemicaliën en (3) het uitsluiten van afval door een zorgvuldig ontwerp. Het adopteren van de circulaire principes komt niet alleen ten goede aan het milieu en aan sociale dimensies, maar het kan ook leiden tot een Europees netto economisch voordeel met een berekende waarde van €1.8 triljoen tot aan 2030 (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Met een systeem-breed perspectief heeft de circulaire economie de potentie om ons te helpen met het nemen van betere beslissingen op het gebied van het gebruik van grondstoffen en het afvalvrij ontwerpen. Tevens is het van grote toegevoegde waarde voor toekomstige generaties.

Tot op dit moment zijn er binnen de circulaire economie geen manieren om te meten wat de mate van circulariteit van een gebouw is, om daarmee een overgang van 'lineaire' naar 'circulaire' productie modellen mogelijk te maken. Het doel van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan de beoordeling van het circulariteitsniveau van gebouwen (d.m.v. een beoordelingsmodel), waarmee circulariteit kan worden meegenomen o.a. in het ontwerp van een nieuw product, in rapportages en het kan gebruikt worden tijdens aanbestedingsbeslissingen. Dit beoordelingsmodel biedt tevens opdrachtgevers de mogelijkheid om prikkels te geven aan hun opdrachtnemers om meer en meer "circulair" te denken, d.m.v. een 'gestandaardiseerde taal'. Afhankelijk van de strategieën op het gebied van circulariteit (bijv. hergebruik, recyclen, beschermen en toxiciteit) en in verband met de impact op natuurlijke bronnen, zijn verschillende aanpakken vereist. Daarnaast is het in de gebouwde omgeving belangrijk om ook een onderscheid te maken tussen de verschillende fasen van levenscycli die plaatsvinden tijdens een bouwproces: ontwikkeling, planning, ontwerp, uitvoering, exploitatie en sloop.

Uit een literatuurstudie, expert interviews en een expert panel is gebleken dat circulariteit, enkel technisch gezien, bestaat uit twee componenten: (1) circulair materiaal gebruik en (2) circulair ontwerp. Andere indicatoren, zoals de gezondheid van materialen, toxiciteit en materiaal schaarste zijn slechts rand voorwaardelijk bij het maken van keuzes en zeggen niets over de mate van circulariteit. De Building Circularity Indicator (BCI) meet de mate waarin de lineaire stromen zijn geminimaliseerd en de circulaire stromen gemaximaliseerd voor de samengestelde systemen, producten en materialen. Daarbij meet deze indicator ook hoe lang en intensief producten gebruikt worden in vergelijking met soortgelijke systeem-gemiddelde producten. Het algemene idee achter de BCI is om te kijken naar zowel de input, het gebruik en de output.

Het BCI beoordelingsmodel is opgebouwd uit een Material Circularity Indicator (MCI), een Product Circularity Indicator (PCI) en een System Circularity Indicator (SCI). De MCI begint met het bepalen van de materiaal input, het materiaal gebruik en de materiaal output, en kan worden aangeduid als de theoretische circulariteitsindicator voor een product. De PCI omvat de delamineringsmogelijkheden en kan worden aangeduid als de praktische circulariteitsindicator voor een product. De SCI beoordeelt vervolgens de circulariteit van producten op basis van hun gewicht en maakt een scheiding tussen de verschillende systemen van een gebouw, vaak genoemd als 'Shearing Layers' van Stewart Brand (1994). Uiteindelijk beoordeelt de BCI de afzonderlijke systemen als geheel met een factor voor de mate van importantie van elk systeem. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen systemen met een korte levensduur (hogere mate van importantie voor circulariteit) en lange levensduur (lage mate van importantie voor circulariteit).

Door middel van een wiskundige onderbouwing is het mogelijk om de BCI te beoordelen. Deze onderbouwing wordt gedeeltelijk gebaseerd op het onderzoek van Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) 'Circularity Indicators; an approach to measuring circularity'. Deze methode beantwoordt echter niet volledig de onderzoeksvraag en daarom wordt de wiskundige basis van de bestaande theorie uitgebreid met een beoordeling van de BCI. Als onderdeel van de beoordelingsmethode is er een evaluatie-model ontwikkeld ter ondersteuning van de beoordeling van de Circulariteit Indicatoren, welke gebruik maakt van Excel functionaliteit en waarvan een voorbeeld is opgenomen in Bijlage 7.

De validatie van het BCI beoordelingsmodel is vervolgens uitgevoerd door middel van case studies. Door het ontwerp en invoering van twee verschillende Bills of Materials (BOM), van fictieve gebouwen, is de betrouwbaarheid van het model gevalideerd.

1. Introduction

In this introduction, first the research context will be discussed and problem area is specified in the problem definition. Then the main research question will be formulated and research sub-questions are established to answer the main question. Next, the research design is illustrated and finally the expected results are indicated.

1.1. Research context

During the last century, industrial and technological development in combination with global trade has resulted in an enormous economic growth, which has propelled human welfare (Circle Economy & IMSA, 2013). Throughout its evolution and diversification, our industrial economy has never moved beyond one fundamental characteristic, established in the early days of industrialization: a linear model of resources consumption that follows a 'take-make-dispose' pattern (Ellen MacArthur Foundation, 2013a). Companies apply materials, energy and labour in order to produce a product and sell it to end consumers, who then discard it when it no longer serves its purpose. The linear production model leads to unnecessary resource losses in several ways: waste in the production chain, end-of-life waste, energy consumption, and erosion of ecosystem services. A linear model is heavily depending on the global commodity stock.

“Long term success and continued growth depend on offering consumers a way to meet their needs and aspirations within the limits of our planet.” – WBCSD’s Vision 2050

The earth is increasingly suffering due to growth in both human welfare and global population. A raising global world population which is predicted to be 9.2 billion in 2050, centred to urban areas by 54 per cent in 2014 up to 66 per cent in 2050 (United Nations, 2014). The amount of middle class consumers, with demand for more material consumption, will increase with three billion by 2030 (Jackson, 2009). These assumptions are heavily alarming, knowing that our planet will be our planet and is not growing along. Therefore offering consumers a way to meet their needs and aspiration, but not as it is now, but within the limits of our planet, is the challenge in the future. Concerns about the effects of economic activities on society and environment have been vented for over 50 years. In 1972, the report Limits to Growth was published by the Club of Rome and spread the alarming message that with business-as-usual, the human population is headed for global overshoot and collapse (Clark & Fulmer, 1972). In an update and review of this report the unsettling conclusion was reached that the changes in policies offer the past 30 years has been insufficient to get on a more sustainable track (Meadows, Randers, & Meadows, 2004; Turner, 2008).

The expanding world population is making ever-greater demands on natural resources: in the course of the twentieth century, the global population consumes 34 times more materials, 27 times more minerals, 12 times more fossil fuels and 3.6 times more biomass (UNEP, 2011). The demand for consumer products will increase further: a tripling of the global use of materials in 2050 can realistically be expected in relation to the base year of 2000. Next to environmental concerns, there is a growing consensus that many resources are or will become scarce (Ellen MacArthur Foundation, 2013a, 2013b; HCSS, 2010). Scarcity refers not only to the limited physical availability of materials, but also has a geopolitical and economic dimension (Damen, 2012). The Netherlands acquires 68% of its raw materials from abroad (CBS, 2012). So the Netherlands is politically and currency dependent on many

materials from other countries. Dependence on these materials from abroad causes risk in a products supply chain.

From the European Union, a set of materials and sectors are defined as "priority", because of their high potential impact. These materials include agricultural products and waste, wood and paper, plastics, metals and phosphorus (European Commission, 2014c). The built environment sector generates 37 percent of the total waste produced in the Netherlands, responsible for 4.5% of the total energy consumption of the Netherlands, 20% of the total freight transport on the road, and 5% of the total national greenhouse gas emission (van Odijk & van Bovene, 2014). IPCC (2014) stated that this energy use and related emissions may double or potentially even triple by 2050 due to growth and prosperity. The conclusion can be drawn that something has to be done in the built environment.

Since the 1950s we have seen a series of ideas and conceptual frameworks that have emerged from studies that illustrate the disconnect between our exploitative culture and the Earth's limited resources (Pauli, 2011): Regenerative Design, Performance Economy, Cradle to-Cradle, Industrial Ecology, Biomimicry, Green Economy, Blue Economy & Bio-based Economy. Some of these frameworks still exist because the urgency is still high.

The linear economic model has prevailed until now, because resources were cheap and abundantly available. In the last decade, however, prices for natural resources increased or became more volatile (Ellen MacArthur Foundation, 2013a; McKinsey Global Institute, 2011), as shown in Figure 1.

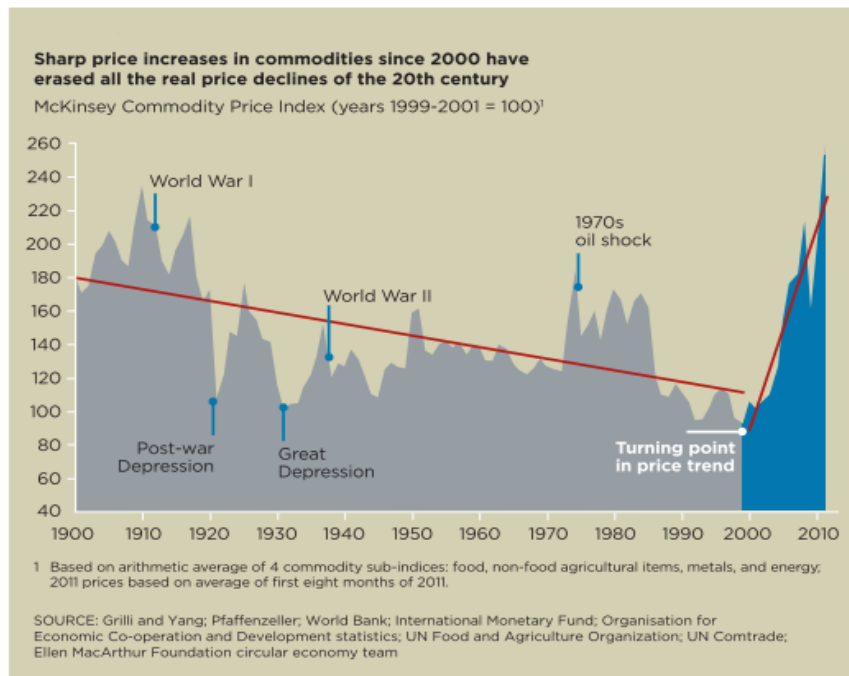


Figure 1: Commodity prices of food, non-food agricultural items, metals, and energy (McKinsey, 2011)

In 2008, the prices of many commodities peaked. Supply chains themselves are becoming more volatile too. The continuous search for efficiency has resulted in extreme fragility (Ellen MacArthur Foundation, 2013b). Companies need to become more resilient against the increased risks of volatile resource prices and supply chains.

These emerging numbers sorely need a new economy, whereby the limits of growth are in line with the maximum of what the planet can handle. The new economy is based on circular principles relating to environmental, social and financial assets. The economic stakeholders nurture these three assets, instead of to extract value from them. Henceforth, the economy is there for the world, not the world for the economy (Hoek, 2014). The circular economy can be seen as the new economy, which is an economic and industrial model that is restorative by intent and design based on the principles of material efficiency “reduce, re-use, and recycle”. In chapter 2 the concept of the circular economy is further discussed.

Due to the growth on the one hand and the increase of the resource price index, the governmental department of Economic Affairs steps in and introduces the new approach: Circular Economy (CE). In 2015, McKinsey & Partners calculated in a research named “Growth within - a circular economy vision for a competitive Europe” that the European Union could gain over 1.8 trillion euro’s due to a change of behaviour related to resources and to undertake a circular approach. TNO (2013) estimates that the effects of an expanding circular economy for the entire Netherlands: a total an annual saving of 7.3 billion euros resulting in around 54.000 jobs. In addition, there are several spin-off opportunities for the Dutch economy, including a stronger technology and knowledge position.

1.2. Problem definition

The term circular economy is getting a different load every day. Due to the complexity and the interrelations within the circular economy, the entire world is trying to put as much as effort to close loops as possible. Despite to the enormous increase in reporting initiatives, the corporate negative impact on ecosystems is continually increasing (Makower, 2013). The research of Circle Economy & IMSA (2013) recommends: ensure the circular economy is a simple measure of achievement as a first step for succeeding circular economy. This allows organizations to give incentives to their (chain) partners to become more circular in a large number of application, such as tracking progress (e.g. Key Performance Indicators (KPI’s)), procurement decision, supporting internal decision-making or informing investments choices. These various applications will require different types of metrics, based on different sets of data (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015). Until now, there has been no entrenched way of measuring circularity in the built environment. So, all initiatives, which are related to the transition from a linear to a circular economy, can’t be compared to each other due to the lack of standardization of circularity.

1.3. Research question

As stated in the problem definition, an entrenched way of measuring circularity in the built environment is missing. Therefore, the comprehensive aim of this explorative and designed-oriented research is to compute a circularity index which can be used as an instrument for principals to initiate circularity in the construction process as performance indicators within the built environment. This allows principals to give incentives to their contractors to become more and more circular using a “standardized language”. Through a transparent circularity assessment and a standardized language, contractors are encouraged to innovate their process and distinguish their product performance classification. Since the circular economy is about systems thinking and all interrelations between different actors, materials, products, elements, real estate and sectors, the creation of an analytic methodology and instrument requires a more narrow defined scope:

1. This circularity index is based on the circular assumption of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015a) model and is translated towards the built environment sector;
2. Type of real estate and concomitant procurement process is for this instrument limited to office buildings and will be reflected afterwards if it is generalizable for other types of real estate;
3. This instrument is aimed to cover both new construction projects as well as renovation and other refurbishments wherein purchasing plays a role.
4. The focus of this research is limited to the technical cycles, in which products, components, materials are returning back in the highest quality as possible.

Derived from the problem definition and objectives, the main question of this research is:

“How to indicate the level of circularity as a decision-making instrument during the building process in the built environment and to quantify the transition towards a circular economy?”

In order to answer the main question, seven sub-questions are formulated:

1. What is the circular economy?
2. What means the circular economy in the built environment?
3. Which indicators are recognized to influence the buildings’ level of circularity?
4. Which boundary conditions are needed to assess the circularity indicators?
5. How to set up a building circularity indicator assessment model?
6. What are the weighted variables for each indicator?

1.4. Research design

This research is structured in four different phases (Figure 2). The first phase is conducting a theoretical framework using a literature review and expert interviews. This theoretical framework is elaborating the fundamentals of the circular economy, circular economy in the built environment and the important indicators on which circularity can be assessed in the future. Kumar (2011) describes that there are two main data collection methods; data collection of primary (literature studies) and secondary sources (case studies & expert interviews). A literature study is going to be elaborated to summarize prior research, critically examine contributions, explain results of prior research and clarify differences in alternative views of the past (Schwarz, Johnson, & Chin, 2007). Expert interviews are used to obtain exploratory information, systematically reconstruct the expert’s experiential and professional knowledge and theory-generating information (Littig & Pochhacker, 2014). The information gathered from phase one will be used in a conceptual instrument in phase two. The second phase is about designing a circularity assessment model which is taking into account the indicators derived from the literature review, expert interviews and expert panel and finds its blue print in the circularity indicators of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015a). The assessment model will give insights in the value of circularity and will tell how circular the building/product/material is.

In phase three the validity of the model will be reviewed wherein case studies will form an audit. Indicators will be used to audit buildings/products/materials on its circularity, whether the current frame story or it is as circular as it is told. In addition, validation of the indicators can be extracted from these audits. This will have an enormous added value for the model

and conclusions can be drawn of what the status of circularity is in the built environment and which information needs to be conducted in the future to go even further than it is today. Final phase is than writing out the conclusions and recommendations for further research. This research will be part of many other researches, but the strength is to verify the model and the outcomes from the research model.

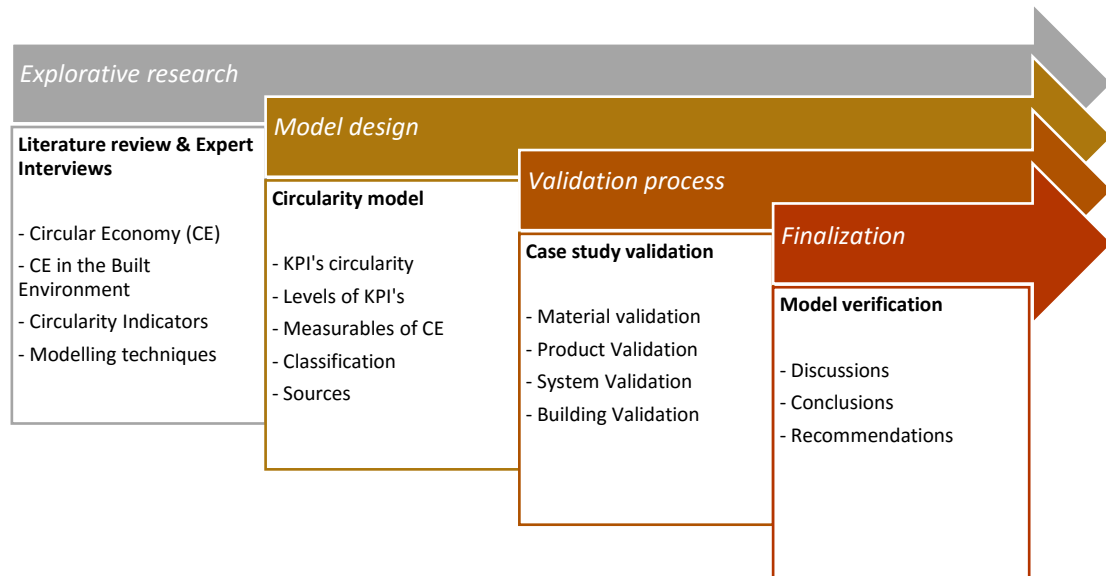


Figure 2: Sequenced research phases

1.5. Expected results

The expected result is to have a standardized language between principals and contractors and a model that assess the true value of circularity. This standardized language will contain several terms and definitions wherein the circularity indicators support the translation. With these indicators (KPI's) and levels of measurement, a true value for circularity of a building can be generated. Then, this instrument can serve as a decision-making tool and a guide towards a more circular procurement process. Different principals' strategies can then be translated into performance indicators, which are more and more requested to stimulate innovation and to let contractors think about the optimization of the production and embracing collaboration in or between other industries. As a result of this performance indicator, current challenges and stage of processing from a linear towards a circular economy could be measured. The strength of numbers is that it explains more than a thousand words, but this number needs to translate these words as a reality.

Due to the complexity and required detailed knowledge about material composition, it is important that the outcomes of the research are manageable and useable for principals. Using a standardized language between principals and contractors is therefore highly important in this research.

1.6. Research outline

This research focuses on the development of an assessment model of the Building Circularity Indicators (BCI) as part of the circular economy. This will give insights in the value of circularity and a measurement of the level of circularity of materials, products, systems and buildings. To get to the core of the research, the next four consecutive chapters are established:

Chapter 2 answers the first sub-research question: ‘What is a circular economy?’ This chapter forms the introduction of this search. Using literature study and expert interviews, the definitions, principles, value creations, and business models of the circular economy have been conducted. For the aim of this research, it is highly important to find a consensus what circularity is and what it pursues.

Chapter 3 answers the second and third research question: ‘What means the circular economy in the built environment?’ and ‘Which indicators are recognized to influence the buildings’ level of circularity?’ Using literature study and expert interviews, a systematic and holistic approach has been established. It is starting from the highest system level called Earth, towards the built environment system and finally the individual buildings. This is because a system is a collection of interdependent parts enclosed within a defined boundary. This boundary of earth is a collection of four interdependent spheres (lithosphere, hydrosphere, biosphere, and atmosphere). Different theories have been proposed such as ecology systems theory, eco-efficiency and eco-effectiveness. Subsequently, the relations between earth and the built environment have been established. Finally, the potential building circularity indicators, subdivided in technical, functional, perceptual and economic indicators, are elaborated as part of the assessment model for the buildings’ level of circularity.

Chapter 4 include the development of the assessment model for measuring building circularity indicators. This chapter combines literature study, expert interviews and an expert panel in order to create a list of key performance indicators (KPI’s) and to develop an assessment model. The core objective of this research is to have access to a tool based on a model for assessing the Building Circularity Indicator (BCI). The intention is that BCI reflects the buildings’ level of circularity, made up of a System Circularity Indicator (SCI), Product Circularity Indicator (PCI), and Material Circularity Indicator (MCI). Thereafter, the assessment model is validated using two case studies both a ‘circular’ as a ‘non-circular’ building have been used.

Chapter 5 consist of the most important research conclusions and summarizes the answers to the research questions. Afterwards, the recommendations and further research will be discussed.

2. Understanding the Circular Economy

The main research question is: “How to indicate the level of circularity as a decision-making instrument during the procurement process in the built environment and to quantify the transition towards a circular economy?” Therefore this chapter firstly describes what circular economy is and what the principles are of this holistic approach. Using first literature study and finally by the conclusion expert interviews, a comprehensive framework is elaborated. The first section enumerates multiple definitions of different research and a global perspective. Next, from these definitions real principles and value opportunities are derived which come along with the circular economy. Finally, inherent business models are elaborated in a various ways of thoughts.

2.1. Definition of the circular economy

“A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the end-of-life concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse and return to the biosphere, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems and business models “

- Ellen MacArthur Foundation (2014)

“The circular economy is a generic term for an industrial economy that, by design or intention, is restorative and eliminates waste. Material flows are of two types; biological nutrients, designed to re-enter the biosphere safely, and technical nutrients (nonbiological materials), which are designed to circulate at high quality, with their economic value preserved or enhanced” - Aldersgate Group (2012)

“A circular economy preserves the value added to the products for as long as possible and virtually eliminates waste. The resources are retained within the economy when a products has reached the end of its life, so that they remain in productive use and create further value”

- European Commission (2014a)

“The circular economy can be defined as an industrial economy with an resiliency as intention has and consumption where it is possible changes into usage. The circular economy is based on closing the loops and to (where possible infinite) extend a cycle. It invites therewith to more use of renewable energy, minimize the pressure on the ecological system, eliminate the use of toxic substances, and assumes that waste is the start of the next phase of life and that reuse is included in the design phase”. - OPAi & MVO (2014)

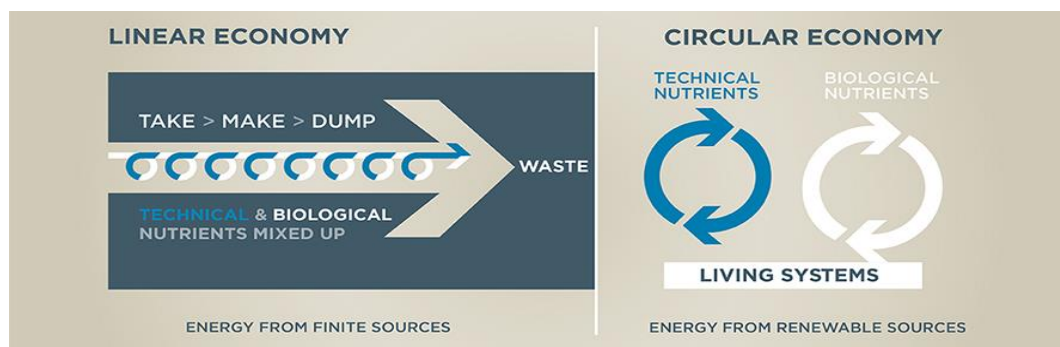


Figure 3: Linear Economy and Circular Economy (Ellen MacArthur Foundation, 2014)

In an “ideal” world, waste would be excluded from earth which is often called in literature as a ‘Zero Waste’ world. It is certainly idealistic, but that something has to change is undeniable. Since the industrial revolution, our current linear economic system is based on virgin materials *taken* from nature, *making* a product out of it, *using* it, and finally *disposing* the product. This take-make-waste approach is extracting resources from the earth which eventually ends up as landfill after use. According to Jonker (2015), the current linear economy is thinking in one value, namely “money”. Only, this economy creates secondary effects that show us that our current economy is unsustainable, like exhaustion, pollution, destruction, poverty and inequality.

In response to the Brundland-report (1987), written by the World Commission on Environment and Development (WCED) and named after to the Norwegian chairwoman, business strategies were transformed towards a sustainable, eco-efficient manner. Eco-efficient is related to doing something less bad; using less water, using less energy and using less fossil resources.

Doing less bad isn’t good enough, McDonough & Braungart (2002a) stated that current sustainability focus isn’t enough to really protect the planet. Therefore they introduced a new strategy of eco-effectiveness. The distinction between both strategies is that eco-efficiency is doing less; eco-effectiveness is doing it completely different. So no more to use less fossil fuel (eco-efficiency) to no fossil fuels, but switching to renewable sources. By reducing problems with an enormous growth of the world population, it’s still not tenable. Eco-effectiveness is fundamentally based on a cyclic approach of a system and is therefore the equivalent to the circular economy. An eco-effectiveness approach pursues a positive footprint for social- and environmental economics, which also applies to the circular economy principles. The principles of the circular economy have deep-rooted origins in a various schools of thoughts such as regenerative design (Lyle, 1994), performance economy (W. R. Stahel, 2010), cradle to cradle (McDonough & Braungart, 2002a), industrial ecology (Jackson & Clift, 1998), biomimicry (Benyus, 2002), green economy (Makower, 2009), blue economy (Pauli, 2010), bio-based economy (Langeveld, Sanders, & Meeusen, 2010), and others.

As can be seen in the previously mentioned definitions of circular economy many definitions of circular economy show the first reflection ripple of circular economy, namely “the way of interpreting”. A concise definition of circular economy is: “your outputs become your inputs” (Domenech, 2014). Only, this does not justify the circular economy as a holistic approach.

Since September 2010, the Ellen Mac Arthur Foundation is inspiring the current generation to re-think, re-design and build a positive future and is one of the leading global organizations aiming the acceleration of a transition to the circular economy. Global trends are causing the necessity for the circular economy and the acceleration to it; resource scarcity, volatile price markets, societal unrest, environmental pollution, and rising global temperatures. In a circular economy, growth is decoupled from the use of scarce resources through disruptive technology and business models based on longevity, renewability, reuse, repair, upgrade, refurbishment, capacity sharing, and dematerialization (Accenture, 2014).

According to McDonough & Braungart (2002) in their book 'Cradle to Cradle: remaking the way we make things', the Cradle to Cradle (C2C) concept is a new approach for designing intelligent products, processes and systems taking into account the entire life cycle of the products, optimizing material health, recyclability, renewable energy use, water efficiency and quality, and social responsibility. They made a distinction between the biological nutrients, designed to re-enter the biosphere safely and technical nutrients, which are designed to circulate at high quality without entering the biosphere. MacArthur (2013a) splits both cycles into:

- **Biological cycles;** in which non-toxic materials are restored into the biosphere while rebuilding natural capital, after being cascaded into different applications;
- **Technical cycles;** in which 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.

These different approaches are visualized in Figure 4. The central axis shows the linear production process, with mining, production, manufacturing, transportation, consumption and finally waste. In contrast to this linearity, the 'circular' arrows are showing all the potentials of circularity with respect to maintenance, reuse, remanufacture, recycle, and finally minimizing the leakage of waste.

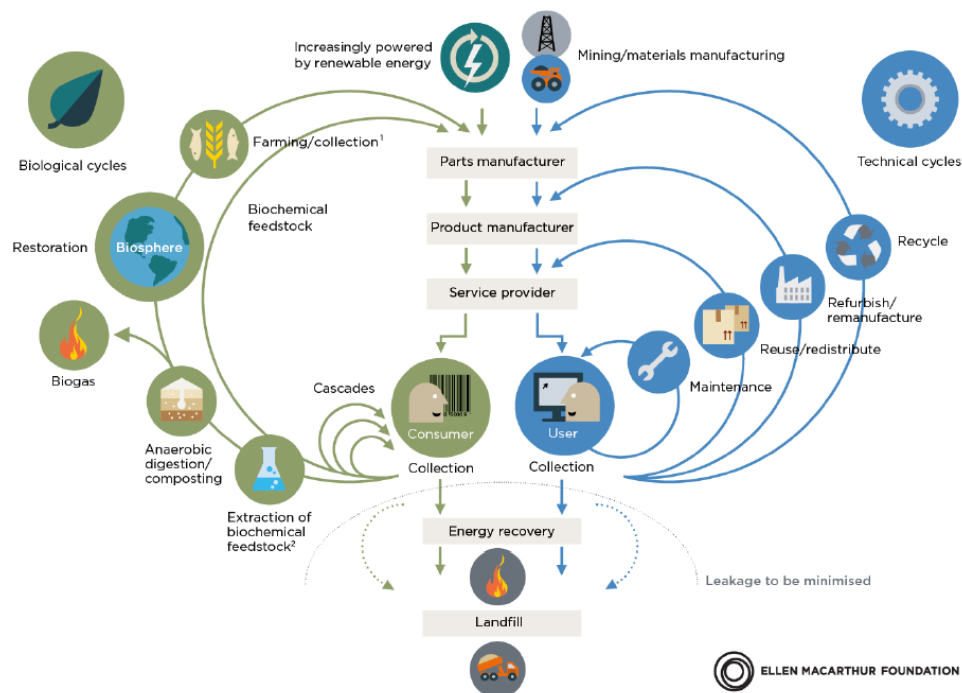


Figure 4: Circular economy systems diagram (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015)

This requires a resource passport, management and exchange of resource-related information, end-of-life systems for flows of resources and products, networks of material exchange and networks of collection (Damen, 2012). A major consequence of taking insights from living systems (networks) is the notion of optimizing systems rather than components, which can also be referred to as 'design to fit' (Ellen MacArthur Foundation, 2013a). According to Braungart and McDonough, it involves a careful management of material flows. Transforming to a circular economy implies a direct impact on our production process and the development of a take-back system and proliferation of product- and business models.

To achieve a more comprehensive explanation of the circular economy, the principles of the holistic approach are preeminent.

2.2. Principles of the circular economy

Since the interpretation of circular economy is of substantial interest for a research, it is necessary to examine the most important principles and to delimit the extent of the circular economy. Below are finding the principles derived from earlier school of thoughts:

McDonough and Braungart (2002a) came up with the C2C-approach and was focused on three main principles:

1. *Waste equals food*: everything is a nutrient for something else;
2. *Use of solar energy*: use completely renewable energy;
3. *Celebrate diversity*: use completely renewable energy.

The purpose of the Cradle to Cradle design is to restore continuous cycles, both the biological as the technical, with a positive footprint on a long term for profitability, environmental and human health.

MacArthur (2013a) derived five simple key principles on which the circular economy is founded:

1. *Design out waste*: Waste does not exist when the biological and technical components of a product are designed by intention to fit within a biological or technical materials cycle, designed for disassembly and refurbishment;
2. *Build resilience through diversity*: Modularity, versatility, and adaptively are prized features that need to be prioritized in an uncertain and fast-evolving world;
3. *Rely on energy from renewable resources*: Systems should ultimately aim to run on renewable sources;
4. *Think in 'systems'*: The ability to understand how parts influence one another within a whole, and the relationship of the whole to the parts is crucial. Elements are considered in their relationship with their infrastructure, environment, and social context;
5. *Waste is food*: Closing the biological and technical loops.

According to Walter R. Stahel (2013) in his article 'The business angle of a circular economy' a circular economy from a business perspective is characterized by:"

1. The smaller the loop (activity-wise and geographically) the more profitable and resource efficient it is;
2. Loops have no beginning and no end;
3. The speed of the circular flows is crucial: the efficiency of managing stock in the circular economy increases with a decreasing flow speed;
4. Continued ownership is cost efficient: re-use, repair and remanufacture without a change of ownership save double transaction costs;
5. A circular economy needs functioning markets.

These principles are describing the idea behind the circular economy which leads to the definitions. The main objective is that it adds value towards social, environmental and economic aspects in such a way that it decreases the demand for resources, makes use of renewable energy and brings in diversity. This is translated in the sources of value creation.

2.3. Value creation in the circular economy

The principles of the circular economy are not only a description of how the circular economy is established; it also discloses the value potentials of the circular economy. Over time, all of these different principles have produced many different estimates of the overall value of the circular economy (Accenture, 2014). The reason for this is a lack of common definition, which means the resulting estimates depend on the boundaries applied to the circular economy – key assumptions underlying the analysis, and analytical approach. Their research established four value potentials in the circular economy (see Figure 5):

1. *Lasting resources*: that continuously regenerated over time to not only last longer (efficiency) but last forever (effectiveness, e.g. renewable energy);
2. *Liquid markets*: where products and assets are optimally utilized by becoming easily accessible and convertible between users; (e.g. sharing / trading);
3. *Long life cycles*: where products are made to last (e.g. monetizing product longevity);
4. *Linked value chains*: where zero waste is generated from production to disposal (e.g. boosting recycling and resource efficiency).

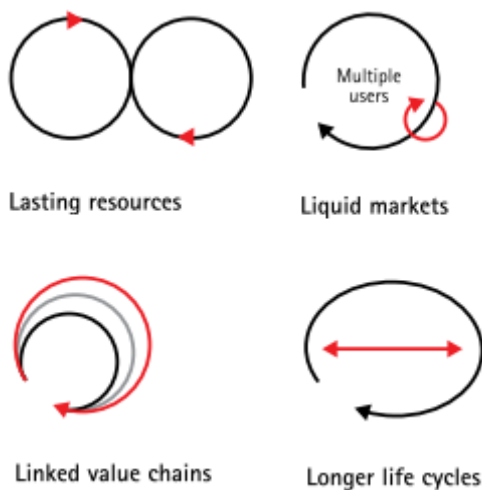


Figure 5: Areas of value creation in the circular economy (Accenture, 2014)

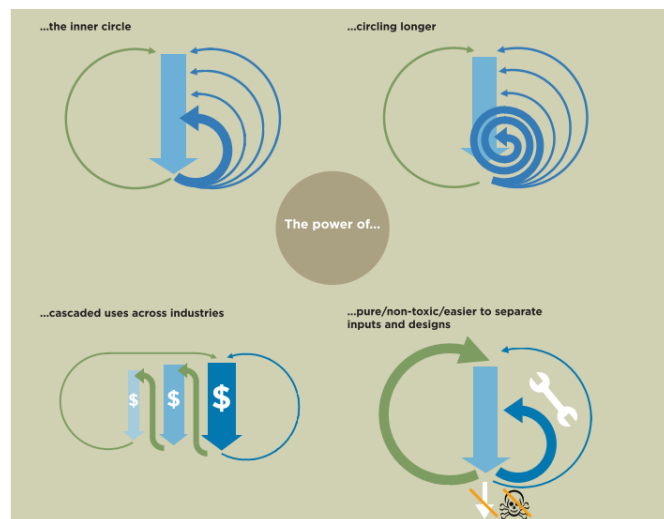


Figure 6: Sources of value creation for the circular economy (Ellen MacArthur Foundation, 2014)

Since the publications of the reports of Ellen MacArthur Foundation and McKinsey are four basic forms (see Figure 6) of circular value creation introduced (Schoolderman, et al., 2014):

1. *The power of short cycle*: Maintain, repair and adjustments of existing products and services;
2. *The power of long cycle*: Extending life cycles and usage cycles of existing products and processes;
3. *The power of cascades*: Creating new combinations of resources and material components and the sale and purchase of revalued residues;
4. *The power of pure circles*: the 100% use of pure resources and materials.

In a research of van Renswoude, ten Wolde, & Joustra (2015), they came up with a fifth and a sixth cycle, namely:

5. *The power of dematerialized service*: shifting physical products to virtual services. This implies resource savings and productivity gains;
6. *Produce on demand*: only produce when demand is present.

In the last few years, many notable research is conducted to estimate the overall value of the circular economy which had often yield different results such as Aldersgate Group (2012), Bonciu (2014), Circle Economy & PGGM (2014), European Commission (2014a, 2014c), MacArthur (2013a, 2013b, 2014), OPAi & MVO (2014), Rijksoverheid (2014), and Rli (2015). As it can be seen here, governmental bodies (European & Dutch), corporates, institutes, and private companies are all searching for the value of the circular economy.

2.4. Circular business models

The circular economy requires new business models to incorporate the value creation mentioned in previous section. A business model is a conceptual model containing a set of objects, concepts and their relationship with the objective to express the business logic of a specific firm (Osterwalder, Pigneur, & Tucci, 2005). Currently, eco-innovations, eco-efficiency and corporate social responsibility (NL: MVO) are now 'standard' interwoven in all cooperate business models, but operating according to the principles of a circular economy requires an additional business models. Circular economy and eco-effectiveness incorporates system thinking through the entire value chain of a business. An ideally circular business model, according to van Renswoude, ten Wolde, & Joustra (2015), has the following characteristics: (1) Ownership of items remains with the producer, (2) Functionality is intended, (3) It has a holistic systems perspective, (4) It holds social and organizational aspects, and (5) Resource input and waste creation is minimized. Just from a practical perspective, most of the current business models only partially fulfil these characteristics.

"The secret of change is to focus all of your energy, not on fighting the old, but on building the new"

– Socrates

The fact for most companies it is unattainable to comply with the elements of the circular economy up till this time. Their strategies, structures, financial capital and operations are fully linearly established. Therefore, a full transformation towards a circular economy is requested and not partially. Accenture (2014) came up with the first analysis of the different circular business models based on their four value potentials in the circular economy as shown in Figure 7:

- *Circular Supplies*: Provide renewable energy, bio based- or fully recyclable input material to replace single-lifecycle inputs;
- *Resource Recovery*: Recover useful resources/energy out of disposed products or by-products;
- *Product Life Extension*: Extend working lifecycle of products and components by repairing, upgrading and reselling;
- *Sharing Platforms*: Enable increased utilization rate of products by making possible shared use/access/ownership;
- *Product as a Service*: Offer product access and retain ownership to internalize benefits of circular resource productivity.

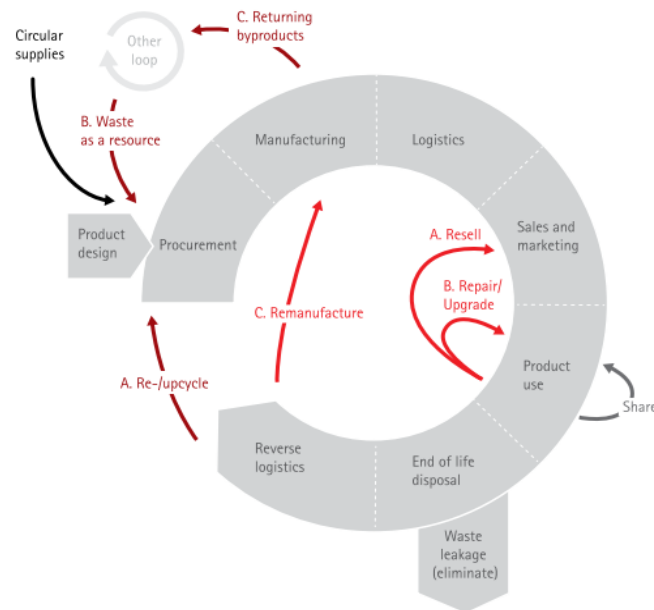


Figure 7: The five circular business models (Accenture, 2014)

Based on the six cycles of circular value creation proposed by van Renswoude, ten Wolde, & Joustra (2015), they came up with nineteen business models:

- *Short cycle*
 1. Pay per use; onetime payment to use product or service;
 2. Repair; product life extension by repair services;
 3. Waste reduction; waste reduction in the production process;
 4. Sharing platforms; products and services are shared among consumers;
 5. Progressive purchase; pay periodically small amounts before purchase.
- *Long cycle*
 6. Performance based contracting; long term contract and responsibility with producer;
 7. Take back management; incentive to ensure product gets back to producer;
 8. Next life sales; products gets a next life;
 9. Refurbish & resell; products get a next life after adjustments.
- *Cascades*
 10. Upcycle; materials are re-used and its value upgraded;
 11. Recycling (waste handling & repurpose); materials are cascaded and reused, recycled or disposed;
 12. Collaborative production; cooperation in the production value chain leading to closing material loops.
- *Pure circles*
 13. Cradle to cradle; products redesign to 100% closed material loops;
 14. Circular sourcing; only sourcing circular products or materials.
- *Dematerialized services*
 15. Physical to virtual; shifting physical activity to virtual;
 16. Subscription based rental; against a low periodic fee consumers can use a product or service.
- *Produce on demand*
 17. Produce on order; only producing when demand is present;

18. 3D printing; using 3D printing to produce what is needed;
19. Customer vote (design); Making customers vote which product to make.

It can be concluded from the above, businesses in the circular economy doesn't require only an adequate management of raw materials and products, but also entirely new business models (OPAi & Mvo, 2014). Companies that adapt to the principles of a circular economy are expected to need alternative business models with business processes that have been set up in a different way. Current business models are usually based on the selling of products. In alternative, circular-based business models, the focus is often more on the usage of services rather than the ownership of products. Reuse, repair and recycling play a central role. The limited application of new business models may impede a transition towards a circular economy (Circle Economy & IMSA, 2013; Plan C, 2014). Walter Stahel, a Swiss professor and architect, working for more than 30 years on the fundamentals of the circular economy, describes the concept "Performance Economy" as part of or as a condition for the circular economy. The shift from product to service prevents that the responsibilities of the producer are just sold together with the product, as it is nowadays with our linear economy.

At present, property, material consumption and the values associated with these are deeply embedded in society. Property is part of the self-consciousness of people. Property is often status related and the susceptibility of people to fashion trends may cause consumers to make choices that are less optimal from a circular perspective (Bastein et al., 2013; Circle Economy & IMSA, 2013; OPAi & Mvo, 2014). Some are challenging the underlying philosophy of the societal structure and emphasize the necessary shifts in social and economic values of our society (Heck, 2006). Others regard local solutions and economic values of our society (Jonker, 2012). Finally, there are schools of thought that search for fundamentally different ways of exchanging goods and services, in which a monetary flow may not even be involved (Jonker, 2012; Spaas, 2012).

Loppies (2015) appoint in his research from TU Delft, that there are three different ways of offering circular services: (1) Product oriented services, (2) User oriented services, and (3) Result oriented services. Plan C (2014) visualized all the different product-service-systems (PPS), including all types of selling products and services. Selling a service instead of a product, from possession to usage, are doing very well considering material consumption and material management. In this manner, product producers are encouraged to design with a long lifespan, easily repairable and recyclability of components.

Due to the circular economy slide towards a change in relations between the consumers and producers, from a product-market relation to a product-services relation whereby the single relation will be converted towards plural relations. Large impacts on the residential areas and urban planning occur (Ministry I&M, 2015):

- Unambiguous destinations and features disappear, because live, work and play take place side by side;
- Saving energy becomes very important. Linking flows on small and large scale provides results herein;
- Creation of new collectives with a circular economy in terms of products, spaces and materials will occur.

2.5. Discussion

Using a literature analysis, expert interviews and the expert panel, this chapter has been established to answer the first sub-question: SQ.1. “What is the circular economy”?

The term circular economy, from its principles is a meaningless composition, without decreasing the intention in size. The notion of circular is written in the encyclopaedia: as an informative letter which is circulated to a number of settings. Additionally, in the encyclopaedia is also the economy described as: a science which studies the relationship between the social phenomena, which is arising from the pursuit to prosperity. It's about handling with scarcity and finding a balance between supply and demand. Conclusively, the purpose of the circular economy isn't clear and therefore a vacuous composition.

By conducting a literature review, expert interviews and an expert panel, the intention and aim of the circular economy is attempted to win clarity towards an evident guidance for the built environment. The circular economy suggests a closed circle while this is not necessarily the right system in which it operates. The pitfall of a circular system is that, depending on time, non-adverse developments can occur (such as bankruptcy). Therefore, an open and robust system is recommendable, with the effect that “we” as a society are “value” the commodities worthwhile to use it circularly. This “value” (financial, physical and technical value) will embrace the principles of the circular economy: (1) Design out waste, (2) Build resilience through diversity, (3) Rely on energy from renewable resources, (4) Think in systems, and (5) Waste is food.

The law of physics stipulates that “we”, as a society, only have one earth which has its maximum in raw materials storage. As a society, we were consuming these raw materials and impacting the ecologic system. At present there is a large misbalance between supply and demand. The circular economy aims to minimize waste cycles and downcycling materials. Therefore it is important to gain insight into material flows, design of a product, and the products' treatment. This produces a vast amount of Big Data, which then must be employed in an effective and efficient manner to link material cycles one another. This implies that, ideally, there will not be any waste generated anymore and all of the materials will be reused after the end-of-life. Mother Earth is trying to take care of humanity, let humanity take care of Mother Earth by finding a balance with their consumption.

It is obvious that circulation of material in itself, it is not financially driven and only exists of technical material and resources flows. The word economy has been added for incorporating a value component as a driver of circularity. Value is the regard that some held to deserve; the importance, worth, or usefulness of something. In this case, the value of a product, service or combination is the importance that an individual committed to invest. Important is to make a distinction between values, because these are the actual drivers behind the circular economy: economic/financial, social, and ecological (Triple P, or Triple E). Some others differentiate the value into economic, functional, emotional, and symbolic values. These values are generally subjective, but we as a society, are trying to communicate on “harsh and objective” numbers. Therefore the financial components are “more accessible” since the thought is that this is a harsh language to communicate in.

Something is circular has value, but something that has value is not necessarily circular.

Value is often used in several of contexts: value creation, value retention and value diminution. Value creation / value diminution are depending on time and scarcity, value has a lot to do with temporary systems. Dealing with temporary systems is not part of the circular economy. Circular economy is going over infinite time, from now until the future. Value is time-dependent. Therefore, there are often assumptions of the value on a particular time instant. All circular business models are making use of that, in order to predict as good as possible for as long as possible. Whether it is 100% value, value retention or value diminution, this is only a matter from which perspective a person is approaching it. The circularity's objective is to make all of the extracted raw materials, usable or reusable, for a subsequent use in order to minimize the impact / footprint on earth, where stakeholders are working together to maximize the true value of materials and commodities.

Circularity is an integral system and a holistic approach that focuses on the future by means of closing material and resources cycles. Closing cycles includes both the biological as well as the technical cycles. In the technical cycle it is all about 100% reusability of materials (100% non-virgin materials in and out of 100% recyclable). In contrast to that, the biological cycle is all about creating materials that are possible to return to Mother Earth. To ensure reusability within the technical cycle, it is important to ensure diversity and flexibility of entities. All activities that take place during these processes should actually come from renewable energy resources with the lowest environmental footprint as possible. The economy refers to new form of cooperation and financing methods, which enables assumption for time-dependent values. The circular economy is focused on the value of proposition, varying from a perspectives and interest of end-users.

3. The Potential to Implement Circularity in the Built Environment Using Building Circularity Indicators

Abstract. The international discussion about sustainability has taken new dimensions through the wave of attention and development of the circular economy. The circular economy goes beyond the intention of not harming the environment as the circular economy refers to an industrial economy that is restorative by intention; aims to rely on renewable energy; minimises, tracks, and eliminates the use of toxic chemicals; and eradicates waste through careful design. This shifts the focus from current linear ‘take-make-dispose’ model of production into a ‘reduce-reuse-recycle’ mentality. This literature study will look into the implementation of the circular economy in the built environment sector, specifically individual buildings, using building circularity indicators. This literature study is fundamental knowledge for further research towards an assessment model to determine the buildings’ level of circularity.

Keywords: *circular economy, circularity, built environment, earth system science (ESS), building circularity indicators, building layers, technical indicators, functional indicators, perception indicators.*

3.1. Introduction

In the face of sharp increase in volatility on the global economy and proliferating signs of resource depletion, the call for a new economic model is getting louder every day. Increasingly, companies see opportunities in following the circular economy model (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015). It allows them to capture additional value from their products and materials instead of them being discarded as waste. Additionally, more circular models allow businesses to mitigate risks from material price volatility and material supply. However, despite the increase in popularity of the circular economy, organizations continue to searching for a method of measurement in order to track process (e.g. Key Performance Indicators), support internal decision making or informing investment choices. This literature study will look at the degree of circularity based on the circularity indicators which are related to a building. It includes gathering essential information about the following relevant topics: (1) the earth system science, (2) built environment, (3) building, and (4) building circularity indicators. Figure 8 shows how these different topics are related to each other.

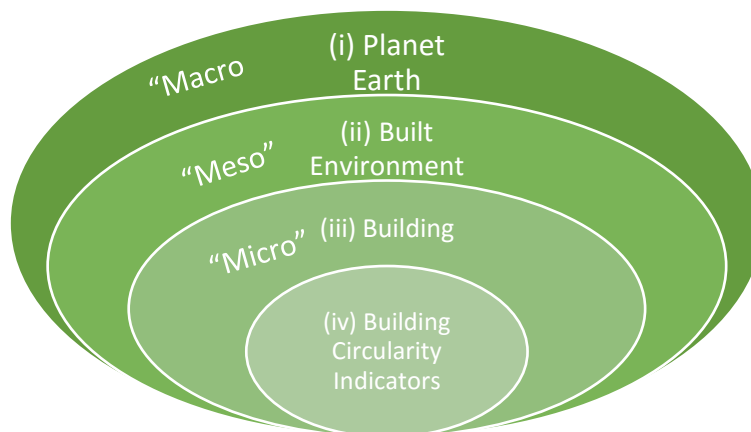


Figure 8: Relying systems for the Building Circularity Indicators

The circular economy is a holistic approach and one of the most critical principle is system thinking. Therefore, the first topic is related to the largest system within our current reach “Planet Earth”. System thinking has been defined by the Ellen MacArthur Foundation (2013a) as follows: “The ability to understand how parts influence one another within a whole, and the relationship of the whole to the parts, is crucial. Elements are considered in their relationship with their infrastructure, environment, and social contexts”.

The second topic is about the specific characteristics of the built environment system as part of the largest system Planet Earth. The built environment is one of the most polluting industries with a 37% of the total waste production, 4,5% of the total energy consumption in the Netherlands, 20% of the total freight transport on road, and 5% of the total greenhouse gas emissions (van Odijk & van Bovene, 2014). That section will look at the characteristics of the built environment and the stakeholders involved.

The third topic concerns the subdivision of a building system as part of the built environment system. Due to the long-lived assets such as buildings and road infrastructure consist largely of metals, minerals and petroleum-derived construction materials (i.e., technical nutrients), building are extremely suitable for including circularity as a principle. This section will look into the different systems and layers of which a building is constructed.

The fourth topic is about the dynamic structure and the level of abstraction of a building. Buildings are by far the most complex element within the built environment, often involving a combination of dozens of different materials, components and systems. The notion of a building as a whole object is still very much the dominant way of thinking about buildings. However, in a long time frame, the buildings are constantly changing due to changing user needs and changing environmental conditions.

Finally, this chapter ends with a discussion about the presented theories.

3.2. The earth system science

This section describes the earth system science and the relevant sustainable theories about the largest system “Earth”. The ‘earth system’ is defined by Steffen et al. (2005) in a comprehensive multi-authored study as ‘the suite of interacting physical, chemical, and biological global-scale cycles and energy fluxes which provide the conditions necessary for life on the planet.’ The biggest context of interacting inter-dependent living entities is the Earth (Boston, 2008).

Understanding the interaction and the field of studying of the interactions between the earth’s spheres is called Earth System Science (ESS). A system is a collection of interdependent parts enclosed within a defined boundary (ETE Team, 2004). Within the boundary of earth, a collection of four interdependent spheres can be summarized:

- Lithosphere (= Geosphere) - all of the cold, hard, solid rock of the planet’s crust (surface), the hot semi-solid, the hot liquid rock, and the solid iron core of the planet
- Hydrosphere – all of the planet’s solid, liquid and gaseous water;
- Biosphere – all of the planet’s living organisms;
- Atmosphere – all of the planet’s air.

The Gaia hypothesis, also known as Gaia theory or Gaia principle posits that the Earth is a self-regulating complex system involving the biosphere, the atmosphere, the hydrosphere, lithosphere, and the pedosphere (exist on the interface of the lithosphere, atmosphere, hydrosphere and biosphere), tightly coupled as an evolving system (Lovelock, 2009). The theory sustains that this system as a whole, called Gaia, seeks a physical and chemical environment optimal for contemporary life. Lovelock defines life as a self-preserving, self-similar system of feedback loops, life could be a cell as well as an organ embedded into a larger organism as well as an individual in a larger inter-dependent social context.

The scientific knowledge about the earth system and its current transformations are more familiar every day. Humans now influence all biological and physical elements of the earth (Biermann et al., 2009). The human ecological footprint has continued to increase. It now takes the Earth almost one and a half year to regenerate what we use in a year (Wijkman, Skånberg, & Berglund, 2015). The ecological footprint as a concept was developed in the early 1990s. It has its limitations, but works pedagogically as an indicator over time of the growing tension between economy and ecology.

3.2.1. Ecology systems theory

Ecology is the science that deals with the relationships between living organisms with their physical environment and with each other (S. F. Manahan, 2000). Ecology can be approached from two viewpoints:

1. Biotic: the environment and the demand it places on the organisms in it (e.g. predators, prey, and parasites) or;
2. Abiotic: organism and how they adapt to their environmental conditions (e.g. moisture, temperature, and nutrients).

Ecosystem ecology studies “the flow of energy and materials through organisms and physical environment”. It seeks to understand the processes which govern the stocks of material and energy in ecosystems, and the flow of matter and energy through them. An ecosystem is a very complex entity with many interactive components. It can be defined as “a system of complex interactions of populations between themselves and with their environment” or as “the joint functioning and interaction of these two compartments (populations and environment) in a functional unit of variable size” or as “a natural functional ecological unit comprising of living organisms (biotic community) and their non-living (abiotic or physio chemical environment that interact to form a stable self-supporting system (Ellenberg, 1973; Nybakken, 1982; Odum, 1975). The largest ecosystem is the “biosphere” and the abiotic portion of the biosphere consists of three parts: Atmosphere (air), Hydrosphere (water) & Lithosphere (the solid earth). Each of these three fundamental units of the ecosystem has properties of its own, which determine its role in the total ecosystem.

An ecosystem has physical, chemical, and biological components along with energy sources and pathways of energy and materials interchange (S. E. Manahan, 2004). Since the human ecology footprint on earth is increasing exponentially and there is an imbalance between consumption and planet earth, many theories and practical initiatives are emerging, such as Eco-efficiency vs. co-effectiveness, Triple P (People, Planet & Profit), Triple Top Line / Triple E (Economy, Ecology, Equity), and Triple Bottom Line.

3.2.2. Eco-efficiency vs. eco-effectiveness

Eco-efficiency strategies focuses on maintaining or increasing the value of economic output while simultaneously decreasing the impact of economic activity upon ecological systems (Verfaillie & Bidwell, 2000). Eco-efficiency begins with the assumption of a one-way, linear flow of materials through industrial systems: raw materials are extracted from the environment, transformed into products and eventually disposed of (Michael Braungart, McDonough, & Bollinger, 2007). In this system, eco-efficient techniques seek only to minimize the volume, velocity and toxicity of the material flow, but are incapable of altering its linear progressions.

The Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP, 2009) defines eco-efficiency as a key element for promoting fundamental changes in the way societies produce and consume resources, and thus for measuring progress in green growth as shown in Table 1. The concept of eco-efficiency can be traced back to the 1970s as a concept of “environmental efficiency”. In the 1990s, Schaltegger & Sturm (1990) introduced eco-efficiency as a “business link to sustainable development”. Later, it was popularized by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) for the business sector in the course of the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED).

Table 1: Measuring eco-efficiency (ESCAP, 2009)

Environmental costs	Economic Output
Pollution emissions (CO ₂ or SO _x emissions, biochemical oxygen demand, etc.)	Value added of benefit (GDP per capita)
Resource-used (energy or water used)	Unit of product or service (per km, per m ₂)
Cost associated with an environmental burden (traffic congestion costs)	Cost associated with an environmental burden (traffic congestion costs)

The problems of waste management are increasingly being attributed to the field of logistics – this is reflected in the growth of reverse logistics. Reverse logistics enables the realization of the idea of a circular economy, which is a departure from the linear model of raw material flow, to a model of closed material-energy cycles (Burchart-Korol, Czaplicka-Kolarz, & Kruczek, 2012). Reverse logistics – because of the complexity and increasing importance in logistics processes – has become one of the most important areas of the eco-efficiency rise.

In contrast to this approach of minimization and dematerialization, the concept of eco-effectiveness proposes the transformation of products and their associated material flows such that they form a supportive relationship with ecological systems and future economic growth (Michael Braungart et al., 2007). This inherently generates a synergistic relationship between ecological and economic systems – a positive recoupling of the relationship between economy and ecology. Eco-effectiveness doesn’t intent to minimize demand or prolonged the lifecycle lifespan, but directing materials to be productive resources at any time.

In Figure 9 some of the theoretical approaches have been visualized including a distinction between the terms eco-efficiency and eco-effectiveness.

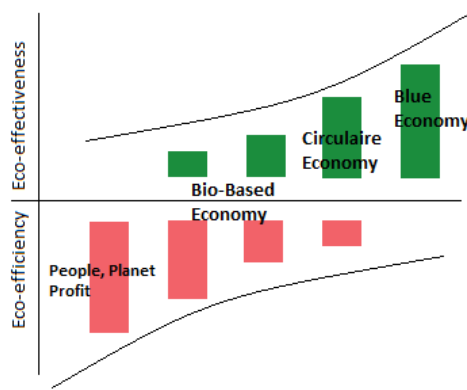


Figure 9: Eco-efficiency vs. Eco-effectiveness (B. van de Westerlo, 2013)

3.2.3. Triple bottom line (people, planet & profit)

Sustainability has been an often mentioned goal of businesses, non-profits and governmental agencies in the past decade. Measuring the degree of successes has been difficult over time. John Elkington (1994) aimed to measure sustainability during the mid-1990s by encompassing a new framework. This accounting framework, called the Triple Bottom Line (TBL), went beyond the traditional measures of profit, return of investment, and shareholder value to include environmental and social dimensions as shown in Table 2 (Slaper, T.F. & Hall, 2011). The TBL dimensions are also commonly called the three P's: People, Planet, and Profit. The Triple-P is about business opportunity, operational improvement and competitive advantage (Fisk, 2010). It is a practical handbook for CEO's and business managers who are searching for new ways to create value, to make sense of business in a rapidly shifting landscape, to deliver profitable growth while also doing 'the right thing'.

Table 2: Traditional sustainability measures divided in the Triple Bottom Line (Slaper, T.F. & Hall, 2011)

Economic	Environmental	Social
Personal income	Sulphur dioxide concentration	Underemployment rate
Cost of underemployment	Concentration of nitrogen oxides	Average commute time
Establishment churn	Selected priority pollutants	Median household income
Establishment sizes	Excessive nutrients	Relative poverty
Job growth	Electricity consumption	Violent crimes per capita
Employment distribution by sector	Fossil fuel consumption	Female labour force participation rate
Percentage of firm in each sector	Solid / Hazardous waste management	Percentage of population with a post-secondary degree of certificate
Revenue by sector contributing to gross state product	Change in land use	Health-adjusted life expectancy

The basis of Corporate Social Responsibility (CSR, NL: Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO)) is a balance between people, planet and profit or often used a balance between social, environmental and economic aspects (Foundation Sustained Responsibility, 2013).

3.2.4. Triple top line (economy, ecology, equity)

Inspired by the Triple P approach of Elkington, Braungart & McDonough (2002) introduced the strategy of the Triple Top Line (TTL) better known as Economy, Ecology, Equity (Triple E). Described by Bas Van De Westerlo (2011) as follows:

- Economy: the production and economic impacts of goods and services;
- Ecology: the (living) environment
- Equity: equality between people, animals and plants.

Both approaches (Triple P and Triple E) are bringing environmental, economic and social factors into direct and balanced relation to each other (Bas Van De Westerlo, 2011). An important difference between the two approaches lies in the words People and Equity. The Triple E strategy is not just to humans but to equality between people, plants and animals. Sustainable development is according to Braungart and McDonough, a concept that in today's situation could be interpreted as an eco-efficient strategy. The message of eco-efficiency assures, also according to Braungart and McDonough, never a completely sustainable development. In response they have issued (M. Braungart & McDonough, 2002), the term eco-effectiveness.

3.3. The built environment

This section zooms in on the built environment sector regarding the sustainability areas and the requisite collaboration of stakeholders. The term Built Environment (BE) came in widespread use in the 1990s and although comparatively new, it attempts to describe in one holistic and integrated concept, the results of human activities (Haigh & Amaratunga, 2010). An often used classification for urban scale built environment may comprise of city, district, sub-districts, neighbourhoods, and individual buildings. Tasks that are considered to be central include the "planning, design, management, maintenance and monitoring of functional and aesthetic layouts of built environments" and "identifying and developing appropriate solutions regarding the quality and use of the BE in urban, suburban and rural areas". Temple (2004) gives a brief definition of the BE which is stated as "it concerned with building, their spatial environment and the people who inhabit that environment."

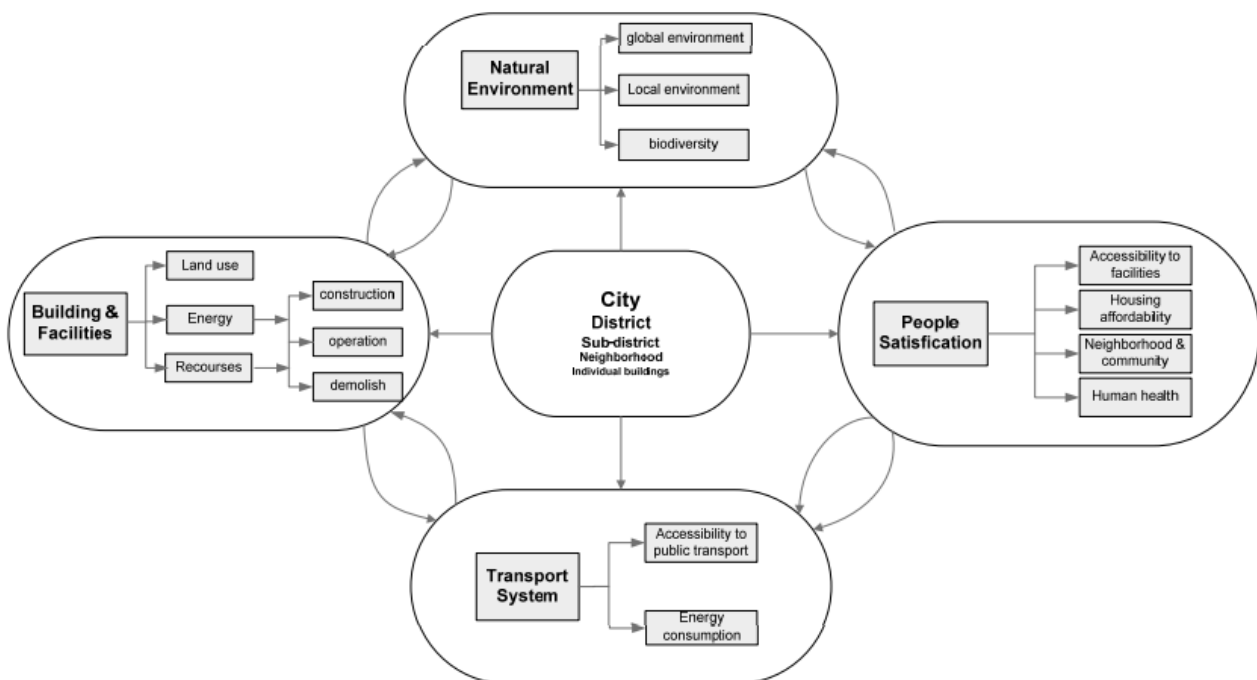


Figure 10: The sustainability areas and issues in an urban spatial context (Deng, Prasad, & He, 2008)

In line with the definition of Temple (2004), the sustainability of areas can be defined as (1) building & facilities (e.g. resource & energy input during life time cycle), (2) natural environment (e.g. contribution to global environment), (3) people satisfaction, i.e. occupants and users who impact or are impacted by the existence of the BE, and (4) transport systems, i.e. the mode of communication between built-up entities (Deng et al., 2008). Each of these sustainability areas has a number of issues that need examination in the context of the built environment (see Figure 10). Circularity is an approach that is part of sustainability and focuses on the resource & energy input during life time cycles. However, single resource sustainability would flatten the examination due to the holistic view of the circular economy. The circular economy namely pursues an economic system wherein chain partners collaborate (integral) in order to maximize the value of materials and product during their lifetime by which the loss of resources will reduce (Eising & van Oppen, 2012). Therefore, a distinction could be established between three aspects: (1) the technical aspects of the product, (2) the process aspects, and (3) the economic aspects as shown in Figure 11.

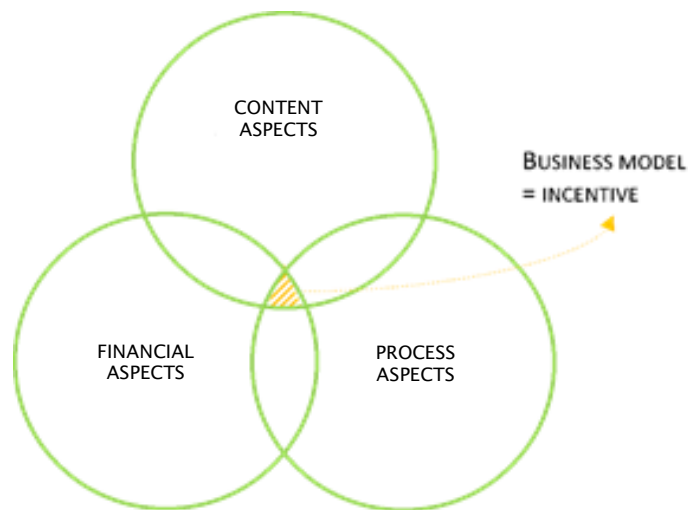


Figure 11: Model "content, process and financial" (van Oppen, 2015).

This research is mainly focused on the technical aspects of the circular economy the so called circularity. This concerns i.e. the circular material usage and circular design (modular / design for disassembly); further elaboration could be found in section 3.5. 'Building circularity indicators'. The economic aspects are simple; circularity should ultimately be an attractive and cost-effective option in terms of the overall cost of use, including maintenance and management costs. Nevertheless, the process aspects of the circular economy are closely related to the technical aspects. This since circularity is infinite in time, and the involved stakeholders are alternating along.

3.4. A building level of detail

This section is about the dynamic structure and the level of abstraction of a building. Buildings are by far the most complex element within the built environment, often involving a combination of dozens of different materials, components and systems (Crawford, 2011). They must provide a comfortable environment for human occupants and serve a broad range of functions (housing, offices, factories, hospitals, education facilities, etc.). Throughout history, buildings are adapted to climatic conditions, for functional reasons or for aesthetic and cultural reasons, due to the availability of materials and due to

technological advances, but their primary purpose are to provide shelter from the weather for their inhabitants.

“Our basic argument is that there isn’t any such thing as a building. A building properly conceived is several layers of longevity of built components”

– Frank Duffy

3.4.1. Building systems

The notion of a building as a whole object is still very much the dominant way of thinking about buildings (Beurskens & Bakx, 2015). They are conceived, designed, constructed, and used as entities. However, in a long time frame, the buildings are constantly changing due to the changing user needs and changing environmental conditions. For that reason, buildings should be seen as a dynamic structure that is constantly adapting to the needs of the present. In order to understand the dynamic structure the “theory of levels” of Habraken, 1961 and “Shearling Layers” of Brand (1994) proposes a model of a building decomposition. Habraken derives an abstract model composed of support and infill. In addition, Brand proposes a model that hinges around the principle that a building is constructed from components with varying service lives, which requires changing or replacing at different rates as shown in Figure 12.

- *Site*: geographical setting, urban location, and legally defined lot (eternal);
- *Structure*: foundation and load-bearing elements (30-300 years);
- *Skin*: exterior surfaces (20 years);
- *Services*: installations; communication wiring, electrical wiring, plumbing, sprinkler, HVAC (7-15 years);
- *Space plan*: interior layout; walls, ceilings, floors and doors (3-30 years);
- *Stuff*: furniture; chairs, desks, phones, pictures, lamps (< 1 year).

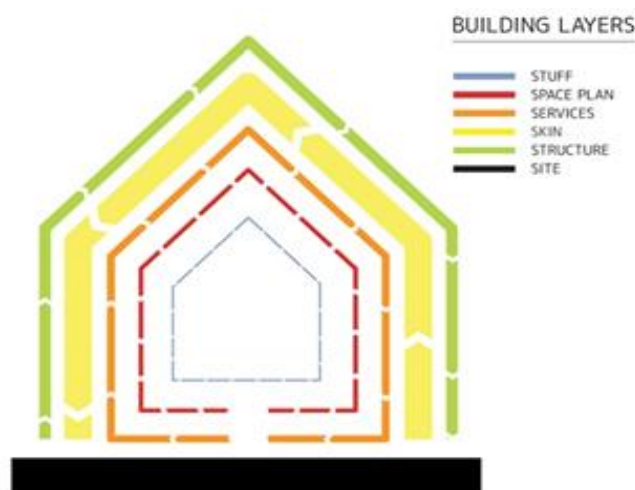


Figure 12: Shearing Layer (<http://adaptable futures.com/toolkit/d03-building-layers/>)

Similar building decomposition models have been proposed as shown in Table 3 (R. Schmidt, Deamer, & Austin, 2011). There have been a various of propose modifications to Brand’s boundaries and nomenclature (Slaughter, 2001), (Rush, 1986), (Duffy, 1990), and (Leupen, Heijne, & Zwol, 2005).

Table 3: Building decomposition systems from literature (R. Schmidt et al., 2011)

Brand (1994)	Slaughther (2001)	Rush (1986)	Duffy (1990)	Leupen (2005)
Site				
Structure	Structure	Structure	Shell	Structure
Skin	Exterior enclosure	Envelope		Skin
Services	Services	Mechanical	Services	Services
				Access
Space plan	Interior Finish System	Interior	Scenery	Space plan
Stuff			Set	

Each system has a technical, functional, aesthetical and economic lifetime and all these lifetimes differ in terms of cycle length (SenterNovem, 2007):

- Technical lifetime: the lifetime that the building meets the technical requirements;
- Functional lifetime: the period in which the building meets the user's requirements;
- Aesthetic lifetime: the time when the building meets the requirements and wishes to the appearance of a building in its environment;
- Economic lifetime: the period in which the future earnings are higher than the future costs; continued operation of the building after this period is no longer profitable.

3.4.2. Hierarchy of material levels

The building structure (technically) is defined as a hierarchical arrangement of materials, which should be described at any level of abstraction whereby the higher levels will dominate the lower level of technical composition. Durmisevic & Brouwer (2006) presented the 'hierarchy of material levels'. Every material level within a building has to do with integration of functional and technical life cycle of building materials. The hierarchy of material levels (Figure 13) should be divided into three levels, namely:

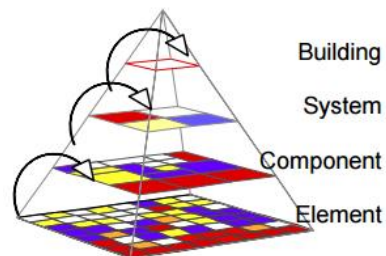


Figure 13: Hierarchy of material levels (Durmisevic & Brouwer, 2006)

- Building level represents the composition of systems which are carriers of main building functions (load-bearing, enclosure, partitioning, servicing);
- System level represents the composition of components which are carriers of the system functions (bearing, finishing, insulation, reflecting, distributing);
- Component level represents the layered or frame assembly of component functions which are allocated through the elements and materials at the lowest level of building assembly.

The goal of sustainable / circular construction is to build more efficiently and profitably after adopting responsibly tow wide spread of concerns about waste, pollution, nuisance, quality and users satisfaction. The perception of a building as one compact static product is misleading (Elma Durmisevic & Brouwer, 2006).

3.5. Building circularity indicators

This section introduces the circularity indicators which make it possible to measure the buildings' level of circularity. A building that is designed, developed, operated and used according the system of the circular economy, could be stated as a circular building. The goal is to minimize the demand of virgin materials, the impact on the environment, and keep the materials infinite into the chain. It is important to develop a holistic circularity approach which makes it possible to express 'circularity indicators' into values. This is because circular economy is about maximizing value retention of materials and resources.

Verhoeven (2015) proposes that the value can be divided into three perspectives:

1. *Users / functional value*: that connects the building to the primary processes of the organization and the housing is flexible and adaptable;
2. *Aesthetical value*: that reflects the impact on image and identity;
3. *Technical value*: the technical value of energy, materials and technical solutions.

This distinction is similar to the different lifetimes (technical, functional, aesthetical, and economic) except the economic lifetime. This because the economic value is time depending and just a language to communicate with and reflects the urgency for different materials. Therefore, the subdivision for building circularity indicators could be divided into technical, functional, aesthetical and economic as shown in Figure 14.

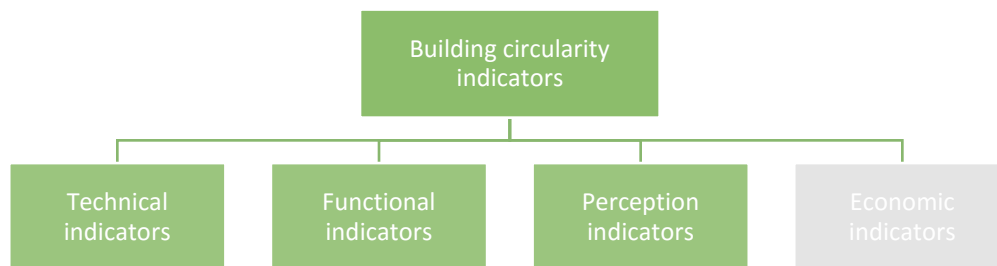


Figure 14: Differentiation of circularity indicators

Firstly the technical indicators, which are related to the technical characteristics of all the materials which are situated in a building such as: input (virgin or reused, toxicity, CO₂-emissions, energy), usage (technical lifetime, (dis)assembly), and output (level of reuse). Secondly the functional indicators, which cover the characteristics of a building's 'attractiveness for usage': location, available facilities and the accessibility. In addition, the dynamic flow such as domestic garbage, water and energy are also part of the functional indicators. For this research only the product environmental impact, energy and water flows have been incorporated. Thirdly the perception indicators which cover the 'attractiveness for the state of mind' including: aesthetical, exposure, comfort, acoustic, and light. It is obvious that the technical indicators and (partially) functional indicators are 'assessable', in contrast to the perception indicators which are bonded to the context and therefore excluded from this research. Finally, the economic factors which influences organization and businesses to embrace circularity in their standards.

These indicators will be discussed in the next sections.

3.5.1. Technical circularity indicators

Technical indicators cover the technical properties of the materials within a building. This relates to a lifecycle analysis with materials input, lifetime, and materials output. However, there are more material characteristics. Loppies (2015) proposes two basic principles from a technical perspective:

1. *Circular material usage*: the products (or components) should be selected on the basis of circularity. That means: use pure non-toxic materials that are renewable or after usage good reusable.
2. *Circular design*: products (or components) are designed and manufactured to easily disassemble at the end of the use phase and can applied in a new situation again.

3.5.1.1. Circular material usage

Circular building materials minimizes the negative effects and harmful impact on people and environment doing the entire lifecycle (van Odijk & van Bovene, 2014). Conscious choice of material is important in order to reduce the lifecycle impact, to extend lifetime of materials and the enhance reusability. In 'C2C and sustainable procurement' there are seven considerations described on which good and healthy materials could be chosen (Agentschap NL, 2010): (1) composition of products is known up to 100 ppm (part/million), (2) products' usage, period of use and cycle is known, (3) the impact of the ingredients from the product on people and the environment is well-known and tested independently, (4) products intended for a technical cycle contain as many materials that are easily recyclable, and healthy during the period of use, (5) products intended for the biological cycle contain as many materials safely biodegradable / compostable under defined conditions, and (7) as many as possible of the materials in the product is recyclable or compostable.

The individual indicators are discussed below.

Technical cycle and biological cycle

The model of circular economy differentiates two types of cycles (Ellen MacArthur Foundation, 2013a; McDonough & Braungart, 2002a):

- *Biological cycle*: in which non-toxic materials are **restored into the biosphere** (one of the earth's spheres) while rebuilding natural capital, after being cascaded into different applications;
- *Technical cycle*: in which 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.

Material reutilization

A significant focus of the circular economy is to promote a product design that optimizes the creation of materials economy that eliminates the concept of "waste". This indicator intends to create incentives for industry to eliminate "waste" by designing products with (different) materials that could be recycled to retain their value. In the literature on circular economy, a distinction is made between various gradations of circularity. This starts with the highest level of 'refuse' and ends with the lowest level 'landfill' (Rli, 2015). These different gradations are listed in Table 4.

Table 4: Levels of circularity

Nine levels of circularity (Cramer, 2014)	Butterfly model Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, 2013a)	Ladder of Lansink (Milieu, Stoffen, & Afvalstoffenbeleid, 2012)
Refuse		
Reduce		Reduce
Reuse	Reuse / Redistribution	Reuse
Maintenance / Repair	Maintenance / Repair	
Refurbish	Refurbish	
Remanufacture	Remanufacture	
Repurpose		
Recycle	Recycling	Recycling
Energy recovery	Energy recovery	Energy recovery
		Incineration
	Landfill	Landfill

The corresponding definitions are as follows (Cramer, 2014; Ellen MacArthur Foundation, 2013a; Milieu, Stoffen, & Afvalstoffenbeleid, 2012):

- *Refuse / reduce*: preventing / reducing the use of raw materials;
- *Reuse*: the use of a product again for the same purpose in its original form or with little enhancement of change;
- *Repair*: maintenance and repair;
- *Refurbish*: a process of returning a product to good working conditions by replacing or repairing major components that are faulty or close to failure, and making 'cosmetic' changes to update the appearance of a product;
- *Remanufacture*: a process of disassembly and recovery at the subassembly or component level. Functioning, reusable parts are taken out of a used product and rebuilt into a new one;
- *Repurpose*: product reuse for different purpose;
- *Recycling*: (1) functional recycling, a process of recovering materials for the original purpose or for other purpose, (2) downcycling, a process of converting materials into new material of lesser quality and reduced functionality, and (3) upcycling, a process of converting materials into new materials of higher quality and increased functionality;
- *Energy recovery*: the conversion of non-recyclable materials into useable heat, electricity, or fuel through a variety of so-called waste-to-energy process;
- *Incineration*: waste by burning them in accordance with legal guidelines;
- *Landfill*: disposing waste in a site used for the controlled deposit of solid waste onto or into land.

Material Health

The material health, also referred as toxicity, impairs reuse and their exposure during the intended use and end-of-use product phases. Products and materials containing toxic substances can be subject to current regulation and susceptible to future restriction horizon (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015). It may also disrupt the extended use of the material, hence limiting its use and potential future economic value. The aim of the material health indicator is to generate a material assessment rating based on those hazards and relative routes of exposure.

Possible lists and assessment methodology for material toxicity are:

- The C2C Material Health Assessment Methodology (McDonough Braungart Design Chemistry, 2012b) included the “Banned lists of chemicals” (McDonough Braungart Design Chemistry, 2012a);
- The EU RoHS directive (European Parliament, 2011), EU legislation restricting the use of hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) and promoting the collection and recycling of such equipment. Inadequately treated e-waste poses environmental and health risks;
- The EU REACH regulation, the Regulation on Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (European Commission, 2007); adopted to improve the protection of human health and the environment from the risks that can be posed by chemicals, while enhancing the competitiveness of the EU chemicals industry;
- The SIN (Substitute It Now!) List is a concrete tool to speed up the transition to a world free from hazardous chemicals. The chemicals on the SIN List have been identified by ChemSec as Substances of Very High Concern based on the criteria established by the EU chemicals regulation REACH;
- Toxicology and Environmental Health Information Program (TEHIP) maintains a comprehensive website that provides access to resources produced by it and by other government agencies and organizations. TEHIP is responsible for the Toxicology Data Network (TOXNET®), and integrated system on toxicology, hazardous chemicals, environmental health, and toxic releases;
- OEHHA Toxicity Criteria Database, this toxicity criteria database is maintained by the California Office of Environmental Health Hazard Assessment. The database provides California Public Health goals, chronic reference exposure levels, cancer classification, and cancer potency values.

In the book Principles and Methods of Toxicology Fifth Edition of Hayes (2007) evaluates many toxicological data. Toxicology, the science of poisons or the study of the untoward effects of chemicals or physical agents on biological systems, has moved over the centuries from the art of food gathering and murder to the highly sophisticated science of mechanisms. An example of the ‘C2C Material Health Assessment Methodology’, toxicity rating for chemical could be elaborated as shown in Figure 15.

GREEN	Little to no risk associated with this substance. Preferred for use in its intended application.
YELLOW	Low to moderate risk associated with this substance. Acceptable for continued use unless a GREEN alternative is available.
RED	High hazard and risk associated with the use of this substance. Develop strategy for phase out.
GREY	Incomplete data. Cannot be characterized.

Figure 15: Toxicity ratings for chemicals (McDonough Braungart Design Chemistry, 2012b)

3.5.1.2. Circular design

In 'Towards the Circular Economy, economic and business relational for an accelerated transition' defines the Ellen MacArthur Foundation (2013a) a circular design as 'improvements in material selection and product design (standardisation/modularisation of components, purer materials flows, and design for easier disassembly) are at the heart of the circular economy'. Design for circular economy (DfCE) is closely linked to design for sustainability (DfS). DfS has moved beyond a pure environmental focus to also include economic and social aspects, i.e. the triple bottom line of people, planet and profit (Bakker, 2015).

(DfX) paradigms aim to develop products that are likely to perform better in regard to X. Nowadays, two main design strategies are generally accepted: Design for Disassembly (DfD) and Design for Adaptability (DfAD). DfD is defined by Brad & Ciarimboli (2005) and Chiodo (2005) as "the design of buildings to facilitate future change and the eventual dismantlement (in part or whole) for recovery of systems, components and materials (this design process includes developing the assemblies, components, materials, construction techniques, and information and management systems to accomplish this goal". In contrast, DfAD looks to extend the longevity of a product by allowing it to accommodate changing circumstances (R. Schmidt et al., 2011). "The capacity of a building to accommodate effectively the evolving demands of its context, thus maximizing value through life" defined by Schmidt, Eguchi, Austin, & Gibb (2010).

In order for buildings to adapt evolving needs, buildings should be designed to not only allow reconfiguration during their life, but also to accommodate reuse, repair, and recycling of redundant components. Brad & Ciarimboli (2005) and Chiodo (2005) theorize that the principles of Designing for Disassembly goes hand in hand with the aims of DfAD that have to be achieved. Instead of destroying buildings and systems by changing requirements, due to the fact that we cannot predict what the future is requesting, it should be possible to disassemble sections back into components and to reassemble them in the new combination (Elma Durmisevic & Brouwer, 2006). Three dimensions of transformation, see Figure 16:

1. *Spatial transformation*: ensures continuity in the exploitation of the space through the spatial adaptability;
2. *Structural transformation*: which provides continuity in the exploitation of building and its components through replaceability, reuse and recover of building components;
3. *Element and material transformation*: providing continuity in the exploitation of the materials through recycling of building materials.

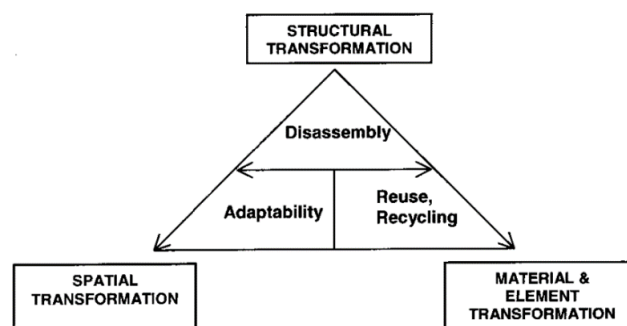


Figure 16: Disassembly - the key for building transformation (Elma Durmisevic & Brouwer, 2006)

Principles for design for disassembly (DfD)

The ten key principles of DfD (Brad & Ciarimboli, 2005) that needs to be considered during a product or building design:

1. *Document materials and methods for deconstruction*: as-built drawings, labelling of connections and materials, and a “deconstruction plan” in the specifications all contribute to efficient disassembly and deconstruction;
2. *Select materials using the precautionary principles*: materials that are chosen with consideration for future impacts and that have high quality will retain value and/or be more feasible for reuse and recycling;
3. *Design connections that are accessible*: visually, physically, and ergonomically accessible connections will increase and avoid requirements for expensive equipment or extensive environmental health and safety protections for workers;
4. *Minimize or eliminate chemical connections*: binders, sealers and glues on, or in materials, make them difficult to separate and recycle, and increase the potential for negative human and ecological health impact for their use;
5. *Use bolted, screwed and nailed connections*: using standard and limited palettes of connectors will decrease tool needs, and time and effort to switch between them;
6. *Separate mechanical, electrical and plumbing (MEP) systems*: disentangling MEP systems from assemblies that host them makes it easier to separate components and materials for repair, replacement, reuse and recycling;
7. *Design to the worker and labour of separation*: human-scale components or conversely attuning the ease of removal by standard mechanical equipment will decrease labour intensity the ability to incorporate a variety of skill levels;
8. *Simplicity of structure and form*: simple open-span structural systems, simple forms, and standard dimensional grids will allow for ease of construction and deconstruction in increments;
9. *Interchangeability*: using materials and systems that exhibit modularity, independence, and standardization will facilitate reuse;
10. *Safe deconstruction*: allowing movement and safety of workers, equipment and site access, and ease of materials flow will make renovation and disassembly more economical.

Principles for design for adaptability (DfAD)

The eight key principles of DfAD (Moffatt & Russel, 2001) that needs to be considered during a product or building design:

1. *Durability*: repair, maintenance and replacement periods, especially for the structure and shell;
2. *Versatility*: the shape of the space lends itself to alternative use;
3. *Access to services*: Dropped ceilings, raised floors, central cores that provide easy access to pipes, ducts, wires and equipment;
4. *Redundancy*: structural elements can bear larger loads that were originally imposed;
5. *Simplicity*: the absence of complex systems vital for the continued operation of the building;
6. *Upgradability*: systems and components that accommodate increased of the building;
7. *Independence*: features that permit removal or upgrade without affecting the performance of connected systems;

8. *Building information*; records of drawings, specifications and design limits that assist in future economic analysis of renovation and expansion.

Adaptability strategies	Building layers					
	Stuff	Space plan	Services	Skin	Structure	Site
Adjustable	++					
Versatile	++	++	+	++	+	
Refitable		++		+		
Convertible		++	+	++	++	
Scalable				+		+
Movable	+	+	+	+	+	++
Reusable	++	++	++	++	++	++

Key	++	Probable	+	possible
-----	----	----------	---	----------

Figure 17: Relationships between adaptability types and building systems (Beurskens & Bakx, 2015)

In Figure 17 the relationships between the building systems (building layers) and the adaptability strategies are represented. The represented are based on the research of Schmidt (2014) and adapted by Beurskens & Bakx (2015).

3.5.2. Functional circularity indicators

For this research, the functional circularity indicators include indicators related to the environmental impact, energy and water flows. In much of the literature these indicators are often described as ‘sustainable values’. Many examples could be used to analyse the flows and impacts on the environment. In last decades, many environmental management systems have been issued for both building and material/product assessments such as: Environmental Impact Assessment (EIA), Environmental Product Declaration (EPD), Life Cycle Assessment (LCA), Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Municipal Practice Guideline (MPG; Dutch: Gemeentelijk Praktijk Richtlijn (GPR)), C2C, etc.

These methodologies not only assess environmental indicators but also economic and social are assets during life cycle analysis. The idea behind these assessment methods is to give the environment its place in the decision-making process by clearly evaluating the environmental consequences of a proposed activity before action is taken because sustainable development depends on protecting the natural resources which is the foundation for further development” (Gilpin, 1995).

For this literature study LCA and EPD are further elaborated in order to describe what these methodologies are assessing.

Life Cycle Assessment (LCA)

Successful and sustainable innovation depends on having a clear understanding of the impacts and benefits of a product or service throughout the whole life cycle from the sourcing of raw materials to ultimate disposal at end of life. There are five key stages in the life cycle of a product or service (Williams, 2009):

1. *Raw materials*: sourcing the materials required for the product or service;
2. *Production*: converting raw materials and assembling the products;
3. *Distribution*: getting the product to the end user;
4. *Use*: where the end user derives the direct value from the product or service;
5. *End of life*: what happens when the end user has finished with the product or service.

Streamlined LCA methods are still too complicated for many application, so proxy measures have been developed that use a single value to represent the environmental impact of a product or material (Lehtinen, Saarentaus, Rouhiainen, Pits, & Azapagic, 2011):

- *Embodied energy*: this is a commonly available indicator and works well for systems that are dominated by energy use, such as packing and construction;
- *Material input per unit of service*: overcomes some of the issues embodied energy by accounting for all material movements, but does not really discriminate between materials with different environmental risks;
- *Ecological footprint*: measures the total land area that is required to support production of the service, product or lifestyle;
- *Eco-indicators*: an attempt to model a wide range of impacts that are then weighted against each other and summed into a single value.

Environmental Product Declaration (EPD)

The environmental performance-related part of the EPD, representing the LCA-based information as shown in Figure 18, shall include information about the use of resources, potential environmental impacts, waste production and other environmental indicators, divided into different life cycle stages and given per functional (or declared) unit (EPD International, 2015). For construction product EPDs the following is needed:

1. *Life cycle stages*: (1) upstream processes (cradle-to-gate); producing input to the core processes, (2) core processes (gate-to-gate); including the processes managed by the organisation owning the EPD, and (3) downstream processes (gate-to-grave), including the use stage and end-of-life stages/ end-of-life treatment of the product;
2. *Use of resources*; Non-renewable & renewable resources for both materials as energy;
3. *Potential environmental impacts*: emissions of greenhouse gases, acidifying gases, substances to water contributing to oxygen depletion, and gases that contribute to the creation of ground-level ozone “photochemical oxygen creation potential”;
4. *Waste production*: Non-hazardous waste, hazardous waste, and radioactive waste.

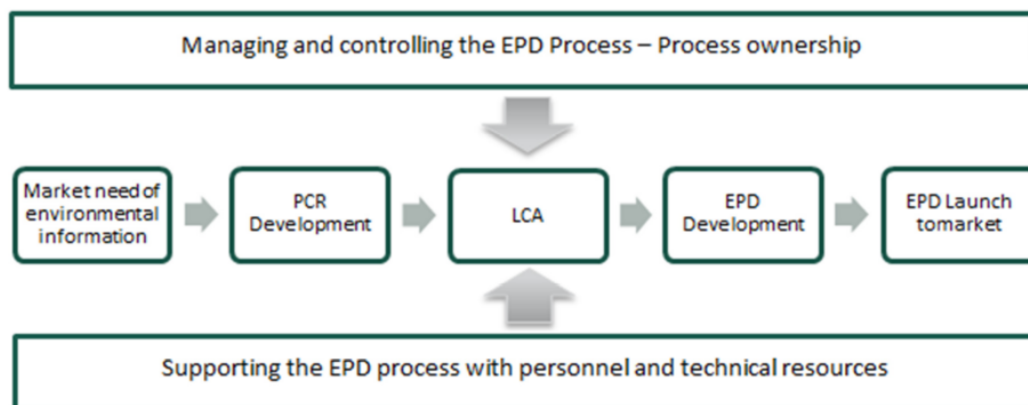


Figure 18: The EPD process (EPD International, 2015)

3.5.3. Economic circularity indicators

The economic circularity indicators give an indication of the urgency of implementing circular practices. These include measures of material price variance, material supply chain risks and material scarcity. All indicators influence the financial value of a material/ product.

Material Price Variance

The material price variation indicator can provide an indication of the change in material price for a given product, on an annual basis and a given time horizon (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015). Knowledge of historic data can be used to identify high-risk material from price variation and price volatility perspectives.

In order to take both long-term and short-term risk into account, an estimation of price variation within each year is recommended for a period of 5 years. This should at least be estimated according to the following statistics: (1) price standard deviation of prices from mean annual price, and (2) price range over the year (maximum price minus minimum price). It uses the historic price data, variation and volatility statistics for a number of commodities from the McKinsey Global Institute (2013).

Figure 19 shows a MGI's commodity price index example of an interactive online tool. Sources that the McKinsey Global Institute uses are the International Monetary Fund (IMF), United Nations Commodity Trade Statistics Database (Comtrade), United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), World Bank commodity price data, and McKinsey Global Institute analysis.

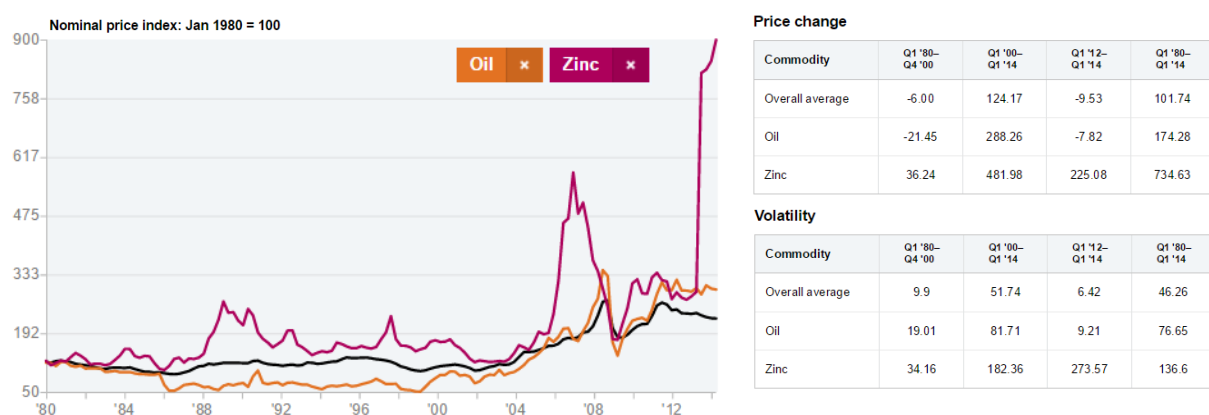


Figure 19: MGI's Commodity Price Index - an interactive tool
(http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/resource_revolution_tracking_global_commodity_markets)

Material supply chain risk

Risk concerns the continuity of supply of a material for a product are related to the availability of that material for purchase by the product's manufacturer. There exists a complex interaction between the availability of a material, the competing markets for the use of that material, supply and demand within each of those market, regulatory limitations for legal extraction, political stability of states rich in the material and the ability of their respective product purchases to absorb increases in cost due to these factors (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015). Supply chain risks can be associated with a number of factors: (1) have a monopoly, or near monopoly, of supply, (2) have weak legal and governance systems, (3) have poor environmental standards, (4) are sources of conflicted

minerals as specified under the Dodd Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act (United States of America, 2010).

Material scarcity

All countries are dependent on raw materials, which is especially true for Europe. Materials security issues have been of growing interest to researchers governments, industry and other organisations alike due to increasing concerns over access to raw materials and the impact supply shortages may have (European Commission, 2014b). Important is to assess which materials are most “critical”, allowing the most appropriate actions to be identified.

Specifications of this indicator related to the material scarcity could include (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015):

1. The presence of critical raw materials as per the EU Report of the Ad-hoc Working Group of defining critical raw materials (European Commission, 2014b), see Figure 20;
2. The comprehensive database, maintained by the British Geological Survey (2015), through which they aim to provide a reliable, comprehensive and continuous set of data covering most of the minerals that enter international trade.

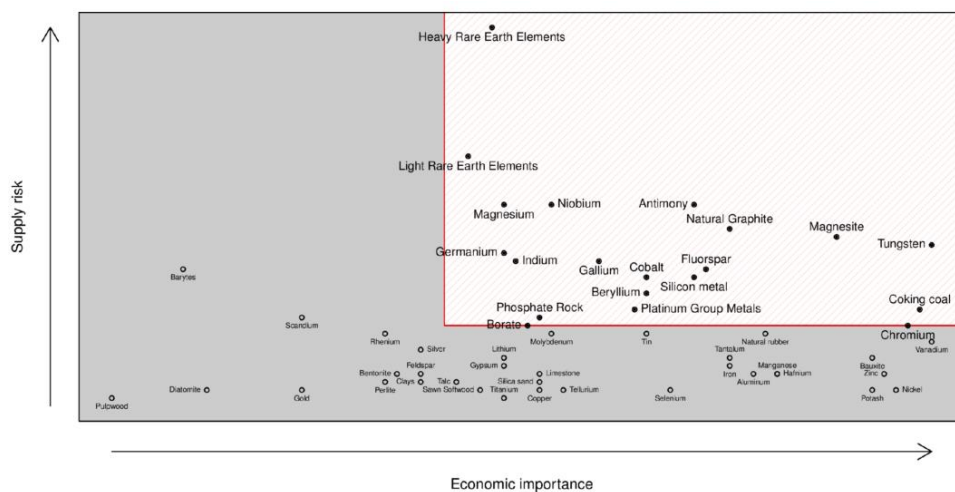


Figure 20: Criticality assessment for the EU for 2013 (European Commission, 2014b)

3.6. Discussion

Using a literature analysis, expert interviews and the expert panel, this chapter has been established to answer sub-question 2 & 3. First answer is related to the question “What means the circular economy in the built environment?” and second answer is about “Which indicators are recognized to influence the buildings’ level of circularity?”

The term built environment (BE) is concerned with a building, their spatial environment and the people who live in that environment. An often used classification for urban scale built environment may comprise of city, district, sub-district, neighborhoods, and individual buildings. Therefore, the circular economy focusses on closing material and resources cycles within all of the classification. Sustainability in the built environment could be defined in the areas of: building & facilities (e.g. resource & energy input during life time cycle), natural environment (e.g. contribution to the global environment), people satisfaction (i.e. occupant

and users), and (4) transport systems (i.e. the mode of communication between built up entities). Since the objective of circularity is to make all of the extracted raw materials, usable or reusable, for a subsequent use in order to minimize the impact / footprint on earth, where stakeholders are working together to maximize the true value of materials and commodities. It can be concluded that circularity is single part of the 'larger' sustainability approach.

In order to express circularity in a measure of units, a holistic and systematic approach is required. This starts with the maximum amount of resources depot that is currently available, the 'Earth' system. Earth consists of the lithosphere, hydrosphere, biosphere and atmosphere. Both people and the built environment affect the biological and physical element with an increase of the ecological footprint. As part of the ecosystem, ecology studies the flow of energy and material through organisms and physical environment. Therefore, circularity is derived for controlling the ecosystems. There are two main trends, related to circularity, which are worth mentioning because trains of thought are important for an organizations' strategy: eco-efficiency and eco-effectiveness. Eco-efficiency seeks to minimize volume, velocity and toxicity of the materials flow. In contrast to the minimization and dematerialization, the concept of eco-effectiveness proposes the transformation of products and their associated material flows such that they support relationship with ecological systems and future economic growth. Eco-effectiveness doesn't intent to minimize demand or prolonged the lifecycle of materials, but directing materials to be productive resources at any time.

Depending on the strategies concerning circularity (e.g. reuse, recycle, protect, and non-toxic) related to the impact categories (e.g. energy, water, materials, and land), different approaches are requisite. In the built environment it is important to make a distinction between life cycle phases: (1) development, (2) planning, (3) design, (4) construction, (5) operation, and (6) deconstruction. It is to indicate the different stakeholders who are involved over a period of time and to incorporate circularity from the initial start. In addition, buildings are by far the most complex elements within the built environment, often involving a combination of dozens of different materials, components/products and systems (site, structure, skin, services, space plan, and stuff) with each a specific lifespan. They are conceived, designed, constructed and uses as entities. However, in a long time frame, the buildings are constantly changing due to the changing user needs and changing environmental conditions. Therefore, circularity indicators are changing infinity in time, from the present to the future.

Circularity means for a building, that there is a need to make choices in terms of toxins, the organizations of the interchangeability, the reusability of material and finally linked with a good passport / bill of materials / building information model. Therewith, indicators that influence the buildings' level of circularity could be created. These indicators may be divided, based on lifetime, into four different classification: (1) technical indicators, (2) functional indicators, (3) perception indicators, and (4) economic indicators. Important is that the circular economy is about an economic value (as a driver), but circularity is mainly focused on the technical, functional and perception values. The technical indicators are related to the material input (virgin or reused materials), usage (lifetime, (dis)assembly) and material output (level of reuse). The functional indicators account for both the 'attractiveness to use'

(location, available facilities, and accessibility) and the domestic garbage, energy and water flows (for both materials and building usage). Finally, the perception indicators cover the 'attractiveness for the state of mind' (aesthetical, exposure, comfort, acoustic, and light).

Due to the strong subjectivism, 'attractiveness of use' and 'attractiveness for the state of mind', these are hardly to quantify. Additionally, the discussion of eco-efficiency and eco-effectiveness are related to this. Because the functional indicators (partially) and the perception indicators aim to maximize the period of usage without directing materials to be productive at any time. However, it should be recognized that, if the materials are productive at any time and the period of usage could be maximized, it would be both beneficial for the buildings' level of circularity.

There are already methodologies available that are assessing environmental impact indicators and valuating the consequences of a proposed activity before action is taken. These methodologies are either product (LCA, C2C, and EPD) or building (BREEAM and MPG) related. However, the product related lack the relation to a building and the building related lack the relation to products. Therefore, the first step towards a success for the circular economy is a simple measure of achievement, related to both products as well as buildings, in order to allow organizations to give incentives to their (chain) partner to become more circular, e.g. procurement process.

4. An Assessment Model for Measuring Building Circularity Indicators

Abstract. The circularity assessment model for buildings creates indicators that links the activities of construction companies to absolute global boundaries and economic trends, and provides technical insights into the buildings' level of performance. A methodology of measurement is necessary in a large number of applications, such as tracking progress (e.g. Key Performance Indicators (KPI's)), supporting internal decision making or informing investment choices. At the moment there are no professional assessment tools available to determine the buildings' level of circularity. This research aims to select the KPI's related to circularity and to develop an assessment model for measuring the building circularity indicators. This assessment model provides principals with a methodology of how well a contractor performs in the context of a circular economy, allowing them to estimate how advanced they are on their way from Linear to Circular.

Keywords: *circularity assessment model, material circularity indicators, product circularity indicators, system circularity indicators, building circularity indicators, linear flow index, bill of materials, key performance indicators, expert interviews, expert panel.*

4.1. Introduction

The increasing pressure on resource systems along with the rapid growth of global population, there is a new set of challenges present for the entire society. The demand for resources such as energy, food, water and materials grew and providers are, naturally, complying with that growth. The unprecedented evolution, in which the planet is currently positioned, and the scale of economic development in emerging markets means that the demand of resources is increasing, and prices are generally gone up since the new century. The Circular Economy (CE)) has been established to rethink the current linear economy with a 'take-make-dispose' pattern and think about regeneration of materials and products. Failing this transition, would have a great negative impact for economic growth (profit), the welfare of citizens (people), and the environment (planet). Therefore it is very necessary to change our mindset and ethical behaviour related to planet earth. Albert Einstein came with the following train of thought:

"We cannot solve our problems with the same thinking that created them." – Albert Einstein

Circularity first appeared in 2010, initiated by the Ellen MacArthur Foundation and finally adopted to a various other organisations. The CE can be largely described as "an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the end-of-life concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse and return to the biosphere, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems and business model" (Ellen MacArthur Foundation, 2014). It replaces the concept of waste with the one of restoration and aims to decouple economic growth from the use of virgin resources. Noteworthy is that a definition is so extensive and comprehensive that the way of implementation isn't obvious. The implementation is an important prerequisite in the built environment, given the fact that the built environment, as a sector, generates 37% of the total waste produced in the Netherlands, responsible for 4,5% of the total energy

consumption of the Netherlands, 20% of the total freight transport on the road, and 5% of the total greenhouse gas emission (van Odiijk & van Bovene, 2014). IPCC (2014) stated that this energy usage and related emissions may double or potentially even triple by 2050 due to growth and prosperity. The conclusion can be drawn that something has to be done in the built environment.

The core objective of this research is to have access to a tool based on a model for assessing the Building Circularity Indicator (BCI). This model can also be used as a means for communication between chain partners in the built environment particularly, for a building or building process (initiative, design, construction, exploitation, and deconstruction). In order to flesh out the principles of the CE, Key Performance Indicators (KPI's) for circularity should firstly be developed. These KPI's will allow principals to concretize their vision and ambitions in terms of CE establishing the KPI's will lead to a 'standardized language' between contractors and principals. Nowadays, principals and contractors do not speak the same language and therefore the transition towards a CE is difficult. This standardized language can be used in the tendering phase within the Design Brief or Program of Principles.

The BCI intent to reflect the buildings' level of circularity, made up of a System Circularity Indicator (SCI), Product Circularity Indicator (PCI), and Material Circularity Indicator (MCI). This is because a building is an entity which is composed of six different systems (Brand, 1994); site, structure, skin, services, space plan, and stuff. Subsequently, each of these systems consists of a collection of products and materials, including characteristics and an interrelated behaviour. Built on this data, KPI's can be constructed with a distinction between the BCI, SCI, PCI, and MCI. All of these indicators should be related to the 'principles' of the CE. The principles that can be used, due to extensive research conducted by the Ellen MacArthur Foundation, are: (1) Design out waste, (2) Build resilience through diversity, (3) Rely on energy from renewable resources, (4) Think in 'systems', and (5) Waste is food. In this research, it is assumed that circularity in particular, is all about 100% reusability of materials (100% non-virgin materials in and 100% reusable out).

The model of CE differentiates between types of cycles: (1) Biological cycles, in which non-toxic materials are restored into the biosphere while rebuilding natural capital, after being cascaded into different applications, and (2) Technical cycles, in which 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. Since the products and materials in a building are extensively from a technical nature and belong to the technical cycle, the biological cycle has been excluded from this research. In the past, extensive research has been dedicated to the determination of the principles and creating comprehensive roadmaps. Nonetheless, this research aims to reveal the KPI's related to circularity and developing a model that represents the BCI.

In order to reveal the KPI's reflecting the circularity of a material/product/system/building, this research firstly uses expert interviews for setting up a 'long list' of KPI's. Based on this long list, a prioritizing will be established to initiate a 'short list' including the most important KPI for circularity of a material/product/system/building. Only, the risk of prioritizing is that assumptions have to be made by the researcher in order to narrow down the long list. For

that reason, this research uses an expert panel to validate the prioritizing and to offer the opportunity to discuss arising discrepancies and inconsistencies. All this leads to a conceptual model for the Building Circularity Indicator. Together with the methodology for measuring circularity indicators developed by the Ellen MacArthur Foundation and Granta (2015), an assessment model for measuring building circularity indicators can be established.

First the conceptual model will be discussed. Next, the assessment methodology will be described. Then the model validation will be discussed for the assessment methodology by, applying a case study, and the limitations of the model will be explained. Finally, this chapter ends with a discussion.

4.2. The conceptual model

This research aims to have access to a tool based on a model of assessing the BCI. In order to develop an assessment model for measuring BCI's, first the KPI's, which are related to the buildings' level of circularity, should be established. Despite the variety of previous research, computable KPI's for the level of circularity are hardly known. Therefore, the conceptual model is based on two distinguishing parts. Firstly, expert interviews have been conducted with the aim to set up a 'long list' of KPI's. This qualitative research methodology provides the opportunity to acquire expert knowledge and to discover what circularity means in practice.

Given this finding, there is currently no comprehensive definition or a clear concept definition of CE, a variety of contradictory and conflicting answers could be given by the experts. Therefore, an expert panel has been consulted in order to validate the KPI's resulting from the expert interviews. Discrepancies can be reserved for the experts of this panel, and based on the discussion a final set of KPI's could be drawn. Finally, a conceptual structure can be established, reflecting the set of KPI's derived from the expert interviews and expert panel.

4.2.1. Expert interviews

In order to reveal a large variety of KPI's, the expert interviews were constructed in a semi-structured way using the information of the literature study and explorative interviews. Semi-structured interviews are often preceded observation, informal and unstructured interviewing in order to allow the researchers to develop a keen understanding of the topic of interest necessary for developing relevant and meaningful semi-structured questions (Cohen & Crabtree, 2006). The interviewer develops a list of questions and topics that need to be covered during the conversation. This list of questions is followed as an 'interview guide' and additional questions are issued depending on the experts' answers.

Since semi-structured interviews contain open-ended questions and discussions, all interviews have been recorded and afterwards summarized for analysis, see Appendix 3. This is to focus on conducting an interview and jotting down notes, without being distracted by writing down the answers. Results of the interviews are both used for the circularity indicators and as an endorsement of the literature review findings.

The experts have been selected carefully according to their position in the company and the type of companies they work for. In order to get a full impression of the BCI, a wide variety of companies that are involved in the building process (initiative, design, construction,

exploitation, and deconstruction) have been interviewed. Companies that are involved in the building process and interviewed are as follows: principals, architects, consultants, financial institutions, construction companies, manufacturing industries, educational institutions, real estate companies, and engineering companies. In total there have been 19 expert interviews conducted, of which 4 expert interviews in writing, 2 expert interviews by phone, and 13 at location. A total overview of the interviewees, date and location could be found in Appendix 3.

Then the results of the expert interviews were analysed in four steps. The first step was an intensive evaluation to obtain all the KPI's that have been considered during the expert interviews and captured in a 'long-list' of KPI's. The second step, based on this 'long-list' and arguments obtained from the expert interviews, has been a prioritizing of KPI's towards a 'short-list'. This prioritization has been done by the researcher by counting the number of times the likely KPI has been discussed and issued by the expert. It should be noted that many synonyms are grouped under one heading to identify 'the most important' KPI's for the buildings' level of circularity. This prioritization is partially validated by an expert panel (see 4.2.2.) and resulted in the following table of KPI's (Table 5).

Table 5: Prioritizing of KPI's

1.	Level of reusable materials (called 6R-model)
2.	Disassembly, demountability, modularity (called 6S-model)
3.	Technical lifetime / functional lifetime
4.	Potential financial value
5.	Virgin resources
6.	Material Health / toxicity
7.	Future reuse possibilities (second-hand market)
8.	Cycles (technological & biological)
9.	CO ₂ -footprint / emissions
10.	Renewable energy usage
11.	Building performances (users and perception performance, comfort, appearance, productivity, etc.)
12.	Social Responsibilities (SR)
13.	Material scarcity
14.	Environmental impact
15.	Waste generation

The third step was to encode the expert interviews from Appendix 3; in which relevant phrases were labelled. The fourth step was to categorize phrases into several items. Based on this categorization, similarities and dissimilarities were found between answers of different experts. This results in a modified prioritizing and can be summarized as follows:

- 1. Value and CE:** The CE is focused on value proposition from varying interests and perspectives. Value is the importance or significance of a product, service or communication thereof. A clear distinction must be made between the economic, social / societal and ecological value (Triple E and Triple P). Specific circularity is all about extracted virgin materials applying in a way that they are reusable or recyclable for another use; this to minimize the impact on the earth, in which stakeholders are collaborating to maximize the value of materials and resources.
- 2. Principles of CE:** The CE is a holistic approach which is aimed at prospective closure of cycles with conservation of resources and materials. Closing resources cycles (or

circularity) intent, in both biological and technical cycles, creating a 100% infinite reusability (100% non-virgin materials in and 100% reusable materials out) of materials and returning it back to Mother Earth. To ensure reusability within the technological cycle, it is important to secure diversity and flexibility within a design. All activities which take place in the process should actually come from renewable energies with the lowest possible environmental footprint. The circular economy concerns new forms of collaboration, financing methods, but especially the emphasis on materials and resources.

3. Levels of a circularity assessment model: Since all buildings are composed of materials and space or solid materials and air between them; it is at least at the building level difficult and intangible to assess the level of circularity. For a building, it is dependent on context and factors that we cannot influence. It is therefore advisable to look at the material / product / system level for circularity. In addition, the model of communication should be used from the initial stage of a construction process and change along in time.

4. KPI's for the buildings' level of circularity:

- 1) *Cycles:* the combination of both technological and biological cycles is important to organize this in a good manner. The technological cycle is full of materials that are easily recyclable and are healthy during the period of use; the biological cycle. This research aims to have access to a tool based on a model of assessing the BCI. In order to develop an assessment model for measuring BCI's, first the KPI's, which are related to the buildings' level of circularity, should be established. Despite the variety of previous research, computable KPI's for the level of circularity are hardly known. Therefore, the conceptual model is based on two distinguishing parts. Firstly, expert interviews have been conducted with the aim to set up a 'long list' of KPI's. This qualitative research methodology provides the opportunity to acquire expert knowledge and to discover what circularity means in practice.
- 2) Given this finding, there is currently no comprehensive definition or a clear concept definition of CE, a variety of contradictory and conflicting answers could be given by the experts. Therefore, an expert panel has been consulted in order to validate the KPI's resulting from the expert interviews. Discrepancies can be reserved for the experts of this panel, and based on the discussion a final set of KPI's could be drawn. Finally, a conceptual structure can be established, reflecting the set of KPI's derived from the expert interviews and expert panel. is made up of as much as possible biodegradable materials that are safe under defined conditions;
- 3) *Reuse of materials:* a CE begins to reflect upon available materials and is it possible to develop a building or product based on existing waste streams. The aim is to bring the materials back on the highest level possible, like maintenance repair, reuse, remanufacture, refurbish, and recycle (excluding energy recovery and landfill). The reuse of the fraction of materials can be expressed in volume (kg or m³) or economic value. In addition, there should also be sought for the optimization of production and recycling processes, and waste prevention;
- 4) *Building layers:* making a building circular is starting with the observation of several lifetimes related to the building layers (systems). For each layer, it is important to determine the input-use-output flow. The interfaces/performances

between element and components are still unclear, however these are critical and essential to provide the adaptability;

- 5) *Disassembly*: disassembly, modularity and demountability make it possible to separate materials and product easily. This allows simple replacement and offers the reusability of materials and products. Important for this indicator is that it should be taken into account in the design stage;
- 6) *Re-marketing value / potential material value*: it is difficult to define what the value stream, expressed in euros, is for resources that are incorporated in a building / product. Additionally, the potential value of a material is often not enough to add all efforts of labour and technology to dismantle the material;
- 7) *Material health*: a material that is not toxic can always be recycled and can be used in a healthy way for people using a building. Toxicity and chemical pollution must be banished;
- 8) *Material Scarcity*: a scarce material, should not be recycled, but simply not used anymore;
- 9) *Securing reutilisation*: new forms of cooperation (Product-Service Systems) support in closing cycles. Relating to economic and organizational criteria, the safeguarding is an important factor;
- 10) *Energy usage*: the impact on the environment / energy usage should be organized as efficient as possible. This is related to the several phases; extraction, use and reuse of resources. As long as the energy usage is renewable, it's not harmful to the environment;
- 11) *CO₂-footprint*: the less CO₂ emissions, the better. This stimulates recycled materials, given the fact that recycled materials have a permanent lower CO₂-footprint compared with that of virgin materials;
- 12) *Users indicators*: important indicator is the use phase of a building (flexibility, adaptability, quality) and the functional lifetime (comfort, marketability and location). The fact that a building / product is more attractive, has a positive effect on the service life (functional and use) and is therefore more circular;
- 13) *Social Responsibilities*: it is important to take under consideration that circularity creates ads value for environment, local residents, and impact on construction site.

To look at an assessment model for measuring building circularity indicators, from the expert opinions the following can be stated:

- A distinction has to be made between the time period the assessment model is going to be used, namely (1) in advance, in order to be able to determine and to manage on values, or (2) afterwards, in order to assess a building on the level of circularity;
- Is the model intended for an expert or generally accessible, this affects the structure of the model (e.g. the Ellen MacArthur and Granta model is slightly complex).

During the interviews it became clear that there is a variety of different opinions and definitions about the assessment of circularity. Some discrepancies are highly crucial to the intended assessment model. Therefore, it has been decided to use an expert panel to acquire a final list of KPI's which have to be incorporated into the model.

Towards a mathematical foundation of the assessment model, Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) 'Circularity Indicators; an approach to measuring circularity' provides the basis for the assessment model. Their approach includes a methodology that calculates material, product, and department and company circularity indicators. Additionally, the findings from a focused expert interview with an involved person of the previous mentioned approach (for details, see Appendix 5), are as follows:

- In principle, the circularity indicators could be scaled up to a BCI. The indicators show an input-use-output flow which also applies in built environment projects. However, there should be some adjustments/ additional factors developed, in particularly related to functionality or usage intensity;
- The methodology provides a way how to scale up from product to company level and in order to obtain a BCI. It is possible to apply the same methodology from components or parts of a building towards the entire building;
- The methodology as it stands now, does not allow different lifetimes for different parts. Though, an adjustment would be needed for the BCI given the fact that a building is built up out of systems with each a different lifespan.

4.2.2. Expert panel

The aim of the expert panel was to clarify conflicting or inconsistent answers as a result of the expert interviews (for details, see Appendix 4).

The following propositions were presented preceded by the next quote.

"We cannot solve our problems with the same thinking that created them." – Albert Einstein

Propositions:

1. The circular economy does not concern the financial value, but is all about the technical feasibility!
2. Social Responsibilities has nothing to do with circularity but is merely a thought of Corporate Social Responsibilities (CSR).
3. Scarcity of raw materials has nothing to do with circularity.
4. A building that is not adaptable, by definition is not circular.
5. An aesthetical harmonious building is by definition circular.

Based on the propositions and the experts' opinion, a great discussion followed. With each proposition the experts started with different viewpoints, but this changed during the discussion and at the end of every discussion a general conclusion could be drawn. For each proposition, the following conclusions were drawn:

1. The CE could contain different aspects such as functional, economic, cultural and social and is based on the minimization of the waste cycles and downcycling resources and materials. Therefore, it is not primarily about the financial value, but it has to do with the value proposition. This means that the process should be organized in a way that a higher financial value is going to be assigned to the current products and materials. Ignore the technical feasibility; circularity consists of the

value proposition for the end user. Therein, finance is only a “hard and objective” language with which people can communicate and a driver for circularity;

2. Social responsibilities are merely a necessary precondition to implement circularity from an organization perspective. Circularity requires social commitment, but someone who is socially involved may not be necessarily circular. In this research, social responsibilities is not a KPI for the level of circularity of a building;
3. Scarcity has nothing to do with circularity, but scarcity can be a driver to think circular. Circular thinking is in fact assisted by the catalyst ‘scarcity of resources’, namely when there is a scarcity of materials it will speed up the transition towards a circular economy. Therefore, it is definitely not a KPI of circularity. It is ultimately more economical viable to reuse scarce materials;
4. On one hand, it is a condition of circularity, as a building needs a certain level of accessibility in order to maintain it and ultimately adaptable enough for a future function. On the other hand, as long as the embedded materials and energy not decrease in value and the building has an “infinite” lifetime, it is perfectly circular. With a wider perception of adaptability, consisting of an economical, technical and functional lifetime; a building that is lasting longer and don’t have adaptations is more circular in comparison with a building that is constantly changing and needs adaptations. That means that functional adaptability is more important than technical adaptability. Adaptability is a very important issue in the context of the circular economy on both component-level and building-level.
5. Despite of the importance of aesthetics, it turns out that something that cannot be measured in the society, it simply does not matter. Sometimes, circularity consists of a very long circle and what we now appreciate could be completely different in the future. Therefore, in this research KPI’s that have great influence, but cannot be measured, are ignored.

From these findings, a re-classification of KPI’s has been drawn up with a subdivision as shown in Table 6.

Table 6: Re-classification of KPI's based on expert panel findings

1. Technical requirements	2. Preconditions	3. Drivers
Type of input & type of output (6R-model)	Material Health / toxicity	Material scarcity
Technical lifetime	CO ₂ -footprint / emissions	Potential financial value
Disassembly possibilities (6S-model)	Renewable energy usage	Future reuse possibilities (second-hand market)
Cycles (technological & biological)	Environmental impact	

These findings are input for the conceptual structure as discussed in the next section.

4.2.3. Conceptual structure

From the previous findings, a conceptual structure is drawn up to show the stepwise approach of the circularity assessment in order to achieve a BCI. In fact, it shows the base of the assessment methodology that will be discussed in section 4.3.

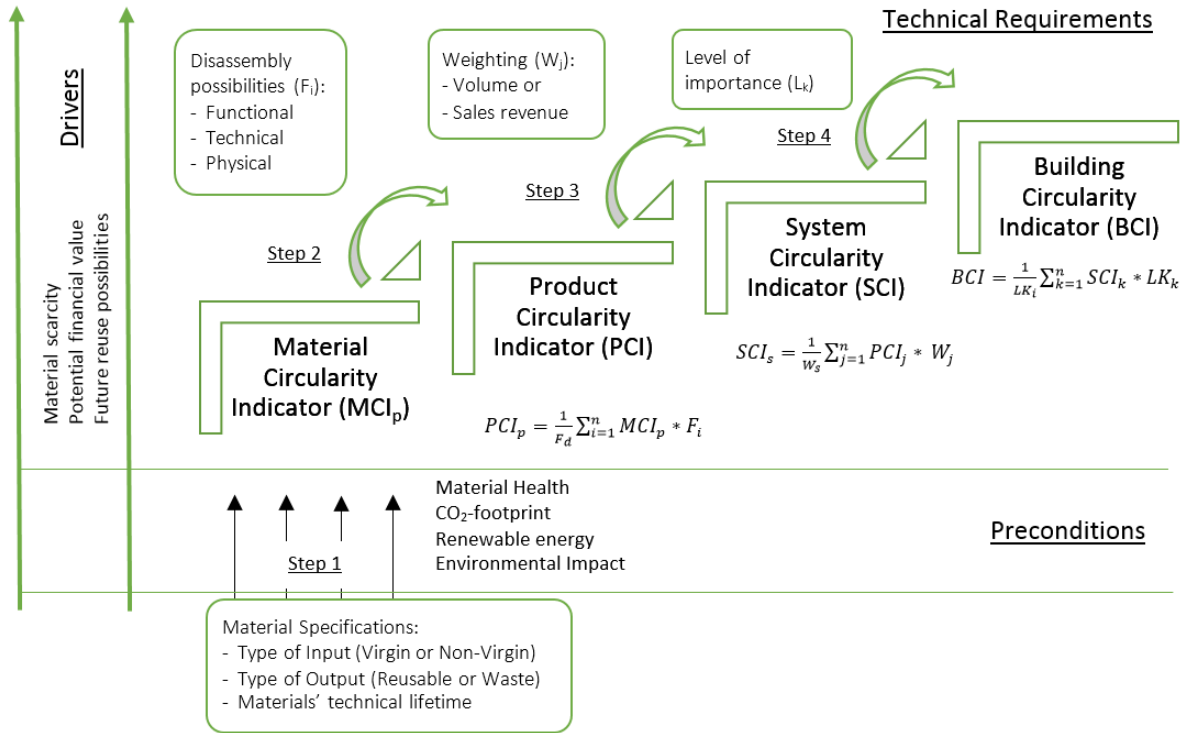


Figure 21: Assessment model - conceptual structure for the circularity assessment model of materials within the technical cycle

Where,

MCI_p = Material Circularity Indicator for a specific product (consisting of a number (n) materials);

F_d = Total sum of the maximum value of the disassembly possibilities (F_i) for each product;

W_s = Total sum of the weighting factor (W_j) for each product;

LK_i = Total sum of the level of important (LK_k) for each system.

The different steps will be discussed in the next section.

4.3. Assessment methodology

This section concludes the development of an assessment model for the buildings' level of circularity and the conceptual structure as shown in Figure 21 underlies this. In order to compute a BCI, the calculation requires additional data that is from a mathematical perspective. This data is, partially, founded in the conducted research of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) 'Circularity Indicators; an approach to measuring circularity'. Therein, they developed indicators which can be used as a decision-making tool for designers, but might also be used for several other purposes including internal reporting, procurement decisions, and the rating of evaluation of companies. The indicators focus exclusively on technical cycles and materials from non-renewable sources. Since the methodology of Ellen MacArthur Foundation & Granta does not answer the research question, additional development is done for an assessment methodology of the BCI.

4.3.1. Assessment methodology design

The Material Circularity Indicator (MCI) of Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) for a product measures the extent to which linear flow has been minimised and restorative flow maximised for its component materials and how long and intensively it is used compared to a similar industry-average product. The MCI is essentially constructed from a combination of three product characteristics: (1) the mass V of virgin raw materials used in manufacture, (2) the mass W of unrecoverable waste that is attributed to the product, and (3) a utility factor X that accounts for the length and intensity of the product's use. Figure 22 summarises the different variables influencing the MCI.

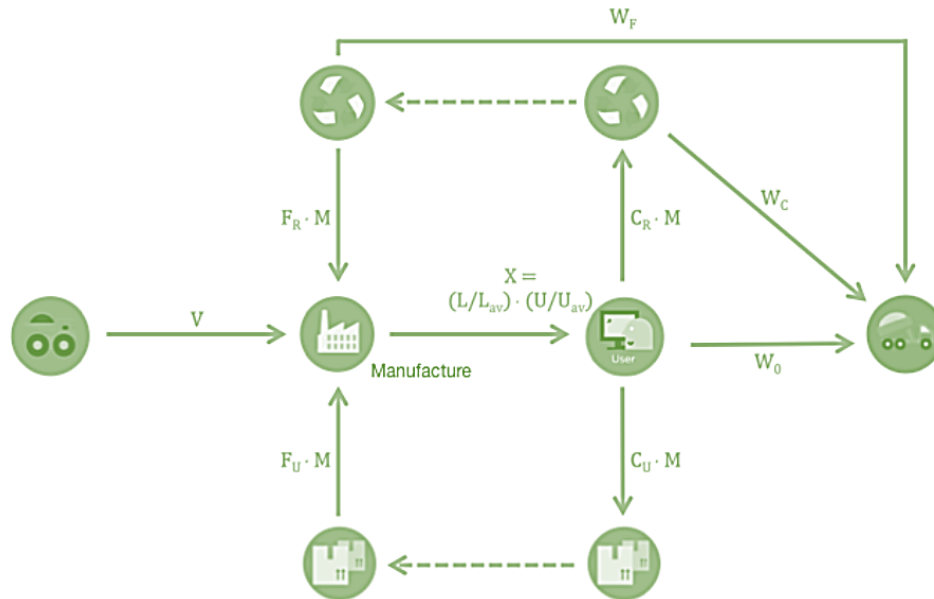


Figure 22: Diagrammatic representation of material flows (Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015)

Where:

- V = Mass of virgin feedstock used in a product;
- F_R = Fraction of mass of a product's feedstock from recycled sources;
- F_U = Fraction of mass of a product's feedstock from reused sources;
- M = Mass of a product;
- X = Utility of a product;
- L = Actual average lifetime of a product;
- L_{av} = Actual average lifetime of an industry-average product of the same type;
- U = Actual average number of functional units achieved during the use phase of a product;
- U_{av} = Actual average number of functional units achieved during the use phase of an industry-average product of the same type;
- C_R = Fraction of mass of a product being collected to go into a recycling process;
- C_U = Fraction of mass of a product going into component reuse;
- W_0 = Mass of unrecoverable waste through a product's material going into landfill, waste to energy and any other type of process where the materials are no longer recoverable;

- W_C = Mass of unrecoverable waste generated in the process of recycling parts of a product;
- W_F = Mass of unrecoverable waste generated when producing recycled feedstock for a product.

The determination of MCI_p (details can be found in Appendix 6) is the basic step to the BCI. The MCI of a product can be defined by considering the Linear Flow index of the product and the factor $F(X)$, built as a function F of the utility X that determines the influence of the product's utility on its MCI. The equation used to calculate the MCI by Ellen MacArthur and Granta (2015) of a product is:

$$MCI_p = 1 - LFI \cdot F(X), \text{ with the constraint: if } MCI_p < 0, \text{ then } MCI_p = 0.$$

The assessment methodology incorporates not only the MCI_p for a product (p), but also the determination of the company MCI. This company MCI is based on the hypothesis that the material circularity of a company can be built up from the material circularity of the company's products. The company-level MCI is then obtained as a weighted average of product level MCI's. The sequence is visualized in Figure 23.

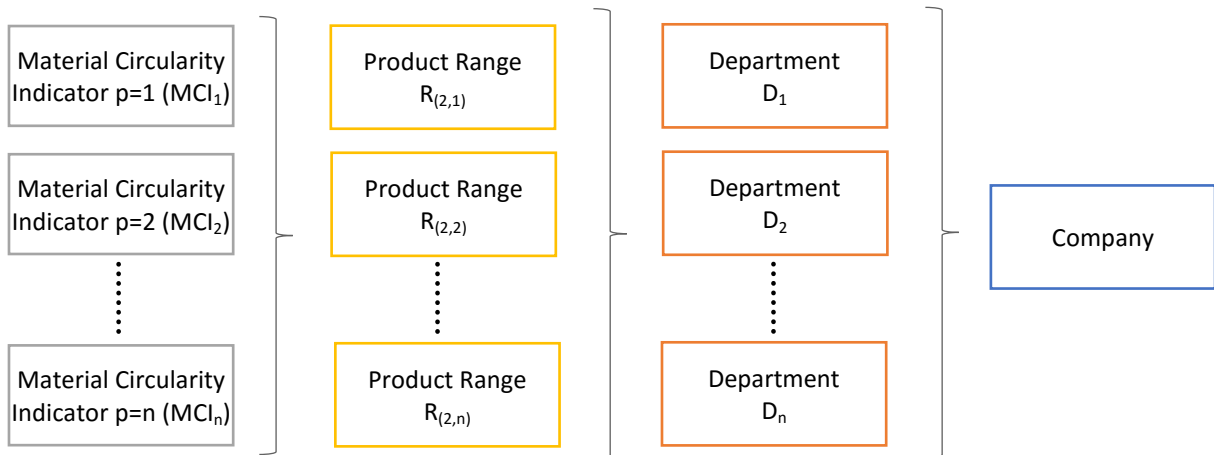


Figure 23: Structure of a Material Circularity Indicator for a Department of a Company

4.3.2. Development of the building circularity indicator

As shown in the conceptual structure of Figure 21 (4.2.3.), the BCI is built up in consecutive steps of MCI, PCI, and SCI. Guiding principle is the assessment methodology of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015). The BCI measures the extent to which the linear flows has been minimized and restorative flows maximized for its component systems, products and materials, and how long and intensively it is used compared to a similar system-average products. The general idea behind the BCI is to look into the *input*, *functionality* and the *output*. In the development of the BCI, there should be paid attention to the materials and products separately, but also the interconnections and physical interfaces at the assembly in a building. In technical cycles products, components, and materials are restored in the market at the highest possible quality level and for as long as possible by repair, maintenance, re-use, refurbishment, revision, and ultimately by recycling. In contrast, in the biological cycle, non-toxic materials are restored in the biosphere during the re-modelling of natural capital, cascading in a variety of applications. The development

of this BCI is restricted to the technological cycle of materials. The biological cycle is not taken into account, because the assessment of this cycle is completely different.

The first step in the elaboration of the assessment model is to develop a material circularity indicator (MCI), whereby the material input and output, and the utility of a product are evaluated. This could also be described as the 'theoretical' circularity value for a product, without any interfaces and purely the product itself. A summation of each material evaluation MCI will finally result in a MCI for a product. The material input and output implies the virgin or non-virgin materials and reusable or non-reusable materials subsequently. The utility represents the lifetime and intensity of the product's use.

The second step in the assessment model is to develop the product circularity indicator (PCI), including the interfaces and connections between products and materials. The circularity of products cannot be guaranteed for further reuse when interfaces and/or connections have been constructed in a chemical or bonded way. The PCI assesses the circularity of products in a system as a whole. The PCI comprises additional and adjusting factors based on the Design for Disassembly (DfD) principles including functional, technical, and physical deconstruction. In contrast to the theoretical circularity value of the MCI, the PCI is a practical circularity value for a product.

The third step in the assessment model is to develop the system circularity indicator (SCI); the SCI assesses the circularity of products in a system together based on their weight of sales revenues, and making a separation based on the system layers, defined by Brand in 1994, to compare systems with each other and the different lifetimes of each system.

The final step in the assessment model is to develop the building circularity indicator (BCI); the BCI assesses the separate systems as a whole with a factor for the level of importance for each system. According to several expert interviews, the circularity for a system with a short lifetime is more important than for systems with a long lifetime due to the velocity of material circulation. Subjective factors that are related to the functionality of materials and products are not included in the assessment model.

In the next four sections, the development of circularity indicators MCI, PCI, SCI, and BCI will be discussed in more detail.

4.3.2.1. *Material circularity indicator (MCI)*

The development of the Building Circularity Indicator (BCI) is based on the hypothesis that a building is an assembly of materials which are in some way connected to each other. Each of these materials has properties and their own circularity. The general assumption for circularity is 100% non-virgin material in and 100% reusable material at the end-of-life. The MCI for a product measures the extent to which linear flow has been minimised and restorative flow maximised for its component materials, and how long (often an estimation) the product is used compared to the systematic value of the building layer. The systematic value is the assigned lifetime in years by Brand (1994) of a system that also accounts for the products within that system.

The MCI is essentially developed from the following characteristics (see also Figure 21):

- The mass V of virgin material used in manufacture;
- The mass W of unrecoverable waste that is attributed after usage (primarily);
- The utility factor X with the lifetime/systematic value of the product.

Based on these characteristics the following quantities can be determined:

- The Linear Flow Index, which is about the input and output of materials;
- The Material Circularity Indicator (MCI_p), which is about the products' level of circularity.

For the determination of MCI with, on the one hand a full linear product, and on the other hand a full circular product, a distinction has to be made. From only a single product perspective, 100% virgin feedstock, and which ends up in landfills can be considered as an entirely 'linear' product. Additionally a single product with a 100% non-virgin material input and 100% reusable materials output can be considered as an entirely 'circular' product. From this distinction as an assumption, all derivative impacts can be reflected. In a range $[0, 1]$ from 0% (linear) and 100% (circular), these are the two extremes of the MCI.

For the determination of MCI_p , it is expected to assess multiple materials as part of the total product, using detailed knowledge of a product's component parts and materials. Therefore it is important to have a complete and totally detailed material breakdown, Bill of Materials (BOM). The MCI_p is determined by first examining the material input and output, and thereafter to look at the utility factor of the product.

Successively the determination of the material input, material output, the utility factor, and the quantities 'linear flow index' and 'material circularity indicator' will be discussed.

Determination of the material input

As mentioned before, a distinction for the material input has been made between either virgin materials (raw materials) or non-virgin materials (reused, refurbished, remanufactured, or recycled). In the assessment model, it is assumed that for the circular economy it doesn't make sense if the non-virgin materials are from reused, refurbished, remanufactured, or recycled content. This assumption has been made by a lack of real data; the only thing we know is the fact that reused content is less harmful for the environment than the recycled content. However, the assessment model offers (see 4.3.3.) preconditions that can be added to the BCI which include the degree of renewable energy, CO₂-emissions and other environmental impact. Therefore the assumption could be either true or false, but for the BCI all the reusable input is equal weighted.

All materials, that are part of a product, could be added by Virgin Feedstock (V), Non-Virgin Feedstock (NV), Fraction Recycled Materials (F_{RC}), Fraction Remanufactured Materials (F_{RM}), Fraction Refurbished Materials (F_{RF}), and Fraction Reused Materials (F_{RU}). Hence, a product is built up using a number of components: sub-assemblies, parts, and/or materials. Depending on the level of detail, a Bill of Material (BOM) can frame all materials. Based on all the sub-assemblies, parts, and/or materials (χ), the Material Circularity Indicator can sum up all material input.

For each sub-assembly, part, and/or material (χ), the fraction of feedstock from virgin sources is:

$$V_{(x)} = M_{(x)}(1 - NV_{RC(x)}), \quad (Eq. 1)$$

Where

$V_{(x)}$ is the fraction of feedstock from virgin sources for each sub-assembly;

$M_{(x)}$ is the total mass of the sub-assembly;

$NV_{RC(x)}$ is the fraction of feedstock from non-virgin sources for each sub-assembly.

The total virgin material for a product (V) using the summation of all different sub-assemblies, parts, and/or materials is:

$$V = \sum_x V_{(x)} \quad (Eq. 2)$$

All of the 'fractions' are given in kg, m³ or a % of the total mass. If the Virgin Feedstock is equal 0, then all the input is from materials which have a second life, so we have a full circular input.

Determination of the material output

The material output is the destination of a product at the end-of-lifetime. Again, without making the distinction between reused, refurbished, remanufactured, and recycled, the products reusable fraction is the total amount of materials that finds a second, third or at least a next lifetime. The other option, when it cannot have a next lifetime, it is used for energy recovery or whether going at the landfill.

In this scenario, a distinction should be made between the reusable fraction and waste. Therefore, energy recovery and / or landfill are seen as waste and all the other as reusable fraction. Since the product is a single entity of materials, there is only one type of waste and not separated into sub-assemblies, parts, and/or materials. The amount of waste (W) going at the landfill or is used for energy recovery is:

$$W = M (1 - F_{RU}) \quad (Eq. 3)$$

Where

W is the amount of waste;

M is the total mass of a product;

F_{RU} is the fraction of a product used for reuse, refurbishing, remanufacturing, and recycling.

All of the 'fractions' are given in kg, m³ or a % of the total mass. If the Waste (W) is equal 0, then all the output is giving all the materials a next life (second or higher life) which means a fully circular output.

Determination of the utility factor

A building is a composition of systems, products and materials. , The utility of a building has to do with lifetime of a product and the lifetime of a system. The lifetime of a product is the

length of the product's use phase (L_p). This length component represents any reduction (or increase) in the waste stream in a given amount of time for products that have a longer (or shorter) lifetime in comparison to other products of different suppliers. So, if the lifetime of a product is doubled, the waste created and the virgin materials used per year are halved.

The other aspect, namely lifetime of a building system, has to do with the products situations in a building system. Each building system has a different lifetime (L_{sys}) in years, such as Site (500), Structure (100), Skin (20), Services (15), Space Plan (10), and Stuff (5) based on the Shearing Layers of Brand (1994).

The utility X can be determined as follows:

$$X = \frac{L_p}{L_{sys}} \quad (Eq. 4)$$

That means, if the lifetime of a product (L_p) is extended, there is positive effect on the utility. The L_p is the technical lifetime of a product, therefore preconditions are required. In fact, a product has to be placed in a context, and is part of a composition of a building, which is either intensively or inadequately used by changing in demand (end of the rental agreement or 'just' changing needs), and the connections to other products. Additionally, a product that is developed for an excessive lifetime (utility X is high), but end up either as energy recovery or as landfill, is not in particular circular but a slow linear process. This is a point of discussion between eco-efficiency and eco-effectiveness. Wherein, the eco-efficiency (decreasing the demand of materials) has a positive meaning to this outlined case, which is contrasted to the eco-effectiveness (doing it good instead of less) having a negative meaning. Instead of minimisation and dematerialisation, the goal of eco-effectiveness is not to minimise the cradle-to-grave flow of materials, but to generate cyclical, cradle-to-cradle 'metabolisms' that enable materials to maintain their status as resources. This intensifies a positive recoupling of the relationship between economy and ecology. Depending on the preconditions, this utility could embrace either eco-efficient or an eco-effective together with efficiency. The assumption that good materials are lasting the longest is in either way the best option.

Determination of the linear flow index

The Linear Flow Index (LFI) measures the proportion of material flowing in a linear manner, with a 100% Virgin Feedstock in and a 100% Waste (Energy Recovery & Landfill) at the end-of-life. The index takes a value between 1 and 0, whereby 1 is comprehensively linear flow and 0 a comprehensively restorative flow.

The linear flow index is determined as follows:

$$LFI = \frac{(V + W)}{2M} \quad (Eq. 5)$$

Where

$0 \leq V \leq M$ and $0 \leq W \leq M$ and the total mass flow is equal to $2M$.

Thus, if $V = 100\%$ (Virgin Feedstock), $W = 100\%$ (Waste), and $M = 100\%$, then $LFI = (100+100)/200 = 1$; this is fully linear. In the opposite direction, if all materials are going to be reused, refurbished, remanufactured and/or recycled, both input and output, then $LFI = (0+0)/200 = 0$ and this is fully circular.

Determination of the material circularity indicator

The Material Circularity Indicator for a product can now be determined by considering the input, utility and output. The MCI for product a is determined by (Ellen MacArthur & Granta, 2015):

$$MCI_{p(a)} = 1 - LFI_{p(a)} \cdot F(X_{p(a)}) \quad (Eq. 6)$$

Where

$LFI_{p(a)}$ is the Linear Flow Index (from the Virgin Feedstock and Waste);

$F(X_{p(a)})$ is the function of the utility factor $X_{p(a)}$; this applies

$$F(X) = \frac{a}{X_{p(a)}}, \text{ with } a \text{ is a constant} \quad (Eq. 7)$$

Ellen MacArthur Foundation 'Circularity Indicators' (2015) has established $a=0.9$. Hence the assumption, the utility of a product (e.g. by using it longer) has the same impact on the MCI as a reuse of components leading to the same amount of reduction of virgin material use and unrecoverable waste in a given period of time (eco-efficiency). This provides for a product, which is fully linear ($LFI = 1$) and a utility factor of $X = 1$ (L_p/L_{sys}), a MCI of 0.1 for product a .

In the case of an almost fully linear product ($LFI \approx 1$) with a shorter lifetime than the system, the MCI is negative. To prevent a negative value, the bottom-line (0) is taken into account and the final determination of MCI for a product is:

$$MCI_{p(a)} = \max(0, (1 - LFI_{p(a)} \cdot F(X_{p(a)}))) \quad (Eq. 8)$$

4.3.2.2. Product circularity indicator (PCI)

The MCI is developed based on the hypothesis that the Building Circularity Indicator could be built up by a summation of all MCI_p 's. However, that not apply to PCI; the PCI_p of a product would not be any realistic value since the interfaces and connections between products is of great importance for indicating the circularity of a system. Thereby, the MCI can be seen as a 'theoretical' value and the PCI as a 'practical' for a products' purpose. For the benefit of a communication model, this gives the principal the opportunity to see what the optimal value (theoretical) of PCI_p could be of a product and what in his product the practical value is.

Out of a literature study, these connections and interfaces are represented by the study of Design for Disassembly (DfD). DfD is the design of buildings to facilitate future change and the eventual dismantlement (in part of whole) for recovery of systems, components and

materials. This design process includes developing the assemblies, components, materials, construction techniques, and information management systems to accomplish this goal.

In previous literature review (3.6 'Building Circularity Indicator'), the study of E. Durmisevic et al., (2006) shows the Disassembly Determining Factor (DDF). These 17 DDF factors should reflect all possible elements of a DfD design. There has been a selection phase initiated by the researcher to keep the model evident. First the description of all the 17 DDF factors are described and subdivided into functional, technical and physical decomposition:

Functional decomposition (material level), see Figure 24:

This disassembly aspect is about functionality of an assembly, it comprises decomposition of functions and consists of:

- Functional independence; separation of function within one composition; if a product is functional obsolete, it is possible to disassemble components and / or products separately. This prevents unnecessary dismantling;
- Clustering / systematization; the substitution of one element would have considerable consequences on all related parts at connection, the principle of structure for a subsystem aims amongst others at creating modular designs and standardization of elements on sub-assembly and component levels.



Figure 24: Disassembly aspect - Functional

Technical decomposition (hierarchy), see Figure 25:

This disassembly aspect, technical decomposition, is focused on decomposition of different elements. It is responsible for defining technologies and methods to specify principle solutions for composition of structures and consists of:

- Base element specification; providing independence of elements within one cluster should define its base elements;
- Life cycle coordination; identifying the products lifecycle and assembly sequences determines the relation between a long cycle product and a short cycle product;
- Open versus closed hierarchy; specifying the relation between subsystems for disassembly, the hierarchy within the structure plays an important role.

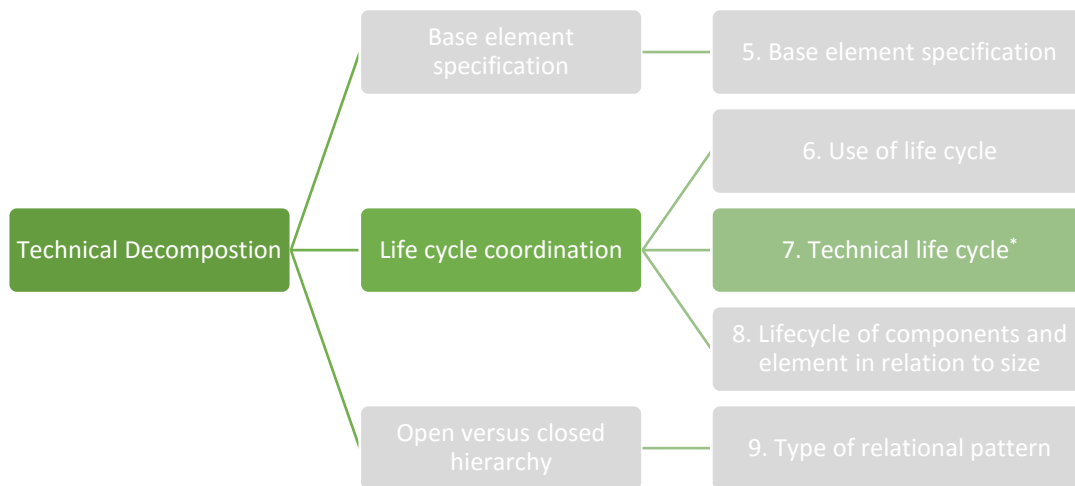


Figure 25: Disassembly aspect - Technical decomposition

Physical decomposition (interfaces), see Figure 26:

The disassembly aspect, physical decomposition, is focused on the performance of the interfaces of products and materials. It is strongly related to the manufacturing and construction process and the final processing on site. It consists of:

- Assembly sequence; factor for transformable configuration, deconstruction without generating waste, the sequence of assembly between products and components is of highly importance;
- Interface geometry; factor for possibility of disassembly a composition, interpenetrating geometry is less suitable for disassembly than connections that could be removed by (partly) demolition of elements;
- Type of connection; factor for the connections in which the interfaces defines the degree of freedom between component, through design of product edge and specificity of connection type.

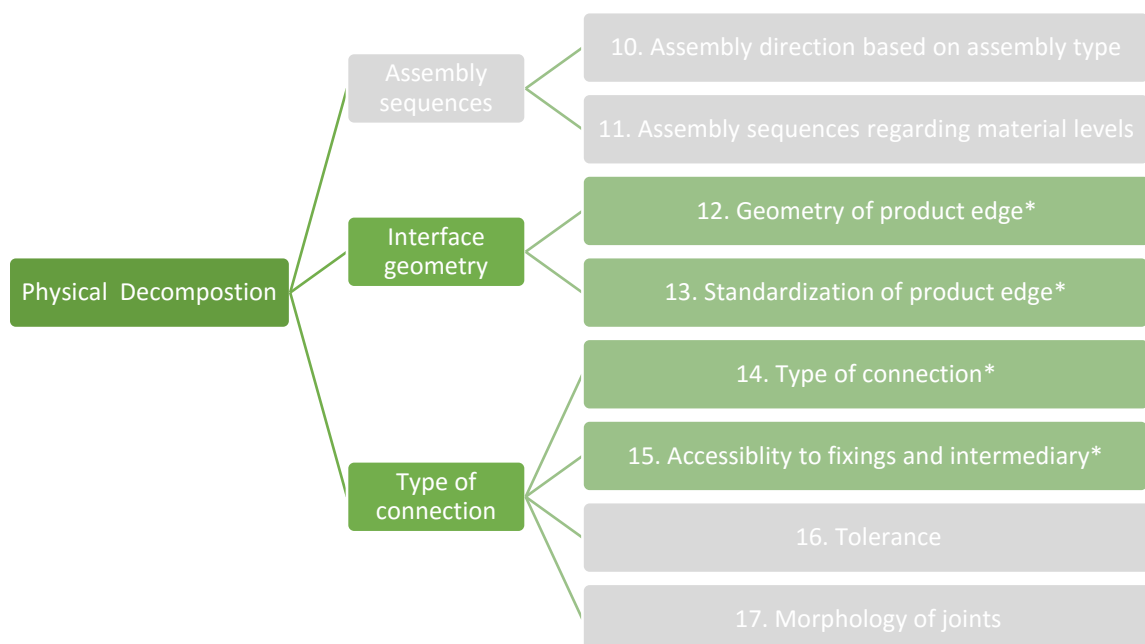


Figure 26: Disassembly aspect - Physical decomposition

As can be seen in Figures 24-26, not all the DDF are considered in the model. All marked (*) DDF have been included to the assessment model. Previous research of E. Durmisevic et al. (2006) assigned fuzzy variables as input of a knowledge model.

Fuzzy variable for disassembly determining factors

E. Durmisevic et al. (2006) came up with disseminated weighted variables for each of the DDF, see Table 7. Grading is done from one to zero, with zero having the worst impact and one represents the best impact on disassembly.

Table 7: Fuzzy variables for DDF (E. Durmisevic et al. 2006)

Functional separation	separation of functions	1.0
	integration of function with same lifecycle into one element	0.6
	integration of function with different lifecycle into one element	0.1
Functional dependence	modular zoning	1.0
	planned interpenetrating for different solutions (overcapacity)	0.8
	planned for one solution	0.4
	unplanned interpenetrating	0.2
	total dependence	0.1
Technical life cycle / coordination	long (1) / long (2) or short (1) / short (2) or long (1) / short (2)	1.0
	medium (1) / long (2)	0.5
	short (1) / medium (2)	0.3
	short (1) / long (2)	0.1
Geometry of product edge	open linear	1.0
	symmetrical overlapping	0.8
	overlapping on one side	0.7
	unsymmetrical overlapping	0.4
	insert on one side	0.2
	insert on two sides	0.1
Standardisation of product edge	pre-made geometry	1.0
	half standardised geometry	0.5
	geometry made on the construction site	0.1
Type of connections	accessory external connection or connection system	1.0
	direct connection with additional fixing devices	0.8
	direct integral connection with inserts (pin)	0.6
	direct integral connection	0.5
	accessory internal connection	0.4
	filled soft chemical connection	0.2
	filled hard chemical connection	0.1
	direct chemical connection	0.1
Accessibility to fixings and intermediary	accessible	1.0
	accessible with additional operation with causes no damage	0.8
	accessible with additional operation which is reparable damage	0.6
	accessible with additional operation which causes damage	0.4
	not accessible – total damage of bought elements	0.1

Determination of the product circularity indicator

In order to combine all MCI from a systematic perspective, first all weighted variables should be included to determine the MCI_p 's within a system. A distinction has been made of the system layers; Site, Structure, Skin, Services, Space Plan, and Stuff. The equation for each of the PCI_p for product (p) is as follows:

$$PCI_p = \frac{1}{F_d} \sum_{i=1}^n MCI_p \cdot F_i, \quad (Eq. 9)$$

Where F_i is one of the DDF factors and:

$$F_d = \sum_{i=1}^n F_i \quad (Eq. 10)$$

Where F_d is the summation of all the DDF factors.

The DDF are not dependent on each other in this situation, which means that each variable can cause the same amount of impact. In reality, this won't be the situation, but this assumption has been made since there isn't any research that makes such a distinction.

4.3.2.3. System circularity indicator (SCI)

To aggregate all the MCI_p (theoretical) and PCI_p (practical) for a number (n) of products, towards a systematic value, normalised factors are used to determine a weighted average of each product for the SCI (see 4.3.2.2. for explanation of theoretical and practical). There exist a number of potential normalising factors, but for reasons of usefulness and practicality, the product mass has been selected for use in this model.

The equation for the theoretical value of $SCI_{s(t)}$ for a system (s) is than as follows:

$$SCI_{s(t)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n MCI_j \cdot W_j, \quad (Eq. 11)$$

Where MCI_j the Material Circularity Indicator for a product j .

The equation for the practical value of $SCI_{s(p)}$ for a system s is than as follows:

$$SCI_{s(p)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n PCI_j \cdot W_j, \quad (Eq. 12)$$

both with, W_j the product mass of product j , and:

$$W_s = \sum_{j=1}^n W_j \quad (\text{Eq. 13})$$

Where W_s is the total product mass of the product rang (j, n).

Again, the outcome of the SCI will range from 0 to 1. In a system, made of fully circular products in a fully disassembled way, can be considered as fully circular (100%, SCI=1). In contrast, a system with all linear products and a fully not-disassembled way can be considered as fully linear and therefore 0% circular (SCI=0). In practice, most systems will measure the SCI between 0 and 1.

4.3.2.4. *Building circularity indicator*

From expert interviews it appeared that; since a building is a combination of materials and spaces, or the solids and the air between them; it's difficult and intangible to determine the BCI. First, there should be made a distinction between the technical indicators and the functional / users indicators. Technical indicators concern the technical value of a building depending on product and system features, which are 'objective' and to substantiate with evidence. In contrast, the functional and / or users indicators disclose the degree of usage of a building as well as the attractiveness of a specific building. These values are, obviously, of a subjective nature and therefore hard to predict. Subjective indicators could be; location (A, B, etc.), age of the building (years), availability of facilities (high/low), renovations (high/low), aesthetically (excellent/bad), productivity (high/low), and comfort (high/low). All this influences, to a greater or lesser extent, the attractiveness of a building and therefore the demand to resources will decrease since a building will be used longer in comparison with a not attractive building. Although the impact of these indicators could be significant, these functional / users indicators are excluded from this research because they are subjective.

Derived from literature study, expert interviews, and expert panel, the circularity of products with a shorter lifetime is more relevant than products with a longer lifetime (e.g. for the stuff layer (5 years) is circularity more important than for the structure layer (100 years)). Therefore, based on the building layers of Brand (1994), a level of importance could be assigned per system. The fuzzy variables of E. Durmisevic et al. in 2006 (4.3.2.3.) could also be applied in relation with the system lifetime presented by the research of Brand (1994), see Table 8.

Table 8: Fuzzy variables for level of importance

System dependency	stuff	1.0
	space plan	0.9
	services	0.8
	skin	0.7
	structure	0.2
	site	0.1

Determination of the building circularity indicator

In order to determine the Building Circularity Indicator, all the System Circularity Indicators (both practical and theoretical) and weighted variables should be aggregated to one specific value. Determination of the BCI for one building can be done using the following formulas:

$$BCI_{(t)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(t)k} \cdot LK_k \quad (Eq. 14)$$

$$BCI_{(p)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(p)k} \cdot LK_k \quad (Eq. 15)$$

Where $SCI_{(t)k}$ is the theoretical value System Circularity Indicator and,
 $SCI_{(p)k}$ is the practical value for the System Circularity Indicator for a system k ,
 LK_k is the factor for the system dependency, and:

$$LK = \sum_{k=1}^n LK_k, \quad (Eq. 16)$$

Where LK is the summation of the system dependencies.

4.3.3. Drivers and preconditions of the building circularity indicator

These preconditions and driver indicators are designed to give principals (organisations) the possibility to incorporate their interests even better. The circularity indicators only include the technical requirement of materials that be considered. However, according to the expert interviews and expert panel, the impact on the environment (ecology) is also highly important. These can be seen as a precondition, which principals can chose of if they incorporate this in their procurement or not. These impact indicators may provide additional information to evaluate if the changing level of material circularity affects other impact or interest to principals and their stakeholders (e.g. energy & water). Additionally, drivers of the circular economy could provide further insights in potential risk in relation to principal's priorities. Drivers could not be seen as real indicators, but more as a value proposition. This is often a financial value, because it is a "harsh and objective" language that we humans (think) can communicate with (e.g. potential value & scarcity).

4.3.3.1. Precondition indicators

The circular economy is, as mentioned before, designed to reduce downcycling and waste cycles. Therefore, the circularity indicators are established based on material cycles and the possibility on future reuse. However, in the development of the building circularity indicator (4.3.2.), assumptions have been made regarding the remaining impact indicators. Based on the principals' interest, a selection of preconditions could be made. These preconditions are all in the ecology's' benefit. The indicators evaluate how the changing level of the product circularity affects other impacts on the ecology.

Material health

Material Health is referring to toxicity and hazardous chemicals. Toxic materials, which possess chemicals that are harmful to their environment, may disorder material future reuse. Due to the toxicity, products and materials could be banned due to new legislation and regulations. In addition, due to legislation and regulation, it may impact the future (financial) value with a negative connotation. Therefore it is important to identify toxic and chemical materials and exclude these materials for future use.

In this model is opted to use the Cradle 2 Cradle Certification, Material Health approach. This since it is clearly displayed and the assessment technique is fully available on the World Wide Web. It is mandatory to know a products' composition up to 100 ppm (parts per million). All materials have to be characterized based on their impact on Human and Environmental Health.

Outcomes may, based on the C2C Methodology, include:

- *Green* Little to no risk associated with this substance,
Preferred for use in its intended application;
- *Yellow* Low moderate risk associated with this substance,
Acceptable for continued use unless a GREEN alternative is available;
- *Red* High hazard and risk associated with the use of this substance,
Develop strategy for phase out;
- *Grey* Incomplete data cannot be characterized.

However, this is intending an idealistic world in which we all know that we already have a lot of toxic materials. Unfortunately, we have to admit that time catches up with us and that we have to deal with the materials we have today. Therefore it is recommendable to only use this as a criterion for the Virgin Material Feedstock. This might be an eco-efficient approach, but being eco-effectiveness (non-toxic materials anymore) it is not realistic nowadays.

Energy usage

In most cases increasing the circularity of a product would be expected to decrease the energy used for raw material production and product manufacture. Hence, an individual assessment for each product would be worthwhile. Accomplishing this assessment requires a massive awareness of the energy usage during the production process of a product as well as their feed suppliers. Well-established methods are available for energy assessments such as Life Cycle Assessments (LCA's), Environmental Product Declarations (EPD's), and Environmental Performance Calculation (EPC, NL: Milieuprestatieberekening (MPG)).

A clear distinction has to be made between renewable energy resources and fossil fuel energy. This because renewable energy isn't harmful to the environment and fossil fuel is one of the depleting resources. Therefore the equation for a single product, based on all the sub-assemblies, parts, and/or materials χ , is as follows:

$$E_P = \sum_{\chi} E_{F(\chi)} : \sum_{\chi} E_{R(\chi)}, \quad (Eq. 9)$$

Where,

E_p is ratio between energy usage of renewable energy and fossil fuels for product;
 E_f is total amount of fossil fuel energy during production of the sub-assembly, part, and/or material (χ);
 $E_{R(\chi)}$ is total amount of renewable energy used for production of the sub-assembly, part, and/or material (χ).

Noting that, a ratio with 'A: B' shows that the amount of fossil fuel energy is equivalent to the renewable energy resources. Therefore if $A = 1$ and $B > 1$, the product is produced with more renewable than with fossil fuel energy. In contrast if $A = 1$ and $B < 1$, the product is produced with less renewable energy than with fossil fuel energy. Products can thus be compared with relation to the ratio of renewable and fossil fuel energy.

CO₂-footprint

In most cases increasing the circularity of a product would be expected also to decrease the CO₂-emissions (starting point for several damaging emissions, e.g. SO_x) for raw material production and product manufacture. The risk is increasing, due to the legislation and regulation in the European Union. Therefore it is requisite to know which emissions are coming from each product. Subsequently, transforming the taxes on these emissions and the user pay of their usage.

The equation of the amount of CO₂-emissions, based on all the sub-assemblies, parts, and/or materials χ , is as follows:

$$CO_{2,tot} = \sum_{\chi} CO_{2,(\chi)}, \quad (Eq. 10)$$

Where,

$CO_{2,tot}$ is total amount of CO₂-emissions for a product;

$CO_{2,(\chi)}$ is total amount of CO₂-emissions of the sub-assembly, part, and/or material (χ)

Global warming is primarily a problem of too much CO₂ in the atmosphere. This carbon overload is caused by mainly burning fossil fuels like coal, oil and gas. There are many heat-trapping gases, but CO₂ puts us at the greatest risk of irreversible change if it continues to accumulate unabated in the atmosphere. CO₂ could also be traced from the energy usage complementary indicator, only the number of tonnes CO₂-emissions is part for future legislation and regulation; it is important to subdivide it.

4.3.3.2. Driver indicators

The circular economy is financial driven and therefore it contains financial drivers. It doesn't determine if a product is more circular, but it assigned a financial value to the material. A financial value is established based on supply and demand. Circularity in infinite over time, which is in contrast with the financial value that is time depending. Therefore the drivers of the circular economy should be managed and update in a frequency based on principals' interest. Namely, the financial value is a communication language between humans which tells how much something is worth. The force of the circular economy is the financial value and expressing the Circularity Indicators into this financial value.

Material value potential

Knowledge of the financial product / material values could be used by the principal to identify the high-potential products and to generate a value for a building material bench. Nowadays, a building could be seen as a material database, a list of the raw-materials, sub-assemblies, intermediate assemblies, sub-components, and parts. Assigning properties to these variables will influence the financial value of a product. It is important to find out which financial value a product has to index the degree of importance, since the financial value is a 'harsh language' in which we humans think that we can communicate in. It's a driver to let the circular economy succeed.

Therefore the Product Value Potential can be used in addition to the PCI. In this way, the principals could request the highest potential value in the future. However, a value is always time depending and thus an assumption which need monitoring in the exploitation phase of the building. Updating these values, will have an adequate value of the building (taxation) based on only the materials. Stating this, the financial value is forcing suppliers to maximize their product at the highest value possible (financial-driven environmental incentive).

Considering the Product Value Potential over the next 20 years, suppliers will indicate this value together with conditions in which the product has to be in. In general, suppliers will assign a higher financial value to a product that will be reused in the future (highest reusable option) then when a product is going to be recycled (lowest reusable option). Therefore, some of the experts said that this 'top-down' approach will force suppliers towards more reuse since the financial value is higher if so. The financial value can include:

- ... % by 20 years;
- ... % by 10 years;
- ... % by 5 years.

Noting that supplier may request for maintenance and repair contacts such that they influence the quality over time. This will then be an added list which has to be analysed, which is not part of this research.

Safeguarding future reuse possibilities

Risks concerning the safeguarding of products and materials for future reuse are related to the Extended Producer Responsibilities (EPR). In practice, there are complex relationships between principals and producers. In the current transition, innovative / circular business models are arising in which the producer increasingly retains ownership of the product and the user will acquire services without owning the product. However, the purpose of these business models is 'the displacement of responsibilities' and having a 'guarantee for the return of products and materials'. That is way this complementary indicator is driven by the fact that it doesn't matter 'how' it is organized, but 'what' is organized and the consequences of it. Noting that, derived from literature research, three different modes of circular services: (1) Product Oriented Services (buying product and optional reversal), (2) Users Oriented Services (paying for product, without owning it), and (3) Result Oriented Services (pay-per-use, without owning anything). This result in safeguarding future reuses possibilities:

- Very high: product is, or is not, handed over to the principal, but it is possible to take the product in a reverse circle for more than three suppliers;
- High: product is not handed over to the principal, and supplier contains owner of the product and is delivering a service instead of a product (lease, pay-per-use);
- Moderate: product is handed over to the principal, and residual values have been agreed even before the product is put into operation;
- Low: product is handed over to the principal, and no further agreements have been captured and the product is not capable for a regenerative / reverse production cycle.

In order to ensure that products and materials are actually circular after the end-of-usage (either functional lifetime or technical lifetime), safeguarding is a positive addition to a product that is actual demountable. Note that a building isn't by definition more circular when all the safeguarding of products is very high, since the fact that more conditions are of interest. Hence, product with a very high for safeguarding future reuse possibilities, receives these conditions automatically through the suppliers responsibilities.

4.4. Model validation

This section discusses the validation of the BCI assessment model. One of the foundational components of the scientific method is the idea of reproducibility (Popper, 1959). The replication of a computational model improves model verification, re-examines model, validation, and facilitates a common understanding between modellers (Rand & Wilensky, 2006). Replication also affects validation by forcing the researcher to re-examine assumptions made during the research process. In this research, assumptions have been made for each individual level of the BCI (MCI, PCI, and SCI) and, therefore, the validation process should be performed stepwise.

The first step for validation of the BCI assessment model starts with a Bill of Materials (BOM). A BOM is a hierarchical list of components used in an assembly. There are two types of a BOM namely, the single level BOM and the multi-level BOM. Differences between these two types are the number of subassemblies; in the multi-level is this more. For each circularity indicator, the degree of subassemblies should be in balance with the outcomes.

As part of the methodology and this research, an assessment model has been developed to support the assessing of the Circularity Indicators of section 4.2. this assessment model used Excel functionality and is shown in Appendix 7 and is used for the model validation.

4.4.1. Validation of material circularity indicator

The validation of the MCI includes three variables. Therefore, two products have been issued in order to compare both outcomes. First, product validation is realized between a potential 'circular floor tile' (FT_c) and a 'linear floor tile' (FT_L). The total surface area is 60 m² and the floor tiles are part of the Space Plan system.

FT_c: Carpet floor tile (utility 10 years)

Component	Material	Mass (kg)	Non-virgin input	Reusable output
Component 1	Pile Yarn	85.5	100%	100%
Component 2	Backing	231	50%	3%

Product average			90%	20%
-----------------	--	--	-----	-----

FT_L: Ceramic floor tile (utility 50 years)

Component	Material	Mass (kg)	Non-virgin input	Reusable output
Component 1	Ceramic	1000	0%	0%
Component 2	Glazed layer	10	0%	0%
Product average			0%	0%

Linear flow index:

Based on the data presented in the two tables about, the *LFI* can be computed for the two products using Eq. 5:

Product FT_C:

$$LFI = \frac{V + W}{2M} = \frac{10 + 80}{200} = 0.45$$

Product FT_L:

$$LFI = \frac{V + W}{2M} = \frac{100 + 100}{200} = 1.0$$

Utility factor:

Brand (1994) showed that the space plan system lifetime, on average, is 10 years. By Eq. 5 the utility factor could be calculated for both products:

Product FT_C:

$$X = \frac{L_p}{L_{sys}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ and } F(X) = \frac{0.9}{1} = 0.9$$

Product FT_L:

$$X = \frac{L_p}{L_{sys}} = \frac{50}{10} = 5 \text{ and } F(X) = \frac{0.9}{5} = 0.18$$

Material circularity indicator

Finally, the material circularity indicator could be computed for the two products with Eq.6 and Eq.8.

Product FT_C:

$$MCI = \max\left(0, (1 - LFI \cdot F(X))\right) = 0.595$$

Product FT_L:

$$MCI = \max\left(0, (1 - LFI \cdot F(X))\right) = 0.820$$

4.4.2. Validation of product circularity indicator

Validating the PCI requires additionally data in comparison with the MCI input. In this, the functional, technical and physical decomposition of specific project content is required. As can be seen in section 4.3.2.2. the requisite data is: functional separation, functional dependence, technical life cycle, geometry of product edge, standardization of product edge, type of connections, and accessibility to fixings. The same products as for the validation of the MCI have been used to validate the PCI. The BOM is as follows:

FT_C: Carpet floor (MCI = 0.595)

Functional separation	Separation of function is simple, it is possible to disassemble components and / or products separately	1.0
Functional dependence	Modular zoning is possible, tiles can be partially rearranged or replaced	1.0
Technical life cycle	The carpet floor tile is not fixed to another system	1.0
Geometry of product edge	Connections could be removed without demolition and does not contain interpenetrating geometry, open linear	1.0
Standardization of product edge	Carpet tiles are developed as pre-made geometry, a small proportion is modified during construction	1.0
Type of connections	Optimised for glue-free installation with TacTiles	1.0
Accessibility to fixings	TacTiles have an accessible fixing with a small additional operation which causes no damage	0.8

FT_L: Ceramic floor tile (MCI = 0.820)

Functional separation	Separation of function is difficult, but the it's an integration of function with same lifecycle into one element	0.6
Functional dependence	Planned for one solution, not of modular nature	0.1
Technical life cycle	The ceramic floor tile is adhered to the structure (long)	0.1
Geometry of product edge	Connections could be removed with partially demolition and does not contain interpenetrating geometry, open linear	1.0
Standardization of product edge	Ceramic tiles are developed as pre-made geometry, a small proportion is modified during construction	1.0
Type of connections	Adhered to structure with hard chemical connection / direct chemical connection	0.1
Accessibility to fixings	Fixings are accessible with additional operation which causes damage	0.4

Product circularity indicator

With the above presented details, the PCI could be determined for both products using Eq. 9 & 10:

Product FT_C:

$$PCI_p = \frac{1}{F_d} \sum_{i=1}^n MCI_p \cdot F_i = 0.578$$

Product FT_L:

$$PCI_p = \frac{1}{F_d} \sum_{i=1}^n MCI_p \cdot F_i = 0.387$$

4.4.3. Validation of system circularity indicator

For the validation of the SCI it is required to subdivide systems' products and materials. This includes all the MCI's and PCI's for each and every product and weight variable (kg) to establish the SCI for an s system. In order to validate both the SCI as well as the BCI, two fictional buildings have been established and resulted into two Bill of Materials (BOM), see Appendix 8 & 9 for the details of the BOM. The first constructed building is a 'non-circular' building, which consist of (predominately) chemical interfaces or negative functional decomposition. In contrast, the second fictional building is a 'circular' building that contains the maximum amount of C2C certified products. The data is retrieved from using the material database of the *Dutch Institute for Construction Biology and Ecology* (Dutch: Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE)) and *C2C Certified Products Registry* together with products' technical data sheets.

In order to validate the SCI of the assessment model, one of the six systems of Brand (1994) should be selected. In this case, the system 'Space plan' is going to be elaborated. The data of the BOM for the selected system is as follows:

Space plan of a 'non-circular' building:

Product	Mass (M)	MCIP	PCIP
P02001	20259.0	0.854	0.390
P02002	12131.0	0.685	0.440
P02003	474.0	0.933	0.906
P02004	3375.0	0.640	0.229
P02005	130.0	0.00	0.00

Space plan of a 'circular' building:

Product	Mass (M)	MCIP	PCIP
P02001	9733.0	0.768	0.592
P02002	17692.0	0.876	0.676
P02003	474.0	0.933	0.907
P02004	3281.0	0.514	0.485
P02005	346.0	0.730	0.292

System circularity indicator

Therewith the $SCI_{(theo)}$ and $SCI_{(prac)}$ could be computed for the system 'Space plan' of both buildings using Eq. 11-13:

SCI for the non-circular building:

$$SCI_{(t)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n MCI_j \cdot W_j = 0.776$$

$$SCI_{(p)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n PCI_j \cdot W_j = 0.397$$

SCI for the circular building:

$$SCI_{(t)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n MCI_j \cdot W_j = 0.804$$

$$SCI_{(p)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n PCI_j \cdot W_j = 0.629$$

4.4.4. Validation of building circularity indicator

In order to validate the BCI, like the validation of the SCI, two fictional buildings have been established. For the BCI, it is required to establish all the systems that are related to the buildings' level of circularity. The first building was a 'non-circular' building and the second building was a 'circular' building, see Appendix 8 & 9 for the complete BOM for both buildings. Using the Excel-model, the BCI has been conducted based on the following SCI's:

SCI's of a 'non-circular' building:

System	Level of importance	SCI _(theo)	SCI _(prac)
Stuff	1.00	0.776	0.597
Space Plan	0.90	0.776	0.397
Services	0.80	0.714	0.392
Skin	0.70	0.873	0.527
Structure	0.20	0.413	0.165
Site	0.10	x	x

SCI's of a 'circular' building:

System	Level of importance	SCI _(theo)	SCI _(prac)
Stuff	1.00	0.799	0.741
Space Plan	0.90	0.804	0.629
Services	0.80	0.816	0.573
Skin	0.70	0.876	0.841
Structure	0.20	0.346	0.280
Site	0.10	x	x

Building circularity indicator

With the values of all the SCI's the BCI_(t) and BCI_(p) could be conducted for both the 'non-circular' and 'circular' building using Eq. 14-16:

BCI of the non-circular building:

$$BCI_{(t)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(t)k} \cdot LK_k = 0.761$$

$$BCI_{(p)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(p)k} \cdot LK_k = 0.464$$

BCI of the circular building:

$$BCI_{(t)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(t)k} \cdot LK_k = 0.794$$

$$BCI_{(p)} = \frac{1}{LK} \sum_{k=1}^n SCI_{(p)k} \cdot LK_k = 0.670$$

4.5. Discussion

The core objective of this research was to have access to a tool based on a model for assessing the Building Circularity Indicator (BCI). This model should also be used as a means for communication between chain partners in the construction process. Derived from the expert interviews and expert panel it could be stated that circularity, technically, only consist of two components: (1) the material specifications, and (2) design for disassembly (functional, technical and physical). Therefore a fully circular building is a building that is made up of 100% non-virgin materials and all the applied materials should have a next life (reuse, remanufacture, refurbish, or recycle). This will prevent waste (energy recovery and landfill) and closes the material circles. It concerns, such as material health, CO₂-footprint, renewable energy usage and environmental impact are singly preconditions in making sustainable choices. However, these preconditions do not influence the level of circularity. In addition, material scarcity, potential financial value and future reuse possibilities are drivers of the circular economy.

Therefore, the assessment model is made up of: MCI (type of input, type of output, and materials' technical lifetime), PCI (disassembly possibilities), SCI (normalizing weighting factor), and finally the BCI (level of system importance). Each circularity indicators should be discussed one by one.

4.5.1. Discussion of the material circularity indicator

The material circularity indicators start with the determination of the material input, technical lifetime and the (potential) material output. The MCI could also be referred as the theoretical value of the product circularity indicator. This indicator solely assesses the material specifications. The validation process of the material circularity indicator resulted in some disputable outcomes.

The utility factor consists out of two variables: the system lifetime (fixed value) and the technical lifetime of a product (variable value). The validation shows that this utility factor has a significant impact on the MCI value. It appears that, due to the technical lifetime of 50 years, the ceramic tile is more circular than the 'circular' carpet floor tile. But what is the likeability which is based on a floor tile, functional, and persists for a period of 50 years in the same building. In this respect, the MCI values for a ceramic floor tile with 50 years (technical lifetime) and 10 years (assumed functional lifetime) are 0.820 and 0.100 respectively. This is a large difference, which is (due to the PCI variables) disputable. Only, in this research it has been assumed that when a product (technical) lifetime is doubled, the waste created and the virgin materials used per year are halved. This is exactly the discussion which is going on between eco-efficiency and eco-effectiveness. Eco-efficiency encourages the longer lifetime of a product which is in contrast with eco-effectiveness

because from a 'linear' product everything still goes to landfill. The optimal solution between lifetime and reusable materials should be found in future research.

The other indicators for the MCI are material input and material output. During the validation of the SCI and the BCI, data have been obtained by combining NIBE, C2C certified products and technical data sheets. Herein, however, no distinction is made between upcycling, recycling and downcycling. The term downcycling is often used to describe a recycling process that reduces the quality and economic value of a material or product (e.g. concrete that's going below the highway). Similarly upcycling is used to describe a recycling process that increases the quality and economic value of a material or product. Due to the open and very wide interpretation of these terms, there is no distinction made between them. This has contributed for some products to a high MCI value in cases which would not have been expected. For example, reinforced concrete could be reused for 90% with a downgrading purpose and is assessed as reused materials.

Finally, the virgin feedstock presumes that there is a 100% availability of second-life material. In practice, this turns out not to be in each case (e.g. aluminium). This has not been part of the model, since the data is not fully available.

4.5.2. Discussion of the product circularity indicator

By multiplying the MCI by the product disassembly possibilities, the PCI could be determined. The building structure is defined as a hierarchical arrangement of materials which are aggregated by interfaces and connections. The MCI would not be any realistic value since the interfaces and connections between products is of great importance for indicating the circularity of a building. Therefore, a PCI is constructed, which could be referred as the practical value for the product circularity indicator.

Design for Disassembly (DfD) is the design of buildings to facilitate future change and the eventual dismantlement for recovery of systems, products and materials. In this research, there is a selection made of the Disassembly Determining Factors (DDF), describing dismantling and divided into functional, technical and physical decomposition. This selection took place with the knowledge that this assessment model should be useful and workable in practice. The degree of weighting is part of the discussion. In the model it is assumed that all DDF factors are equally weighted. It should, however, be possible to make a deviation between each system. This is because for one system the 'function decomposition' could be more of interest than 'physical decomposition' and vice versa. Additionally, the selection that took place would be better excluded in order to get a more adequate model. By incorporating all of the seventeen DDF factors, the design for disassembly would be better represented. Another caution should be taken, that a product that is going to be recycled, does not mean functional by definition is decomposable.

The 'fuzzy variables' for the DDF (p.67) in the validation process is done with the best possible effort. Due to the lack of information, assumptions were made to validate the PCI.

4.5.3. Discussion of the system circularity indicator

Including all the MCI's and PCI's for each and every product and the weight variable (kg), a SCI has been established. During the validation process of the SCI, it has been revealed that a weight variable of a product has a, unintentionally, large impact. Also, during the expert interviews this variable was subject to discussion. For example, the product P02001 (parting wall; aerated concrete and plaster) in section 4.4.3. takes for more than half the weight of the systems for his account and will therefore dominate the SCI value. However, this is weight variable is disputable; other proposals are also arguable (e.g. sales revenue, number of materials, volume (m^3), etc.).

The difference between the theoretical value and the practical value shows the number of 'loss' that is created due to the lack of disassembly. This will serve for the model of communication between principals and contractors as a 'standardized language' without knowing the exact details. It is up to the contractor to provide clear and obvious details, which is supporting the SCI values.

4.5.4. Discussion of the building circularity indicator

The BCI incorporates the level of importance for circularity for all different systems. Derived from literature study and expert interviews, it appeared that circularity for systems with a shorter lifetime is more relevant than with a longer lifetime. Therefore, the level of importance emphasizes the different system lifetime and takes into account the importance for the BCI. However, the sensitivity of the allocated 'fuzzy variables' may be disputable. For example, the $BCI_{(t)}$ of the 'circular' building is 0.794 including the level of importance and 0.670 with equal importance. In addition, the $BCI_{(p)}$ of the 'circular' building is 0.728 including the level of importance and 0.613 with equal importance. So, it does impact the BCI, but it is up to the principals to make a decision to incorporate or exclude the level of importance.

Additionally, from the validation process it is appeared that the system 'site' is not related to the building in a way which the developed assessment model intends to. This system intends to include functional indicators such as facilities, infrastructure, accessibility, etc., which are excluded from this research due to the subjectivism.

5. Conclusions

This chapter concludes this graduation thesis. This thesis has added value to the existing assessment methodology for circular economy by providing a validatable extension for that assessment methodology. In the first section, the research questions will be answered. The second section describes the relevance of the research from different points of view. Finally, the third section establishes the recommendation for future research. Direct discussions about understanding the circular economy, the potential to implement circularity in the built environment, and the assessment model for measuring building circularity indicators can be found in the final section of the corresponding chapter (2.5., 3.6., and 4.5.).

5.1. Research questions

The aim of this explorative and designed-oriented research is to compute a circularity index which can be used as an instrument for principals to initiate circularity in the construction process as performance indicators within the built environment. In the face of sharp volatility increases across the global economy and proliferating signs of resource depletion, the call for a new economic model is getting louder every day. The international discussion about sustainability has taken new dimensions through the development of the circular economy.

“How to indicate the level of circularity as a decision-making instrument during the building process in the built environment and to quantify the transition towards a circular economy?”

The term circular economy is used, at this moment, as a container concept, with technical, social and financial principles included. The circular economy aims to minimize waste cycles and downcycling materials. Therefore it is important to gain insight into material flows, design of a product, and the products’ treatment. Circularity, technically, only consist of two components: (1) the material specifications, and (2) design for disassembly (functional, technical and physical). Other indicators, such as material health, toxicity and material scarcity, are singly preconditions by making the ‘right’ choices. All these indicators have an impact on money and so the economy. Therefore, new financing and business models have been created to setup this restructuring.

The determination of the degree of circularity begins in the assessment of material input, technical lifetime and the intended output of materials, translated into the Material Circularity Indicator (MCI). By multiplying this factor by the Disassembly Determining Factors (DDF), the Product Circularity Indicator (PCI) could be developed. This reflects the degree of circularity of a product in a particular system/building. Thereafter, the System Circularity Indicators (SCI) assesses the circularity of products in a system together based on their mass and making a separation based on the six system layers. Finally, the BCI assesses the separate systems as a whole with a factor for the level of importance for each system.

The assessment model should not be an end in itself, but “only” a means to provide guidance (a standardized language) between various of parties in the decision making process. It supports principals, via preconditions in the “Program of Principles”, to concretize their ambition on circularity and provide the contractors to actually differentiate from their competitors. On the basis of different circularity KPI’s, the assessment model offers the

ability to give direction to circularity projects. The assessment model is not intended as a certificate or label, but as a management tool during the lifecycle of a building.

To be able to get the results of the main question, the following sub-questions were answered:

1. What is the circular economy?

The circular economy refers to an industrial economy that is restorative by intention; aims to rely on renewable energy; minimises, tracks, and eliminates the use of toxic chemicals, and eradicates waste through careful design. The term circular economy, from its principles, is a meaningless composition. It is obvious that circulation of materials isn't financial driven and only exists of technical components. The world economy has been added for incorporating a value component as driver of circularity. Value (economy), however, has to do with temporary systems in contrast to the infinite time of circularity.

2. What means the circular economy in the built environment?

The term built environment is concerned with a building, their spatial environment and the people who inhabit that environment. Therefore, the circular economy focusses on closing material and resources cycles by making all of the extracted materials, usable or reusable, for a subsequent use in order to maximize the impact / footprint on earth. Depending on the strategies concerning circularity (e.g. reuse, recycle, protect, and toxicity) related to the impact categories (e.g. energy, water, materials, and land), different approaches are requisite. In the built environment it is important to make a distinction between lifecycle phases; development, planning, design, construction, operation, and deconstruction.

3. Which indicators are recognized to influence the buildings' level of circularity?

A strong distinction has been made between two sets of indicators which are influencing the buildings' level of circularity; 'technically' and 'functionally'. From a technical perspective, circularity consists of only two components: (1) circular materials usage, and (2) circular design. Circular materials usage describes the material input (virgin or reused materials), usage (technical/functional lifetime and (dis)assembly possibilities), and materials output (level of reuse). In contrast, from a functional perspective, circularity is all related to the users' satisfaction: location, facilities, accessibility, aesthetical, comfort, and exposure.

4. Which boundary conditions are needed to assess the circularity indicators?

Concerns, such as material health, CO₂-footprint, renewable energy usage and environmental impact are singly preconditions in making sustainable choices and are the boundary conditions of the circularity assessment. In addition, material scarcity, potential financial value or future reuse possibilities are solely drivers of circularity, but does not affect the buildings' level of circularity in any way.

5. How to set up a building circularity indicator assessment model?

The building circularity indicator assessment model is made up of the Material Circularity Indicator (MCI), Product Circularity Indicator (PCI), System Circularity Indicator (SCI), and finally the Building Circularity Indicator (BCI). The MCI start with the determination of the material input, utility, and material output and could be referred as the theoretical product

circularity indicator. The PCI incorporates the product disassembly possibilities and could be referred as the practical product circularity indicator. The SCI assesses the circularity of products in a system together based on their weight and making a separation based on the six system layers. Finally assesses the BCI the separate systems as a whole with a factor for the level of importance for each system.

6. What are the weighted variables for each indicator?

The MCI is developed from the following variables; mass V of virgin material used in manufacture, W of unrecoverable waste that is attributed after usage, and the utility factor X with the lifetime/systematic value of the product. The PCI is developed including the Disassembly Determining Factors (DDF) as variables for the disassembly possibilities subdivided into the technical, functional, and physical decomposition. Finally, the BCI is taken the system level of importance into account which is related to the longevity of a system / product lifetime. Circularity is more relevant for components with a shorter lifetime than with a longer lifetime.

5.2. Research relevance

This section will describe the relevance of this research in two fields of interests. The first field is the societal relevance and the second is about the scientific relevance.

5.2.1. Societal relevance

The social relevance of the circular economy is to develop an economic model which today's goods are tomorrow's resources, forming a virtuous cycle that fosters prosperity in a world of finite resources. The challenges on the resource side are compounded by rising demand from the world's growing and increasingly affluent population. As a result, we are observing unsustainable overuse of resources, higher price levels, and more volatility in many market. So, in order to survive as a population, our economic model has to change radically. The financial and social opportunities for businesses don't lie. McKinsey & partners calculated that the European Union could gain over 1.8 trillion euro's due to a change of behaviour related to resources. Additionally, TNO estimates that the effects of an expanding circular economy for the entire Netherlands will be a total annual saving of 7.3 billion euros and 54.000 jobs.

However, until now there has been no established way of measuring how effective an organisation is in making the transition from 'linear' to 'circular' production models. Therefore, this research aims to address this gap and has developed an assessment model that assesses how well a material, product, system or building performs in the context of the circular economy. A simple measure of achievement should be the first step for succeeding of the circular economy. Namely, it allows organisation to give incentives to their (chain) partners to become more circular in a large number of application.

The global population is expected to grow considerably. In the most likely estimation by the United Nations the number of people on earth grows from 7.7 billion now to 9.5 billion in 2050. With more and more people inhabiting the earth limitation of the 'take-make-dispose' economy become more pressing. Therefore action should be taken, in order to make us infinitely guest on 'Earth'.

5.2.2. Scientific relevance

This research validates, using literature study, expert interviews and expert panel, the methodology of the Ellen MacArthur Foundation & Granta (2015) and provides an additional assessment methodology regarding buildings and the built environment. This study gives an indication of the circularity value of a building. Subsequently, the developed methodology has been validated through case studies with respect to the reliability and sensitivity of the assessment model. This research could be further developed and specific components, such as the utility and Disassembly Determining Factors (DDF), requires extended research.

5.3. Future research

The current assessment methodology has focused on technical cycles. An important next step would be to embrace biological cycles, including consumables like wood. This might also include a proper consideration of conversion of end-of-use materials into energy (e.g. via biofuels or burning wood).

The formulas developed for the Material Circularity Indicator, Product Circularity Indicator, System Circularity Indicator, and Building Circularity Indicator could also be further refined, for example:

- Developing a comprehensive approach on downcycling and upcycling, taking into account the level of material quality loss in the recycling process;
- Improving the utility factor including a comprehensive research on functional and technical lifetime, regarding the technical and functional degradation of materials;
- Introducing more Disassembly Determining Factors (DDF) and a more accurate evaluation process instead of the 'fuzzy variables';
- Investigating a better variable, instead of weight, in order to improve the assessment of the circularity of products in a system together;
- Improving the validation process with the involvement of the market in assigning the DDF variables.

While the methodology makes allowance to incorporate waste via the MCI, waste deriving from production, recycling, reusing, remanufacturing or refurbishing have been excluded from this research. Future research could extend the MCI by this waste and allowing principals to get a better understanding of the total waste creation.

This assessment model has not been developed to be as a new certification or labelling methodology. Therefore, it could be developed to be incorporated in one existing method, as guidance in the field of material circulation.

Additionally, the assessment model assumes access to a fair amount of technical data. Therefore, this could include confidential and secret data and might be a problem for the assessment model. However, according to the experts this should be open source up to a certain extent. The main consideration should be about what the added value is for the principals to receive certain data and what it is going to be used?

Finally, due to the complexity and increase of Big Data, an Information Management System should be developed or embraced. For example, Building Information Modelling could support the assessment model and keep track of materials and all the characteristics.

6. References

- Accenture. (2014). *Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth*.
- Agentschap NL. (2010). *Cradle to Cradle en duurzaam inkopen*. Retrieved from <http://www.mvovlaanderen.be/kenniscentrum/thema/cradle-to-cradle-en-ecodesign>
- Aldersgate Group. (2012). Resilience in the Round - Seizing the growth opportunities of the circular economy, 1–20.
- Bakker, C. (2015). Circular Product Design. Retrieved January 25, 2016, from <http://www.io.tudelft.nl/over-de-faculteit/afdelingen/design-engineering/research-areas/circular-product-design/>
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Innovation (1st ed.). Harper Collins UK.
- Beurskens, P. R., & Bakx, M. J. M. (2015). *Built-to-rebuild*. Eindhoven University of Technology.
- Biermann, F., Betsill, M. M., Gupta, J., Kanie, N., Lebel, L., Liverman, D., ... Siebenhüner, B. (2009). *Earth System Governance: People, Places and the Planet*. Global Governance. Retrieved from <http://www.earthsystemgovernance.org/publication/biermann-frank--earth-system-governance-science-plan>
- Bonciu, F. (2014). The European economy: From a linear to a circular economy. *Romanian Journal of European Affairs*, 14(4), 78–91.
- Boston, P. J. (2008). Gaia hypothesis. *Encyclopedia of Ecology*, 1727–1731. <http://doi.org/10.2307/1936729>
- Brad, G., & Ciarimboli, N. (2005). Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building.
- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn; What happens after they're built*. Penguin Publishing Group.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York, North Point Press.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13-14), 1337–1348. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>
- British Geological Survey. (2015). *World mineral production*. Retrieved from <http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3015>

- Burchart-Korol, D., Czaplicka-Kolarz, K., & Kruczek, M. (2012). Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness Concepts in Supply Chain Management, 7–12. Retrieved from <http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/09/reports/862.pdf>
- Chiodo, J. (2005). Design for Disassembly Guidelines Design for Disassembly Guidelines, (January).
- Circle Economy & PGGM. (2014). *Circularity Assessment for Organizations : Draft Indicators*.
- Circle Economy, & IMSA. (2013). *Unleashing the Power of the Circular Economy*.
- Clark, T. B., & Fulmer, R. M. (1972). *The limits to Growth. Business Horizons* (Vol. 16).
- Cohen, C., & Crabtree, B. (2006). Semi-structured Interviews. Retrieved January 11, 2016, from <http://www.qualres.org/HomeSemi-3629.html>
- Crawford, R. H. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment. Spon Press*.
- Damen, M. A. (2012). *Resources Passport for a Circular Economy*.
- Deng, W., Prasad, D., & He, L. (2008). MEASURING SUSTAINABILITY FOR THE BUILT ENVIRONMENT AT URBAN SCALE : INITIAL STUDY FOR FOUR LARGE-SIZED CHINESE CITIES. SES-AP - 3rd International Solar Energy Society Conference - Asia Pacific Region (ISES-AP-08). Sydney Convention & Exhibition Centre.
- Duffy, F. (1990). Measuring building performance. *Facilities*, 8(5), 17–20.
- Durmisevic, E., & Brouwer, P. J. (2006). Design Aspects of Decomposable Building Structures. *Building*.
- Durmisevic, E., Ciftcioglu, Ö., & Anumba, C. J. (2006). *Knowledge Model for Assessing Disassembly Potential*. Delft.
- Eising, K., & van Oppen, C. (2012). *Grenzeloos werken leidt tot grenzeloze ambities*.
- Elkington, J. (1994). Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. *California Management Review*, 36(June 1992), 90–100. <http://doi.org/10.2307/41165746>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013a). Towards the Circular Economy - Part 1; Economic and business rationale for an accelerated transition. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 4–8. <http://doi.org/10.1162/108819806775545321>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013b). Towards the Circular Economy - Part 2; Opportunities for the consumer goods sector, 1–112.
- Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Towards the Circular Economy - Part 3; Accelerating the scale-up across global supply chains*.

- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Growth within: a circular economy vision for a competitive europe*.
- Ellen MacArthur Foundation & Granta. (2015). Circularity indicators - An approach to measuring circularity - Methodology, 1–98. <http://doi.org/10.1016/j.giq.2006.04.004>
- Ellenberg, H. (1973). Die Ökosysteme der Erde: Versuch einer Klassifikation der Ökosysteme nach funktionellen Gesichtspunkten. *Ökosystemforschung*, 235–265.
- EPD International. (2015). *General Programme Instructions of the International EPD® System* (Version 2.). Retrieved from <http://www.environdec.com/>
- ESCAP. (2009). *Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment*. United Nations.
- ETE Team. (2004). Earth System Science. Retrieved December 23, 2015, from <http://www.cotf.edu/ete/ESS/ESSmain.html>
- European Commission. (2007). REACH: Registration, Evaluation and Authorisation and Restriction of Chemicals. Retrieved from <http://europa.eu.int/comm/environment/chemicals/reach.htm>
- European Commission. (2014a). Questions and answers on the Commission Communication “Towards a Circular Economy ” and the Waste Targets Review, (July).
- European Commission. (2014b). Report on critical raw materials for the EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, (May), 41. Retrieved from http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf
- European Commission. (2014c). *Scoping study to identify potential circular economy actions , priority sectors, material flows and value chains*. European Commission. <http://doi.org/10.2779/29525>
- European Commission. (2014d). Towards a Circular Economy; A zero waste programme for Europe.
- European Parliament. (2011). Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS). *Official Journal of the European Union*, 54(1 July), 88–110. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fisk, P. (2010). *People, Planet, Profit; How to embrace sustainability for innovation and business growth*. *Design Management Journal*.
- Foundation Sustained Responsibility. (2013). *De MVO Prestatieladder - Eisen MVO Managementsysteem*.

- Gilpin, A. (1995). *Environmental Impact Assessment (EIA): cutting edge for the twenty-first century*.
- Habraken, N. J. (1961). *De Draggers en de Mensen, het einde van de massawoningbouw*. Amsterdam: Scheltema & Holkema.
- Haigh, R., & Amaratunga, D. (2010). An integrative review of the built environment discipline's role in the development of society's resilience to disasters. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 1(1), 11 – 24. <http://doi.org/10.1108/17595901011026454>
- Hayes, a. W. (2007). *Principles and Methods of Toxicology, Fifth Edition - Google Books* (5th Editio). CRC Press.
- HCSS. (2010). *Op weg naar een Grondstoffenstrategie*.
- Heck, P. (2006). *Circular Economy related international practices and policy trends : Current situation and practices on sustainable production and consumption and international Circular Economy development policy summary and analysis*.
- Hoek, M. (2014). *Zakendoen in de Nieuwe Economie*. Vakmedianet.
- Hongchun, Z. (2006). Circular economy in China and recommendations. *Ecological Economy*, 102–114. Retrieved from <http://www.euroecolecon.org/pdf/EE2006-2.pdf>
- ING Economics Department. (2015). Rethinking finance nance in a circular economy. *Financial Implications of Circular Business Models*. Retrieved from https://www.ing.nl/media/ING_EZB_Financing-the-Circular-Economy_tcm162-84762.pdf
- IPCC. (2014). *Buildings Chapter 9*.
- Jackson, T. (2009). Prosperity Without With Forewords By, 264.
- Jackson, T., & Clift, R. (1998). Where's the Profit in Industrial Ecology? *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 3–5. <http://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.3>
- Jonker, J. (2012). De zeven kenmerken van nieuwe businessmodellen. Retrieved from <http://repository.ubn.ru.nl/handle/2066/112245>
- Jonker, J. (2015). *Nieuwe Business Modellen*. (E. van den Berg, W. van Ernich, L. Hanekroot, E. van den Oord, & W. Vester, Eds.) (3rd ed.). Stichting OCF 2.0 and Academic Service.
- Kumar, R. (2011). *Research methodology a step-by-step guide for beginners* (3rd ed.). London.
- Langeveld, H., Sanders, J., & Meeusen, M. (2010). *The Biobased Economy: Biofuels, Materials and Chemicals in the Post-oil Era*. <http://doi.org/10.4324/9781849774802>

- Lehtinen, H., Saarentaus, A., Rouhiainen, J., Pits, M., & Azapagic, A. (2011). A review of LCA methods and tools and their suitability for SMEs, (May), 24.
- Leupen, B., Heijne, R., & Zwol, J. V. (2005). Time-based architecture. *010 Publishers*.
- Littig, B., & Pochhacker, F. (2014). Socio-Translational Collaboration in Qualitative Inquiry: The Case of Expert Interviews. *Qualitative Inquiry*, 20(9), 1085–1095. <http://doi.org/10.1177/1077800414543696>
- Loppies, W. (2015). *Bouwen aan de circulaire economie*. TU Delft.
- Lovelock, J. (2009). *The Vanishing Face of Gaia*.
- Lyle, J. (1994). *Regenerative design for Sustainable Development* (New editio). John Wiley And Sons Ltd.
- Makower, J. (2009). *Strategies for the Green EconomyL Opportunities and Challenges in the New World of Business* (1st ed.).
- Makower, J. (2013). State of GreenBusiness.
- Manahan, S. E. (2004). *Environmental Chemistry*.
- Manahan, S. F. (2000). "ENVIRONMENTAL SCIENCE, TECHNOLOGY, AND CHEMISTRY."
- McDonough Braungart Design Chemistry. (2012a). *Banned Lists of Chemicals*.
- McDonough Braungart Design Chemistry. (2012b). *Material Health Assessment Methodology: Cradle to Cradle Certified Product Standard - Version 3.0*. Retrieved from http://www.c2c-centre.com/sites/default/files/C2CCertified_Material_Health_Methodology_121112.pdf
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002a). *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*. *Chemical and Engineering News*. North Point Press. <http://doi.org/10.1177/0276146704264148>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002b). *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*. *Chemical and Engineering News*. <http://doi.org/10.1177/0276146704264148>
- McKinsey Global Institute. (2011). *Resource Revolution; Meeting the world's energy, materials, food, and water needs*.
- McKinsey Global Institute. (2013). *Resource Revolution : Tracking global commodity markets Trends survey 2013*. McKinsey. Retrieved from http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/resource_revolution_tracking_global_commodity_markets/

- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). *Limits to Growth; The 30-Year Update*.
- Moffatt, S., & Russel, P. (2001). Assessing the Adaptability of Buildings Energy-Related Environmental Impact of Buildings Annex 31, (November). Retrieved from [http://www.eastdunbarton.gov.uk/pdf/APS Corp Assets/APS-CA Assessing the Adaptability of Buildings.pdf](http://www.eastdunbarton.gov.uk/pdf/APS_Corp_Assets/APS-CA_Assessing_the_Adaptability_of_Buildings.pdf)
- Nybakken, J. W. (1982). Marine ecology. *Harper & Row*, 446.
- Odum. (1975). *Ecology: The Link Between the Natural and Social Science* (2nd Editio). New York: Holt-Saunders.
- OPAi, & Mvo. (2014). *Ondernemen in de circulaire economie*.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., & Tucci, C. L. (2005). Clarifying business models: origins, present, and future of the concept. *Communications of the Association for Information Systems*, 15(1), 1–43. <http://doi.org/10.1.1.83.7452>
- Pauli, G. (2010). *The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs*. Paradigm Pubns. Retrieved from C:\Users\Martin\SkyDrive_DELFT\Literature review\00_Citavi\CitaviFiles\Pauli 2010 - The blue economy (2).pdfnC:\Users\Martin\SkyDrive_DELFT\Literature review\00_Citavi\CitaviFiles\Pauli 2010 - The blue economy.pdf\n<http://www.worldcat.org/oclc/81291167>
- Pauli, G. (2011). From Deep Ecology to The Blue Economy. *Blue Economy*, (February).
- Plan C. (2014). Nieuwe businessmodellen in de circulaire economie.
- Popper, K. (1959). *The logic of scientific discovery*. *Journal of the Franklin Institute* (Vol. 268). New York: Harper & Row. [http://doi.org/10.1016/S0016-0032\(59\)90407-7](http://doi.org/10.1016/S0016-0032(59)90407-7)
- Rand, W., & Wilensky, U. (2006). Verification and Validation through Replication : A Case Study Using Axelrod and Hammond ' s Ethnocentrism Model. *North American Association for Computational Social and Organization Sciences (NAACSOS)*, 1–6. Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/papers/naacsos2006.pdf>
- Rijksoverheid. (2014). Van Afval Naar Grondstof, 1–24.
- Rli. (2015). *Circular Economy: From wish to practice*. Retrieved from <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- Rush, R. D. (1986). The building systems integration handbook.
- Schaltegger, S., & Sturm, A. (1990). Öologische Rationalität (German/in English: Environmental rationality). *Die Unternehmung*, 4, 117–131.

- Schmidt, R., Deamer, J., & Austin, S. (2011). Understanding adaptability through layer dependencies. *International Conference on Engineering Design, Iced11*, (August), 1–12.
- Schmidt, R., Eguchi, T., Austin, S., & Gibb, A. (2010). What Is the Meaning of Adaptability in the Building Industry ? *Loughborough University*, 233–242.
- Schwarz, A., Johnson, N., & Chin, W. W. (2007). Understanding Frameworks and Reviews : A Commentary to Assist us in Moving Our Field Forward by Analyzing Our Past 1. *Review Literature And Arts Of The Americas*, 38(3), 29–50. <http://doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/1278253.1278259>
- SenterNovem. (2007). *Industrieel, flexibel en demontabel bouwen (IFD)*.
- Slaper, T.F. & Hall, T. J. (2011). The Triple Bottom Line : What Is It and How Does It Work? *Indiana University Kelley School of Business*, 4–8. Retrieved from <http://www.ibrc.indiana.edu/ibr/2011/spring/article2.html>
- Slaughter, E. S. (2001). Design strategies to increase building flexibility. *Building Research & Information*, 29(3), 208–217. <http://doi.org/10.1080/09613210010027693>
- Spaas, G. (2012). *Onderzoek nieuwe economie; raamwerk voor het herkennen, duiden, sturen en evalueren van initiatieven voor en in een nieuwe economie*.
- Stahel, W. (2013). The business angle of a circular economy – higher competitiveness, higher resource security and material efficiency. *A New Dynamic - Effective Business in a Circular Economy, 2013*, 1–10.
- Stahel, W. R. (2010). *The Performance Economy*. Palgrave Macmillan. Retrieved from <http://www.palgrave.com/page/detail/the-performance-economy-walter-r-stahel/?sf1=barcode&st1=9780230274907>
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore, B., ... Wasson, R. J. (2005). *Global change and the Earth System*. Springer.
- Temple, M. (2004). *Studying the built environment*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Turner, G. (2008). A comparison of the limits to growth with thirty years of Socio-Economics and the Environment in Discussion CSIRO Working Paper Series 2008-09. *Technology*, (June), 52. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001>
- UNEP. (2011). *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*.
- United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects, the 2014 Revision*. <http://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>

- United States of America. (2010). *“Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act’.” Public Law 111-203* (Vol. H.R. 3763). Retrieved from <http://fdsys.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-107hr3090enr/pdf/BILLS-107hr3090enr.pdf>
- Van De Westerlo, B. (2011). Sustainable Development and the Cradle to Cradle® Approach: A literature study of the opportunities to apply the Cradle to Cradle® approach in the built environment. <http://doi.org/10.3990/1.9789036531818>
- Van Odijk, S., & van Bovene, F. (2014). Circulair bouwen; het fundament onder een vernieuwde sector.
- Van Oppen, C. (2015). Circulair inkopen doe je samen. *Tender Nieuwsbrief*, (6), 1–8. Retrieved from http://www.copper8.com/duurzaam/wp-content/uploads/2015/09/Tender_15_06_LR_def.pdf
- Van Renswoude, K., ten Wolde, A., & Joustra, D. J. (2015). Circular Business Models - Part 1: an introduction to IMSA’s circular business model scan, 18. Retrieved from <http://www.imsa.nl/#!/IMSA-presenteert-Circulaire-Businessmodellen-Scan/c8s6/552b96ca0cf28ab7fac36857>
- Verfaillie, H. a., & Bidwell, R. (2000). *Eco-efficiency: a Guide To Reporting Company Performance. World Business Council for Sustainable Development.*
- Westerlo, B. van de. (2013, December). Duurzame ontwikkeling en de Cradle to Cradle-benadering. *C2C ExpoLab*, 1–9.
- Wijkman, A., Skånberg, K., & Berglund, M. (2015). *The Circular Economy and Benefits for Society Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency.*
- Williams, A. S. (2009). Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach, (December), 23. Retrieved from http://www.istc.illinois.edu/info/library_docs/tr/tr40.pdf

Appendices

Appendix 1: Product and service combinations

Appendix 2: Transformation capacity scheme

Appendix 3: Expert interviews

Appendix 4: Expert panel

Appendix 5: Model expert interview

Appendix 6: Circularity indicators – an approach to measure circularity

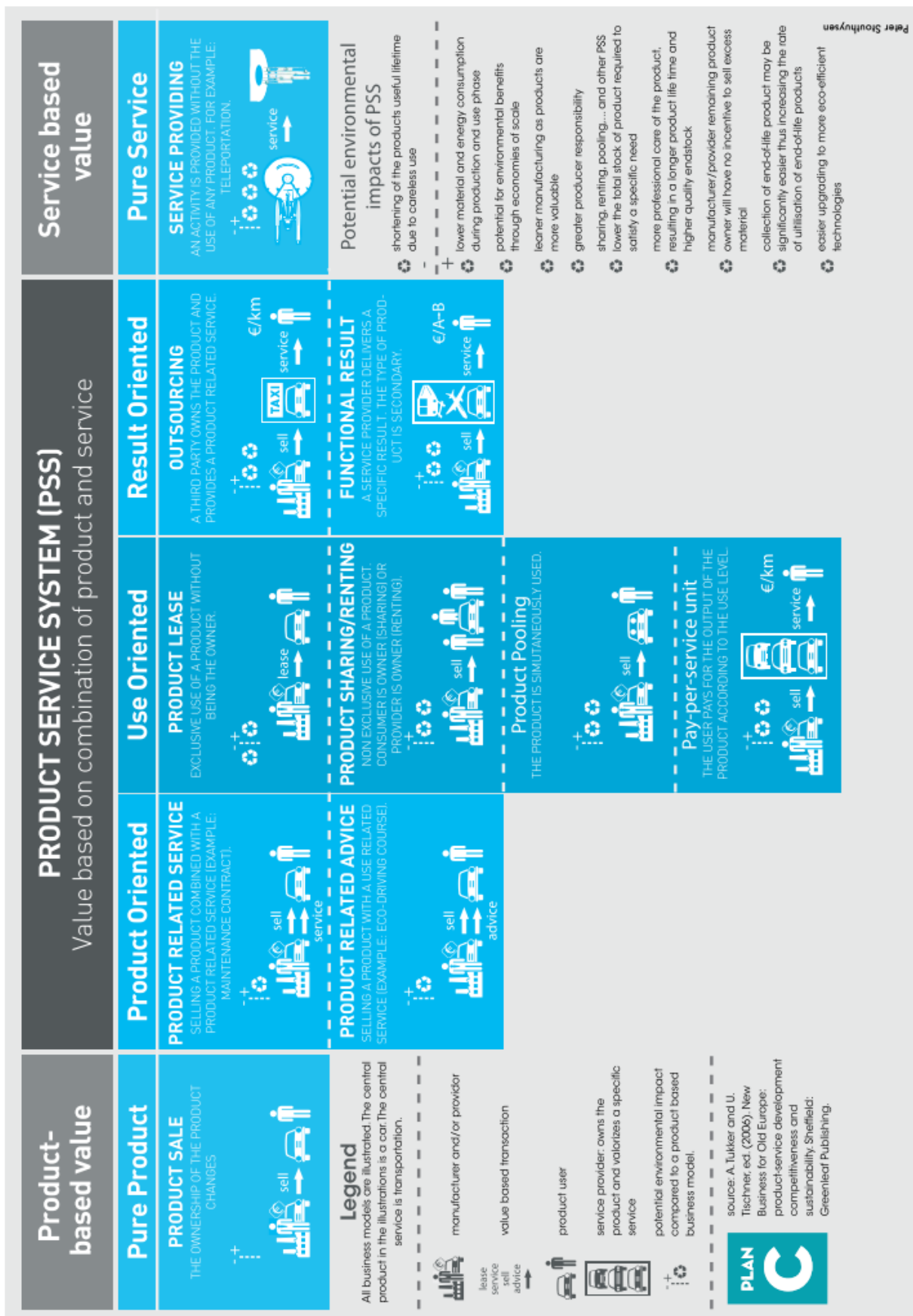
Appendix 7: Assessment model building circularity indicators

Appendix 8: Case studie 1 – circular bill of materials (BOM)

Appendix 9: Case studie 2 – non-circular bill of materials (BOM)

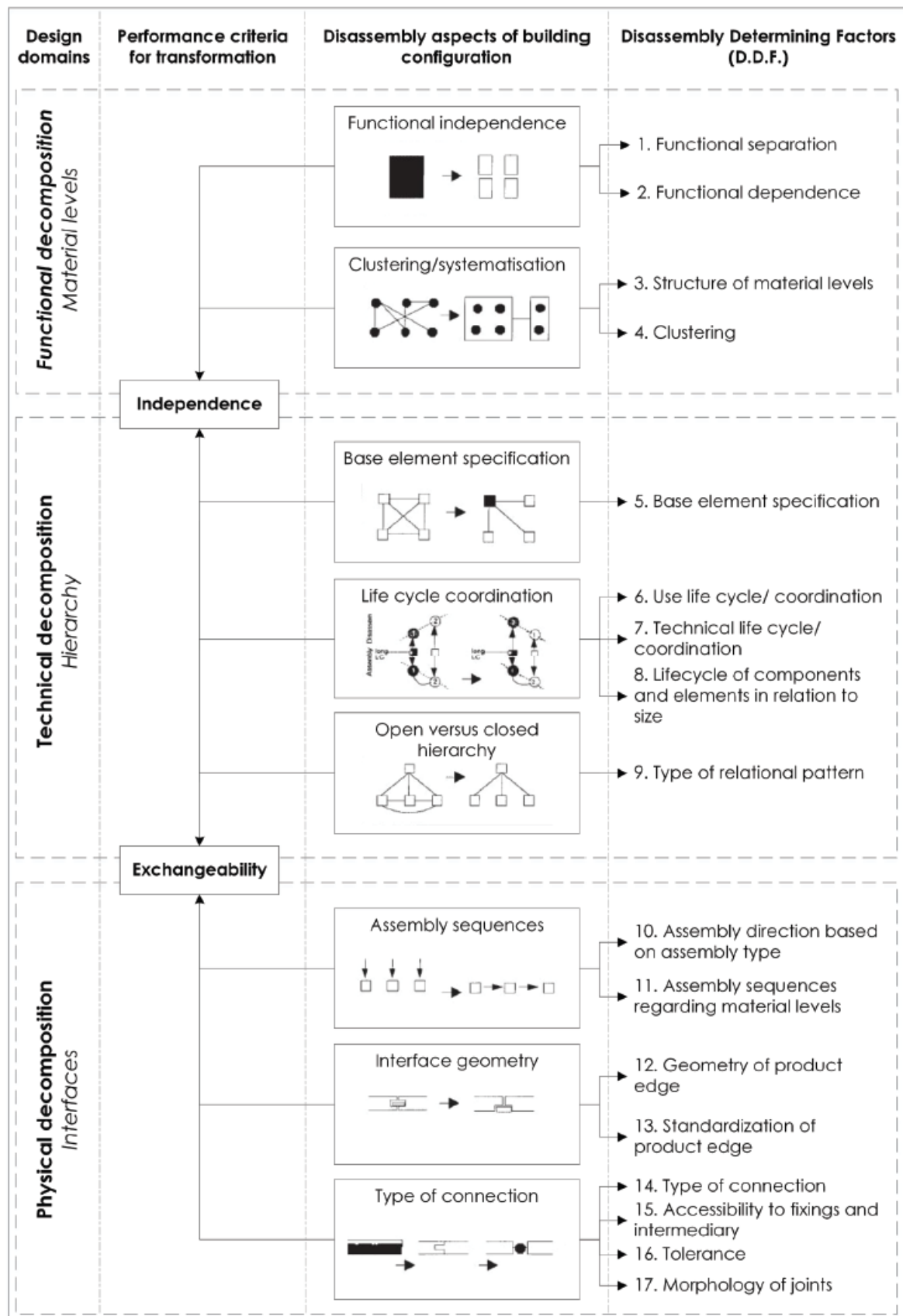
- *Appendices are in Dutch metrics* -

Appendix 1: Product and service combinations



Source: (Plan C, 2014)

Appendix 2: Transformation capacity scheme



Source: (E. Durmisevic et al., 2006)

Appendix 3: Expert interviews

Expert interviews have become increasingly popular as a social science research method (Littig & Pochhacker, 2014).

Central points of discussion include the definition of an expert, the distinction between various types of expert interviews, the function of expert interviews in the overall research design, and the special characteristics of the interaction situation and the interviewing process compared with other forms of qualitative interviews. In this research, the type of semi-structured interview is used.

A semi-structured interview is a qualitative research method and often used in the social sciences. While a structured interview has a rigorous set of questions which does not allow diverting one's attention, on the other hand, a semi-structured interview is open, allowing new ideas to be brought up during the interview as a result of what the interviewee says (website New Business Opportunities in the Growing E-Tourism Industry). During a semi-structured interview, the interviewer generally has a framework of themes to be explored.

First, the list of questions posed to the interviewees is shown (in Dutch). Next, the list of interviews on location, phone by phone and in writing is shown and then the respective elaborations of the interviews are shown (in Dutch).

List of questions posed to the interviewees (in Dutch)

1. Wat is jouw definitie van de CE?
2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?
3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?
4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in zijn geheel circulair is of niet?
5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?
6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?
7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?
8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Interviews on location

NAME	COMPANIES	FUNCTION	PLACE	DATE
KIM ZANDBERGEN	Qbiq B.V.	Director	Alphen aan den Rijn	16-10-2015
LUC JANS	Bohemen Investments	Business manager	Eindhoven	16-10-2015
CECILE VAN OPPEN	Copper8	Advisor	Amsterdam	19-10-2015
SANDER HOLM	BAM Advice & Engineering	Manager Knowledge centre Sustainability	Bunnik	27-10-2015
SJOERD ZEIJLEMAKER	ABN AMRO	Sector Analyst	Amsterdam	28-10-2015
WILLEM JAN LANDMAN	Paul de Ruiter Architects	Architect	Amsterdam	30-10-2015
MARK VAN WESTERLAAK	IA Group	Deputy Director / Architect	Duiven	2-11-2015
THOMAS LEENDERS	Philips	New Business Development Manager	Eindhoven	9-11-2015
GEANNE VAN ARKEL	Interface	Head of Sustainable Development	Scherpenzeel	10-11-2015
BAS VAN WESTERLO	C2C ExpoLAB	Advisor Circular Building and Procurement	Venlo	11-11-2015
SASKIA ORANJE	DOOR Architects	Founder / Architect	Amsterdam	13-11-2015
MARTINE VERHOEVEN & THIJS HUIJSMANS	Royal HaskoningDHV	Manager Business Development & Project Manager	Eindhoven	17-11-2015
KARIN VERPLOEGEN	Gispen	Organization and Legal Advisor / Project manager Circular	Culemborg	18-11-2015

Interviews by phone

<i>NAME</i>	<i>COMPANIES</i>	<i>FUNCTION</i>	<i>DATE</i>
ONNO DWARS	VolkerWessels Vastgoed	Head of Acquisition & innovation	11-11-2015
SAMAN MOHAMMADI	Re-born B.V. / TU Delft	Director / PhD Researcher	11-11-2015

Interviews on paper

<i>NAME</i>	<i>COMPANIES</i>	<i>FUNCTION</i>	<i>DATE</i>
WERNER LOPPIES	TU Delft	Alumni	19-10-2015
RENÉ BAKX	Scheldenbouw	Façade designer	19-10-2015
EELCO OUWEKERK	eMGi Design Manager	Owner / Founder	27-10-2015
MATTHIJS PRINS	TU Delft	Professor	3-11-2015

Expert Interview Kim Zandbergen – Qbig B.V.

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Alle producten die waarde hebben en die in een gebouw gestopt worden zijn al circulair, waarin je de materialen op dezelfde hoogte gaat toepassen. De mate waarop producten worden hergebruikt/gerecycled, heeft één op één te maken met de kostprijs. Wij proberen op dit moment de opdrachtgever te enthousiasmeren in het feit dat het nog maar een klein stapje is om het C2C te doen. Hierdoor is geen enkel product meer in ons land toxisch. C2C is niet alleen een doel of een middel, het is een objectief orgaan die het goede beoogt voor mens en milieu.

Het circulair maken van een gebouw begint al met het in acht nemen van de verschillende levensduren van gebouwlagen. Hierover moet vooraf over nagedacht worden.

a. C2C zorgt er dus voor om de toxiciteit uit een product te halen?

Ja, C2C heeft een banned-list van materialen die niet gebruikt mogen worden.

b. Wat zijn hierin nog meer indicatoren die meegenomen worden?

Toxiciteit (abx-assesment), energie gebruik/CO2 uitstoot (in productie), water gebruik (in productie), social responsibility (kinderarbeid) & hergebruik materialen.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Dat zijn gevoelsmatige factoren, het levert ook nieuwe projecten op (financieel). C2C is een mooie KPI om te meten in hoeverre onze producten circulair zijn. Het geeft ook wel de noodzakelijke uitstraling die je als producent probeert te krijgen (marketing). Het geeft een bewijs af aan andere partijen dat wij bezig zijn met onze omgeving te verbeteren. Alle investeringen die je doet, moeten gewogen worden of dat het uiteindelijk ook iets opbrengt, of de overweging moet zijn van, ik vind het leuk en dan maakt me die investering niet uit. Als je het koud doorrekend komt het nooit uit, maar als je daar een beetje emotie (value) aan toevoegt dan ga je het gewoon doen. Ook door de besmetting naar klanten zorg je ervoor dat het steeds meer gaat leven (draagvlak).

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Ik denk dat je moet proberen om aan te tonen op materiaalniveau dat het goed zit. In beginsel zal je zien dat je bij de middel en middel grote gebouwen moet beginnen en als die wereld omgezet is dan volgt de rest. C2C-materialen is hiervoor een optie.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

C2C beoordelingscriteria, demontabel hoeft niet als er niks toxisch is. Als het hele gebouw niet toxisch uitgevoerd wordt, kan alles gerecycled worden. Dan gaat het uiteindelijk om de mate van herbruikbaarheid, maar wat is 100% herbruikbaar? Is 100% herbruikbaar dat na de tijd van gebruik iedereen die producten wil hebben, of is herbruikbaar dat je het op dezelfde manier in een gebouw zet. Hierin zou een vrij loop moeten zijn. Dit geldt vooral bij de esthetische onderdelen van het gebouw. Mensen willen niet datgene wat er vijf jaar geleden

op de markt ook was (doorlooptijd van design). Een mooier gebouw maakt het leefbaarder dus ook meer circulair.

Niet toxisch, herbruikbaar, goed concept dat je op al deze punten kunt winnen.

Iedereen zal het met de lijst van Braungart eens zijn dat deze materialen niet in een gebouw mogen komen.

Hoogst haalbare dat je dezelfde materialen terugbrengt, maar het besef moet zijn dat hergebruik een streven moet zijn. Het kan in praktijk lang niet altijd en hiermee zal rekening gehouden moeten worden. Het moet allereerst aanpasbaar zijn om hergebruikt te kunnen worden en ook de mogelijke schade die ontstaat bij demontage moet niet worden uitgesloten.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Nee, dat is te concurrentiegevoelig. C2C ondervangt dit probleem omdat dit bureau onafhankelijk beoordeelt en zo ook geheimhouding heeft over de materialen.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

De optie om C2C-producten uit te vragen via een bestek, zorgt ervoor dat producten afgerekend worden op basis van dezelfde principes. De opdrachtgevers moeten zich kwetsbaar opstellen, alles heeft te maken met de mate waarin jij bereid om een marktpartij aan tafel te krijgen die iets wil. Als er een bal aan het rollen gaat, volgen de andere. Door prestatiefactoren te vragen, kun je beoordelen op kwaliteit. De ondergrens kan dan zijn, C2C-basic maar hoe hoger certificaat je hebt hoe hoger je scoort (EMVI, best value procurement).

Inkopen is een bijzaak, wij hebben met z'n alle geld genoeg. Laat de investering eens 10% hoger liggen, op de organisatie kosten is dit maar 1% van het totaal. Hierover zal geen enkele organisatie vallen, want dat is minimaal. Maar mensen kunnen dit niet op waarde toetsen.

a. In een aanbesteding moet ook iets vergelijkbaars worden gevraagd?

Dat is het nadeel van al die regels, het moet mogelijk gemaakt worden om partijen aan de kant te zetten. Partijen moeten volgens de traditionele keten concurreren, om niet de prijs hoog te kunnen opdrijven. De optie is om het gewoon breed uit te vragen om vervolgens door prestatie indicatoren de mate van positieve waarde te meten. Schrijf bijvoorbeeld uit dat er aantoonbaar geen toxische materialen in mogen zitten, dan kan je met een C2C product hier meteen aan voldoen. Dan zullen producenten sneller instemmen met het certificeren hiervan.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Zolang het nog goedkoper is om materialen uit de grond te halen i.p.v. arbeid, wordt het nooit aantrekkelijk om te gaan recyclen. De overheid zal hierin een grote rol moeten spelen.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

De kostprijs is op dit moment te laag om de mogelijkheid tot herbruikbaarheid te kunnen ondersteunen. Een oplossing hiervoor is een standaard maat met daarbij sluitstukken,

waardoor je alleen de sluitstukken voor ieder scenario moet recyclen. Alleen is het de vraag of hiervoor interesse is, want op dit moment is het zo dat de kosten van hergebruik (demonteren, aanpassen & monteren) veel meer kost dan het recyclen.

Als laatste is de perceptie van de mens erg belangrijk. Tweedehands producten moeten op dit moment aanzienlijk lager in prijs zijn, maakt het dat de markt voor deze producten nog niet voldoende op gang is gekomen.

Expert Interview Luc Jans– Bohemen Investments

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Op het moment dat je een gebouw kunt realiseren waar een restwaarde aanzit die tot een nieuwe business case kan leiden. Vanuit de markt hoor je steeds meer dat CE gaat over grondstoffen die een waarde in zich hebben, maar aan de markt (fabrikanten zijde) merk je dat er nog weinig aansluiting is om hun proces zo in te richten dat die grondstoffen nog daadwerkelijk kunnen omzetten in een bepaalde waarde. Dus je moet veel meer naar het gebouw niveau gaan kijken: wat doet dat in verloop van tijd, hoe gaat het gebruikt worden en wat betekend dat veranderde gebruik voor elementen of producten. Bij CE moet veel meer gekeken worden naar de manier waarop een huisvesting mee kan groeien, die courant blijft voor de markt. Er zal veel meer vanuit de prestatie van het gebruik gekeken moeten worden dan direct vanuit het product. In de markt heeft het zo een grotere kans van slagen dan vanuit het product, omdat de processen van de fabrikanten hierop gewoonweg niet zijn ingericht.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Op dit moment nog niet, omdat de markt van vandaag heel gefocust is op inkoop-as (prijsniveau). Langzaam aan zie je wel steeds meer dat bedrijven willen betalen voor een gebouw voor de toekomst. Desalniettemin, blijven veel projecten op laagste prijs worden gegund. Het wordt op die manier kapot gerekend. Terwijl bijvoorbeeld door een initiële meerprijs het kan worden terugverdiend in het proces. 'Best Value Procurement' is hiervoor een goede optie.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Zoals al eerder gezegd, op gebouwniveau. Als producten/materialen te losstaand van elkaar bekeken zouden worden zegt dit niet zoveel meer, dan mis je eigenlijk de prestatie naar gebruik.

a. Dan zou je eigenlijk een indicator voor gebruiksniveau mee moeten nemen?

Ja, ik zal altijd kijken naar waarom gebruik ik die ruimte, maak die ruimte dat je er gebruik van wilt maken en dan kom je terug op prestaties. Het bouwdeel moet een bepaalde constructieve waarde hebben, een bepaalde comfort waarde hebben (verwarming, installatie). Men moet het willen blijven gebruiken en een prestatie is alleen maar te meten op een bouwdeelniveau en niet op een product niveau.

b. Dan zou je eigenlijk een gebruiker/prestatie indicator moeten gebruiken voor ruimte of gebouw, maar ook de materialen op zichzelf moeten hergebruikt of recyclebaar moeten zijn?

Ja, alle delen/materialen zouden herbruikbaar moeten worden. Alles moet weer tot grondstof moeten worden teruggebracht, maar zover zijn we nog niet (productieproces). De markt moet hier naar vragen, voordat producten hun hele proces (incl. kosten) willen omzetten richting circulair. Door deze vraag stimuleer je fabrieken om te bouwen.

c. Zou een financiële instelling hierin moeten bijspringen?

Het zou een oplossing kunnen zijn om ook aan hun weer machinerie te leasen om zo de transitie te versnellen, maar het moet wel project gerelateerd. Door te faseren, eerst restwaarde voor producten en vervolgens materialen, kunnen producenten ook kijken naar hun productieproces, waarbij nu onvoldoende financiële middelen te beperkt zijn om dit door te voeren.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Veel meer uitschrijven op prestatie. Het verlangen is er dat kostprijs in verhouding staat tot veranderend gebruik. Dat uitvoerende partijen, i.c.m. producenten vragen, kan ik gebouw realiseren waarbij jou onderdeel van het gebouw mee kan groeien bij veranderd gebruik als het gaat om huisvesting en kan dat onderdeel of bouwdeel worden hergebruikt in een andere situatie. De criteria restwaarde en hergebruik neerliggen bij uitvoerende partijen/producent en ook de verantwoordelijkheid ervoor. Dan hoeft het niet perse in de grondstoffen te zitten, maar kan het ook zo zijn dat je een bouwdeel meeneemt, wat in eerste instantie de prijs krijgt die nodig is, maar op het moment dat je hem een tweede keer kunt inzetten hij wel tegen een half tarief kan worden weggezet. Dan dient het toch nog tot een huisvesting en verdiend het zijn rendement, maar heeft het een andere kostprijs. Uiteindelijk moet het wel uit de materialen komen, maar vandaag de dag kun je daar nog geen business case van maken. Het demontabel bouwen hangt af van een stukje kostprijs, moet je een fundering bijvoorbeeld demontabel opzetten? Dat stukje proces zou je eigenlijk in je kostprijs moeten meenemen.

a. Zou je de restwaarde vooraf verdisconteren of na verloop van het contract verrekenen?

Verrekenen navenant gebruikerswaarde, zodra je een huisvesting in gebruik hebt zal je daar een maandelijkse vergoeding voor kunnen vragen, anderzijds zal het lastig zijn vandaag de dag omdat de aannemer direct afgerekend krijgen. Dus hierin zal je een combinatie moeten vinden. Het vooraf verdisconteren kun je niet bij een producent neerleggen omdat ze te diep in een financiële middelen moeten grijpen.

b. Kun je niet zeggen om gewoon C2C gecertificeerde materialen uit te vragen?

Dit is te beperkend! Hierin zit bijvoorbeeld niet, hoeveel het kost om de materialen te recyclen (CO2 etc.) en wat het doet met mijn kostprijs.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Op dit moment hebben wij alles al openbaar en beschikbaar. Het is zaak om nu open te zijn, want de markt gaat ernaar toe dus waarom niet gelijk/vooruit lopen op die markt. Bill of Material (BOM) moet je gaan uitgeven!

a. Zouden jullie C2C gecertificeerd willen zijn?

Ik zou dat wel willen zijn, maar door samenstelling van onze producten maakt het lastig.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

De vraag moet gesteld gaan worden zodat producenten hun transitie door kunnen zetten. Waarbij producenten op hun beurt weer moeten gaan samenwerken want dan kunnen prestaties t.a.v. gebruik gemeten gaan worden als ze een geheel plaatje leveren. Bij verlichting in de lease, moet er bijvoorbeeld ook de bekabeling en de stoppenkast mee worden genomen. Hierin ontstaan partijen die een combinatie aangaan van producten en hiermee een prestatie kunnen leveren, waarbij deze partij de contractpartner wordt met de gebruikers. De garanties/restwaardes daarentegen blijven bij de 'onderliggende' producenten. Zo ontstaan 'productmakelaars', tussen opdrachtgevers en producenten. Vervolgens als het contract afloopt kan er een nieuw contract worden afgesloten, geoptimaliseerd worden, of de materialen weer uit het gebouw nemen. Dan komen we weer terug bij de restwaarde en de verrekening ervan.

Bouwproces: beïnvloedende partijen, adviserende partijen, uitvoerende partijen en toeleverende partijen. Door een nieuwe indeling, zoals een product makelaar, kun je gedeeltes in de inkoopketen overslaan.

Daarnaast is het sluiten van langere contracten/onderhoud, op prestatie, met leverende partijen een cruciaal middel om te zorgen voor een 'goede' nazorg. Hierbij denken partijen dan vaak verder na en zien ze ook de besparing op geld/grondstoffen/uitstoot i.p.v. dat ze het opleveren en weer vertrekken.

Restwaarde is belangrijk in de circulaire economie!

a. Is er een markt voor de tweedehands spullen die vrijkomen bij hergebruik van producten of componenten?

Dat is een kwestie van mentaliteit en zaak voor producenten om de kwaliteit en garantie ook voor deze producten met een tweede leven durven af te geven. Dit accepteren veel gebruikers zodanig omdat de kostprijs vele malen lager ligt.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Het zit in het gedrag hoe 'wij' de traditionele keten in stand houden. De innovatie van een producent komt nooit aan tafel bij een architect en wordt door de keten de kop ingedrukt. De aannemer zal mogelijk iets meer terug moeten richting zijn eigen leest, en zich bezig houden met het management van het project. Samen met producenten komen tot de juiste commitment, het behalen van zo'n best mogelijke prestatie.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Het is belangrijk dat de stappen van verbranding-recycling-hergebruik stap voor stap terug te zien zijn in de restwaarde. Zo kun je stapjes maken in de transitie, want in de bouw kan men niet van verbranding naar hergebruik omdat de processen zo gewoon niet zijn ingedeeld.

Met BOWALL proberen wij een stukje flexibiliteit te brengen richting gebouwen. Wij proberen alleen de techniek erin te stoppen die je vandaag de dag nodig hebt (geen over dimensionering). En waarbij wij op circulariteit/duurzaamheid tegen aan lopen, is dat er geen enkele methodiek bestaat hierop beoordeelt.

Circulaire economie moet je inrichten naar de behoefte die er op dit moment is en kan groeien naar de toekomst. Dus niet onnodige maatregelen treffen die je later toch niet nodig hebt.

Expert Interview Cecile van Oppen – Copper8

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Een economisch systeem, dat kan micro of macro zijn, waarin stakeholders met elkaar samen werken om waarde van materialen en grondstoffen te maximaliseren.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

D.m.v. een impact meter, waarin er gescoord kan worden op drie hoofd elementen, met daarin ook sub-elementen:

- Technisch inhoudelijke kant
 - De mate waarin het project een bijdrage levert aan het verantwoord omgaan met materialen in de gehele levenscyclus;
 - De mate waarin een project gebruik maakt danwel beweegt richting duurzame energie;
 - De mate waarin het project technische innovaties heeft doen ontstaan die bijdragen aan duurzaamheid;
 - De mate waarin het project een bijdrage levert aan sociale aspecten van duurzaamheid.
- Procesmatige kant
 - De mate waarin de persoon die het invult als mens een nieuwe manier van werken heeft aangeleerd;
 - De mate waarin zijn of haar organisatie een nieuwe manier van werken heeft aangeleerd;
 - De mate waarin de partners (samenwerking) een nieuwe manier van werken heeft aangeleerd.
- Financiële kant
 - De mate waarin het project een positieve businesscase heeft voor jou als organisatie, voor alle partners;
 - De waarde die dit project heeft voor alle partners op een langer termijn (merkwaarde, icoonproject).

Het kwantificeren van deze punten zegt iets, maar blijkt in praktijk nogal lastig. Alles wat toegepast wordt voor de projecten, wordt ook toegepast in onze organisatie. In projecten zorgen we er altijd voor dat er prestatiemetingen van ons werk worden gemaakt waarbij de ene keer het een bonus-malusregeling is en vaak bij kort lopende projecten vragen wij de opdrachtgever te betalen naar gelang zij de waarde inschatten. Door, op welke manier dan ook, incentives neer te leggen bij een gezamenlijk belang, kun je maximale waardecreatie nastreven en ervoor zorgen dat iedereen die verantwoordelijk is in hetzelfde belang denkt. Wij doen dat zelf in onze organisatie, tussen ons en onze klant en bij klanten hun advies.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Er is behoefte aan een beoordeling op zowel gebouwniveau als product/ materiaalniveau. Het is een combinatie van toegevoegde waarde en technische levensduur, waarbij alleen producten die een lage toegevoegde waarde hebben en een korte technische levensduur van ongeveer 10-12 jaar, interessant zijn om in te passen. In een gebouw ligt dit tussen de 0-

100 jaar en daarom zal hier een onderscheid gemaakt moeten worden. Wanneer de toegevoegde waarde zo hoog is, er zoveel werk in zit en dat het zo complex is dat je het moeilijk kunt gaan recyclen, dan is dat lastig om circulariteit in te passen.

Een gebouw kun je ontwerpen die voldoet aan de technisch inhoudelijk principes van de circulaire economie (demontabel, recyclebaar, goede materialen), de samenwerking kun je ook nog organiseren, maar het financiële model is daarin de uitdaging. Het leasen is niet de oplossing, de levensduur van een onderaannemer is helemaal niet lang genoeg, wat doe je als ze failliet gaan? Zorg er gewoon voor dat alles demontabel en recyclebaar is en neem dat gewoon als uitgangspunt. Weet ook welke materialen (BOM) er in een product zitten en ben er transparant over.

a. Wat is jou mening over een C2C-certificering?

Ik ben er voorstander van. Er moet een consensus gedaan worden over hoe materialen objectief met elkaar te vergelijken. Als we eenduidig zijn over hoe we dingen meten, kun je dingen ook in versnelling brengen.

b. Wat in de wet houdt het uitvragen van C2C materialen tegen?

Je moet het gelijkheidsbeginsel respecteren.

c. Dan zou je bijvoorbeeld wel toxiciteit als eis kunnen stellen?

Klopt, wat je ook kunt stellen is dat je producten uitvraagt die conform de beoordelingsmethodiek van C2C goed zijn geproduceerd.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Ontwerp (demontabiliteit van zowel materialen, producten als het gebouw) & materialen (zowel input als output). De sociale aspecten, lage lonen landen etc., is onderdeel van duurzaamheid en niet van circulariteit.

C2C neemt hergebruik van producten of elementen 'niet goed' mee in hun beoordeling. Als je nu in praktijk gaat hergebruiken neem je (mogelijk) toxische materialen mee, wat slecht is volgens C2C, maar je voorkomt wel tot twee keer toe afval. Het EMF model neemt dit wel beter mee, maar is te complex omdat zo'n model gebruikt moet worden als communicatiemiddel in de markt. Het beoordelingsmodel moet laagdrempelig blijven.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Het zijn voor bedrijven IP-gegevens, waarbij gerespecteerd moet worden dat hierover een geheimhoudingsplicht bestaat. Je kunt het als opdrachtgever eisen, maar dan moet jij ook vastleggen niks te doen met deze informatie. Het C2C certificaat ondervangt deze vastlegging. Het probleem is vaak ook dat bedrijven dit vaak niet in kaart hebben en dat first year & second year het maximale is.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Dit komt uiteraard terug op de drie thema's techniek, proces en financieel. Technisch: Een beoordelingsmodel kan ervoor zorgen dat de mensen die inkopen kunnen beoordelen dat de

ene stoel beter is dan een andere stoel of dat deze meter beter is dan die meter. Proces: Het belangrijkste is wel de mindset van een opdrachtgever (toename van vertrouwen), want je moet niet voor een dubbeltje op de eerste rij willen zitten, maar je moet ook lange termijn waardecreatie nastreven. Het is niet zomaar een speelbal, je moet authentiek dit willen doen en stimuleren aan de kant van opdrachtnemer dat ze ook gaan samenwerken met ketenpartners. Financieel: Dat banken hun modellen gaan omzetten. Leasen is niet heilig, je moet per project kijken wat het beste uitkomt.

Daarnaast is communicatie ook een marketingstrategie, waarbij (onbepaalde)waarde heel veel op kan leveren en een positief effect kan hebben op je organisatie.

In een EMVI-aanbesteding zou het tevredenstellend zijn als er voor meer dan 50% op kwaliteit gegund zou worden, omdat hierdoor dan duurzaamheid/circulariteit ook een aanzienlijke plaats heeft in de aanbesteding. Op prijs zou het zo moeten zijn dat er een plafondbedrag komt, datgene wat een opdrachtgever bereid is te betalen, en hiervoor 'zoveel' mogelijk wil krijgen. De netto contante waarde zou meengenomen moeten worden om een restwaardeberekening mogelijk te maken.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Het dubbeltje op de eerste rij zitten is wel de grootste barrière, hierdoor wordt een samenwerking immens complex. In de verschuiving van het belastingsysteem van materiaal en arbeid (EX'TAX rapport) is een belangrijke impact om de transitie te naar circulaire economie te gaan versnellen.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Ik ben voorstander om een andere manier van het financieel berekenen te gebruiken die anders de waarde van een pand berekend, denkende aan duurzaamheid /circulariteit.

Op microniveau kan het gewoon als je andere spelregels met elkaar hebt, naar dat waardebehoud kijkt en gewoon blijft richten op de circulaire economie in technische zin.

Expert Interview Sander Holm – BAM Advies & Engineering

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Kort gezegd: “We moeten de toekomst veilig stellen”

Praktisch gezien: Biobased cyclus & technische cyclus, waarbij keuzes gemaakt worden op het gebied van geen giftige stoffen, op welke manier de uitwisselbaarheid wordt georganiseerd, de herbruikbaarheid van materialen en vervolgens vanuit een goed paspoort koppelen aan Building Information Modelling (BIM). Het creëren van een totale cirkel is het belangrijkste in de circulaire economie. Het is een transitie van het huidige minder slecht willen doen (duurzaamheid) naar het goed willen doen (circulaire economie) in de vorm van positieve waardecreatie.

De circulaire economie zou een stapje verder moeten gaan dan Cradle to Cradle (C2C). Hierbij gaat het om een productniveau, maar de circulaire economie gaat ook om het organiseren van de bouwkolom en uiteindelijk de businessmodellen eromheen.

De positieve waardecreatie moet in de toekomst als principe meegenomen worden in het waarderen van vastgoed. Op dit moment wordt vastgoed gewaardeerd op basis van de investering, huur, energie en onderhoud, waaruit een Bruto Aanvangsrendement (BAR) komt. Als aanvullende kwaliteiten (milieulast, gezondheid, sociale duurzaamheid enz.) al worden meegerekend in het beslissingsproces dan is dat náást de traditionele business modellen. Slechts sporadisch worden begrippen als duurzaamheid en circulariteit opgenomen en dan is dat op basis van “onderbuikgevoel”.

De circulaire economie is een integraal systeem dat gericht is op de toekomst, zodat we met z’n allen de juiste keuzes kunnen maken.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI’s maak je dit meetbaar?

In het Gemeentehuis Brummen (circulair icoonproject) hebben we het er niet over dat we x% circulair zijn, maar hebben we met materiaalpaspoorten zo goed mogelijk de cirkels in kaart gebracht en de partijen bij voorbaat afspraken (en intenties) laten uitspreken. Bij veel projecten relateren we zoveel mogelijk aan “objectieve” methodieken, zoals b.v. energielabel, GPR Gebouw, BREEAM en LEED. Hiervoor is gekozen omdat het een benodigd draagvlak heeft, zodat het niet alleen ‘ons advies’ is. Langzaam aan moeten er weer wat meer vertrouwen groeien tussen contractpartijen... Vertrouwen is belangrijk bij een integrale bouwkolom.

Voor onze organisatie gaat het uiteindelijk om geld. Niet zozeer dat we alleen maar zo veel mogelijk geld willen verdienen in zo kort mogelijke tijd, we hebben tegenwoordig veel meer de focus op de lange termijn (relaties behouden en voorkomen dat we in de toekomst met schade geconfronteerd worden), maar de beslissingen worden uiteindelijk op basis van euro’s genomen. Dus beslissings-KPI’s worden bij voorkeur gerelateerd aan euro’s. Een bekende vertaling zijn de schaduwkosten in de DGBC materialen tool (oorspronkelijk ‘verborgen milieukosten’ in GreenCalc) via de Milieuprestatieberekening (MPG). Schaduwkosten zijn niet de werkelijke kosten, maar een milieumaat waarmee verschillende aspecten (NOx, CO2, SO4, toxiciteit e.d.) onder één noemer zijn gebracht en waardoor producten/materialen met elkaar vergeleken kunnen worden. Een soort milieukosten die ooit afgewenteld zullen worden op de maatschappij. Tegenwoordig is het helaas nog steeds zo dat eigenlijk niet de vervuiler hoeft te betalen...

De KPI's moeten niet alleen maar economische waardes bezitten, sociale en maatschappelijke indicatoren zijn ook belangrijk om mee te nemen. Uiteindelijk moet het zoveel mogelijk vertaald worden naar één gedeelde noemer (één getal), idealistisch euro's. Een uitgangspunt zou moeten zijn: de vervuiler moet gaan betalen.

a. Denk je dat je met C2C, of iets vergelijkbaars, veel van de materiaalspecificaties ondervangt tijdens de uitvraag?

Ja dat is op productniveau een hele goede, maar de methodiek is nog niet transparant genoeg. Een C2C-gebouw zegt op dit moment nog niet veel, maar de circulaire economie gaat juist om het verbinden van deze producten en integraliteit en transparantie van het geheel. Een nadeel aan C2C is dat het veel geld kost om gecertificeerd te geraken. Met dat geld hadden ook andere duurzame maatregelen kunnen worden getroffen. De kunst is om de markt zo te gaan vertrouwen, kijk de voedselindustrie, dat we geen certificering meer nodig hebben, maar dat we transparant kunnen zijn en het ook controleerbaar maken.

b. Is dit niet een idealistisch beeld?

Het is juist idealistisch om te denken dat we alle producten die bestaan kunnen gaan certificeren en allen op dezelfde manier met elkaar kunnen vergelijken. Je moet er gewoon naartoe dat leveranciers informatie overleggen die voldoen aan de gestelde KPI's. Bijvoorbeeld Wikipedia, nemen wij, door transparantie en openheid, ook voor waarheid aan. Het waarheidsgehalte is door de controleerbaarheid juist relatief heel groot. Natuurlijk met een kanttekening, maar het idee is er. Dieselgate bij Volkswagen is een voorbeeld hoe hard je afgerekend wordt als blijkt dat je eerder niet eerlijk bent geweest.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

In tijd gezien (fases) gedurende het bouwproces moet de verantwoordelijke in zijn of haar achterhoofd houden wat mee te nemen is ten aanzien van circulariteit. Gebruik je indicatoren in het begin om uiteindelijk de waarde te kunnen bepalen OF is het zo dat achteraf het gebouw getoetst gaat worden op basis van die indicatoren. Achteraf heb je weinig indicatoren nodig omdat, als het goed is, afspraken gemaakt zijn en contracten gesloten zijn.

Op welke schaal je gaat beoordelen hangt af van de partij die het gaat gebruiken. Denk je vanuit de producent dan is het belangrijk om een product te beoordelen, maar als ontwikkelaar/ontwerper/belegger is het wel degelijk van belang om het gebouw te beoordelen. Zo zou aan het einde ook de GRESB (Global Real Estate Sustainability Benchmark) moeten meetellen. Beleggers beginnen toch wel belangrijk te vinden dat hun portefeuille een bepaalde waardering krijgt.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

De waarde potentie van een materiaal na de levenscyclus in euro's, waarbij een leverancier de voorwaarde kan benoemen waaronder hij ze terugneemt.

De fractie van het hergebruikt / reused materiaal op basis van volume of economische waarde. Ook moet het model openingen houden voor sociale en maatschappelijke indicatoren, maar hoe reken je deze terug: Per jaar? Per jaar per vierkante meter? Het feit is

dat als een gebouw/product aantrekkelijker is het een positief effect heeft op de levensduur, dus eigenlijk zal het een waarde per jaar verbeteren. Er zal een soort van benchmark (objectief vergelijkingsmiddel) moeten komen waar op basis van zoveel euro circulaire waarde per vierkante meter per jaar verbeterd. Als de vervuiler moet betalen, dan zullen nieuwe grondstoffen duurder worden en wordt de business case voor circulaire producten positiever.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

We moeten gewoon naar een open en transparante markt toe, waar we elkaar vertrouwen over de waardes die de leveranciers geven, dat ze ook zo zijn als zij ons vertellen. Met harde consequenties als dit ooit niet zo blijkt te zijn.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Op dit moment is het vooral aan de inkopers om circulariteit een plaatsje te geven. Hiervoor moeten ze veel eerder in het proces betrokken worden. Al tijdens het ontwerp. Dit betekent dat we het proces moeten bedienen met behapbare checklists, i.p.v. waardes vertaald in euro's. Een blackbox met alleen euro's roept vragen en weerstand op. Partijen willen dat kunnen checken en hun eigen mening hierover bepalen. Checkpunten zouden dan bijvoorbeeld zijn: wat zijn je processen, wat ga je na het huidige gebruik met de materialen doen (hergebruik of recycling) en wat als ik je over 20 jaar bel hoeveel geef je er dan voor? Belangrijk is het dat alle partijen, leveranciers, maar ook de aannemers een heldere scheiding maken tussen materiaal, arbeid en logistiek. En er duidelijkheid komt over de percentages die iedereen als winstmarge wil afspreken. Dan is waardevol deze waardes te verwerken, door een aannemer, opdrachtgever of een nieuwe partij die dit in goede banen moet leiden. Sommige gebouweigenaren zullen zelf contractpartner met de leverancier worden, andere opdrachtgevers zullen liever ontzorgd worden door een single point of contact.

In de overwegingen van de opdrachtgever moet de Total Cost of Ownership (TCO) leidend zijn, maar niet in alleen de traditionele methode die nu vaak gehanteerd wordt. Het gaat niet alleen om de initiële investering, maar ook om de periodieke kosten en uiteraard de restwaarde die door de circulaire economie steeds meer ontstaat.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Technisch zijn er weinig barrières, maar juridisch en financieel is het nog moeilijk om koppelingen te maken. Kort cyclische producten zijn natuurlijk het makkelijkst, maar lange cyclussen zijn des te moeilijker. Afspraken die gemaakt worden voor over 100 jaar, wie zegt me dat die leverancier dan nog bestaat. Restwaardes zijn hierin belangrijk en zullen in de toekomst als incentive moeten gelden voor de circulaire economie. Met als gevolg dat slopen geen geld meer gaat kosten, maar juist gaat opleveren. Dit zal uiteindelijk ook de leegstand meer en meer terugdringen.

Nieuwe inzichten in eigendom zijn belangrijk, bij voorkeur blijft de producent eigenaar van de grondstoffen. Maar voor de financiering van Leaseconstructies is geld nodig en dus een leasevergoeding. Als je als consument gebruik maakt van een dienst, wil je niet dat de

kapitaalgoederen toch op jouw balans komen, zoals bij financial lease. Bovendien zijn nu de voorop lopende partijen zoals banken en overheid niet bereid een vergoeding te betalen als ze zelf veel goedkoper de financiering kunnen organiseren. Daarnaast is het zo dat met leasecontracten voor een lange cyclus het van gebruiker naar gebruiker gaat, wat in vele gevallen niet wenselijk is. Het gaat dus niet zozeer om technische barrières, maar vooral om het anders organiseren van de bouwkolom. En dat is waarschijnlijk nog veel moeilijker.

Vanuit wet- en regelgeving zal er in de toekomst meer gekeken moeten worden naar het belasten van schadelijk stoffen (CO₂ als uitgangspunt). Hierdoor worden nieuwe grondstoffen gewoonweg duurder en wordt de noodzaak voor andere verhoudingen en betere integratie veel groter. Dan zal ook de noodzaak van een goed intermediair tussen bestaande elementen en grondstoffen (nog fysiek in gebouwen of al in opslag) en de ontwerper en bouwer een vlucht nemen.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Je moet ervoor zorgen dat je een gevoel krijgt voor de waarde van een materiaal. Hoeveel is een materiaal waard, zegt meer dan een index. Dit moet je wel heel makkelijk aanpasbaar maken (recycling graad, verkoopbaarheid en x wordt ervoor terug gegeven). Bijvoorbeeld, de waarde van demontabel hout is x euro's en de waarde van het verbranden van hout is $x-y$ euro's. De keuze die je ook moet maken, is het een expert model of is het een algemeen toegankelijk model.

Uiteindelijk spreekt het veel meer aan, de waarde van het gebouw is: x euro's waard.

Het nadeel is dat in veel modellen kwalitatieve invloeden niet worden meegenomen in de uiteindelijke beoordeling. Door zoveel mogelijk kwantitatieve waardes te genereren zal de betrouwbaarheid van het model toenemen.

Expert Interview Sjoerd Zeijlemaker – ABN AMRO

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Het is juist geen lineaire economie, waarbij waarde wordt gecreëerd uit virgin materials, het in een gebouw/product wordt gestopt zonder na te denken over levenscyclussen en als het niet meer voldoet verwerkt wordt tot puin en afvalbergen. *Circulaire Economie betekend een ronde stroom van goederen en processen in plaats van een lineaire stroom.* Een circulaire economie begint bij het nadenken over beschikbare materialen uit de omgeving, kan ik met bestaande afvalstromen een nieuw gebouw/producten opzetten en kan ik het gebruik zo energiezuinig plaats laten vinden. De circulaire economie onttrekt geen waarde uit de aarde gedurende de totale gebruiksfase van het gebouw, wat feitelijk betekend dat er geen waarde vermindering plaatsvindt in de keten.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Metten is vrij moeilijk, omdat er nog vrij weinig data voor handen ligt. Dit is een uitdaging voor een financier want op dit moment is er geen goede beredenering voor hoeveel iets waard is, de zogenoemde *re-marketing waarde*. Het is lastig te definiëren wat de waarde stroom is uitgedrukt in euro's van de grondstoffen die in producten/gebouwen verwerkt zitten. Wel is het logisch om mee te denken in nieuwe contract vormen en producten die leiden tot een meer circulair gebruik en het creëren van een markt voor een 2^e gebruik of recycling van de grondstof.

KPI's die dit mogelijk zouden kunnen maken zijn; 'Gebruik van gerecycled materiaal in de bouw'- 'Carbon Footprint van productieproces, hoe minder CO2 uitstoot hoe beter'

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Het kan in verschillende stages, maar voornamelijk op basis van het ontwerp. Neem het gemeentehuis in Brummen, waarbij tijdens het ontwerp nagedacht is over de standaard dimensies die ervoor zorgen dat deze elementen ergens anders makkelijker kunnen worden hergebruikt. Het is belangrijk dat bij het ontwerp de producent te betrekken met hun kunde om producten te maken en hun kennis van de markt. Producenten zouden een soort van grondstoffenbank/ elementenbank moeten creëren, die tijdens een ontwerp geïntroduceerd kan worden. Het probleem op dit moment bij een circulair gebouw is dat de grondstoffen een te lage waarde vertegenwoordigen omdat ze niet modulair genoeg zijn om nog een keer gebruikt te worden.

a. Dus uiteindelijk moet het beoordelingsmodel ernaartoe dat het een materialistische geldwaarde vertegenwoordigd van een gebouw?

Klopt, feitelijk als je de circulaire economie voor de bouw aantrekkelijker zou willen maken zou je eigenlijk veel meer eenheidsworst moeten creëren. Dus dat alle middelen en elementen die in de bouw gebruikt worden uit elkaar kunt halen en ergens anders weer toegepast kan worden. Hiermee kun je dan grondstofbanken creëren. Misschien is dit pas iets voor in de toekomst, maar voor nu zou het een interessante beoordeling zijn om een gebouw meer circulair te maken door te kijken naar hoe goed is iets te renoveren, kunnen we naar een hogere energie prestatie (een beter BREEAM-certificaat) en is het CO₂-technisch en investering technisch interessant genoeg om te renoveren of is het interessanter om het

gebouw te slopen. Om dan met een hele lage carbon-footprint een nieuw gebouw neer te zetten die hogere prestaties heeft. Daarbij is het binnen de circulaire economie belangrijk om te kijken naar de gebruiksfase en door de gebruiksfases heen (flexibel / aanpasbaar / kwaliteit).

b. Zou je een incentive op product/gebouw niveau toepassen of op een gebruiksniveau aanbevelen?

Eigenlijk zou je een gebouw anders moeten gaan afschrijven. In plaats van de huidige afschrijving tot 80% zou je op basis van indicatoren een gebouw ieder jaar moeten kunnen herwaarderen naar de werkelijk grondstofwaarde. Dit kan alleen als je een modulair / demontabel gebouw hebt.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Hoofd-indicator: Gebruiksduur; *Sub-indicator:* Aanpasbaarheid, flexibiliteit, aantrekkelijkheid, courantheid & locatie (aller belangrijkste).

De indicator waarnaar je moet kijken bij afschrijving is; de waarde van je toegevoegd product. Naast de toegevoegde waarde van grondstoffen heb je ook een toegevoegde waarde voor de CO₂-footprint. In een circulair model moet er gestuurd worden op de CO₂-footprint van de materialen die je gebruikt. Hiermee stimuleer je, in theorie, het gebruik van gerecyclede materialen omdat gerecyclede materialen een pertinent lagere CO₂-footprint hebben dan virgin materials. Door meer belasting te heffen op CO₂-footprint stimuleer je producenten om in hogere mate gerecyclede materialen toe te passen en daarmee stap voor stap de cirkel ronder te maken. Daarnaast moeten we ernaar toe dat we de vervuiler gaat betalen, in dit geval zijn dat de gebruiker en de huurder van het gebouw.

a. Hoe kun je de gebruiker de CO₂-footprint taks laten betalen?

Doorleggen in de verkrijgingsprijs van het gebouw. Het gebouw met (goedkope) lineaire materialen, zou duurder moeten zijn dan een gebouw met circulaire materialen. Puur alleen omdat de CO₂-footprint vele malen hoger is bij het lineaire gebouw. Zo laat je de gebruiker van belastende materialen ervoor betalen. Uiteindelijk gaan eigenaren en gebruikers toch voor het meest optimale en efficiënte gebouw kiezen. Hiervoor moet wel een duidelijk zijn wat voor materialen in een gebouw zitten, door gebruik te maken van een BIM model kan dit heel gedetailleerd.

In het nieuwe "Paviljoen" hebben we indicatoren zoals duurzame energie (0-op-de-meter) en materialen die gebruikt worden met het hoogst mogelijke percentage uit herbruikbare materialen inzitten.

b. In hoeverre is hergebruik beter dan recycling, neem nu bijvoorbeeld beton kunnen we niet beter recycling proces te optimaliseren i.p.v. her te gaan gebruiken?

Eens, op dit moment zie je dat het recycling proces niet optimaal is omdat veel gerecycled beton als puin & granulaat onder wegen wordt gebruikt. Dit komt met name door de kosten en de intrinsieke waarde om het te vermalen en weer in nieuw beton te steken. Daarnaast stellen opdrachtgevers op dit moment alleen 'traditionele eisen' aan het beton, waardoor de circulariteit tegen wordt gewerkt.

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Het ontsluiten van informatie is tegenwoordig eerder norm dan nieuw, het ontsluiten van informatie (IP van een gebouw) wordt in de bouw nog steeds moeilijk ervaren. Alle informatie dient bij ook bij een end user terecht te komen, dit mede omdat de ontwerper en aannemer feitelijk werken voor een opdrachtgever.

6. *Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?*

Meer gebruik van herbruikbare materialen, daarop focussen en als marketinginstrument inzetten. Het is belangrijk dat je aantoonbaar kunt maken in je aanbesteding proces, dat je circulair wilt inkopen of duurzame materialen wilt gebruiken. Daarbij zou ook gestuurd moeten worden op de laagste toegevoegde waarde van de CO₂-footprint en de uitstoot daarvan. Alleen zal een inkoper ook handvaten moeten krijgen vanuit de 'beneficial owners' of via Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO) om zo circulair mogelijk in te kopen.

7. *Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?*

Initiële investeringsbarrières, met nieuwe technieken en nieuwe producten. Die worden altijd veel te duur in de markt gezet, zeker in de bouw.

a. *In hoeverre springt ABN AMRO hierbij in?*

ABN AMRO is hier constant mee bezig, bijv. het aanleggen en financieren van windmolen parken, het verduurzamen van productieprocessen, etc. Alleen als een bedrijf een enorme investering moet doen en deze zwaar op haar balans ligt, dan moet je innovatieve constructies bedenken (bijv. subsidies die bedrijven met een te lage winstmarge niet krijgen en wij als ABN AMRO wel).

De risico's van duurzame ondernemingsplannen komen vaak neer op onduidelijkheid van het verdien model. In het circulair bouwen is het zo dat er geen goede definitie te maken is van mogelijk hergebruik van materialen en de bijkomende restwaardes.

Daarnaast is het een uitdaging om niet alle materialen die in een gebouw zitten te leasen of huren, want dan worden de balansen van de leveranciers veel te groot.

b. *Wat is het verschil "financial lease" en "operationeel lease"?*

Financial lease is een huur/koop, waarbij je binnen vijf jaar tot 20% betaald, maar dan heb je aan het begin van de periode/initiële investering wel gecommitteerd dat je dat zou kopen.

Operationeel lease is een huurconstructie, waarbij je 80% betaald van de afschrijving en na vijf jaar geef je het voor 20% terug (incl. verzekering- en onderhoudspakket)

c. *Om dit moment proberen we het vastgoed aanpasbaar te maken voor de toekomst. In hoeverre moeten we dat willen?*

Het is op dit moment lastig om de waarde stroom van het circulaire model, op basis van grondstofstromen, inzichtelijk te krijgen. Want wat is nu feitelijk de waarde stroom van een materiaal en wat is de waarde stroom van de toegevoegde waarde van engineering, bouw

en arbeid? De toegevoegde waarde in menselijk zin, moet je altijd afschrijven in een hergebruikt scenario.

In de waarde stroom zou je eigenlijk moeten kijken naar de Total Cost of Ownership (TCO) van het hele gebouw, want hierdoor kun je het circulaire model ook beter neer zetten.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Een klein onderdeelje van een model van BREEAM, met een extreem goed handvat, is veel waardevoller dan een heel wiel opnieuw uitvinden.

“Somebody has to pay for it!”

Expert Interview Willem Jan Landman – Paul de Ruiter Architecten

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Dat je iets van grondstof tot product weer terug laat komen als nieuwe grondstof. Dit door zowel gebruik te maken van hergebruik als recycling. Het mooiste zou zijn als je elementen zou kunnen (aangepast) hergebruiken, want gedurende een recycling proces kost het weer energie om een grondstoffen terug te winnen.

a. Denk je dat het een nastreefbaar doel moet zijn om een constructie her te gebruiken?

Ik denk dat het wel interessant is dat je een gebouw zo construeert met een stalen frame, dat je die wel weer opnieuw kunt gebruiken.

b. Maar hoe doe je dit dan met beton?

Beton is een lastig element. Betongranulaat wordt gebruikt onder wegen, maar dit is wel een vorm van downcycling. Beton wordt ook niet gebruikt voor gebouwen die meteen weer worden afgebroken, het wordt toegepast voor het gebruik. Het gebruik is een belangrijke factor waarom je een gebouw neerzet, ondanks dat het recycling proces van beton inderdaad minder circulair is.

Het is belangrijk dat we met z'n alle gaan reduceren en bewuster omgaan met wat we gebruiken, want dan gaan we ergens naartoe.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

In het LEED label, BREEAM label en C2C-certificaten wordt op het moment veel aandacht geschonken aan biobased materialen en het hergebruik van materialen voor nu en in de toekomst. Als wij gebouwen ontwerpen, dan hopen wij dat een opdrachtgever z'n geld wil investeren in een LEED of BREEAM label of willen handelen naar de maatstaven van deze labels en certificaten. Het is belangrijk om opdrachtgevers een handreiking te geven in de vorm van een label of om tijdens het proces een sturende rol in te nemen om zo circulariteit of duurzaamheid op de juiste manier te gebruiken. Het moet er niet omgaan wat voor stempel erop wordt gezet, als het maar aantoonbaar circulair is.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Het moet ketenbreed toepasbaar zijn. Het gaat om de oorsprong van grondstoffen en of dat een grondstof zo als zo "slim" is dat het ander hergebruikt kan worden. Het gaat om de hernieuwde grondstof welke op alle lagen toepasbaar is.

Gewoon bouwbreed!

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Kwaliteit, soort materialen, welke grondstoffen worden er gebruikt, levensduur, kleurechtheid / transparantie (verlengen levensduur, onderhoud), kosten & robuustheid.

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

De informatie van de materialen die in een product zitten zouden open en transparant moeten zijn, maar de manier waarop ze hun product maken dat moet het geheim van een producent blijven. Op basis van vertrouwen moet de markt datgene geloven wat er openbaar gemaakt wordt. Als je het vast zou kunnen leggen in normen (Europese of NEN), dan zou dat nog beter zijn. Naast de normen kan een opdrachtgever het ook voor schrijven, maar dan is het de vraag of ze het ook daadwerkelijk gaan doen.

6. *Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?*

Vooraf de markt informeren over de mogelijkheden. Daarmee bereik je producenten, consumenten, architecten, toepassingsindustrie en ook de opdrachtgever. Het verkondigen kan gebeuren via social media, Public Relations (PR), maar ook via je omgeving die met circulariteit bezig is.

- a. *Is het raadzaam om leveranciers tijdens het ontwerp om tafel te krijgen?*

Het is inderdaad prettig omdat zij de kennis hebben op het gebied van circulariteit van het product. Alleen vaak wordt er dan wel veel gesproken over certificeringen. Op dit moment zijn wij tijdens een ontwerp fase ook al wel in gesprek met leveranciers.

- b. *Merk je dat de opdrachtgever en de leverancier niet dezelfde taal spreken?*

Zeker, de opdrachtgever weet vaak niet eens wat voor soort product het is. De opdrachtgever is vaak een leek op het gebied van bouwen, omdat ze een andere focus hebben. De producent heeft een belangrijke rol om hier iets aan te doen en de toepassingsindustrie moet het goed aan de opdrachtgever vertellen. De producent moet gewoon heel duidelijk aan kunnen geven wat voor product hij in huis heeft.

- c. *Denk je dat het makkelijk is om een soort 'product makelaar' in te schakelen om die vertaling eenvoudiger te laten plaatsvinden?*

Je hebt geen makelaar nodig om deze kennis over te dragen, maar het bezoeken van een showroom is voor elke opdrachtgever wel raadzaam.

7. *Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?*

Voordat een product op de markt kan worden gezet moet het voldoen aan een aantal normen. Dus als de overheid, eisen omtrent circulariteit in de norm zet, dan zullen alle producten die op de markt komen hieraan voldoen. Technologische belemmeringen zijn er, maar kunnen worden overwonnen door het gewoon te doen.

8. *Wat wil je zelf nog kwijt?*

Heel veel voorbeelden zijn op dit moment al aanwezig die bewijzen dat het gewoon kan. Als we deze dan gebruiken als onderwijsstof op scholen, dan worden nieuwe generaties er direct mee opgevoed.

Expert Interview Mark van Westerlaak – IA Groep

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Eenvoudig gezegd: “Het cirkeltje moet rond zijn”.

Uiteindelijk, dat het op de natuurlijke wijze zoals de aarde fungeert “er groeit iets en het wordt weer afgebroken” en het heeft geen impact/belasting op de aarde of het milieu (waarde onttrekking). Gezien vanuit het pure beginsel van de natuur, is de natuur altijd aan het evolueren. Dit zou ook in de circulaire economie moeten worden gehanteerd.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Dat is een hele moeilijke opgave. In 80% van onze opdrachten doen we het nog niet, omdat de opdrachtgevers er nog niet klaar voor zijn. IA Groep probeert hun daarin wel te begeleiden.

a. Wat gebeurt er bij die andere 20% van projecten als opdrachtgevers wel willen?

Puur onderzoek & pilots.

b. Waar vragen opdrachtgevers dan naar? (C2C, BREEAM)

Op dit moment generaliseren ze het allemaal nog onder het begrip duurzaamheid.

In projecten krijgen wij altijd bepaalde kaders mee, maar met IA Groep trekken we dit verder dan alleen de genoemde kaders afkomstig van opdrachtgevers omtrent duurzaamheid . Indicatoren voor een specifiek project zijn dan bijvoorbeeld; creëer meerwaarde voor de omgeving, betrek omwonende bij het project en hoe ga je om met de impact op de bouwlocatie (transport, bouwplaats inrichting). Dit vertaald zich ook in de beoordeling van uitvoerende partijen en op die manier hebben wij een stukje kwaliteit toegevoegd aan de gunning op basis van de EMVI-methode (Economisch Meest Voordelige Inschrijving). Deze indicatoren zijn geen direct onderdeel van BREEAM, alleen beperkte aspecten worden in dit label meegenomen.

c. Vanuit welk principe trekken jullie het verder dan eigenlijk “gevraagd” is?

Eigen principe! De opdrachtgever bood de ruimte om dit te effectueren en daardoor konden we tijd en geld investeren om nog duurzamer te zijn dan eigenlijk de vraag was. *Ben je duurzaam of doe je duurzaam?* Dat moet je waar maken en meerwaarde creëren.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

In de toekomst zal het richting leveranciers gaan en vandaar in ieder geval op materiaal niveau. Dan krijg je namelijk ook de discussie over wat er in de fabriek wordt gemaakt en wat nog op de bouwplaats zelf. Mijn inziens heb je meer grip op de producten die je in de fabriek maakt en droog koppelt op de bouwplaats. Dus dat betekent dat als je op materiaal niveau toespitst, het zeker een toegevoegde waarde genereert. Daarnaast zal ook het draagvlak opleveren.

Er zijn twee specifieke onderdelen die kunnen worden gesplitst; beoordelen op materiaalniveau en vervolgens project specifiek (omgeving, knopen van producten, etc.).

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

De levenscyclus van een materiaal. Mijn inziens is een materiaal circulair op het moment dat als je het niet meer gebruikt dat het dan weer als grondstof kan fungeren voor een volgende stap en dat op een zo hoog mogelijke manier.

a. Zou je net als bij C2C ook sociale/maatschappelijke indicatoren mee moeten nemen?

Het ideaal beeld bevat deze indicatoren, maar het gaat zorgen voor een politieke / emotionele discussie. Op het moment dat je gaat kijken naar emotionele en politiek gedreven onderdelen, dan ga je je begeven op glad ijs. Als je dan alles feitelijk benaderd en alles op hetzelfde niveau zet, kan er iets compleet anders uitkomen dan met emotie en politiek kan worden voorspeld. Een opdrachtgever zou aan de wegingsfactoren moeten kunnen 'draaien' om zo een optimale weerspiegeling van een organisatie te krijgen.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Wat mij betreft moet alles open source zijn en de bedrijven die daar niet in meegaan, zullen in de toekomst geen bestaansrecht meer hebben.

a. Zouden we er dan naar toe moeten dat alles C2C gecertificeerd moet worden?

Certificeren gaat een stap te ver. Wat je nu ziet is dat je bij een bouw aanvraag een Milieuprestatieberekening moet aanleveren. Het doel nu moet zijn om inzichtelijk te krijgen hoeveel de impact is van producten op het milieu.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Door heel veel te doen en pilotprojecten te draaien. De wereld is er op dit moment, hoe we er nu voor staan, niet klaar voor om de circulaire economie te kunnen absorberen. De recyclingbedrijven hebben de toekomst, zij gaan producten/materialen verzamelen en er weer een vollende cirkel aan proberen te maken.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

De huidige economie gaat uit van bezit, terwijl de circulaire economie uitgaat van gebruik. Dat is nog echt de grootste barrière die we moeten overbruggen. Het idee is dat de waarde van een product bij gebruik nagenoeg evenwaardig blijft, terwijl bezit zorgt voor een substantiële waarde vermindering.

Daarnaast is het een transitie en een transitie duurt gewoon lang en er komt geen moment dat we er klaar voor zijn. Het is belangrijk om de volgende generatie er bewust van te maken hoe we ervoor staan en waar we naar toe willen (in de vorm van educatie en opvoeding).

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Kijk met je onderzoek naar andere industrieën. De bouw is heel gefragmenteerd en er zitten heel veel partijen aan tafel die hun brood ermee verdienen. Als je kijkt naar scheepsbouw of de luchtvaartindustrie daar is alles in één hand en zij hebben daarmee altijd een voorsprong

op de bouw omdat ze alles zelf in de hand hebben. Ze hebben veel cirkels (hergebruik, recycling, etc.) al rond, maar waarom doen ze het?

Een gebouw heeft wel verschillende referentieperiodes, maar stel je brengt de referentieperiodes gelijk aan de installatie, 15 jaar, heb je dan een compleet andere businesscase?

Gebouwen worden in de nabije toekomst telkens anders gebruikt, dus waarom zou je dan alleen de installaties en het inbouwpakket daarop enten en niet het hele gebouw? Dit geeft alleen een compleet andere kijk op de bouwwereld.

Expert Interview Thomas Leenders – Philips

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Belangrijk in de circulaire economie is dat we afstappen van het bezit-principe, de loop van grondstoffen rond maken, de schaarste van grondstoffen zoveel mogelijk beperken en producten maken die modulair van origine zijn.

Dit allen resulteert erin dat we niet alleen maar producten blijven maken, maar dat we zorg dragen voor het sluiten van de gehele circulaire cirkel (loop). Mijn inziens gaat dit, op gebied van grondstofschaarste, verder dan C2C. Een producent blijft namelijk absolute verantwoordelijkheid houden voor zijn of haar product van A tot Z.

a. In welk opzicht gaat het dan verder dan C2C?

Met C2C design je een product tot aan het einde van de levenscyclus, maar dan kan de klant het net zo goed kopen. Met het gebruik-principe (tegengestelde van bezit-principe) blijft de producent eigenaar en is hij ervoor verantwoordelijk om de hele loop te sluiten. Dit is inclusief servicecontracten en voorfinancieringen. Daarom is het woord economie ontzettend belangrijk in de term “Circulaire Economie”, financiering essentieel is.

b. Bezit naar gebruik heeft absoluut de toekomst, maar moet een constructie ook van bezit naar gebruik gaan?

Als eindgebruiker huur ik een pand en in dat pand zit alles in, dus in die zin, kun je al zeggen dat het van bezit naar gebruik is gegaan. Iemand zal het product, in dit geval de eigenaar, in bezit moeten hebben.

c. Zou je moeten nastreven om alles, incl. constructie, modulair te bouwen?

Een pand gaat 30 jaar mee en in die dertig jaar gaat er enorm veel veranderen. Als we 30 jaar geleden erover hadden nagedacht dat we van kantoren, woningen konden maken dan had je een pand wel anders neergezet. Dus jazeker, het is belangrijk dat er panden neergezet worden die modulair toe te passen zijn. Denk na bij het creëren van het pand, dat het langer mee gaat dan 30 jaar of dat het meerdere functies kan betrekken gedurende de 30 jaar.

d. Is het geen mogelijkheid om gebouwen met een gebruiksduur van 15 jaar te plaatsen?

Nee, dan worden of de kosten extreem hoog of je gaan inboeten op kwaliteit.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Voor ons als Philips is het belangrijk om zowel de armaturen als de Customer Loyalty te meten. Voor armaturen hebben wij een “spinnenweb” ontwikkeld wat laat zien hoe circulair een armatuur is. Dus elke armatuur wordt, ook het huidige portfolio, gelegd naast het spinnenweb (zie antwoord vraag 4 voor de onderdelen). Voor Customer Loyalty trachten wij liever een relatie van 10 jaar aan te gaan met een klant dan enkel een transactionele overdracht.

a. Wat is de achterliggende gedachte voor Philips om circulair handelen uit te dragen?

Het is echt vanuit innovatie en strategie om de wereld duurzamer te maken. Dat het ons onderscheidt van andere is mooi, maar niet te drijfveer.

3. *Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?*

Eigenlijk zou je onderdeel moeten worden van een BREEAM.

4. *Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?*

Onderdelen van het "spinnenweb" (zie vraag 2)

Maintenance (aantal keer per jaar)

Recycle (percentage van aantal materialen)

Upgradable

Dissassembly (gelet op de technische/economische levensduur)

Modular

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Als je kijkt naar duurzaamheid, een van de belangrijkste aspecten van duurzaamheid is transparantie. Dat heeft de toekomst. Wel moet er onderscheid gemaakt worden tussen transparantie van grondstoffen in producten en bedrijfsgevoelige informatie zoals innovatie en processen.

Laten we beginnen bij alles wat we nieuw gaan maken/bouwen. Vanaf nu gaan we bij houden wat erin zit en gebruiken een informatie systeem om dit te archiveren.

Als Philips zijnde hebben we in 2013 de transparantie benchmark gewonnen, De Kristal Award.

6. *Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?*

De CO2 prestatieladder van ProRail heeft natuurlijk enorm veel invloed gehad en het liefst zie je ook voor de circulaire economie zo'n "tool" ontwikkeld worden.

Vervolgens moet er gekeken gaan worden naar de manier waarop we op dit moment inkopen. Als namelijk de markt een andere vraag gaat vormen, wordt de maakindustrie uitgedaagd om iets anders aan te gaan bieden (top-down approach). Niemand zit meer te wachten op laagste prijs gunning, er moet gekeken worden naar de kwaliteit (innovatief, duurzaam, goede service, garantie, etc.)

- a. *Wat is je mening over de verschuiving van eigenaarsverdelingen en verschuiving van verantwoordelijkheden?*

Volgens mij is circulaire economie echt een Business to Business (B2B) model.

Er moet een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen consumenten (woningvastgoed) en bedrijven (kantoorvastgoed). Consumenten zitten niet te wachten op een groot aantal adviseurs en een enorm aantal contracten. Vanuit een Cloud gedachte zoals Spotify, geloof ik dat consumenten hier een maandelijks bedrag voor willen betalen, maar op hardware niveau zoals zitten, liggen, koken, etc. dat werkt niet. Bedrijven vinden het niet erg, haar businessmodellen zijn hierop ingericht.

7. *Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?*

De grootste uitdaging binnen Philips is bepalen wat de restwaarde is op armaturen, want er is geen tweedehands markt. Op dit moment hanteren wij 10% restwaarde over de looptijd.

Bij wetgeving heb je te maken met nagelvast en niet-nagelvast, dit heeft met de juridische aspecten van een gebouw te maken.

Daarnaast is de financierbaarheid van de circulaire economie een enorme uitdaging, omdat de kredietwaardigheid heel belangrijk is van de instanties waarmee je zaken gaat doen.

Expert Interview Geanne van Arkel – Interface

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Het werken als in een ecosysteem. Zo zijn we in de jaren negentig begonnen, met dank aan het leren van de natuur “Biomimicry”. Het gaat erom dat producten niet meer als product worden gezien, maar als dienst en ook daarvoor de verantwoording nemen.

Dit alles losgezien van de financiële constructie, wat een uitwerking is vanuit het principe. Want uiteindelijk wat je wilt is dat iets zo lang mogelijk meegaat en al is het niet bij jou dan bij een ander tegen een zo laag mogelijk milieu footprint. Werken in een ecosysteem gaat niet alleen over producten en diensten (product-servicesystemen) maar ook om de mensen en partijen met wie je samenwerkt. In dat opzicht is ook de ethische dimensie belangrijk, lever je genoeg diensten, genoeg waarde, om inderdaad de meerprijs te kunnen verantwoorden.

Als je circulariteit nu trekt naar vastgoed, is het heel belangrijk dat je gebouwen flexibel / aanpasbaar maakt in functies. Natuurlijk als je een gebouw tijdelijk bouwt is het fijn dat die materialen herbruikbaar zijn, maar als je kijkt vanuit duurzaamheid ben ik ervan genegen (1) maak gebruik van wat er is en (2) bouw voor de eeuwigheid en zorg dat het aanpasbaar is.

Circulariteit is niet alleen recycling, maar juist ook herbestemming en hergebruik tegen een zo’n laag mogelijke footprint. Het is zaak dat er onderscheid gemaakt wordt omtrent circulariteit voor nieuwbouw en bestaande bouw. Het is niet meer mogelijk om te denken vanuit een ideale situatie, met het maken van een ultiem product uit volledig zuivere grondstoffen, sinds de grondstofschaarste alleen nog maar toeneemt.

Juist daarom is het zaak om onze creativiteit uit te dagen zoals de natuur dat ook doet. De natuur maakt gewoon gebruik van wat er is en wij hebben gebouwen gecreëerd dus laten we daar in ieder geval zoveel mogelijk gebruik van maken. Met de technieken van nu kun je gebouwen transformeren en upgraden naar deze tijd.

a. Zou je beton herbruikbaar moeten gaan maken of zou je recycling moeten nastreven?

Het hangt af van de impact op het milieu, transport en onttrekking van energie (duurzaam of niet-duurzaam) om het recycling proces uit te voeren. Mogelijk is het hergebruiken van betonplaten niet wenselijk en moet je kijken naar de meest reële optie, in deze is dat misschien recycling. Dit is ook wel kenmerkende voor vele ladders en het vlindermodel van de Ellen MacArthur Foundation. *In de kleinste cirkels zit ook de meeste waarde in dus is ook het meest duurzame.*

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Een maatstaf is de Environmental Product Declaration (EPD), een methodiek die de Europese Unie ontwikkeld heeft om inzichtelijk te maken welke grondstoffen gebruikt worden, wat de impact is in alle levenscyclusfase en je kunt ook nog impact met elkaar vergelijken. Als je het hebt over het vertalen met onze organisatie, dan is het inderdaad dat we het doorvoeren in onze producten, diensten, processen, businessmodellen en de manier waarop we samenwerken (intern & extern).

a. Vanuit welk perspectief hanteren jullie circulariteit?

Sinds 1994 en geïnspireerd door boek van Paul Hawken “The Ecology of Commerce”, groeide het besef dat ons bedrijf, zoals Paul Hawken schetst, een probleem veroorzaker is betreffende het milieu. Vanaf die tijd zijn we aan het afstappen van een take-make-waste

methodologie en aan het denken in een ecosysteem wat dezer dage als circulaire economie wordt omschreven. Door de hulp vraag te durven stellen en mensen de ruimte geeft om het te ontdekken, kun je intrinsiek worden geholpen in dit proces. Een heldere missie en ambitie is belangrijk, maar ook dat daar zorgvuldig naar gekeken wordt. Dit betekent dat deze niet meteen moet worden vastgelegd als oplossing, maar dat er gewoon gekeken moet worden waar je aan kunt werken. Dan zijn de “Life Principles” van Biomimicry samen met de “Systeem condities” van de Natural Step erg relevant ook in combinatie met hun Strategic Framework for Sustainable Development, waar ze heel erg uit gaan van backcasting van wat je als succes ziet.

Zorg ervoor dat bij elke beslissing die je neemt, je flexibel blijft.

3. *Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?*

In ieder geval op gebouwniveau, maar dat impliceert ook meteen materiaalniveau. Continu de afweging maken, wat is in een bepaalde situatie wenselijk. Er is niet één ultieme circulaire oplossing voor een gebouw er zijn altijd factoren afhankelijk van de context. Het is belangrijk dat een index een handleiding/communicatiemiddel vormt vanaf het initiële stadium van een bouwproces.

4. *Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?*

Technische waarde zouden mede voort moeten komen uit de Environmental Product Declaration (EPD):

Recyclebaarheid (kg)

Herbruikbaarheid (functionele eenheid)

Toxiciteit

Losmaakbaarheid / Ontkoppelbaarheid

Materiaal schaarste (High Priority)- *een schaars materiaal zou je niet moeten recyclen, maar gewoon niet meer gebruiken*

Gebruikswaarde:

Flexibiliteit / Aanpasbaarheid / Modulariteit - Meerdere functies (vanuit het gebouw als geheel en vanuit de ruimte)

Effectief gebruik van een gebouw (bezettingsgraad)

Herbestemming

Belevingsfactoren:

Vernieuwing - *In kantoren is er gemiddeld sneller behoefte aan het circuleren van inrichting (7 jaar) dan in onderwijs (20 jaar) en zorginstellingen (12 jaar)*

The Economics of Biophilia

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Dit zou geen issue moeten zijn. Je laat zien wat er mogelijk is met bepaalde grondstoffen in bepaalde producten. Hoe je dit dan precies in jou proces verwerkt, dat wordt helemaal niet

gevraagd. Consumenten / Eindgebruiker hebben het recht om te weten wat in hun product zit en wat is de impact is op het milieu.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

De transparantie hierin is cruciaal. Als je geen inzicht hebt in de feiten dan kun je niets bereiken. Ook de overheid kan daarop sturen, om de transitie op basis van bredere perspectieven (niet alleen energie) duurzaamheid/circulariteit door te voeren. Je moet niet één specifieke oplossingen hanteren, maar de prestatie-indicator geven.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

De overheid zou de circulaire economie enorm kunnen stimuleren om een milieu-impacttabel te hanteren. Het is belangrijk dat bedrijven inzicht krijgen in welke materialen ze gebruiken en welke impact deze materialen hebben op het milieu. Vervolgens kan op basis van deze informatie oplossingen en innovaties gezocht worden, welke samenhangende en samenwerkende partijen bij elkaar brengt.

a. Hebben dan de schaduwkosten de toekomst?

Mijn inziens hoeft het niet vertaald te worden naar geld, maar moet er gelet worden op de impact van de materialen. Dit op het gebied van toxiciteit, bemesting, verzuring, aantasting ozonlaag en CO₂ (snelle index) uitstoot.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Je moet holistisch denken. Het een kan niet zonder het ander, de wereld is één groot systeem.

Expert Interview Bas van Westerlo – C2C ExpoLAB

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Circulaire economie, Cradle to Cradle (C2C), Industrial Design, Blue Economy of The Natural Step, het maakt niet uit hoe het genoemd wordt. Het gaat om de basis principes van iedere theorie. De basis principes van de circulaire economie en C2C gaan uit van: (1) Afval is voedsel, (2) Benut de zon, en (3) Respecteer diversiteit.

Los hiervan moet er ook een onderscheid gemaakt worden tussen een eco-efficiënte duurzaamheidsaanpak en een eco-effectieve duurzaamheidsaanpak. Met de eco-efficiënte benadering kan het gebruik worden geminimaliseerd, maar het gebruik kan nooit worden geëlimineerd. Eco-effectiviteit is gebaseerd op een cyclische benadering waarbij de gebruikte materialen op een zodanige wijze worden toegepast in nieuwe producten, processen en objecten, dat ze voor 100% weer kunnen worden hergebruikt of gerecycled en waarbij de energie voor alle activiteiten hernieuwbare energie moet zijn. Met eco-effectiviteit ontstaan geen nadelige effecten op het gebied van duurzaamheid. Het is meer een benadering vanuit de Triple-E: Economy, Ecology en Equity. Het gaat om het creëren van meerwaarde. Hoe kunnen we een positieve footprint achterlaten in plaats van de negatieve footprint minder slecht te maken. Waar People, Planet en Profit hand in hand met elkaar gaan en die ook nog eens zorgen voor een gezonde, prettige en veilige omgeving.

“De huidige duurzaamheid leidt niet tot circulaire economie, maar circulaire economie leidt wel tot duurzaamheid.”

Het begint met je ambitie en doelstelling die effectief moet zijn, waarna je kijkt hoe we ze efficiënt in gaan zetten. Wat we anders creëren als we dat niet doen, is dat we iets verkeerd heel efficiënt doen en uiteindelijk perfect verkeerd maken.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Wat we doen is dat we een proces beginnen met het creëren van een gezamenlijk commitment in samenspraak met alle betrokken stakeholders. Vervolgens gebruiken we de ambitie als vertrekpunt en proberen we deze om te zetten in bepaalde thema's. Als mogelijke thema's kan worden gedacht aan: (1) Energie, (2) Materialen, (3) Luchtkwaliteit, (4) Groen inzetten, (5) Gezondheid en (6) Water.

De ervaring leert dat 3 tot 5 thema's wenselijk zijn, anders verliezen mensen energie en focus. Die thema's gaan we vervolgens concretiseren in meetbare doelstellingen (KPI's) en met behulp van groeimodellen zetten we het in tijd weg. Zo kunnen we ook tijdens gebruik en ontwerp kijken wat de status is t.o.v. de vooraf vastgelegde doelstellingen.

a. Dus C2C is niet alleen certificering, het is ook procesbegeleiding?

Het is absoluut niet alleen certificering. Certificering is een onderdeel van de hele benadering en het is een procesinnovatie daarin. Dus wij zien C2C ook als een innovatief & economische principe. Alleen als het om materialen gaat, passen we bij voorkeur het C2C-certificaat toe, of gelijkwaardige producten.

3. *Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?*

Op gebouwniveau is er gewoonweg niet de behoefte, ook ervaren met mijn eigen ervaring/onderzoek. Alleen gelet op het BREEAM-label zie je wel steeds meer dat circulariteit een plekje begint te krijgen, maar nog steeds redelijk beperkt. Daarom ook dat we het proces zo aanpakken zoals het in antwoord 2 is geschetst. De reden waarom er geen behoefte is, is omdat het gaat om innovatie en innovatie betekent ook dat er een groeiproces is van continue kwaliteitsverbetering.

- a. *Zou het dan wenselijk zijn om bepaalde “regels / eisen” op te stellen die te incorporeren in een BREEAM-label?*

Het nadeel is dat BREEAM bekend staat als een soort van checklist, waar eigenlijk de vraag gestuurd moet worden op prestatie en prestatie-eisen. Ik denk dat het een toegevoegde waarde kan hebben dat er, vanuit het proces, een juiste mindset gecreëerd wordt en dat vanuit daar de goede vragen worden gesteld.

4. *Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?*

Vanuit de C2C product certificering zijn de volgende indicatoren opgenomen:

Material Health; toxiciteit & chemicaliën in 100ppm d.m.v. een banned list;

Material reutilization; kringlopen, hergebruikte materialen, mogelijkheid tot toekomstig hergebruik en borging van dit toekomstig hergebruik;

Renewable Energy; hernieuwbare

Water;

Sociale aspecten.

Bovenop die vijf hanteren we ook nog wel andere uitgangspunten. Bijvoorbeeld op gezondheid, heeft de vloerbedekking een toegevoegde waarde aan de luchtkwaliteit. Door het holistische van de circulaire economie moet je verder kijken dan alleen het product, ook het product in relatie met het gebruik is essentieel.

Wat we nu kunnen is heel goed kijken naar materialen die we nu gebruiken, maar sluiten die aan bij de criteria van de circulaire aanpak. Het doel is niet om zo veel mogelijk materialen her te gebruiken, maar juist ook heel goed kijken naar wat we hergebruiken en wat we inzetten. Daarnaast moeten we kijken naar de kringloop, hoe lang gaat het product mee, wat is de gebruiksduur, wat is de levensduur, welke kringloop moet ik in belanden technologische of biologische en zijn er daar al afspraken over te maken om te garanderen dat de loops ook gaan ontstaan.

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Ik kan me goed voorstellen dat bedrijven concurrentiegevoelige informatie hebben die ze niet graag prijsgeven. Over het algemeen denk ik dat open source of open innovatie wel nodig is om de transitie mogelijk te maken. Op dit moment gebeurt het ook al dat een onafhankelijke partij, de general assessors, producten beoordeeld. Dit is voor mij voldoende

garantie dat het product goed is. Daarnaast zijn materiaalpaspoorten natuurlijk wel de toekomst. Hiermee weten eigenaren gewoonweg wat ze bezitten.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Er ligt een enorme kans om circulariteit te verankeren binnen de selectie- en gunningscriteria, binnen je inkoopvoorwaarden en binnen de vraag die je gaat stellen aan de markt. Mijn overtuiging is dat al je de goede vraag stelt er een balletje gaat rollen.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Wet- en regelgeving zie ik niet als een barrière, daar moeten we gewoon aan voldoen. We moeten altijd voldoen aan de project gerelateerde tijd, kosten en kwaliteit. Binnen deze kaders kunnen we duurzaamheid en circulariteit een maximale plek geven. Wet- en regelgeving is er namelijk ook om een reden en daarom zie ik het als een kans.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Het is niet zo dat producten met een C2C-certificering duurder zijn dan producten zonder een certificering. Er wordt binnen een budget gekeken naar de maximaal haalbare kwaliteit.

Typische circulaire vragen: (1) Ga je nog steeds de grondstoffen kopen of ga je alleen de dienst gebruiken?, (2) Van bezit naar gebruik? (3) Moet je hiervoor andere financieringsconstructies bedenken, bijv. lease, huur/koop of restwaarde verrekening.

De financieringsconstructies moeten alleen niet een doel op zich gaan worden, maar een middel om cirkels makkelijker rond kunnen maken. Het principe van andere financieringsconstructies vind z'n oorsprong in het feit dat consumenten grondstoffen niet willen hebben, maar het dat grondstoffen voor een producent veel belangrijker zijn. De producent kan namelijk in de toekomst ervoor zorgen dat grondstoffen op een hoogwaardige manier kunnen worden hergebruikt.

Expert Interview Saskia Oranje – DOOR Architects

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Dat we dusdanig met grondstoffen omgaan, zoals we dat doen met goud, en de materialen dermate waardevol vinden dat hergebruik aantrekkelijk wordt.

Als dit het geval is en de waarde kan zo worden gewaardeerd dat het interessant is om het er te gebruiken, dan ontstaat er een economie die circulair is ingericht.

Echter, circulair is een enorm verwarrende term. Het suggereert namelijk een gesloten cirkel, terwijl dit juist niet het systeem is waarop het werkt. Een gesloten cirkel is immers alleen waar op het niveau van de aarde. Als producten bijvoorbeeld volledig circulair zijn ingericht en het ontwerp is dusdanig dat het ook weer teruggebracht kan worden naar de originele grondstoffen, dan nog kan het zijn dat producenten failliet gaan en de cirkel doorbroken wordt. Het moet juist gaan om een open en robuust systeem, maar wel met het effect dat we als samenleving de waarde van materialen de moeite waard vinden om deze circulair te gebruiken.

Volgens mij is het niet alleen belangrijk dat we de materialen in een circulaire economie centraal stellen, maar dat ook de mens centraal wordt gesteld. De mens is namelijk de gebruiker van deze materialen en zij moeten ervoor zorgen dat we over 300 jaar nog steeds die materialen op een goede manier kunnen gebruiken.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

In onze organisatie, vanwege de huidige capaciteit, gebruiken we geen KPI's om dit te meten. Wat wij doen is met de kennis die we hebben ons maximaal in zetten in al onze projecten om circulariteit zo ver mogelijk door te voeren. Typerend voor ons als organisatie, is dat wij ook daadwerkelijk de sociale kant voorttrekken in onze projecten.

Bij renovaties in woningbouwprojecten liggen namelijk enorm veel kansen op een sociaal vlak, waarin we bezig zijn met mensen, fysiek en mentaal. Daarin is het niet wenselijk om enorm veel technische informatie uit te wisselen, maar veel meer het hergebruik op kleine schaal tot stand te brengen. Het is belangrijk dat binnen een circulaire economie, gezamenlijke belangen en verantwoordelijke heden op elkaar worden afgestemd zonder dat er misbruik gemaakt wordt van een ander.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Als je heel abstract begint, is het gebouw een combinatie van materialen en ruimtes, ofwel het vaste en de lucht ertussen. Hieruit zou je kunnen concluderen dat het voor een gebouwniveau nogal moeilijk en ontastbaar wordt. Circulariteit op gebouwniveau bevat criteria zoals: flexibiliteit van een ruimte, leeftijd van het gebouw, toekomstig hergebruik, locatie, onderhoud, etc. Dit zegt vooral iets over hoe ik het gebouw heb gemaakt zodat de materialen die erin zitten zo lang mogelijk mee kunnen. Vervolgens ga je kijken naar componenten en producten. Kan ik deze allereerst als elementen hergebruiken of moet ik ze terugbrengen naar originele grondstoffen. Het is een totaal plaatje, het werk allemaal samen om een circulair systeem te zijn. Het belangrijk om onderscheidt te maken tussen de biologische en technologische cyclus. Zorg dat je de combinatie van kringlopen goed gebruikt!

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Om te beginnen is het belangrijk om te kijken wat de relaties zijn tussen de verschillende bouwlagen. Wanneer wil je daar iets aan doen en hoe toegankelijk / losmaakbaar is dit bouwdeel.

Gezien de technisch inhoudelijk kant van de circulaire economie zijn criteria zoals recycling, refurbishing, remanufacturing en reusing erg belangrijk om te definiëren. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met chemische en toxische materialen.

Bij economisch / organisatorisch criteria is de borging een belangrijke factor: is het een gesloten systeem, en zo ja is dat voor één of meerdere partijen?

Al deze criteria kunnen teniet gedaan worden als in de keten de samenwerking niet daadwerkelijk zo georganiseerd is. Dus heb ik niet alleen een materiaal dat herbruikbaar is, maar heb ik er ook grip op dat dit na de gebruiksperiode weer ergens opnieuw gebruikt kan worden.

Het is belangrijk om ook het model met de criteria in tijd mee te laten groeien vanaf dag één. Als je het namelijk tijd gerelateerd maakt, kun je ook op bepaalde ijkpunten waardes gaan vergelijken en groei modellen produceren. Dus de tijdseenheden spelen een belangrijke rol in de circulaire economie. Wegingsfactoren kunnen worden gekoppeld aan de thema's die belangrijk zijn voor een bepaalde organisatie. In je model kun je dan misschien een kolom plaatsen waarin je als organisatie wegingsfactoren kunt toekennen.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Het zou gewoon voor iedereen toegankelijk moeten zijn. Alleen is het de vraag of een opdrachtgever het voor zijn gebouw moet gaan vragen of dat een producent het bij zijn product moet gaan leveren. Het zou er juist naar toe moeten dat producenten aan gaan geven wat ze in hun producten stoppen en dat het ook controleerbaar is.

Door de openheid en transparantie zou een toenemende vraag moeten ontstaan voor deze producenten / producten. Als een opdrachtgever het op dit moment zou gaan vragen krijgt hij gewoon onzin, de markt is er nog niet klaar voor. Wel denk ik dat de opdrachtgever naar bepaalde data moet gaan vragen, maar de opdrachtgever moet wel goed beseffen dat de gevraagde data ook daadwerkelijk meerwaarde biedt voor haar organisatie.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Op het moment dat een uitvraag niet goed is, ook al halen we daarmee de beste labels en certificaten, dan hoeft het nog niet de beste integrale afweging te zijn. Elke meetmethodiek is in dat opzicht kwetsbaar. Is het dan nog wel dat we circulair moeten inkopen (bezit) of moeten we er juist naar toe om 'alleen maar' diensten in te kopen? Mogelijkerwijs ligt het antwoord ook daar in het midden, een soort combinatie van gebruik en bezit. Deze afwegingen zijn belangrijk om binnen de circulaire economie grote stappen te kunnen maken. Helaas is hier nog heel veel onduidelijk over.

Een andere manier van uitvragen kan ook zijn in de vorm van een prestatiebewering. Dit kan inhouden dat er een vraag gesteld wordt betreffende de prestatie die ook werkelijk geleverd

wordt, hoe makkelijk is dit later nog te begrijpen of kan over 10 jaar mijn beheerder dit nog steeds doen.

Dit soort uitvragen zullen meer bevatten dan een materialenpaspoort, welke tot op de milligram uitgezocht kan worden zonder dat organisaties weten hoe hier mee om te gaan.

Dus vraag nu om iets wat je blijft begrijpen! Het heeft geen nut om circulair in te kopen als je er vervolgens niet weet wat ermee te doen.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Grootste barrière is dat het materiaal nog niet voldoende waard om het her te gaan gebruiken. Er moet een proces opgang komende waarbij we gaan denken dat het wel nuttig is om het materiaal te gaan hergebruiken.

Expert Interview Martine Verhoeven & Thijs Huijsmans – Royal HaskoningDHV

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Een circulaire economie betreft een financieel proces met daarin een balans in vraag en aanbod in termen van waardestromen zoals financieel, sociaal, gebruik, flora & fauna. Ook betekent circulaire economie het sluiten van ketens met behoud van grondstoffen en materialen (C2C). De circulaire economie is de katalysator om de filosofie van C2C uit te kunnen dragen. Dit betreft financiële modellen die het daadwerkelijk in praktijk toepasbaar maken en die ervoor zorgen dat niet de mens maar de aarde centraal staat.

Het is alleen jammer dat op dit moment de aarde als stakeholder van de circulaire economie geen zeggenschap heeft en dat de mens niet bekwaam is om in te schatten wat voor effect is over een aantal jaar.

De circulaire economie streeft ernaar om 100% cirkels te sluiten, alleen zal dat niet mogelijk zijn. Alleen het streven ernaar is al een enorm goed begin. Wat belangrijk is om te beseffen is dat: *“De aarde onderdeel moet worden van ons systeem en dat we moeten streven naar maximaal waardebehoud van grondstoffen.”*

a. Is C2C dan ook datgene wat we na moet streven?

Niet het woord C2C, maar het inspireert wel iedereen om verder te kijken dan de mens.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Primair vanuit de organisatie hebben wij allereerst onderkend dat wij als adviseur een andere rol moeten gaan innemen en dat de huidige businessmodellen ook bij ons moeten worden aangepast. Hierin moeten we waarden op een andere manier erkennen en hier past bijvoorbeeld uurtje-factuur niet meer bij. In deze businessmodellen moeten wij als ingenieurs, adviseurs en ontwerpers meer en meer verantwoordelijkheden naar ons toe trekken om de waardestromen ook daadwerkelijk aan te kunnen tonen. De verplaatsing van verantwoordelijkheden heeft ook direct invloed op de betalingsmethodieken.

Op het moment dat de natuur een stem gaat krijgen (zie antwoord 1), zal de waardering voor technische adviezen toenemen in vergelijking met de juridische en financiële adviezen. Echter zal de natuur pas een stem krijgen op het moment dat de schaarste hoog genoeg is.

Het is eenvoudiger om circulariteit toe te passen op nieuwbouw projecten, maar we zijn op dit moment ook bezig om in de bestaande voorraad circulariteit in te passen. Op het gebied van assetmanagement spreken we op dit moment al KPI's af met de asset owners, waaraan we energie en circulariteit meer en meer toevoegen.

Het werkelijk toetsen van circulaire economie kun je pas doen als kringlopen worden gesloten en dat gebouwen gebouwd zijn, in gebruik genomen zijn en uiteindelijk gesloopt zijn. Vooraf kun je, net zoals duurzaamheid, niet voorspellen wat er in de toekomst gaat gebeuren. Het is wel zo dat de circulaire economie grondstoffenpaspoorten en nieuwe businessmodellen omarmt om meer grip te behouden op dat wat er in de toekomst zal gaan gebeuren. Dit kan dan adaptief zijn op basis van evolutie en lerend vermogen.

a. Denken jullie ook dat we veel in moeten zetten op proces?

Om circulaire economie in de kringloop te houden betreft dat een periode waarin iets gebruikt wordt en vervolgens iets vrijkomt. Daarom zou een gebouw, wat nu als een project gezien wordt (projectontwerpfase, projectuitvoeringsfase, projectonderhoudsfase en initiatieffase), als één continu proces gezien moeten worden.

b. Zijn er niet te veel stakeholders betrokken bij een bouwproject?

De oorzaak hiervan is dat gebouwen geïnterpreteerd zijn als een onderdeel van de gebiedsontwikkeling. Een gebouw is een stukje stadsontwikkeling, met alle eisen en politieke, culturele en historische bemoeienissen. Wenselijk zou zijn dat we nieuwe gebouwen gebruiken als product. Een product dat snel is aan te passen, commercieel kan schakelen en gebouwd wordt met minder invloeden vanuit de politiek en wet- en regelgeving. Dit past namelijk beter in de tijd waarin we morgen een ander gebouw willen dan vandaag. Daarin is het wel belangrijk dat de aanpasbaarheid van het gebouw gerealiseerd kan worden.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Om circulariteit te kunnen beoordelen moet een gebouw aanpasbaar zijn. Een gebouw bestaat uit verschillende lagen met verschillende levensduren. Hierin hebben we Social & Surrounding, met daartussen Site & Stuff. Deze kunnen worden gezien als de interface van gebouw naar productontwikkeling en de interface naar gebiedsontwikkeling. Vervolgens heb je vier kernlagen: Structure, Skin, Services & Space Plan. Dit zijn de lagen waar we als bouwsector goed naar moeten kijken. Belangrijk voor deze lagen is om de systematiek van iedere laag te bepalen, dit gezien het feit dat er een input, gebruik & output is. Het zou wenselijk zijn om voor iedere bouwlaag deze systematische handeling te kunnen bepalen. Op dat moment is het een kwestie van het integreren van systemen. Als je dat op systeem (voorlopig ontwerp, VO), componenten (definitief ontwerp, DO), element (technisch ontwerp, TO) en de toekomst ook materiaal niveau, dan moet je in elk van die fases iets kunnen meten.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

De prestaties tussen elementen, componenten en systemen zijn nog onduidelijk. Het is duidelijk dat we bij het systeem moeten beginnen en daarna kun je, afhankelijk van het ambitieniveau van de opdrachtgever, op component- of elementniveau kijken. Het is heel makkelijk een gebouw los te halen in de vier kernlagen, maar dan heb je nog geen gebouw. Het zijn juist die interfaces die kritisch en cruciaal zijn om die aanpasbaarheid weer te geven. Het is alleen zaak om circulaire economie af te bakenen en niet door te schieten naar Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen. De uitdaging is om iets tijdloos te maken met tijdelijke elementen.

Als het gaat om een beoordelingstechniek moeten we denken in structuren / systemen / schalen, want dit helpt ons om gebouwen aanpasbaar te maken.

Daarnaast moeten we ook heel goed kijken naar de gebruikerskwaliteiten en belevingswaarde als kernwaardes, anders wordt het alleen een technisch verhaal en niet zozeer dat de mens centraal staat. Gebruikswaarden zijn dan bijvoorbeeld; flexibiliteit, productiviteit en comfort.

Uitgangspunt voor de circulaire economie moet zijn dat voor iedere kg grondstof de maximale prestatie eraan gehangen wordt.

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Transparantie is gewoon nodig, want we leven in een systeem dat dermate complex is dat we informatie nodig hebben om überhaupt kringlopen te kunnen sluiten.

Alleen denk ik ook dat we hierin gematigd moeten zijn, want 100% transparantie is ook niet wenselijk. Het gaat met name over het leveren van prestaties en het transparant aantonen van deze prestaties.

Belangrijk is dat je het simpel houdt en dat je de balans houdt tussen technische- en gebruikswaarde.

6. *Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?*

Meer denken in prestatie dan in producten. Alleen kan dit allen niet los gezien worden van het proces. Het is belangrijk om met elkaar om tafel te gaan zitten en te kijken wat ieders businessmodel en belangen zijn en hoe we die kunnen verenigen. Dan kunnen de prestaties onderdeel zijn van hoe je die vereniging inricht.

7. *Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?*

Het is een combinatie van barrières. Tijd is hierin een belangrijke factor. Daarnaast is arbeid (wet- en regelgeving) enorm kostbaar en dingen die moeilijk uit elkaar te halen zijn, laten we op dit moment vastzitten. Dus dat betekent dat we serieuze gesprekken moeten gaan voeren over onze huidige inrichting van de financiële modellen, welke natuurlijk onderdeel is van de circulaire economie.

8. *Wat wil je zelf nog kwijt?*

Het is wel positief dat we na alle industrialisatie die we hebben gehad, dat we weer een beetje de menselijke kant opgaan m.b.t. bijvoorbeeld gezondheidsaspecten.

Expert Interview Karin Verploegen – Gispen

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Bijdrage leveren aan een volhoudbare economie waarin alle stakeholders samenwerken om uitputting van grondstoffen te beperken en waardebehoud na te streven. Dit is een definitie waarbij eenieder zich goed bij voelt, alleen zegt dit niets over hoe je dit moet doen.

Om te beginnen is het belangrijk om te kijken naar de productdefinitie (technisch) en erachter te komen wanneer nu iets daadwerkelijk circulair is. Vervolgens moeten de “innovatieve” businessmodellen (financieel) circulariteit voorstuwten, dat kan dan in de vorm van restwaardes of andere product-service constructies. Het laatste element, welke een belangrijk element is voor de circulaire economie, het proces. Het is belangrijk om te kijken naar het ‘systeem’ en hierin de ketensamenwerking te optimaliseren met alle betrokken stakeholders.

Samenvattend betekent dit dat zowel het proces, als financieel als technisch hand in hand moeten gaan om de circulaire economie vorm te geven.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Gezien vanuit de gegeven definitie van de circulaire economie (zie antwoord vraag 1), is het nog steeds niet duidelijk hoe we als organisatie stappen kunnen zetten richting een meer circulaire economie. Het is dus niet duidelijk hoe nu de uitputting van grondstoffen te beperken het hoogst mogelijke waardebehoud na te streven. Als producent kunnen we het heel specifiek aan ons product linken. Door enorm in te zetten op het sluiten van kringlopen / cirkels en daardoor het waardebehoud te maximaliseren, proberen we de uitgangspunten van de circulaire economie zo goed mogelijk in te vullen. Dit proberen wij te realiseren door middel van het zo optimaal mogelijk toepassen van onderhoud (maintenance), hergebruik (re-use), herstel (repair), upgrade (remanufacture) & recycling op onze producten.

Het is belangrijk dat het proces als uitgangspunt wordt genomen en dat je de ketenpartners betreft in de doelstelling en ambities die gesteld worden. Door een wat liberalere aanpak te hanteren gedurende het proces kun je het maximale halen uit de betrokken ketenpartners en aan te sluiten waar zij dat mogelijk achten.

Het is dus niet aan te bevelen om op 3 of 4 criteria aan te sturen, want dan is mijn vraag: “Haal je dan alles uit je ketenpartners?”

a. Hoe krijg je het in een proces voor elkaar om samenwerking op te zetten wanneer de doelstelling niet per definitie voor alle stakeholders gelijk is?

Door de holistische aanpak van de circulaire economie is het lastig om allen dezelfde uitgangscriteria na te streven. Op het moment dat je bijvoorbeeld heel erg focust bent op grondstoffen, dan gaan ketenpartners alleen uit van materialen. In het vervolg wordt dan niet meer gedacht aan criteria zoals demontabiliteit en dermate afmetingen dat hergebruik relevant is en ontwerpprincipes voor de toekomst. Daarnaast heb je ook nog afdelingen, zoals logistiek en productieprocessen, die ook nog mee moeten wegen als het gaat om de doelstelling grondstoffen. De vraag blijft dan: “Hoe verhoudt zich dit tot elkaar?”

Hiervoor hebben wij, samen met TNO, een LCA berekening gemaakt. Een LCA berekening gaat normaliter uit van een lineair proces, maar in samenwerking met TNO hebben wij circulariteit als uitgangspunt genomen. Alleen is dit nog steeds niet afdoende omdat dit alleen iets zegt over het materiaal, productieproces en logistiek. Daarom ontwikkelen we ook nog een Framework ten aanzien van productontwerp. Om juist die gewogenheid erin te

krijgen moet er voorkomen worden dat er een te geconcentreerde focus komt op een bepaald criteria. C2C is een fantastisch voorbeeld wat betreft een fantastische ontwerpfilosofie, waarmee we heel veel kunnen bereiken. Alleen op het moment dat het product volledig te scheiden is naar zijn originele componenten en ook nog uit een materiaal bestaat wat niet degenereert bij recycling dan sla je een heel aantal opties over, die mogelijk efficiënter zijn (herstel, upgrade, remanufacturing, etc.). Daarnaast, als de consument die na gebruik niet zorgvuldig omgaan met het product, heb je niets van alle goede ambities bereikt.

Het grote voordeel van het ontwikkelde Framework is dat we producten met elkaar kunnen vergelijken op basis van een score. Door een ambitieniveau en doelstellingen te vertalen in de KPI's, kunnen we een gewogen score berekenen. Naast het vergelijken kunnen we dan ook vooruitgang monitoren.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Het is wenselijk om dit op alle niveaus te beoordelen. Hiermee zullen wel verschillende criteria zijn gemoeid maar het zegt wel iets over het geheel. Probeer wel een checklist te voorkomen, omdat het innovatie en creativiteit van mensen en organisaties beperkt.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Het is belangrijk te kijken naar de huidige voorraad en naar het toekomstig gebruik. Dit betekent dat we het maximale moeten halen uit de huidige producten en zorgen dat onze 'nieuwe' producten kunnen upgraden of, met een makkelijke toevoeging, remanufacturing mogelijk kunnen maken. Om dit mogelijk te maken hanteren we in ons ontwerp criteria als:

Functionaliteit, modules (componenten) behoeven tenminste 2 functies;

Demontabiliteit & Modulariteit, wat zorgt dat we onze modules (componenten) eenvoudige uit elkaar kunnen halen;

Redesignable & Aanpasbaarheid, onderdelen eenvoudig te vervangen en hergebruik mogelijk te maken;

Transport & Energie & Water; in het proces van delving tot montage.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Dat moet wat mij betreft gewoon open en transparant zijn. Transparantie tot op een zekere hoogte want het moet niet zo zijn dat opdrachtgevers details willen hebben van het productieproces. Een materialen- / grondstoffenpaspoort kan dit faciliteren om producten overzichtelijk uiteen te zetten. Opdrachtgevers hebben het recht te weten wat er in hun product zit. Al is dit slechts een element wat kan sturen op betere inzet en gebruik van deze producten en daarna pas grondstoffen.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Het is belangrijk dat een opdrachtgever de juiste vragen stellen gedurende een aanbestedingsproces. Om een goede vraag te formuleren kan een opdrachtgever het best

vooraf een dialoog met de markt voeren. Dit betekent dat opdrachtgevers in gesprek gaan met producenten om hun expertise en kennis te delen. Het zal een intensievere inzet voorafgaand aan het aanbestedingsproces vergen, maar het resulteert wel in een betere vraag met daarna beter inschrijvingen. Op die manier vragen opdrachtgevers tijdens een aanbestedingsproces de criteria / prestatie-indicatoren waaraan marktpartijen ook kunnen voldoen. Hiermee voorkom je verkeerde uitsluitingen of verkeerde inschrijvingen met een negatieve impact tot gevolg.

Ook is het belangrijk dat opdrachtgevers met een heldere visie en ambities hun aanbestedingsproces ingaan. Dit betekent dat ze vooraf helder hebben wat precies hun doel is en wat ze uiteindelijk, in een bepaalde tijdsperiode, willen bereiken.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

De financiën zijn op dit moment echt nog wel een barrière om circulariteit te realiseren. De traditionele businessmodellen zijn zo verweven in bedrijven en organisaties, dat het anders financieren een obstakel is om circulariteit ook daadwerkelijk door te voeren. Er moet meer gekeken gaan worden naar de Total Cost of Ownership (TCO) in plaats van alleen de initiële investering. Daarbij wel de kanttekening geplaatst, dat de financieringsmodellen niet een doel op zich zelf zijn, maar een middel om circulariteit ook daadwerkelijk uit te voeren.

Niet alleen bij financiën zitten dergelijke hordes, ook in de wet- en regelgeving zitten tegenwerkende factoren. Als je bijvoorbeeld kijkt naar de belastingen die worden geheven op arbeid (hoog) en materiaal (laag), zou het voor de circulaire economie enorm helpen als dit omgedraaid zou worden. Hierdoor bespoedig je hergebruik/opknappen, omdat arbeid daarin naar ratio een hoge factor betreft.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Met financiële incentives moet goed gekeken worden, in overleg met de stakeholder, hoe dit op een goede manier in hun primaire proces meegenomen kan worden. Als we bijvoorbeeld praten over een financiële restwaarde aan het eind van de gebruiksperiode, moet ervoor gezorgd worden dat het gebruikersgedrag invloed heeft op deze restwaarde. Wat je anders krijgt is dat de gebruikers niet verantwoord omgaan met de producten die je als producent gegarandeerd terug gaat nemen. Dit betekent dus dat er een win-win situatie moet worden gecreëerd waarin zowel de gebruiker (omgang met producten) als de producent (terugname garantie) beide voordelen behalen uit deze constructie en deze voordelen/winst ook samen delen.

Dit is een voorbeeld van een goede incentive, anders spreek je meer van een uitgestelde korting.

Expert Interview Onno Dwars – VolkerWessels Vastgoed

1. Wat is jouw definitie van de CE?

De circulaire economie is voor mij een economie die alle gewonnen grondstoffen bruikbaar of herbruikbaar maakt voor een volgend gebruik. Dat betekent niet alleen voor grondstoffen, maar ook voor energie en natuur. Niets zal in zijn waarde verloren gaan voor volgende generaties.

a. Betekent dit dan 100% waardebehoud?

Nee waarde kun je vertalen in geld en circulariteit gaat niet over geld. Circulariteit gaat over natuurkundige waarde dus dat de materie op zichzelf niet verloren gaat.

b. Houd circulaire economie zich dan wel bezig met waardecreatie?

Met de circulaire economie gaat het niet over waardecreatie. Waardecreatie is afhankelijk van tijd en afhankelijk van schaarste, waarde heeft heel veel te maken met tijdelijke systemen. Over tijdelijke systemen gaat circulaire economie nu juist niet. Circulaire economie gaat over oneindige tijd, van het heden tot de toekomst.

Een mooi kunstwerk bijvoorbeeld, kan heel waardevol zijn in geld en beleving, maar wil niet per definitie zeggen dat het circulair is.

Waarde is tijdsafhankelijk.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Energie: de energietransitie is een belangrijk onderdeel waarbij we kijken naar hernieuwbare energiestromen, met bij voorkeur een onttrekking uit oneindige energiestromen o.a. zon, wind en aardwarmte. Hoe kunnen we ervoor zorgen dat gebouwen als systemen geen energie meer gebruiken, maar juist energie leveren.

Grondstoffen: als je kijkt naar de C2C filosofie heb je twee stromingen, zowel de technische als biologische kringlopen. Vanuit onze organisatie kijken wij ook vanuit beide kringlopen hoe wij onze impact op het milieu dusdanig kunnen verkleinen en grondstoffen gaan gebruiken die voldoen aan de eisen van de circulaire economie. Dit betekent bijvoorbeeld in de technische kringloop dat we bestaande grondstoffen in gebouwen gaan hergebruiken en alle mogelijk manieren inzetten om afval altijd weer tot grondstof te definiëren als materie en dat het niet de verbrandingsoven in hoeft. Daarnaast kijken we ook naar de biobased-economie, waarmee we woningen bouwen die gebaseerd zijn op grondstoffen die hernieuwbaar zijn tijdens de levensduur of gebruiksduur van het product.

a. Hoe proberen jullie materialen in de technische cirkel te waarborgen?

Wij proberen zoveel mogelijk de herkomst van grondstoffen te achterhalen. Daarnaast hebben we ook met verschillende leveranciers afgesproken om na de gebruiksduur hun producten weer terug te nemen en in te zetten als nieuwe grondstof. Ook hebben we de materialen die in het oude gebouw zaten eruit gehaald, naar een producent gebracht en bij deze producent ook onze nieuwe materialen afgenomen.

b. Wat is de driver voor jullie geweest om circulariteit mee te nemen?

Het begon bij de uitvraag die Alliander stelde aan de markt en waaraan wij kritische prestatie-indicatoren hebben gehangen. We hebben getracht om op verschillende manieren

ketens te sluiten en circulariteit in te zetten. In dit verhaal heeft ook de aannemer een groot gedeelte voor zijn rekening genomen.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Je zult dit uiteindelijk op alle niveaus moeten gaan bekijken. Het namelijk belangrijk dat op een grondstoffenniveau de herkomst van de materialen bekend is. Om te komen van een gebouwniveau tot een materiaalniveau hanteren wij zelf ook een ladder:

Stap 1: Hergebruik van het bestaande gebouw in haar bestaande functie;

dit is de meest optimale scenario, alleen als het niet meer voldoet aan de duurzaamheidsambities of nieuwe vraagstukken van bijvoorbeeld nieuwe werkmethodes dan;

Stap 2: Hergebruik van het bestaande gebouw in een nieuwe functie;

hierbij kan dan gedacht worden aan bijvoorbeeld het hergebruiken van het betonskelet, of het demonteren van een staalconstructie om het vervolgens weer ergens opnieuw te plaatsen. Dat betekent wel dat je nieuwe grondstoffen aanbrengt om het weer als een gebouw te laten fungeren. Dit zou dan gedaan moeten worden met bestaande gewonnen grondstoffen of biologische grondstoffen. Als ook dat niet meer kan dan;

Stap 3: Nieuwe grondstoffen winnen uit bestaande bronnen;

dan moet je het zo doen dat het product in het vervolg wel geborgd blijft. Dat betekent dat de samenstelling wel zodanig moet zijn dat het mogelijk blijft om de grondstoffen in de toekomst nog te gaan gebruiken.

a. Hoe hebben jullie deze borging verzekerd?

Heel veel ketens in de sector zijn al geborgd. Het is daarom de kunst om de cirkels te zoeken die al gesloten zijn en deze dan optimaal te benutten in het proces. Als alle partijen al weten waar die cirkels zich bevinden en daar beter gebruik van kunnen maken, dan is het mogelijk om een veel grotere slag te slaan. Als gevolg daarvan zullen ook nieuwe cirkels ontstaan.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

In het project Alliander hebben wij met een recyclingpercentage van materialen gerekend, voortgekomen uit m³ & kg. In dit traject is zowel input als output berekend van de aanwezige materiaalstromen. Als je namelijk kijkt naar de filosofie van C2C in de technische cirkel, mag je producten winnen uit de natuur indien je ze borgt voor de toekomst. Hierdoor hebben we dus ook nieuwe grondstoffen mee genomen in het recyclingpercentage.

De losmaakbaarheid is in het ontwerp meegenomen, want je kunt circulariteit alleen maar doorvoeren als het ontwerp daadwerkelijk gedelamineerd kan worden en daar uiteindelijk ook bedrijven aan kunt koppelen.

5. *Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?*

Dit moet absoluut open source zijn. Op het moment dat je de kennis deelt en iemand de materie heeft begrepen, ben jij als bedrijf altijd alweer een stap verder dan de kennis waarop die andere zich baseert. Dus je loopt altijd een stapje voor op diegene die het na probeert te maken. Er is dus geen gevaar waarbij iemand je proces zou kunnen overnemen.

a. *Denk je dat we het op basis van vertrouwen kunnen doen dat wat zij opgeven er ook daadwerkelijk inzit?*

Ja, vandaag de dag zou dat al een winst zijn. Het is belangrijk dat ze allereerst aan gaan geven wat er precies in hun product zit en laten we ons later druk maken over de juistheid en billijkheid.

6. *Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?*

Uitvragen helpen bij het veranderen van de markt. Op het moment dat de vraag dominant wordt, zoals nu naar energie neutrale woningen, komt er vanzelf een oplossing. Dus ik denk dat het heel belangrijk is dat de vraag gaat veranderen.

a. *Zou je net zoals energieneutraliteit ook circulariteit meetbaar moeten maken?*

Dat zou je kunnen doen, maar voordat je het weet haal je een heel legioen aan adviseurs in het leven. Met een grondstoffenpaspoort kun je al veel ondervangen en in een later stadium bedrijven laten bieden op de grondstoffen die er daadwerkelijk in zitten.

7. *Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?*

Inzicht is het belangrijkste om een perspectief in handen te hebben. Op het moment dat er geen inzicht is kun je niet op de juiste wijze handelen en kun je mogelijke overwegingen niet op de juiste manieren afwegen. Inzicht krijgen in de impact van je proces, product of organisaties kunnen meer circulaire oplossingen tot gevolg hebben.

a. *Denk je dat andere eigendomsmodellen de circulaire economie ondersteunen?*

Het hoeft niet perse, maar het kan wel ondersteunend zijn. Met de bestaande economische modellen kun je al heel ver komen als je die met andere prikkels gaat stimuleren of veranderen.

Je hebt ook de Milieuprestatieberekening (MPG) van de overheid, als we in staat zijn het beter te kwantificeren zou dat ook enorm helpen. Aan deze MPG kunnen we dan eisen gaan stellen & bijvoorbeeld CO₂-beprijzing, welke op zijn beurt een stimulering zijn om circulair in te kopen.

Expert Interview Saman Mohammadi – Re-bron / TU Delft

1. Wat is jouw definitie van de CE?

De circulaire economie heeft tot vandaag de dag geen definities, geen maatlatten en geen wetenschappelijk onderbouwde theorie. Het is niet meer dan een concept.

Een definitie voor de Circulaire Economie in zijn meest banale vorm:

Een financieel gedreven milieu incentive

Daarnaast kun je vanuit heel veel verschillende invalshoeken definities geven voor de circulaire economie. Vanuit een technisch/materialistisch oogpunt is dat:

De mate van virgin materials in (input) en de mate van virgin materials out (output).

a. Zouden definities en maatlatten noodzakelijk zijn om de circulaire economie te laten slagen?

Als je geen definities, geen maatlatten en geen theorie hebt, dan praat iedereen in het oneindige langs elkaar heen en heeft iedereen gelijk vanuit zijn of haar standpunt.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

In de paper “Radical CE – for the Congress Going North for Sustainability London” hebben Niel Slob en ikzelf het enigste verschil tussen de Circulaire Economie en alle voorafgaande theorieën beschreven. Dit verschil betreft het feit dat de circulaire economie een financiële omkadering heeft om het milieu afdoende te bereiken. Het financiële wordt dus als middel gebruikt om duurzaamheid te realiseren. Hoe deze financiële constructie is opgebouwd, huur/koop, terugkoop, lease, etc. maakt voor de circulaire economie niet uit. Daarin is het wel belangrijk dat er een financiële incentive zit die bedrijven dwingen om bij terugname het maximale uit het product te halen. Deze bedrijven worden dus financieel gedwongen om iets te doen aan hun businessmodel en om daadwerkelijk duurzaamheid te garanderen.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

In de zuivere circulaire economie is er geen sprake meer van een gebouwenmarkt. In de circulaire economie ga je proberen op grondstoffenniveau businessmodellen en juridische samenwerkingsverbanden te realiseren, maar dat betekent indirect ook dat de gebouwenmarkt komt te vervallen. De vastgoedmarkt zoals we die vandaag de dag kennen bestaat dan niet meer, je krijgt een losgoedmarkt.

a. Maar functionele circulariteit zit wel op gebouwniveau, hoe ga je hier dan mee om?

Ruimtelijk functioneel staat helemaal los van de circulaire economie. De schalen van bijvoorbeeld Steward Brand of John Habraken zijn meer gekoppeld aan ruimtelijk functioneel dan aan circulaire economie. Het is namelijk niet mogelijk om de schaalniveaus van ruimtelijk functioneel te vergelijken met de schaalniveaus van CE. Neem nu als voorbeeld CE gemeten in kilogrammen, wat kan ik ruimtelijk functioneel daarover meten. Ruimtelijk functioneel zegt namelijk iets over de draagstructuur en/of inbouwpakketten.

b. Maar ruimtelijk functioneel zegt toch wel iets over de circulariteit van gebouwen in het verlengen van de levensduur?

Allereerst CE meet niet op het niveau van gebouwen. Onderhoud en levensduurverlenging van een grondstof, die uiteindelijk op een afvalberg belandt, is alleen uitstel van executie. Een grondstof die vandaag tot een product wordt gemaakt en morgen wordt gerecycled in zijn zuivere vorm, virgin in en virgin out, is genoemd de circulaire economie. Een grondstof die tot een product wordt gemaakt en 100 jaar wordt hergebruikt en dan op een afvalbelt terecht komt is niet circulair.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Vanuit mijn definitie zit het echt in het financiële gebruiken om de maximale duurzaamheid eruit te halen. Door een incentive te gebruiken zal een bedrijf er alles aan willen doen om het maximale uit zijn product te halen. Dit is wat mij betreft het hoofdcriterium: *financiële incentive*. Daarnaast moet je wel criteria meenemen zoals: juridische (wet- en regelgeving), ruimtelijk functioneel (schaalniveaus), technisch (materiaal), maar ook esthetisch (architectuur).

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Wat maakt het voor een opdrachtgever uit? Vanuit mijn optiek, als er een restwaardecomponent in zit en die restwaardecomponent wordt daarna door een duurzaam slim businessmodel van een leverancier hergebruikt, dan hoef ik als opdrachtgever helemaal niks te weten over de producten. De circulaire economie gaat uit van het kopen van een dienst (gebruik / prestatie) en niet van het bezitten van producten. Vanuit een MVO oogpunt is dat anders, dan zou je wel graag willen weten wat er in het product zit.

Daarom is het belangrijk om de twee invalshoeken sterk te differentiëren:

Tot aan de bodem uitzoeken wat er in een product zit en wat er mee gebeurt (C2C / MVO denken) of;

Gebruik maken van de financiële incentive en rest volgt daar dan uit.

Mijn inziens is het C2C / MVO uitgangspunt nooit uit te zoeken en is het uiteindelijk ook te veel informatie voor een opdrachtgever.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Vele antwoorden zijn hier mogelijk. Je kunt het top-down bekijken of bottom-up. Als je het bekijkt vanuit een top-down approach komt het neer op wet- en regelgeving. Bijvoorbeeld het belasten van grondstoffen en niet van arbeid. Dan komt weer het woord, het belasten van grondstoffen zegt eigenlijk financieel gedreven incentive.

Vanuit organisaties is dat het aanpassen van businessmodellen, bottom-up approach.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Wet- en regelgeving is op dit moment de grootste barrière voor de circulaire economie (zie ook antwoord vraag 6).

Expert Interview Werner Loppies – Alumni TU Delft

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Zoals gedefinieerd in mijn afstudeeronderzoek 'Bouwen aan de Circulaire Economie': *"De circulaire economie is een economisch en industrieel systeem, ecologisch en economisch regeneratief van ontwerp, gericht op het maximaliseren van de waardebehoud van producten en grondstoffen en het minimaliseren van waardevernietiging met als doel de kwaliteit van leven en toegankelijkheid daarvan voor zoveel mogelijk mensen in stand te houden"*

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Waarde(creatie) wordt in traditionele business modellen vooral gerelateerd aan de waarde die het toevoegt voor de eindgebruikers. Voor een opdrachtgever die een nieuw kantoor laat bouwen kan je daarbij denken aan bijvoorbeeld 'het nieuwe werken', 'uitstraling', 'effectiviteit', 'aansluiting op de werkprocessen' etc. Circulaire Economie voegt hier een aantal lagen aan toe waaronder nieuwe samenwerkingsvormen, financieringsmethoden, maar met name de nadruk op materialen en grondstoffen. Waardecreatie zal in de Circulaire Economie ingaan op materiele en de daaraan gekoppelde financiële waarde van materialen in producten. Hoeveel is het product op $t=0$ waard? Hoe zorgt men ervoor dat die waarde stijgt, of in ieder geval niet daalt? Kunnen we met de toekomstige grondstoffen schaarste in het achterhoofd slim omgaan met de toekomstige restwaarde van het product? De KPI's die gebruikt worden zijn project- en dossierspecifiek .

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Binnen een vastgoedopgave waarin Circulaire Economie een rol gaat spelen dien je daar eigenlijk geen keuze in te maken. Op elke schaal is het belangrijk om te kijken hoe circulariteit een rol kan spelen, het een sluit het ander niet uit. Dat gezegd hebbende zijn er beoordelingsmethodieken (zoals Cradle to Cradle) die op materiaalniveau ingaan. De combinatie met het ontwikkelen van een bijpassend grondstoffenpaspoort is daarbij heel interessant. Op gebouwniveau kunnen bestaande beoordelingsmethodieken (Bijvoorbeeld LEED of BREEAM) aangepast worden aan Circulaire Economie of nieuwe worden ontwikkeld waarbinnen de beoordeling op kleinere schaalniveaus onder kunnen vallen.

Echter ben ik van mening dat we de beoordelingsmethodieken moeten gebruiken als handvatten om circulair te gaan bouwen: dus niet als doel maar als middel. Het gebruiken van dergelijke beoordelingsmethodieken (als zijnde afvinklijsten) kan namelijk ook innovatie en oplossingsmogelijkheden uitsluiten!

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Circulaire materialen

Samenstelling. De samenstelling van de geleverde producten is bekend tot op 100 ppm (parts per million), ook als het gaat om gerecycled materiaal.

Gebruik. Voor producten is gedefinieerd voor welk gebruik en gebruiksperiode het product ontworpen is en voor welke kringloop de onderdelen bedoeld zijn.

Toxiciteit. Het product bevat geen bekende toxische materialen in de beoogde specifieke toepassing. Hiervoor aansluiten bij kennis/expertise/criteria uit erkende keurmerken.

Milieu impact. De impact van de ingrediënten uit het product op de mens en milieu is bekend en onafhankelijk getest. Voor ingrediënten met ontoelaatbare impact is er een plan voor uitfasering.

Producten bestemd voor een technische kringloop bevatten zoveel mogelijk materialen die goed recyclebaar zijn, en gezond tijdens de gebruiksperiode.

Producten bestemd voor de biologische kringloop bevatten zoveel mogelijk materialen die veilig biologisch afbreekbaar/ composteerbaar zijn onder gedefinieerde condities.

Een zo groot mogelijk deel van de materialen in het product is recyclebaar of composteerbaar en gerecycled of snel hernieuwbaar.

Circulair ontwerp

Modulariteit. Bouwen met modulaire of gestandaardiseerde componenten.

Demontage. Ontwerp voor toekomstige demontage

Productieafval. Optimalisatie in productieprocessen om afval te minimaliseren

Borging van de circulariteit

Nieuwe samenwerkingsvormen voor het sluiten van kringlopen (product-service systemen)

Nieuwe bijpassende financieringsvormen.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Een must voor het realiseren van circulaire innovaties in de bouw. De bouw wordt vaak omschreven als een starre en logge sector. Bouwen volgens de principes van de circulaire economie vraagt om een andere samenwerking binnen bouwketens. Daarbij zullen de rollen van de stakeholders veranderen. Een systeemverandering kan je niet alleen teweegbrengen. Daarvoor is elke partij in de keten nodig en een nieuwe houding jegens informatiedeling. Pionierende partijen hebben als koplopers een kwetsbare positie.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

De opdrachtgever dient te beginnen met een duidelijke formulering van de ambitie als vertrekpunt.

De vertaling van de ambities van de opdrachtgever naar prestaties en mogelijke circulaire oplossingen

Hoe gedetailleerder de vraagspecificatie, hoe meer de markt wordt beperkt. Het is de vraag waar de opdrachtgever de hefboom wilt leggen.

Het betrekken van een consortium

Willenschap, vertrouwen en transparantie tussen de betrokken partijen om voor een gezamenlijk belang te gaan zijn doorslaggevende factoren.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

In de bouw zijn we goed om iets in elkaar te zetten. In een circulaire economie gaan we anders kijken naar montage en demontage. Een grote uitdaging daarbij is het ontwikkelen van nieuwe effectieve (de)montagekoppelingen.

Men is huiverig met informatiedeling en communicatie. En dat terwijl 'samenwerking' een van de belangrijkste bouwstenen is in een circulaire economie.

Circulaire Economie zal zich op grote schaal nog moeten bewijzen. In de huidige (transitie)fase zijn het voornamelijk nog kleine bedrijven die daadkrachtig kunnen zijn.

Hoe zorgen we ervoor dat we materialen hoogwaardig inzetten en kunnen hergebruiken/recyclen?

De bouw is een logge sector. Er gebeurt van alles maar het kan lang duren voordat innovaties op grote schaal worden toegepast. De keuze om door te gaan met traditioneel bouwen zo lang het financieel rendabel is voor veel bedrijven makkelijk gemaakt. Waarom innoveren als de huidige manier van bouwen nog genoeg geld oplevert?

Nieuwe vormen van financieren zullen zich altijd moeten bewijzen. Het lastige van vastgoedopgaven is dat het langdurige investeringen zijn.

Het splitsen van eigendom. Een gebouw bestaat uit verschillende lagen. Wanneer we binnen product-service systemen op zoek gaan naar nieuwe verdelingen van verantwoordelijkheden eigendom kunnen hier juridisch gezien barrières ontstaan.

Expert Interview René Bakx – Scheldenbouw

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Het op zo hoogwaardig mogelijk manier hergebruiken van producten en als dat niet meer mogelijk is het hergebruiken van materialen (recycling) om op die manier waarde vernietiging (in de vorm van materiaal verlies en ingebedde arbeid) tegen te gaan en te vervangen door re-life options, dit te samen met gerelateerde circulaire business modellen die het financieel mogelijk maken.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

N.v.t.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Op alle niveau's, een gebruiker is niet geïnteresseerd in de losse onderdelen van een gebouw maar juist naar een geheel gebouw. Echter voor het beoordelen is het nodig om alle lagen te beoordelen, het zit hem er juist ook in hoe al deze lagen samen het gebouw vormen.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Materiaalkeuze, demontage mogelijkheden, aanpassingsmogelijkheden, hergebruik mogelijkheden, levensduurverwachting.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Ik voorzie daar geen probleem, verwacht dat de voordelen opwegen tegen de nadelen voor partijen die zich inspannen voor deze nieuwe manier van werken.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Veranderende vraagspecificatie. Ze kunnen daarvoor in gesprek gaan met C2C ExpoLAB die heeft daar al diverse opdrachtgevers in geoptimaliseerd, daardoor wordt voorkomen dat iedereen opnieuw het wiel uit gaat vinden.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Persoonlijk ben ik van mening dat er nauwelijks barrières zijn op dit gebied, het is enkel nog niet bewezen beter en aantrekkelijker. Daarom lijkt het mij ook nodig dat er meer praktijktesten komen die aantonen wat het resultaat is van circulair bouwen.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Het inbouwen van een onwijs grote aanpassingscapaciteit in producten kan mogelijk leiden tot een grotere initiële materiaal inzet, het is onbekend of deze extra materiaal inzet ook resulteert in een verlaagd materiaal gebruik over de gehele levensduur van het product.

Expert Interview Eelco Ouwekerk – eMGi Design Management

1. Wat is jouw definitie van de CE?

100% sluiten van de grondstoffenkringloop.

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Ik ben daar zelf niet mee bezig.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Op het niveau van grondstoffen. Anders blijft CE beperkt tot hergebruik.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

100% circulair betekent dat het materiaal volledig teruggegeven kan worden aan de aarde, zonder dat er nadelige effecten optreden voor het milieu. Als dat niet kan, is het niet circulair.

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

Ik beschik daar niet over, maar het lijkt me een goed idee.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

Opdrachtgevers kunnen CE gewoon opnemen in hun inkoopbeleid. Je hoeft niet alles te weten als opdrachtgever, maar vraag gewoon om de meest circulaire oplossing en laat het over je heen komen. De markt moet het ook nog uitvinden.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

We laten ons te vaak tegenhouden omdat we niet precies weten hoe het zit. Dus de eerste barrière is van sociale aard (gedrag). De rest volgt.

8. Wat wil je zelf nog kwijt?

Ik geloof niet dat we ons moeten focussen op 100% circulair. We produceren de hele dag, maken van grondstoffen andere samenstellingen die niet meer te scheiden zijn. Dus het gaat om de minst schadelijk oplossingen oftewel om de meest optimale keuzes.

Expert Interview Matthijs Prins – TU Delft

1. Wat is jouw definitie van de CE?

Voor mij is CE een ideologie met betrekking tot de inrichting van een economisch systeem met als gevolg een meer duurzame industriële productie (deze definitie doet het meeste recht aan de schijnbaar/impliciete (neo-) liberale intenties van EMF. Als CE als doel een duurzame industriële productie heeft krijg het overigens -ook- 'enge trekjes' richting een strak centraal geleide planeconomie).

2. Hoe vertaal je met jouw organisatie de begrippen, waarde(creatie) en circulariteit, in de traditionele business modellen en op welke KPI's maak je dit meetbaar?

Is op TUD beperkt tot niet van toepassing vanuit mijn functie. De antwoorden, vanuit andere sectoren verschillen. Fraai vind ik Grondstofbehoud. Iets ingewikkelder: 100% non virgin in en 100% bruikbaar binnen de technische kringloop uit. Rene de klerks Kg is ook unbeatable. Het businessmodel in termen van circulariteit is dat het in -met name de technische- keten houden van materialen een economische incentive vormt binnen de keten waar men opereert.

3. Op welke schaal van een gebouw moet er volgens jou een circulaire beoordelingsmethodiek komen die de mate van circulariteit meetbaar maakt? Denk hier bijvoorbeeld aan: gebouw, element, component, product, materiaal. En waarom?

Op alle niveaus. Je ook ingewikkeld maken, we kennen die niveaus niet, want gebouwen moeten in CE termen betekenisvolle ensembles worden (dus als geheel of in de constituerende delen passen binnen een circulair business model d.w.z in 'radicale termen', de services moeten vermarktbaar zijn, en het geheel of delen moeten economische incentives geven middels en het vermarkten van de services en het 'oneindig' kunnen vermarkten van de constituerende delen binnen de technische kringloop. Of bij dat cirkelen er een sector sprong gemaakt wordt, er functieverandering plaatsvindt etc. doet in principe voor CE niet ter zake).

Voorlopig is het genoeg genoeg om (virgin-) materiaal, product, component en complex component.

4. Welke criteria/factoren zouden moeten worden gebruikt om te toetsen of een product, component, element of een gebouw in z'n geheel circulair is of niet?

Zie antwoord op vraag 2. Alternatieven zijn nog LCA's ; verbruik Global hectare per jaar (als ik me goed herinner kunnen we 1.7 hectare per persoon gebruiken). Het zit hem met andere woorden ook in het soort product (hoe relevant is de biologische kringloop). En, wat meer richting de bouw, hoe erg is het verbruik van zand? En zou je daar iets circulairs voor kunnen verzinnen? En waarom zou dat moeten/wenselijk zijn?

5. Hoe kijk je er tegenaan om concurrentiegevoelige informatie over materialen en producten met andere te delen om zo tot een accuratere circulariteitsbeoordeling te kunnen komen?

CE is ondenkbaar, misschien wat zwaar, maar ik houd het er even bij, zonder in de supply chain en cross supply chain samen te werken. Daar hoort delen van informatie bij (gebouwenpaspoort, ten minste op dat niveau: wat is het/in meervoud waar bestaat het uit, waar komt het vandaan, hoe is het bewerkt, hoe is het verwerkt (als onderdeel van het geheel), hoe is het onderhouden (bewerkt) en dat allemaal met data (kalender) . Blijft de

hamvraag sta ik op de rand van het faillissement... kortom, wat is concurrentiegevoelige informatie.

6. Hoe kunnen opdrachtgevers de transitie naar circulair inkopen optimaliseren en wat is hiervoor nodig?

PRP (Renee de Klerk met Rendement), of de circularities vertalen in je financieel aanbod (als b.v. recycleren een economische incentive is ben je voor de klant dus 'voordeliger' als een aanbieder van hetzelfde product die niet recycleert/iets circulairs doet. Het wordt allemaal wat anders maar ook denkbaar als b.v. recycleren geen vraag meer is maar een moeten vanuit de regelgeving (overheidsinkoop -> marktvoorwaarden)). CE is dus niet politiek neutraal aan te vliegen.

Je zou ook kunnen stellen C2C en het business model aantonen (PRP doet dat, de markt zou het kunnen als het inderdaad voordeliger is om circulair te zijn; dus aanbestedingsdwang of prijsstelling?). Vanuit CE gedacht, leasen volgens het 'product service system' principe. Daar zitten veel haken en ogen aan, we hebben het daar eerder over gehad, zie afstuderen David de Grauw en komend werk van Robert van den Brink. Vanuit liberale optiek bedenkt de markt de oplossing en zouden alternatieven voor leasen net zo goed moeten kunnen. Vanuit politiek links, rechts, midden of niks aangevlogen, ik vind het een hele enge 'brave new world', waar alle bezit bij de industrie zit, en consumenten behalve het lege lijf (zelfs je spijkerbroek kan je leasen immers, een gelauwerd maar inmiddels reeds achterhaald voorbeeld) niets meer bezitten.

Ik vind het ook betrekkelijk onlogisch, consumenten zijn b.v. in een vrije markt en vrij en niet dom of tenminste egoïstisch (homo economicus) dus als de prijzen (inflatie) heel sterk stijgen, juist dan is het voor consumenten ook voordelig om goederen/materialen in eigendom te hebben en houden (zeker bij de huidige rentestand). Je kan ook verder denken... met b.v. crowdfunding kan je en leasen en eigenaar zijn...maar dat lijkt me een omslachtige route met net even te veel schijven, die het voordeel afromen.

En hoe denkbaar is een -mondiale- maatschappij waarin consumenten consumeren maar niets bezitten?

Is leasen altijd dom? Voor veel consumenten tot op zekere hoogte ja, (private lease voor je auto (een eufemisme voor persoonlijk krediet (met bijbehorende exorbitante rentetarieven, want hoog risico voor de funder) vind ik geen verstandig concept voor de meeste particulieren). Immers je auto leasen is pas interessant als je eigen kapitaal (risico) en resources (tijd) op alternatieve wijze beter kan besteden (en niet als je geen geld hebt om nu te kopen wat je nu wilt bezitten maar niet kan betalen. Een hypotheek is anders, want daarmee financiert je bezit -middels een onderpandsrecht, zie ook etymologische betekenis van hypotheek, op een markt die in de regel beperkt speculatief wordt geacht te zijn voor de lange termijn, en waar die het al is, je krijgt huisvestingsdiensten voor de prijs die je ervoor wilt betalen; je bouwt aan bezit, en zolang dat bezit niet en 'onder water komt te staan' en je moet verkopen, niets aan de hand (een 'aflossingsvrije hypotheek' is in deze betekenis -voor de gemiddelde consument- een contradictio in terminus, en in die zin in onze gereguleerde economie terecht (?) verleden tijd)).

'Leasen' om te willen consumeren, zonder dat men het bezit kan betalen, is dat nu net niet de financiële ellende waar we sinds 2008 mee zitten, dat resulteert in een zeepbel economie!

Is auto-delen gelijk aan 'consu-minderen', of een -op dit moment- sociaal wenselijk verpakte vorm van, op macro schaal bezien 'consu-meerderden', je moet toch wat met je geld (oppotten schijnt de economie niet vooruit te helpen)?

En als ik met dit alles helemaal gelijk zou hebben, zou op de consumentenmarkt voor woningdiensten (is primaire levensbehoefte), elke vorm van niet sociale huur a-moreel/uitbuiting zijn? Die gaat te ver, maar tenminste geldt in de PSS wereld, consumenten zijn aan de goden (de micro economie (Geert Mak) van de ondernemer) overgeleverd. En dat vanuit die 'micro economie', de macro economie duurzaam en rechtvaardig in stand wordt gehouden, is nog nooit bewezen.

En als je niets meer bezit, behalve het vege lijf, nog wat moet werken voor je natje en droogje, dit in de meest letterlijke zin, ben je dan gelukkig...? Zie Virilio voor de inerte 'ontzorgde' mens, die leeft vanuit zijn stoel, voor een beeldscherm, en die nooit meer hoeft te vertrekken.... (Verillio voor beginners in bijgaand attachement). Franciscus van Assisi, had een ander concept van niets bezitten... Beide modellen lijken mij onwenselijke 'utopieën', waarbij de laatste mij sympathieker voorkomt als de eerste overigens.

7. Wat zijn volgens jou de barrières van technologie, financiën en wet- en regelgeving op dit moment voor een circulaire economie in de gebouwde omgeving?

Wet regelgeving en financiën: om te beginnen vanuit neo –liberale optiek moet je zo regelvrij mogelijk worden de markt reguleert zichzelf, vanuit een meer links, maar niet alleen links, perspectief: vuile energie oneindig duur maken en schone heel goedkoop (Oostenrijkse school: oneindig beschikbaar => zo goedkoop als b.v. water, als dit waar wordt voor energie hoef je het niet te reguleren), grondstofverlies belasten en niet de arbeid, fiscaliteit rond ondernemingen (het hele balansmanagement moet op z'n kop).

Technologie: ont koppeling, ont koppeling en ont koppeling (althans als het de bouw betreft waar alles MEERVOUDIG IS VERKNOOPT (Het model van Brandt waar het systeem met de ene levensduur slechts en alleen is verbonden met het systeem dat een opvolgende (lagere of hogere) levensduur heeft bestaat niet in de bouw tot op heden).

Appendix 4: Expert panel

Elaborations of the Expert Panel on 9 December 2015 (in Dutch)

The expert participatin in the expert panel were:

- Hans de Jonge (Brink Groep)
- Hennes de Ridder (De Ridder Consult)
- Marcel de Boer (Troostwijk Taxaties)
- Sander Holm (BAM Advies & Engineering)
- Noor Huitema (Copper8)
- Woud Jansen (Alba Concepts.)
- Tristan Kunen (Brink Groep)

Stelling 1:

Circulaire economie gaat niet om financiële waarde maar om technische maakbaarheid!

Circulaire economie is een verwarrende term. Dat komt doordat de economie vanuit het grondbeginsel een financieel gedreven woord is, terwijl de techniek juist tastbaar en zintuigelijk aanwezig is. Derhalve is het van belang om circulariteit los te benoemen. Circulaire economie kan namelijk functionele, economische, culturele en sociale aspecten in zich hebben en is gebaseerd op het minimaliseren van het wastecycles en het downcyclen van grondstoffen / materialen. Waarbij het niet primair om financiële waarde gaat, maar om de waarde stelling. Immers is niemand bereid om te voorkomen dat er een functionele terugval plaatsvindt als hij of zij het materiaal / product niet voldoende waarde acht. Dit houdt in dat het proces zo moet worden ingericht dat je het bestaande, een grotere waarde toekent voor toekomstig gebruik (tweedehands negatieve connotatie, vintage heeft positieve connotatie). Vergeet de technische maakbaarheid, circulariteit bestaat uit de waarde stelling voor de eindgebruiker. Daarin is financiën enkel een “harde en objectieve” taal waarmee mensen kunnen communiceren en een driver om circulariteit te laten slagen.

Stelling 2:

Maatschappelijke betrokkenheid heeft niets te maken met circulariteit maar is enkel een MVO gedachte

Maatschappelijke betrokkenheid is enkel een noodzakelijke randvoorwaarde om überhaupt circulariteit door te voeren vanuit een organisatie. Circulariteit heeft namelijk maatschappelijke betrokkenheid nodig, maar iemand die maatschappelijk betrokken is hoeft niet per definitie circulair te zijn. Met betrekking tot het onderzoek is maatschappelijke betrokkenheid geen KPI voor de mate van de circulariteit van een gebouw. Maatschappelijke betrokkenheid houdt in sustainability, houdt in een vorm van sustainability / circulair denken en een uitwerking is de MVO gedachte en al het instrumentarium dat daaraan vasthangt.

Stelling 3:

Schaarste van grondstoffen heeft niets te maken met circulariteit

Schaarste heeft niets te maken met circulariteit, maar schaarste kan wel een driver zijn om circulair te denken. Circulair denken wordt namelijk geholpen door de katalysator “schaarste van grondstoffen”, als er namelijk een schaarste aan een grondstof is dat versnelt de

circulaire economie. Het is een economisch beginsel en maakt het circulariteit economisch haalbaar. De noodzaak om circulair te denken is bij schaarse grondstoffen gewoonweg groot. Grondstoffen zijn in deze context een basisproduct waarmee gewerkt wordt. Het is daarom ook absoluut geen KPI van circulariteit, een gebouw met minder schaarse grondstoffen is niet meer circulair. Het wordt uiteindelijk economisch rendabeler om een schaars materiaal her te gaan gebruiken.

Stelling 4:

Een gebouw dat niet aanpasbaar is, is per definitie niet circulair

Eenzijds is het een voorwaarde voor circulariteit, aangezien een gebouw een bepaalde mate van bereikbaarheid nodig heeft om het te kunnen onderhouden voor in z'n huidige functie en uiteindelijk aanpasbaar genoeg voor een toekomstige functie. Anderzijds, zolang grondstoffen en energie die je erin stopt niet in waarde dalen (circulariteit), is een gebouw dat "oneindig" lang meegaat volledig circulair. Als aanpasbaarheid breder wordt beschouwt in zowel de technische als economische als functionele levensduur, dan betekent dat als iets langer meegaat en je het juist niet hoeft aan te passen het meer circulair is dan iets wat je constant moet aanpassen. Dat betekent dat functionele aanpasbaarheid belangrijker is dan technische aanpasbaarheid. Het is van belang om te kijken op welk schaalniveau de aanpasbaarheid betrekking heeft. Als iets totaal niet demontabel, flexibel of adaptief is en het gebouw kan continu in de toekomst worden gebruikt is het meer circulair dan een gebouw waarbij je alleen losse onderdelen kunt circuleren. De aanpasbaarheid is een heel belangrijk thema in het kader van circulaire economie op zowel elementniveau als op functieniveau.

Voor een organisatie is het daarnaast belangrijk om dat te standaardiseren waarin je een organisatie toekomstbestendig kunt circuleren.

Stelling 5:

Een esthetisch verantwoord gebouw, is per definitie circulair

Het blijkt uit vele onderzoeken en ervaringen dat het operationeel maken van esthetiek iets onhaalbaars is. Om het circulariteitsbeginsel handen en voeten te geven, gaat het over zowel harde als zachte onderdelen. En het blijkt dat datgene wat niet gemeten kan worden in de samenleving als waarde, dat het er ook gewoonweg niet toe doet. Alleen, men vergeet vaak dat de essentiële dingen die we in het leven beslissen echt niet hard zijn, maar juist op basis van het gevoel. Het is vaak niet objectief of transparant en toch maken we deze beslissingen. Circulariteit heeft soms een enorm lange cirkel en van datgene dat we nu mooi vinden, weten we niet of dat in de toekomst nog steeds zo is. Het is enorm belangrijk om een gebouw dierbaar te maken, want dan zullen mensen met veel meer zorg omgaan met het gebouw. KPI's die weliswaar invloed hebben, maar nagenoeg niet te meten zijn kunnen, voor dit onderzoek, beter buiten beschouwing worden gelaten. Circulariteit heeft soms een enorm lange cirkel, welke we niet esthetisch kunnen voorspellen. Het betreft wel een mogelijkheid om in de toekomst Multi Criteria Analysis en Ranking Systems mee te nemen in een beoordeling.

Appendix 5: Model expert interview

Sven Herrmann – Ellen MacArthur Foundation

1. *Do you think that the 'Circularity Indicators' model could be upscaled towards a building indicator method?*

In principal yes, the general idea behind that the indicator is to look into the input, functionality and the output. Which also applies to the built environment projects. Depending on what you really would like to achieve in a building project, you can make some adjustments/additional factors in particularly related to the functionality or usage intensity. In this area you would have to develop some more details to upscale it.

2. *Can I say that the model in your method is mainly focused on the materials and upscaling it towards a company level?*

The methodology provides a way how to upscale from product level to company level and in principle you could use the same methodology to come from components or parts of a building to the full building. On the other hand, the detailed methodology on a product level already takes care of several sub-categories and sub-components. So you just could use the approach in the product methodology that is used to aggregate from component to product level in a building context.

3. *By doing that, other conditions should be included to sum up the material circularity indicator?*

Yes, but it is also depending on the how detailed you would be able to the analysis. If you really have the possibility to analyze each individual detail of the building than you don't need this simplification approach that is in the company level methodology.

4. *How is it in the method arranged to scale up from a material towards a product indicator?*

We are purely working with the mass of all different materials.

5. *The complementary indicators, such as toxicity and scarcity, are not in cooperated into the Circularity indicator? And why not?*

That is correct. One main reason the make this decision that it depends very much on the type of company, type of sector and your general interest in your specific project which of these complementary indicators are actually relevant for you and which are less relevant. So that's why our approach we've focusing on developing a new indicator that is at the heart of circularity of material flows and saying these aspects you decide which one of these additional aspects you look at and use this in addition to this material flow indicator, but their depending on what the interest is. This might be completely different complementary indicators that are relevant. So if we incorporate some of the complementary indicators in the main methodology, it might not be applicable to a wide range of sectors and companies which was the aim of the research of the material circularity indicator. This means that is for that reason not incorporated into the general calculation.

6. *Is this methodology appropriate in all other sectors?*

In principle it is, idealistically some modification are necessary to make it more specific to the sector, but the basic methodology would apply to all kind of sectors.

7. The complementary indicators are not really quantitative defined?

It could be quantitative. The toxicity indicator is less quantitative, but the others such as energy usage and so on are quantitative. Mostly you will use quantitative indicators, but some indicators like toxicity & material risks, they are inconsistent with some legislation, there is also a qualitative factor/ “yes/no” factor. This is incorporated, because in the electronics sector it’s a really relevant point, but it might not be that relevant in the food package industry. So it depends on what specific products you are looking at and which of these complementary indicators you would use and whether you would potentially do a quantification that combines the material circularity indicator with several complementary indicators or you use complementary indicators in a qualitative way to support decision making based on qualitative data.

8. What do you think is the possibility to incorporate different building layers (lifetimes) into the circularity indicator methodology?

This is an issue with the methodology as it stands, because it’s not allowing for different lifetimes for different parts. Though, it would be an adjustment needed for this. It’s basically similar as the aggregation from a product to a company level, herein we look to the different MCI’s, different product categories and of course taking into account that they have different lifetimes. So, doing a modification in how you aggregate by allowing for different components that have different lifecycles, to compute either a separate MCI and aggregate on that level or modify the details of the methodology in a way that this utility factor can be different for a variance of components of a building.

9. When we incorporate the performance of leasing constructions, does this change the formula of the utility?

It makes sense to know from which perspective. If you still look at it from a buildings’ perspective, than nothing needs to be changed, because all kind of business models doesn’t change the overall thing when disassembled until deconstructed. So it doesn’t matter for this investigation doing this analysis, which kind of business models you are using. Because business models have an influence in terms of how intense the building is used and which is a component of the material circularity indicator. Which, as I mentioned earlier, needs to be elaborated more and need some additional analysis for the building sector, because of the very long lifetime it’s a very important part. Generally, looking from a product/building perspective I don’t think that there is a change needed. If you are really looking into comparing a company that is managing buildings and having different business models how to handle that. Then you might have a different approach.

10. Do you think that it does make sense to calculate the material level as well as the product level and building level?

By designing the whole building, it definitely make sense to look at the finance core for the whole building. If you look with a more detailed view about parts you might want to change than you also need to look to the individual parts. But the overall score of a building can be meaning full in particular when comparing quite similar buildings.

Appendix 6: Circularity indicators – an approach to measure circularity

(Ellen MacArthur Foundation & Granta, 2015)

$$V_{(x)} = M_{(x)}(1 - F_{R(x)} - F_{U(x)}) \quad (2.13)$$

The total amount of virgin material (derived by summing across all sub-assemblies, parts, and/or materials):

$$V = \sum_x V_{(x)} \quad (2.14)$$

The amount of waste generated at the time of collection for each sub-assembly, part, and/or material:

$$W_{0(x)} = M_{(x)}(1 - C_{R(x)} - C_{U(x)}) \quad (2.15)$$

The quantity of waste generated in the recycling process:

$$W_{C(x)} = M_{(x)}(1 - E_{C(x)})C_{R(x)} \quad (2.16)$$

The waste generated to produce any recycled content used as feedstock:

$$W_{F(x)} = M_{(x)} \frac{(1 - E_{F(x)}) \cdot F_{R(x)}}{E_{F(x)}} \quad (2.17)$$

The total amount of waste generated:

$$W = \sum_x \left(W_{0(x)} + \frac{W_{F(x)} + W_{C(x)}}{2} \right), \quad (2.18)$$

and the Linear Flow Index:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \sum_x \frac{W_{F(x)} - W_{C(x)}}{2}} \quad (2.19)$$

Calculation of the MCI remains as per Equations 2.10 and 2.11.

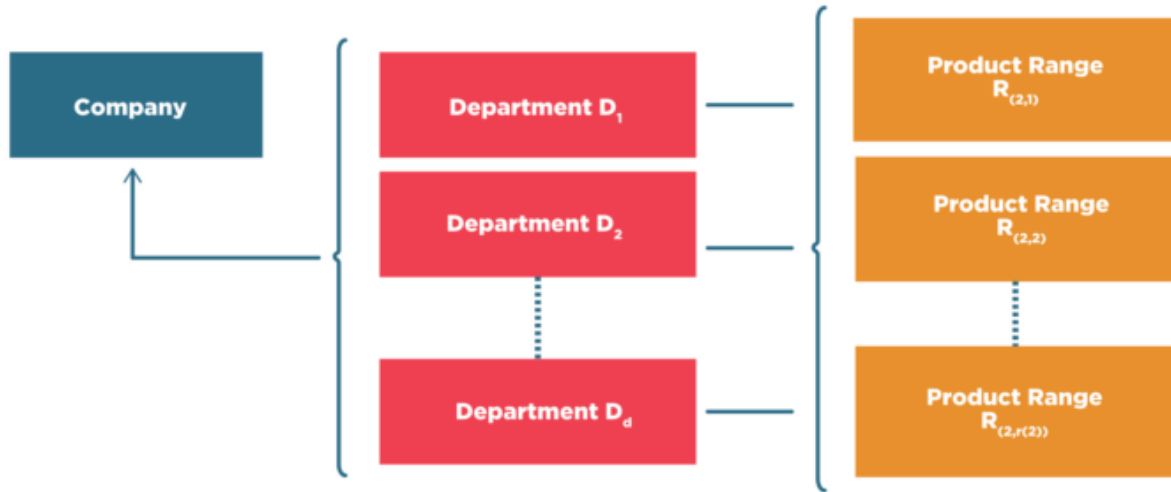
$$X = \left(\frac{L}{L_{av}} \right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}} \right). \quad (2.9)$$

So F takes the form:

$$F(X) = \frac{0.9}{X} \quad (2.12)$$

$$MCI^*_p = 1 - LFI \cdot F(X). \quad (2.10)$$

$$MCI_p = \max(0, MCI^*_p). \quad (2.11)$$



$$N_{D(\alpha)} = \sum_{\beta} N_{R(\alpha,\beta)}, \quad (3.1)$$

where $N_{R(\alpha,\beta)}$ is the normalising factor for product range $R_{(\alpha,\beta)}$.

The Material Circularity Indicator $MCI_{D(\alpha)}$, for department α , is now calculated as a weighted average according to

$$MCI_{D(\alpha)} = \frac{1}{N_{D(\alpha)}} \sum_{\beta} (N_{R(\alpha,\beta)} \cdot MCI_{P(\alpha,\beta)}), \quad (3.2)$$

where $MCI_{P(\alpha,\beta)}$ is the Material Circularity Indicator for the reference product $P_{(\alpha,\beta)}$.

The Material Circularity Indicator MCI_c for the company is now derived similarly as a weighted average, according to

$$MCI_c = \frac{1}{N_c} \sum_{\alpha} (N_{D(\alpha)} \cdot MCI_{D(\alpha)}), \quad (3.3)$$

where $N_c = \sum_{\alpha} N_{D(\alpha)}$.

Appendix 7: Assessment model building circularity indicators

Material Circularity Indicator (MCI)

Model Input:

Product # : 01001
Name:
Contractor:
Cycle:
Weight (kg)

1. Material Input (Feedstock)

Non-Virgin Materials 100%
Virgin Materials 0%
Total 100%

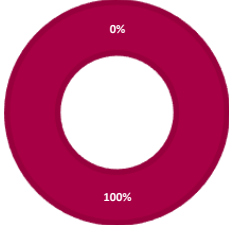
2. Material Output (Potential Output)

Reusable materials 100%
Waste materials 0%
Total 100%

3. Product Utility Factor (Lifetime)

Building layer Stuff
Layers' Lifetime (fixed value) 5
Products' Lifetime (actual applied) 5

Model Output:



X 1,000
f(X) 0,900
LFI 0,000
MCI* 1,000

MCI = 1,000

Product Circularity Indicator (PCI)

Model Input:

4. Product Design for Disassembly

Functional separation separation of functions
Functional dependence modular zoning
Technical life cycle / coordination long (1) / long (2) or short (1) / short (2) or long (1) / short (2)
Geometry of product edge open linear
Standardisation of product edge pre-made geometry
Type of connections accessory external connection or connection system
Accessibility to fixings and intermediary accessible

Model Output:

	$W_{DfD(t)}$	$W_{DfD(t)} * MCI$
Functional separation	1,0	1,000
Functional dependence	1,0	1,000
Technical life cycle / coordination	1,0	1,000
Geometry of product edge	1,0	1,000
Standardisation of product edge	1,0	1,000
Type of connections	1,0	1,000
Accessibility to fixings and intermediary	1,0	1,000

PCI = 1,000

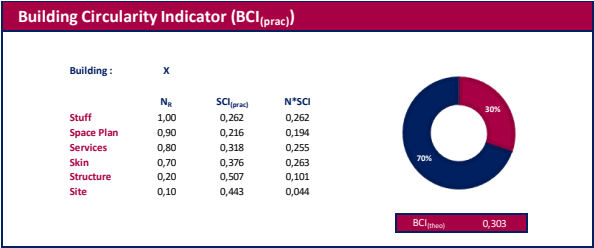
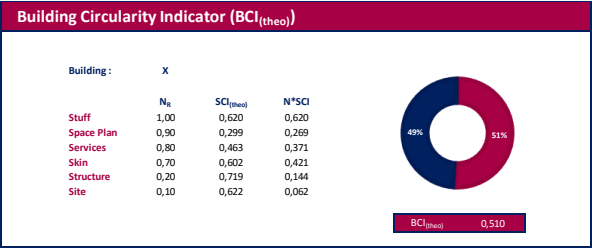
TU/e Technische Universiteit Eindhoven
University of Technology
Where innovation starts

System Circularity Indicator ($SCI_{(theo)}$ & $SCI_{(prac)}$)

01. Stuff							02. Space Plan						
Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V		Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V	
P01001	0,0	1,000	1,000	0,0	0,0	$SCI_{(theo)}$ 0,620 $SCI_{(prac)}$ 0,262	P02001	1000,0	0,156	0,112	156,3	111,6	$SCI_{(theo)}$ 0,299 $SCI_{(prac)}$ 0,216
P01002	0,0	1,000	0,586	0,0	0,0		P02002	200,0	0,438	0,294	87,5	58,8	
P01003	3000,0	0,679	0,281	2035,7	843,4		P02003	1000,0	0,386	0,259	386,4	259,4	
P01004	200,0	0,325	0,200	65,0	39,9		P02004	500,0	0,250	0,168	125,0	83,9	
P01005	400,0	0,325	0,153	130,0	61,3		P02005	2000,0	0,325	0,251	650,0	501,4	
	3600,00			2230,7	944,6								

03. Services							04. Skin						
Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V		Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V	
P03001	1000,0	1,000	0,629	1000,0	628,6	$SCI_{(theo)}$ 0,463 $SCI_{(prac)}$ 0,318	P04001	5000,0	0,100	0,077	500,0	385,7	$SCI_{(theo)}$ 0,602 $SCI_{(prac)}$ 0,376
P03002	200,0	0,550	0,393	110,0	78,6		P04002	10000,0	0,820	0,515	8200,0	5154,3	
P03003	2000,0	0,663	0,473	1325,0	946,4		P04003	2000,0	0,550	0,267	1100,0	534,3	
P03004	5000,0	0,277	0,194	1383,9	968,8		P04004	7000,0	0,658	0,414	4606,0	2895,2	
P03005	200,0	0,367	0,262	73,4	52,5		P04005	200,0	0,788	0,641	157,5	128,3	

05. Structure							06. Site						
Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V		Products	Volume (V)	MCI	PCI	MCI* V	PCI* V	
P05001	2000,00	0,438	0,300	875,0	600,0	$SCI_{(theo)}$ 0,719 $SCI_{(prac)}$ 0,507	P06001	10000,0	0,550	0,409	5500,0	4085,7	$SCI_{(theo)}$ 0,622 $SCI_{(prac)}$ 0,443
P05002	5000,00	0,700	0,510	3500,0	2550,0		P06002	2000,0	0,565	0,299	1130,0	597,3	
P05003	2000,00	0,629	0,386	1257,5	772,5		P06003	5500,0	0,550	0,377	3025,0	2074,3	
P05004	1000,00	0,850	0,631	850,0	631,4		P06004	2000,0	0,859	0,516	1718,8	1031,3	
P05005	2500,00	1,000	0,714	2500,0	1785,7		P06005	7500,0	0,723	0,557	5418,8	4180,2	



Appendix 8: Case studie 1 – circular bill of materials (BOM)

id#	product	utility (years)	materials	mass kg / m ² or m or pcs.		total mass (kg)	non-virgin input	reusable output	functional separation	functional dependence	technical lifecycle	geometry of product edge	standardization of product edge	type of connections	accessibility to things
				kg	m ² or m or pcs.										
P01001	Desk chairs	12		10,5	84	53,3%	86,6%	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0		
	Aeron		Aluminum	4,725	37,8	95,0%	100,0%								
			Steel	2,835	22,68	37,0%	100,0%								
			Plastic	2,52	20,16	2,0%	52,0%								
			Foam/Textile/others	0,42	3,36	2,0%	52,0%								
P01002	Desk BALANCE	10		35	280	0,0%	99,0%	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0		
	Ahrend		Aluminum	1,4	11,2	0,0%									
			Wood	15,05	120,4	0,0%									
			Plastics	0,35	2,8	0,0%									
			Steel	18,2	145,6	0,0%									
P01003	Storage closets	10		30	240	50,0%	50,0%	1,0	0,4	1,0	1,0	0,8	1,0		
	Steelcase		Steel	20	160	70,0%	70,0%								
			Other	10	80	10,0%	10,0%								
P01004	Light	10		5	40	60,0%	60,0%	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0		
	Philips		LED	2	16	0,0%	0,0%								
			Aluminium	3	24	100,0%	100,0%								
P02001	Partition wall	25		31,9	9733	1,5%	70,0%	0,6	1,0	0,5	1,0	0,5	0,8	1,0	
	Qbiq		Glass	30	9153	0,0%	70,0%								
			Coated aluminium	1	305,1	47,0%	42,0%								
			EPDM	0,9	274,59	0,0%	100,0%								
P02002	Suspended ceiling	25		27,36	17692	65,1%	66,3%	1,0	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	1,0	
	Gyproc	25	Aluminium	0,36	896	70,0%	90,0%								
		75	Gypsum plasterboard	27	16796	65,0%	65,0%								
P02003	Metal interior door	50		22,6	389	36,0%	90,3%	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0		
		75	Metal frame	3,1	53	36,0%	93,1%								
		50	Steel;	19,5	336	36,0%	89,8%								
P02004	Carpet floor tile	10		5,275	3281	63,5%	29,2%	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8		
	Interface		Pile Yarn	1,425	886,464	100,0%	100,0%								
			Backing	3,85	2395,008	50,0%	3,0%								
P02005	Rust Grip paint	10		0,8	346	70,0%	70,0%	0,6	0,4	0,5	1,0	0,1	0,1	0,1	
	Superior product International II inc.		Primer	0,3	129,6										
			Intermediate	0,2	86,4										
			Topcoat	0,3	129,6										
P03001	Ventilation system	30		3,2	320	36,0%	95,0%	1,0	0,8	0,5	1,0	0,5	0,8	0,8	
			Rolled steel plate	3,2	320	36,0%	95,0%								
P03002	Electrical wiring	50		0,12	24	0,0%	70,0%	0,6	0,8	0,5	1,0	0,5	0,8	0,8	
			PVC	0,12	24	0,0%	70,0%								
P03003	Gas conduit	50		0,3	45	0,0%	100,0%	1,0	0,8	0,5	1,0	0,5	0,2	0,6	
			Cast iron	0,3	45	0,0%	100,0%								
P03004	Flexalen 600 - Water mains	50		0,4	40	0,0%	100,0%	0,6	0,8	0,5	0,1	0,5	0,8	0,8	
	Thermaflex international holding		Polybutene carrier	0,2	20	0,0%	100,0%								
			Polyethylene foam	0,16	16	0,0%	100,0%								
			HDPE	0,04	4	0,0%	100,0%								
P03005	Plumbing	35		0,7	70	0,0%	5,0%	0,1	0,4	0,5	0,1	0,5	0,8	0,4	
			PE	0,7	70	0,0%	5,0%								
P04001	Click Brick	75		80	34560	0,0%	99,9%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Daas Baksteen Zeddam BV		Bricks	79,9	34516,8	0,0%	100,0%								
			Clips	0,1	43,2	0,0%	0,0%								
P04002	XPS cavity insulation	75		4,62	1995,84	50,0%	70,0%	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,8	0,6	
	Styrofoam XPS insulation		Extruded polystyrene	4,62	1995,84	50,0%	70,0%								
P04003	XPS roof insulation	75		4,62	1437,005	50,0%	70,0%	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	0,2	0,1	
	Styrofoam XPS insulation		Extruded polystyrene	4,62	1437,005	50,0%	70,0%								
P04004	Derbipure - roofing membrane	35		3,9	1213,056	10,0%	91,6%	0,1	0,4	1,0	0,4	0,5	0,2	0,1	
	Imperbel SA		Oil and pine resin	3,9	1213,056	10,0%	91,6%								
P04005	Schüco Fenster System	75		18,63	2012,04	14,8%	69,2%	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	
	Schüco International KG		Aluminium	2,84	306,72	97,0%	65,7%								
			ASA	0,43	46,44	0,0%	65,7%								
			EPDM	0,19	20,52	0,0%	65,7%								
			Powdered coating	0,11	11,88	0,0%	65,7%								
			Foam	0,04	4,32	0,0%	65,7%								
			POM	0,02	2,16	0,0%	65,7%								
			Glass	15	1620	0,0%	70,0%								
P05001	Pile foundation	75		3173,567	28562,1	0,0%	99,3%	0,6	0,8	1,0	0,2	0,5	0,1	0,1	
			Steel												
			Concrete												
P05002	Steel construction	50		120	74649,6	50,0%	50,0%	1,0	0,8	1,0	0,8	0,5	0,6	0,1	
	CONXTECH (ConXL and ConXR)		Steel	120	74650	50,0%	50,0%								
P05003	Roof deck - HCS	75		383,7	119346	0,0%	96,5%	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,1	
			Concrete	376	116951										
			Reinforcing steel	7,7	2395,008										
P05004	Intermediate floor -HCS	75		383,7	119346	0,0%	96,5%	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	
			Concrete	376	116951										
			Reinforcing steel	7,7	2395,008										
P05005	Ground floor - Composite floor	75		204	63452	19,4%	97,5%	1,0	0,8	1,0	0,8	0,5	1,0	0,6	
			Prefab concrete	198	61585,92	20,0%									
			Polystyreen	3	933,12	0,0%									
			Reinforcing steel	3	933,12	0,0%									

Appendix 9: Case studie 2 – non-circular bill of materials (BOM)

id#	product	utility (years)	materials	mass kg/m ² or m or pcs.	total mass (kg)	non-virgin input	reusable output	functional separation	functional dependence	technical lifecycle	geometry of product edge	standardization of product edge	type of connections	accessibility to fixings
P01001	Chairs	10		17,09	136,72	0,0%	96,1%	0,6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0
			Plastic	0,35	2,8	0,0%	96,2%							
			Steel	9,8	78,4	0,0%	96,2%							
			Rubber	0,05	0,4	0,0%	96,2%							
			Plywood	3,7	29,6	0,0%	96,2%							
			Foam	1,21	9,68	0,0%	96,2%							
			Upholstery	0,73	5,84	0,0%	86,2%							
			Packaging	1,25	10	0,0%	100,0%							
P01002	Desks	10		48	384	0,0%	98,0%	0,6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0
			PVC	1,44	11,52	0,0%	100,0%							
			Steel	16,32	130,56	0,0%	100,0%							
			Wood	29,28	234,24	0,0%	100,0%							
			Aluminium	0,48	3,84	0,0%	100,0%							
			Glue	0,48	3,84	0,0%	0,0%							
P01003	Closets	20		10	80	45,0%	45,0%	0,6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0
			Plastic	9	72	50,0%	50,0%							
			Glue	1	8	0,0%	0,0%							
P01004	Lamps	10		5	40	0,0%	33,0%	0,6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
			LED			0,0%	0,0%							
			Aluminium			0,0%	100,0%							
			Zamak			0,0%	0,0%							
P02001	Parting wall	60		66,4	20259	0,0%	4,9%	0,6	0,4	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			Aerated concrete	56	17086	0,0%	4,9%							
			Plaster	10,4	3173	0,0%	4,9%							
P02002	Woodwool ceiling	25		14,7	12131	5,1%	18,7%	1,0	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	1,0
			Aluminium section	1,6	3981	47,0%	90,0%							
			Woodwool cement slab	13,1	8149	0,0%	10,0%							
P02003	Metal interior door	50		22,6	474	36,0%	90,3%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
		75	Metal frame	3,1	138	36,0%	93,1%							
		50	Steel;honeycomb structure	19,5	336	36,0%	89,8%							
P02004	Epoxide floating floor	25		5,426	3375	0,0%	0,0%	0,6	0,1	0,5	1,0	0,1	0,1	0,1
			Epoxide resin	5,188	3227	0,0%	0,0%							
			Epoxide primer	0,238	148	0,0%	0,0%							
P02005	Wall finish	5		0,3	50	0,0%	0,0%	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	0,1
			Paint - Water based	0,3	50	0,0%	0,0%							
P03001	Ventilation system	30		1,42	441,677	0,0%	90,0%	1,0	0,8	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			PVC	1,42	441,677	0,0%	90,0%							
P03002	Electrical wiring	50		0,08	8	0,0%	5,0%	1,0	0,8	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			PP	0,08	8	0,0%	5,0%							
P03003	Gas conduit	50		0,1	10	0,0%	5,0%	1,0	0,4	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			PB	0,1	10	0,0%	5,0%							
P03004	Water mains	50		0,28	42	0,0%	5,0%	0,6	0,4	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			PE/AL/PE/MD	0,12	18	0,0%	5,0%							
			HDPE	0,03	4,5	0,0%	5,0%							
			Galvanized steel	0,04	6	0,0%	5,0%							
			Polyamide	0,01	1,5	0,0%	5,0%							
			Messing	0,08	12	0,0%	5,0%							
P03005	Plumbing	35		1,03	206	0,0%	5,0%	1,0	0,4	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
			PVC	1,03	206	0,0%	5,0%							
P04001	Brick masonry	100		180	30240	0,0%	68,2%	0,6	0,4	1,0	1,0	0,5	0,1	0,4
			Masonry mortar	45	7560	0,0%	68,2%							
			Joint mortar	7,5	1260	0,0%	68,2%							
			Bricks	127,5	21420	0,0%	68,2%							
P04002	Cavity insulation	75		5,6	940,8	0,0%	10,0%	1,0	0,4	0,5	1,0	0,5	0,8	0,1
			Rockwool	5,6	940,8	0,0%	10,0%							
P04003	Roof insulation	75		1,8	559,872	0,0%	5,0%	1,0	0,4	0,5	1,0	0,5	0,2	0,1
			EPS	1,8	559,872	0,0%	5,0%							
P04004	Roof covering	50		1,7	528,768	0,0%	4,8%	0,6	0,4	0,5	0,7	0,5	0,1	0,4
			EPDM	1,7	528,768	0,0%	4,8%							
P04005	Exterior windows	100		23,8	3098,4	0,0%	70,0%	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
			Steel	8,8	1478,4	0,0%	70,0%							
			Glass	15	1620	0,0%	70,0%							
P05001	Shallow foundation	75		539	232848	0,0%	97,5%	0,6	0,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
			Reinforced concrete	382	165024	0,0%	97,5%							
			Sand-lime bricks	47	20304	0,0%	97,5%							
			Brick damp course stone	81	34992	0,0%	97,5%							
			Mortar	29	12528	0,0%	97,5%							
P05002	In-situ concrete walls	75		217,5	36540	0,0%	98,4%	0,6	0,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
			Reinforced concrete	217,5	36540	0,0%	98,4%							
P05003	Ground floor			425,9	30665	20,0%	98,2%	0,6	0,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
		75	Reinforced concrete	425,9	30665	20,0%	98,2%							
P05004	Intermediate floor			735	228614	0,0%	98,8%	0,6	0,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
		75	Reinforced concrete	735	228614	0,0%	98,8%							
P05005	Roof deck			735	228614	0,0%	98,8%	0,6	0,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
		75	Reinforced concrete	735	228614	0,0%	98,8%							