

Circulair bouwen, duurder of goedkoper?

Een kwalitatieve analyse naar het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen



Abstract

In dit onderzoek wordt het effect van circulair bouwen op de *Life Cycle Cost* (LCC) onderzocht. Door middel van een meervoudige casusstudie wordt er onderzocht of circulair bouwen de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen beïnvloed. De Life Cycle Cost is onderverdeeld in de vier determinanten: planningskosten, bouwkosten, exploitatie- en beheerkosten en sloopkosten. De determinanten worden in de literatuur en in de casussen behandeld en per casus geanalyseerd. Het onderzoek is op een exploratieve manier opgesteld om oorzaak en gevolg in kaart te brengen. Hiervoor zijn de vijf casussen: Swettehûs (2022), Triodos Bank (2019), Alliander Duiven (2016), Gemeentehuis Brummen (2013) en Stadskantoor Venlo (2016) onderzocht. Dit zijn kantoorgebouwen met een sterke circulaire ambitie in Nederland. De casussen zijn geschaald op een circulaire meetschaal om de circulaire ambitie te toetsen. Daarna is voor elke casus per Life Cycle Cost determinant geanalyseerd wat het effect is van circulair bouwen op de determinanten en op de totale Life Cycle Cost. Uit de exploratieve analyse blijkt dat circulair bouwen de Life Cycle Cost verlaagt. Wanneer in de ontwerp- en planningsfase keuzes gemaakt worden met betrekking tot circulaire bouwtoepassingen en de Life Cycle Cost getoetst wordt op deze toepassingen, kan de Life Cycle Cost fors lager uit vallen ten opzichte een situatie waarbij een conventioneel gebouw gerealiseerd wordt.

Kernwoorden: Circulaire economie, Life Cycle Cost, circulair bouwen, kantoorgebouwen

COLOFON

Titel	Circulair bouwen, duurder of goedkoper?
Ondertitel	Een kwalitatieve analyse naar het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen
Auteur	A.C.F. (Alexander) Draaijer
Studentnummer	s2944499
E-mail	a.c.f.draaijer@student.rug.nl a.c.f.draaijer@gmail.com a.draaijer@draaijerparkers.nl
Opleiding	Master Real Estate Studies Faculty of Spatial Sciences University of Groningen Landleven 1, 9747 AD, Groningen
1° beoordelaar	prof. dr. ir. A.J. (Arno) van der Vlist.
E-mail	a.j.van.der.vlist@rug.nl
2° beoordelaar	prof. dr. E.F. (Ed) Nozeman
E-mail	e.f.nozeman@rug.nl
Datum	21-08-2020



university of
 groningen

faculty of spatial sciences

draaijer+partners

DISCLAIMER: "Masterscripties zijn inleidende stukken om discussie en kritisch commentaar te stimuleren. De analyse en conclusie zijn zelfstandig uiteengezet door de auteur."

Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeerscriptie voor de master Real Estate Studies aan de Rijksuniversiteit Groningen. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met draaijer+partners. Het onderzoek richt zich op de verschillen in de Life Cycle Cost van circulaire kantoorgebouwen in Nederland. Circulaire economie is een sterk opkomend fenomeen en is zeer belangrijk voor het betaalbaar en beschikbaar houden van bouwmaterialen in de toekomst. Mijn gevormde interesse in de circulaire economie, circulair bouwen en achtergrond in een bedrijfs-economische studie is de aanleiding geweest om onderzoek te doen naar de vraag of circulair bouwen duurder of goedkoper is wanneer gemeten over de gehele levensduur van een gebouw.

Bij deze wil ik graag de mogelijkheid nemen om mijn collega's van draaijer+partners te bedanken. In het bijzonder wil ik mijn begeleiders vanuit draaijer+partners Bertina Seffinga en Simon de Ruig bedanken voor de aangeleverde informatie en het sparren over mijn thesis. Daarnaast wil ik uiteraard mijn begeleider Prof. Dr. Ir. Arno van der Vlist bedanken voor de uitstekende supervisie. Ondanks de COVID-19 crisis en de maatregelen die hierbij horen stond hij altijd klaar om mailtjes te beantwoorden en tekstuele stukken te voorzien van commentaar. Als laatste wil ik graag iedereen bedanken die mij heeft gemotiveerd en gesteund tijdens het schrijven van deze scriptie.

Ik wens u veel leesplezier!

Alexander Draaijer,
Groningen, augustus 2020

“When cities change, it is usually triggered by some new demand. The circular economy is likely the next big demand, and cities will need to learn how to respond.”

- Dr. Jeffrey Pittaway, Imperial College London

Inhoudsopgave

1. Introductie	7
1.1 Motivatie.....	7
1.2 Literatuuroverzicht.....	8
1.3 Onderzoeksvraag & wijze van aanpak	9
1.4 Leeswijzer.....	10
2. Theorie	11
2.1 Life Cycle Cost.....	11
2.2 Circulair Bouwen	12
2.3 Circulair bouwen per Life Cycle Cost determinant.....	13
Ontwerp & Planning.....	13
Bouwkosten.....	13
Onderhoud- en beheer.....	14
Levens einde.....	14
Interactie tussen de determinanten.....	15
2.4 Conceptueel model & hypothesen.....	15
3. Methode & Casussen	18
3.1 Methode	18
3.2 Casusselectie	20
3.3 Casus 1: Swettehûs	22
3.4 Casus 2: Triodos Bank	23
3.5 Casus 3: Alliander Duiven.....	24
3.6 Casus 4: Gemeentehuis Brummen	25
3.7 Casus 5: Stads Kantoor Venlo.....	26
4. Resultaten	27
4.1 Circulaire ambitie.....	27
4.2 Mate van circulariteit.....	28
4.3 Life Cycle Cost.....	30
Planningsfase	30

Bouwkosten.....	31
Onderhoud- en exploitatiekosten	32
Levens einde & restwaarde	33
Overige invloeden	34
4.4 Samenhang circulariteit en Life Cycle Cost	34
5. Conclusie & Discussie.....	36
5.1 Conclusie	36
5.2 Discussie.....	37
Referenties.....	39
Bijlage A: Raamwerk voor het ontwerpen en bouwen van circulaire gebouwen	44
Bijlage B: Life Cycle Cost berekening	45
Bijlage C: Definitie 10R-model	46
Bijlage D: Definitie circulaire ambities.....	48

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: Life Cycle Cost berekening uitgesplitst in determinanten. Gebaseerd op Dhillon (2013).....	11
Figuur 2: Conceptueel model	16
Figuur 3: 10R-model (Cramer, 2017)	20
Figuur 4: Circulariteit per casus, gebaseerd op het 10R-model (Cramer, 2017)	29

Lijst met Tabellen

Tabel 1: Mogelijke casussen en geselecteerde casussen met functie, projectsoort en vestigingsplaats.....	21
Tabel 2: Circulaire ambitie per casus en de ambitie per fase	28
Tabel 3: Overzicht investeringskosten per casus	32

1. Introductie

1.1 Motivatie

Met 36% van de totale afvalproductie is de bouwsector de grootste afvalproducent en grondstof gebruiker van de afgelopen decennia (Eurostat, 2019). De bouwsector in Nederland is verantwoordelijk voor 50% van het totale grondstoffengebruik, 40% van het totale energieverbruik en 30% van het totale watergebruik. Daarnaast produceert de bouwsector plusminus 35% van de totale CO₂ uitstoot in Nederland (European Commission, 2020). Op dit moment is het Europese Parlement bezig met het bijwerken van haar afvalbeleid om een duurzamer model te promoten: de Circulaire Economie (European Parliament, 2018). Ondanks de vele huidige mogelijkheden wordt in de Europese Unie tussen de 10% en 90% van de materialen hergebruikt. Als één van de best presterende landen op het gebied van hergebruik eindigt in Nederland tussen 1% en 10% van de gekochte (bouw)materialen als afval, waarbij gemiddeld 9% van de aangekochte materialen bij de sloop van een gebouw als afval eindigt (Bossink & Brouwers, 1996; Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2016). Door de hoge grondstofwaarde heeft bouwafval een groot potentieel om hergebruikt te worden. De technologie voor de scheiding en herwinning van grondstoffen is al diepgeworteld in onze economie, goedkoop, en klaar voor gebruik (European Commission, 2019). Een methode om de afvalproductie van de bouwsector te verlagen is de circulaire economie. Hiermee wordt bedoeld het ontwerpen, ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van vastgoedgebieden en infrastructuur zonder onnodige uitputting van natuurlijke grondstoffen, milieuverontreiniging en aantasting van ecosystemen (Transitieteam Circulaire Bouweconomie, 2018). De *Life Cycle Cost*, in het proces van bouw tot sloop, is essentieel in de reductie van afval en het behouden van waarde. De bouwsector is zeer geschikt voor toepassing van de circulaire economie.

In Nederland moeten alle overheidsaanvragen circulair zijn. Het voornemen is om 50% circulair te zijn in 2030 en 100% circulair in 2050 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2016). Deze initiatieven bestaan uit wetten en marktinstrumenten voor recyclen, energietransitie en afvalverwerking. Consumptie en hergebruik worden aangesproken door middel van zachte beleidsinstrumenten (European Environment Agency, 2019). Alhoewel het concept circulaire economie ondertussen redelijk begint te wortelen in de Nederlandse bouwsector is in beperkte mate onderzoek gedaan naar circulair bouwen. Projectmanagers, ontwikkelaars en investeerders zijn nog steeds op zoek naar de relatie tussen circulaire bouweconomie en de levenscycluskosten.

Dit onderzoek draagt bij aan de literatuur door alle onderdelen van de LCC en het effect van circulaire economie op deze onderdelen samen te voegen tot één onderzoek en het totale effect te onderzoeken.

1.2 Literatuuroverzicht

Eerder onderzoek naar de relatie tussen circulair bouwen en de totale levenscycluskosten lijkt nog beperkt aanwezig. Daarentegen is er veel literatuur voorhanden die de Life Cycle Cost bestudeert. Fuller (2006) definieert de Life Cycle Cost als een meetmethode om de totale kosten van de gehele levensduur van een gebouw te berekenen. ISO-NEN15686-5 behandelt welke fasen binnen de LCC-berekening valt en kadert hierbij de planningsfase, bouwfase, onderhoudsfase en sloopfase als fasen binnen de LCC. Uitgebreide LCC-literatuur is geschreven door Dhillon (2013) en Bull (2003). Han et al. (2014) hebben een compleet Life Cycle Cost model ontwikkeld voor gebouwen waarmee de samenstelling van gebouwonderdelen geoptimaliseerd wordt en de LCC geminimaliseerd wordt. Zij concluderen dat de optimale combinatie afhangt van de levensduur van het gebouw. Islam et al. (2015) vergelijken de LCC en de milieu-impact voor verschillende ontwerpen en onderzoeken de geoptimaliseerde verhouding tussen Life Cycle Cost en milieukosten. Zij vinden dat bij dezelfde LCC, de milieukosten 10 tot 20% lager kunnen zijn. Plebankiewicz et al. (2016) hebben een LCC-model op basis van *fuzzy sets* theorie ontwikkeld waarbij de risico's van duurzame ontwikkeling, investeringsmanagement en sociale kosten in elke levenscyclus meegenomen worden. Het doel van de circulaire economie is om de waarde en kwaliteit van materialen zo hoog mogelijk te houden bij de langst mogelijke levenscyclus (Korhonen, et al., 2018). Omdat LCC en circulaire economie beide een levenscyclusperspectief handhaven is circulaire economie een belangrijk component binnen de LCC-berekening (Kambanou & Sakao, 2020). Geen van de LCC-modellen houdt rekening met de circulariteit van de componenten en/of de meerdere cycli die deze kunnen doorlopen (Bradley, et al., 2018). Bradley et al. (2018) bespreken het belang van het rekening houden met de meerdere kringlopen die componenten kunnen meemaken om de circulaire economie te implementeren in de LCC-berekening. Hiervoor hebben zij een Total Life Cycle Cost Model (TLCCM) ontworpen waarin de circulaire economie en gesloten kringlopen geïmplementeerd worden. Galle (2016) onderzocht de LCC binnen een circulair servicemodel en stelt dat in een gesloten kringloop de financiële impact niet aan één moment toegekend kan worden. Copper8 & Alba (2017) hebben door middel van een scenariostudie onderzocht of gebouwen met een circulaire intentie hogere bouw- en investeringskosten met zich mee brengen. Zij vinden hogere initiële kosten doordat de markt van te hergebruiken materialen nog in de kinderschoenen staat. Ghisellini et al. (2017) hebben door middel van een literatuurstudie de milieu- en economische baten en lasten van de circulaire economie in de bouw- en sloopsector onderzocht. In de meeste gevallen vinden zij positieve economische- en milieu effecten. Ze benadrukken dat het succes van de implementatie van circulaire economie zeer locatieafhankelijk is en afhangt van factoren als materiaaltype, gebouwelementen, transportafstanden en economische en politieke context.

1.3 Onderzoeksvraag & wijze van aanpak

Het onderzoeksdoel is om meer inzicht te brengen in het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen. Om de gebouwde omgeving circulair te maken en investeerders, ontwikkelaars en projectmanagers meer inzicht te geven in het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost, is de onderzoeksvraag als volgt gestructureerd:

Wat is het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen?

De hoofdonderzoeksvraag zal beantwoord worden met behulp van de volgende twee subvragen:

1. *Wat zijn de determinanten van Life Cycle Cost en welke rol speelt circulair bouwen in de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen?*

Onderzoeksvraag 1 zal beantwoord worden door middel van een uitgebreide literatuurstudie. Eerst zal de theorie van Life Cycle Cost behandeld worden, waarna het concept circulair bouwen theoretisch weergegeven zal worden. Als laatste zal per LCC-determinant de invloed van circulair bouwen op deze determinant onderzocht worden. De literatuur wordt gezocht via Google Scholar en SmartCat.

2. *Wat is het verschil in de Life Cycle Cost van circulaire en conventionele kantoorgebouwen?*

Onderzoeksvraag 2 zal beantwoord worden door middel van een meervoudige casusstudie hieruit kunnen de verschillende componenten binnen Life Cycle Cost per gebouw, en tussen verschillende circulaire en conventionele kantoorgebouwen geanalyseerd en vergeleken worden (Yin, 2003; Baxter & Jack, 2008). Het voordeel van een meervoudige casusstudie tegenover een enkelvoudige casusstudie is dat de verschillen en gelijkenissen zowel binnen als tussen de casussen geanalyseerd kunnen worden. Verder vormt een meervoudige casusstudie een overtuigender bewijs wanneer de gevormde theorie door meerdere casussen onderbouwd kan worden (Gustafsson, 2017). Een nadeel van een meervoudige casusstudie kan zijn dat de casussen minder goed dan verwacht zo gelijk mogelijk zijn en de casussen hiermede minder goed met en tussen elkaar te vergelijken zijn. De casussen zullen geselecteerd worden op basis van aanwezigheid en uitgebreidheid van Life Cycle Cost en circulaire informatie. De casussen bestaan uit circulaire kantoorgebouwen binnen Nederland. Er wordt naar gestreefd de overige factoren van de gebouwen gelijk te houden zonder hierbij de circulariteit in acht te nemen (Seawright & Gerring, 2008). Wanneer de overige factoren

gelijk zijn, zijn de gebouwen het beste vergelijkbaar en kan het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost zo sterk mogelijk getoetst worden. Casussen en data zijn verzameld bij draaijer+partners, haar netwerk en openbare bronnen.

Om de hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden zal de LCC geschaald worden naar de mate van circulariteit in vergelijking met een conventioneel gebouw. Een exploratief kwalitatief onderzoek zal uitgevoerd worden op de casussen om het verschil in LCC tussen circulaire en conventionele gebouwen te testen. Hieruit zal een conclusie getrokken worden.

1.4 Leeswijzer

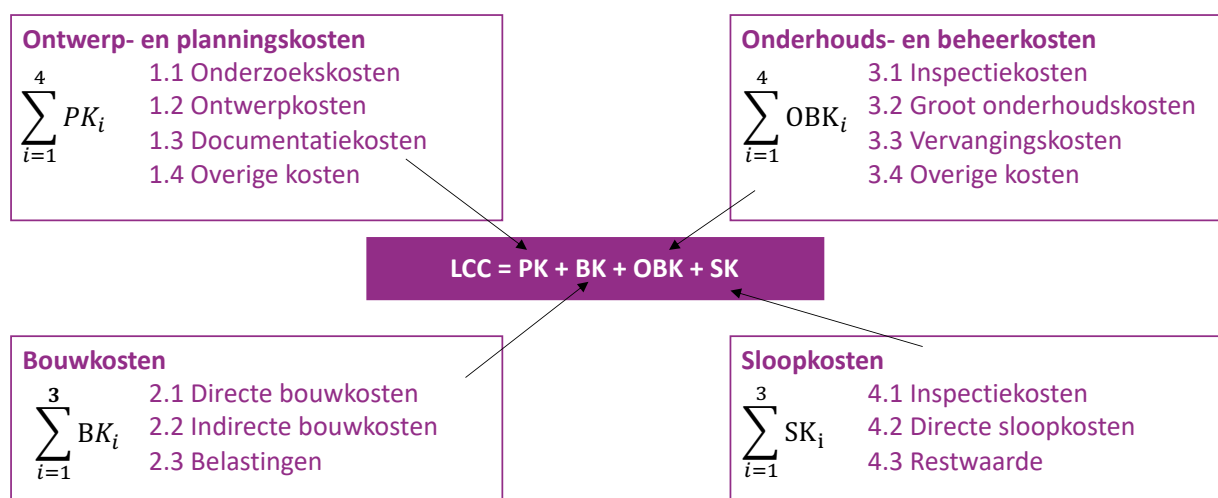
Het onderzoek is als volgt gestructureerd: hoofdstuk 2 omvat de huidige theorie van het onderzoek, de hypothesen die uit de theorie ontstaan en het conceptueel model. Hoofdstuk 3 omvat de methode, casusselectie en casussen per casus uitgewerkt. Hoofdstuk 4 beschrijft de analyse en resultaten en in hoofdstuk 5 wordt een conclusie getrokken en de resultaten en methode aan een discussie onderworpen.

2. Theorie

In dit hoofdstuk wordt door middel van theorie onderzocht wat het concept Life Cycle Cost is, wat de componenten van Life Cycle Cost zijn en wat de invloed van circulair bouwen op de Life Cycle Cost is. Hoofdstuk 2 geeft hiermee antwoord op deelvraag 1.

2.1 Life Cycle Cost

De Life Cycle Cost (LCC), door Addis & Talbot (2001) gedefinieerd als: *de huidige waarde van alle kosten die gemaakt worden over de gehele levensduur van een gebouw*, is een meetmethode om een beslissing te ondersteunen bij een selectie van opties. LCC is een financieel classificatiesysteem dat gebruikt wordt om alternatieven te elimineren en het keuzeproces te bevorderen (Bull, 2003). In de reguliere LCC-theorie wordt de levenscyclus van een gebouw gedefinieerd als een lineair proces welke loopt van planning tot sloop (Debacker, 2009). De LCC-methodiek is van belang bij duurzame gebouwen aangezien bepaalde strategische keuzes hier alleen onderbouwd kunnen worden vanuit een Life Cycle perspectief (Cole & Sterner, 2000). LCC omvat alle kosten die ontstaan tijdens de levensloop van een gebouw, deze zijn verdeeld in vier hoofdfasen: projectplanning- en investeringsfase, constructiefase, gebruiksfase en sloopfase. De toekomstige kosten moeten gediscoteerd worden naar de huidige waarde, of de waarde van een basisjaar (Bull, 2003; ISO15686-5, 2017). De LCC-analyse omvat een gekaderd aandeel van de kosten over de fysieke, technische, economische of functionele levensduur van een gebouw. De kosten worden daarnaast beïnvloed door niet-bouwkosten, bezettingskosten en lokaal, nationaal of internationaal beleid, vergoedingen en belastingen (ISO15686-5, 2017). Dhillon (2013) beschrijft verschillende wiskundige LCC-modellen, model VII uit zijn boek sluit het beste aan bij de determinanten beschreven in ISO-15686 en voorgaand behandelde fasen. Het model wordt samengevat in afbeelding 1. De componenten zullen in 2.3 besproken worden.



Figuur 1: Life Cycle Cost berekening uitgesplitst in determinanten. Gebaseerd op Dhillon (2013)

2.2 Circulair Bouwen

Circulair bouwen is door de Nederlandse overheid gedefinieerd als *“het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch en ecologisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later.”* (2018). Dit komt feitelijk neer op een bouwproject waarin herbruikbaarheid van elementen en grondstoffen van een gebouw gemaximaliseerd wordt en waarde vernietiging geminimaliseerd wordt (Loppies, 2015). Circulair bouwen is opgebouwd uit drie principes: circulair materiaalgebruik, circulair ontwerp en de borging van de circulariteit in de toekomst (Loppies, 2015). In bijlage A is een raamwerk voor het ontwerpen en bouwen van circulaire gebouwen weergegeven.

Bij circulair materiaalgebruik is de doelstelling om de waarde en het behoud van grondstoffen en materialen te maximaliseren (Ellen MacArthur Foundation, 2013). In essentie moet het materiaal- en grondstofgebruik geminimaliseerd en de levensduur gemaximaliseerd worden. Daarnaast moet er gekozen worden voor hernieuwbare materialen en worden er geen giftige of niet-natuurlijk afbreekbare materialen gebruikt (Loppies, 2015; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Circulaire gebouwen zijn ontworpen om te demonteren in plaats van te slopen zodat de gebruikte materialen en componenten opnieuw in de kringloop of in een andere kringloop gebruikt kunnen worden. Dit wordt gerealiseerd door losmaakbaarheid en flexibiliteit. *“Losmaakbaarheid is de mate waarin objecten demonteerbaar zijn op alle schaalniveaus binnen gebouwen zodat het object de functie kan behouden en hoogwaardig hergebruik realiseerbaar is.”* (Copper8 & Alba, 2017). Flexibiliteit wordt gedefinieerd als: het vermogen om veranderingen aan gebouwonderdelen aan te brengen zonder dat het noodzakelijk is om hierbij de constructie aan te passen (van der Voordt, 2007). Deze ontwerpstrategie ontwikkelt vanuit de levenscyclus van materiaal en componenten het gehele gebouw (Paduart, et al., 2009). De mate van losmaakbaarheid wordt geanalyseerd op zes schilniveaus van een gebouw. Weergegeven in Brand (1994) *“How Buildings Learn”*, verhoogt deze manier van bouwen de aanpasbaarheid en het hergebruik van het gebouw (Brand, 1994). De ontwerpkeuzes hebben een grote impact tijdens de gebruiksfase. Door aanpasbaarheid in gebouwen te implementeren, zijn deze gebouwen of hun onderdelen in de toekomst breed toepasbaar. Op deze manier bouwen verlaagt de ontwikkeling-, onderhoud- en levenseindekosten, en hiermee de LCC, de ecologische voetafdruk en verhoogt aanpasbaarheid de gebruiksflexibiliteit (Durmisevic, 2006; Sterner, 2000)

Als laatste is het belangrijk dat de circulaire doelstelling niet na de eerste cyclus verdwijnt, maar dat de componenten en grondstoffen een nieuwe cyclus in gaan. Dit zou mogelijk zijn door nieuwe bedrijfsmodellen te ontwikkelen welke zich richten op de circulaire

economie. Er kunnen product-dienst combinaties opgericht worden waarbij een terugname en kwaliteit van grondstoffen en componenten gewaarborgd wordt (Schoolderman, et al., 2014). Implementatie van circulariteit gebeurt dus niet alleen tijdens het bouwproces maar het is zeker net zo belangrijk dat de circulaire doeleinden geïmplementeerd worden tijdens de bedrijfsfase en hierna (Loppies, 2015). De mogelijkheid van meerdere kringlopen die componenten en materialen kunnen meemaken is belangrijk om de circulaire economie in de LCC berekening te kunnen implementeren (Bradley, et al., 2018).

2.3 Circulair bouwen per Life Cycle Cost determinant

De LCC-berekening bestaat uit vier determinanten waar circulair bouwen tot verschillende effecten leidt. Deze worden in de volgende sub-hoofdstukken behandeld.

Ontwerp & Planning

De ontwerp- en planningsfase bestaat uit onderzoeks-, ontwerp-, documentatie- en overige kosten. Om circulair te bouwen en de circulaire gedachte te waarborgen worden gebouwen gezien als materialenbank. Per gebouw wordt er een materialenpaspoort aangemaakt. Werken vanuit de LCC is het waardevolst wanneer hier vanaf de ontwerp- en planningsfase op gestuurd wordt. In deze fase zijn de kansen voor kostenverlagingen het grootst en kunnen hogere initiële kosten verantwoord worden (Sterner, 2000; ISO15686-5, 2017). Belangrijk in het ontwerpproces van circulaire gebouwen is om *Design for Disassembly* (DfD), *Design for maintainability*, *design for reuse*, *design for remanufacturing* en *design for recyclability*, te implementeren. Bouwen volgens deze principes zorgt dat componenten later makkelijk uit elkaar te halen en herbruikbaar zijn. Daarbij moet een deconstructieplan in het BIM geïmplementeerd worden om de deconstructie bij het levenseinde te bevorderen (Akinade, et al., 2016). Verder is het van belang dat er een analyse gemaakt wordt van de te hergebruiken materialen (Akanbi, et al., 2018). Het eindpunt van de ontwerp- en planningsfase is het verlagen van de kosten en verlengen van de levensduur (Sanchez & Haas, 2018).

Circulariteit zorgt in de ontwerp- en planningsfase voor een stijging van de LCC. Wanneer goed uitgevoerd, zal deze duurdere eerste fase tot een toekomstige verlaging van de LCC leiden door een betere planning, documentatie en duurzaamheidsinvesteringen.

Bouwkosten

De bouwkosten bestaan uit directe en indirecte bouwkosten. De voornaamste kosten bestaan uit Materiaal, Arbeid, Materieel en Onderaanneming (MAMO) (Copper8 & Alba, 2017). Haugbølle & Rafnsøe (2019) stellen dat gemiddeld 50% van de LCC in duurzame gebouwen uit bouwkosten bestaat. Het platform CB23 benadrukt dat circulair niet een nieuw woord voor duurzaam is en deze 50% is dus niet één op één te vergelijken met circulaire gebouwen

(Platform CB'23, 2019). Wanneer onroerende zaken gebouwd worden met een circulaire intentie brengt dit momenteel gemiddeld tussen de 14 en 24% hogere bouw- en investeringskosten met zich mee. Dit wordt veroorzaakt doordat de markt voor hergebruikte materialen en producten nog in de kinderschoenen staat en door de zwaardere arbeidsbelasting bij het gebruik van hergebruikte materialen (Copper8 & Alba, 2017). Op dit moment is het bij de deconstructie van gebouwen vaak nog niet haalbaar om de materialen te hergebruiken. De verhoudingen tussen materiaalkosten en arbeid zijn bij een nieuw gebouw respectievelijk 35% arbeid, en 65% materiaalkosten, maar bij renovatie ligt dit andersom, zo'n 35% gaat naar materiaalkosten en zo'n 65% naar arbeid (TNO, 2019). Als de deconstructie te complex of tijdrovend is, zal het goedkoper en milieuvriendelijker zijn om nieuwe materialen te gebruiken in plaats van gebruikte materialen (Sanchez & Haas, 2018). Er zijn voor verschillende materialen al vele mogelijkheden, zo blijkt bijvoorbeeld dat hergebruik van beton de materiaalkosten van beton met 56% kan verlagen (Charlson, 2008). Op dit moment wordt er al veel met hergebruikte materialen gebouwd, maar door de aanpassingen die gedaan moeten worden aan de materialen zijn deze materialen nog vaak duurder dan nieuwe materialen. Daarnaast is momenteel nog maar zo'n 1% van de totale gebouwenvoorraad ontworpen met DfD als doel (Durmisevic, 2006). Wanneer er in al het vastgoed gebouwd wordt volgens het DfD principe zullen er veel meer materialen direct te hergebruiken zijn, de materialenbanken vele malen uitgebreider en toegankelijker worden en is de verwachting dat de kosten voor circulair bouwen lager uitvallen.

Onderhoud- en beheer

De onderhoud- en beheerkosten bestaan uit inspectiekosten, groot onderhoudskosten, vervangingskosten en overige kosten. Het onderhoud en beheer beslaat gemiddeld ongeveer 30% van de LCC in gebouwen (Haugbølle & Raffnsøe, 2019). Onderhoudskosten kunnen sterk verschillen tussen gebouwen van hetzelfde type en leeftijd (Fuller, 2006). Bij *Design for maintenance* wordt een snelle en efficiënte ontkoppeling van onderdelen gewaarborgd. Dit vergemakkelijkt onderhoud en reparaties en maakt het makkelijker om deze componenten te hergebruiken (Durmisevic, 2006). *Design for maintenance* is een onderdeel van het ontwerp binnen circulair bouwen en zal de onderhoudskosten verlagen door de lagere arbeids- en materiaalkosten (Durmisevic, 2006).

Levens einde

De restwaarde van onroerend goed bestaat uit de overblijvende waarde aan het eind van de levensperiode of wanneer het onroerend goed vervangen wordt. Restwaarde kan gebaseerd worden op verkoopwaarde of schrootwaarde (Fuller, 2006). De restwaarde van circulaire gebouwen wordt bepaald door de fysische losmaakbaarheid van onroerende zaken.

Hoe minder er veranderd hoeft te worden voor hergebruik, renovatie of recycling, hoe hoger de restwaarde (Copper8 & Alba, 2017). De beste levenseindestrategie hangt af van de materialen, de levensduur van deze materialen en het ontwerp van het gebouw (Chau, et al., 2017). Wanneer een gebouw een hoog adaptief vermogen heeft kan de restwaarde hoger uitkomen dan wanneer een gebouw een laag adaptief vermogen heeft (Hermans, et al., 2014). Deconstructie in plaats van sloop brengt vele pluspunten, zoals behouden van energie, verlaagde uitstoot en andere milieuvordelen. Alhoewel *Design for Disassembly* beter is voor het milieu blijken de kosten nog 17 tot 25% hoger te liggen dan wanneer een gebouw gesloopt wordt (Akinade, et al., 2016). De levenseindekosten verhogen de LCC dus vooralsnog.

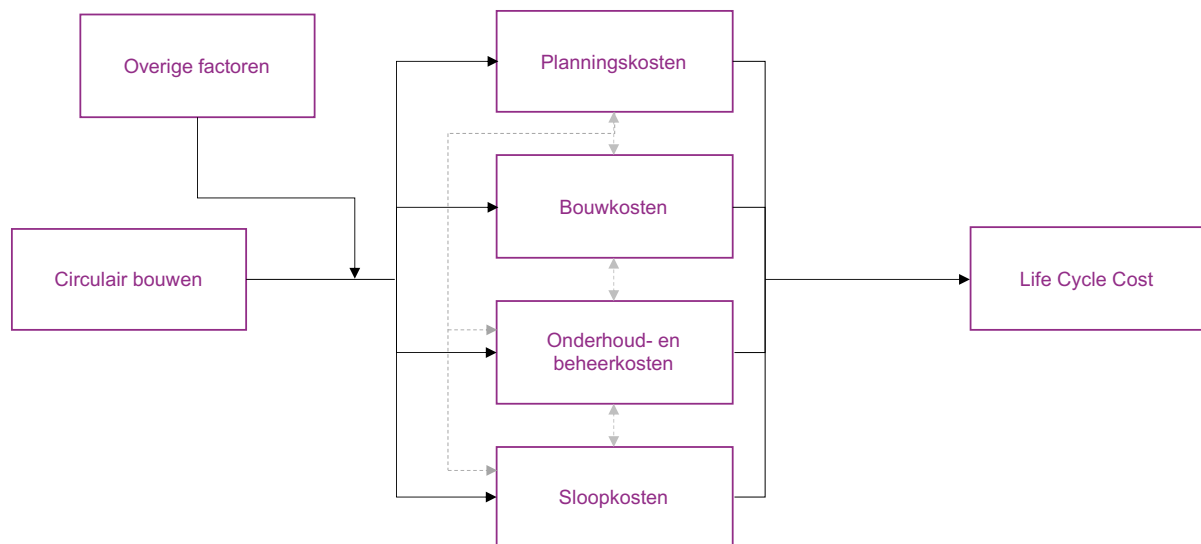
Interactie tussen de determinanten

Naast dat de determinanten alleen invloed uitoefenen op de LCC, beoefenen de determinanten ook invloed op de andere determinanten en zullen de gemaakte keuzes met betrekking tot de circulariteit binnen een bepaalde fase doorwerken op een andere fase. Wanneer er rekening gehouden wordt met de LCC vanaf het begin van de planningsfase van gebouwen kan er tijdens de verschillende fases veel invloed zijn op de bouwkosten, onderhoud- en beheerkosten en het levenseinde (Durmisevic, 2006). Wanneer de LCC vanaf het begin van het gehele proces als maatstaf gebruikt wordt dan zal dit hogere initiële investeringen verklaren, lagere onderhouds- en beheerkosten en een hogere waarde bij levenseinde opleveren (Sterner, 2000; Durmisevic, 2006; Copper8 & Alba, 2017). Het totale effect van circulair bouwen op de LCC hangt dus sterk af van de keuzes die gemaakt worden tijdens de planning en investeringsfase, en het toekomstige gebruik van de materialen en componenten.

2.4 Conceptueel model & hypothesen

Het conceptueel model beschrijft de relatie van kantoorgebouwen en de Life Cycle Cost als deze circulair worden opgeleverd.

De LCC van een gebouw heeft een niet lineair verloop. Om een circulair gebouw in toenemende mate circulair te maken zullen er hogere investeringen gedaan moeten worden. Daarnaast nemen de kosten voor implementatie van circulariteit in het gebouw toe naarmate de levenscyclus vordert. De onderliggende relatie tussen de determinanten werkt op elkaar door. Naast het gegeven dat circulariteit van invloed is heeft de planningsfase invloed op de bouwkosten, onderhouds- en beheerkosten en de sloopkosten. De verwachting is dat circulariteit de restwaarde en de bouwkosten zal beïnvloeden, wat ervoor zorgt dat de LCC lager worden. Wanneer alle verandering in determinanten bij elkaar opgeteld worden zal het onduidelijk zijn of de LCC hoger of lager uitvalt wanneer er circulair gebouwd wordt. Op grond



Figuur 2: Conceptueel model

van het gedane literatuuronderzoek, de gevonden resultaten en de beperkte academische literatuur binnen circulaire economie en Life Cycle Cost, zijn voorlopige hypothesen opgesteld.

Hypothese 1: De initiële investeringen van een circulair kantoorgebouw is hoger dan wanneer een conventioneel kantoorgebouw gerealiseerd wordt.

Uit onderzoek blijkt dat momenteel de ontwerp- en bouwfase nog duurder zijn door het lage aanbod van gebruikte materialen geschikt voor hergebruik en de nog in ontwerp zijnde flexibele componenten welke later in een volgende cyclus gebruikt kunnen worden (Copper8 & Alba, 2017). Daarnaast is het merendeel van de gebouwde omgeving niet ontworpen middels het *Design for Disassembly* principe waardoor een groot gedeelte van de componenten in de huidige gebouwde omgeving (economisch) niet of onvoldoende geschikt zijn voor hergebruik in nieuwe gebouwen (Durmisevic, 2006).

Hypothese 2: De restwaarde van een circulair kantoorgebouw dat gebouwd is met een hoog adaptief vermogen en een hoge losmaakbaarheid zal hoger uitvallen dan de restwaarde van een conventioneel kantoorgebouw.

De verwachting is dat de restwaarde voornamelijk hoger zal uitvallen door de hoge losmaakbaarheid. De initiële kosten zullen op hetzelfde niveau als conventionele gebouwen gebracht worden, en de restwaarde zal een stuk hoger uitvallen. Wanneer een gebouw over een hoge losmaakbaarheid en flexibiliteit (adaptief vermogen) beschikt, zullen de arbeidskosten van het materiaal terugwinnen lager zijn. Dit zal ervoor zorgen dat deze materialen een hogere restwaarde hebben (Hermans, et al., 2014).

Hypothese 3: De Life Cycle Cost van een circulair kantoorgebouw wijkt niet per definitie af van een conventioneel kantoorgebouw. De verhoudingen binnen de Life Cycle Cost zullen verschillen.

De totale LCC zal niet per definitie hoger of lager zijn. De verwachting is dat de initiële kosten hoger uit zullen vallen (Copper8 & Alba, 2017) maar dat een hogere initiële investering afweegt tegenover de lagere kosten in latere fasen. Wanneer op basis van de LCC de keuzes in een project gemaakt worden, zal met grote waarschijnlijkheid een hogere LCC niet geaccepteerd worden. Een hogere LCC zal dan alleen geaccepteerd worden wanneer door een hogere investering substantiële ecologische en milieu voordelen gerealiseerd wordt. Daartegenover staat dat er een stuk minder waarde verloren zal gaan bij gebruik van de materialen en componenten aangezien deze hergebruikt kunnen worden na levenseinde en de levenseinde kosten lager zullen worden en de restwaarde hoger zal worden.

3. Methode & Casussen

In dit hoofdstuk worden de methode en de casusselectie besproken waarna de casussen individueel inhoudelijk behandeld worden op hun circulaire ambitie en op de LCC

3.1 Methode

Om het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost te onderzoeken is in dit onderzoek de meervoudige casusstudie methode toegepast. De invloed van circulair bouwen op de LCC wordt verklarend onderzocht. Verklarend casuonderzoek is een goede manier om de relaties die nog niet door de literatuur zijn ontdekt aan de theorie toe te voegen. Er wordt een oorzaak-gevolg relatie gezocht om te onderzoeken of en hoe circulair bouwen de determinanten van de LCC en daarbij de totale LCC beïnvloedt (Hancock & Algozzine, 2006). Om tot een sterk en betrouwbaar antwoord te komen is gekozen voor een meervoudige casusstudie (Baxter & Jack, 2008). Hierin worden verschillen binnen en tussen de nader te benoemen casussen onderzocht en vergeleken met een conventioneel kantoorgebouw. In tegenstelling tot een enkelvoudige casusstudie, waarbij een enkel circulair kantoorgebouw onderzocht zou worden en er dus geen onderlinge vergelijkingen gemaakt kunnen worden. Om de casussen te kunnen vergelijken is het van belang dat de casussen zo veel mogelijk gelijkwaardig zijn (Yin, 2003). Dit betekent dat de overige factoren van de casussen het meest gelijk zijn zonder dat de circulariteit hierbij in acht genomen wordt (Seawright & Gerring, 2008). Zo kan het effect van circulariteit het beste onderzocht worden binnen en tussen de verschillende casussen en kan er tot het sterkste resultaat gekomen worden.

Life Cycle Cost

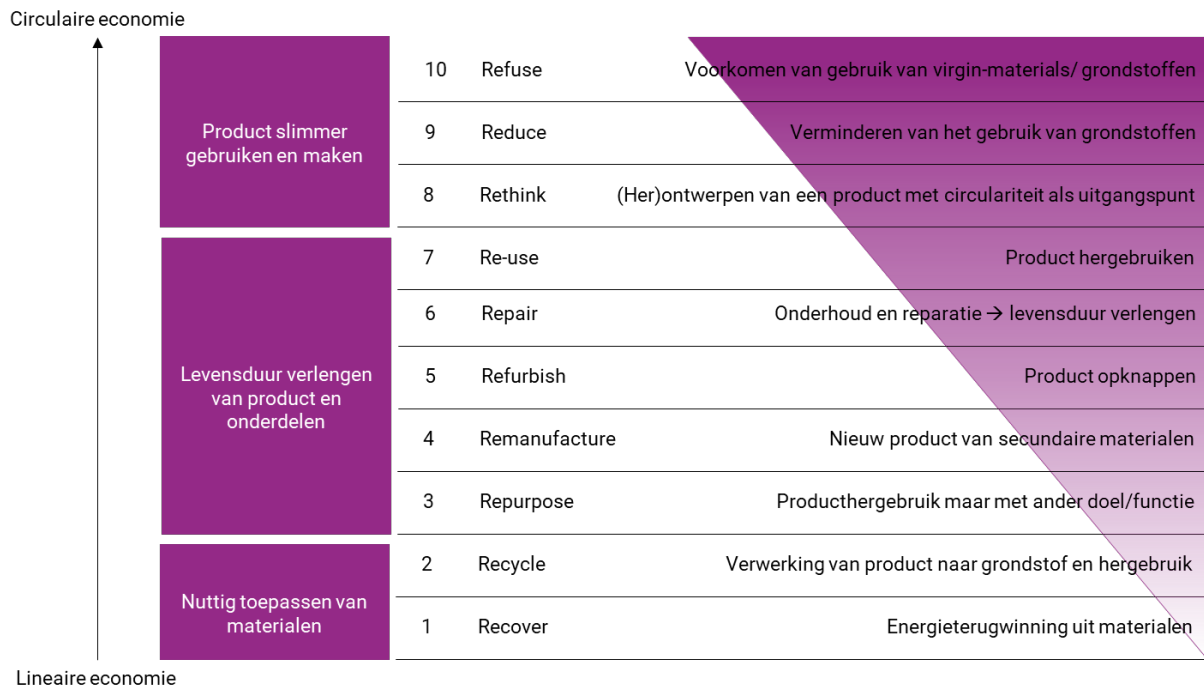
De Life Cycle Cost omvat alle kosten die gemaakt worden tijdens de totale levensduur van een gebouw (Addis & Talbot, 2001). In dit onderzoek wordt de LCC opgesplitst in vier fases van de levensduur van het gebouw, de ontwerp- en planningsfase, bouwphase, beheer- en onderhoudsfase en het levenseinde. Elke fase brengt haar eigen kostenstroom met zich mee, zie figuur 1. In dit onderzoek worden bij de berekening van de LCC alleen de kosten voor de instandhouding van het gebouw, oftewel de gebouwgebonden kosten meegenomen. De organisatiegebonden kosten, de kosten die aan de gebruiker toe te wijzen zijn, worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Deze kosten worden buiten beschouwing gelaten omdat de organisatiegebonden kosten afhankelijk zijn van de organisatie die in het gebouw gehuisvest is, en niet afhankelijk zijn van het gebouw. Het gebruik van de organisatiegebonden kosten zal de homogeniteit van de casussen in het onderzoek aantasten. Deze kosten blijven buiten beschouwing ter wille van de vergelijkbaarheid van de casussen. De berekening van de LCC is te vinden in bijlage B.

Circulariteit

De casussen worden eerst vanuit de documenten op de circulaire ambitie getoetst. Daarna worden de casussen onderzocht op de circulariteit per LCC determinant om inzicht te krijgen in het effect dat circulariteit heeft op elke determinant en waar mogelijk een vergelijking te maken is tussen de determinanten.

Om de circulariteit van gebouwen te meten bestaan verschillende methoden. De kernmethode voor circulair bouwen richt zich op het beschermen van de materiaalvoorraden, op het beschermen van milieukwaliteit en het beschermen van bestaande waarde. Een uitgangspunt is dat de meetmethode moet aangeven in hoeverre een bouw gerelateerde activiteit bijdraagt aan circulair bouwen (Platform CB'23, 2019). Hiervoor wordt op het moment een meetmethode ontwikkeld door Platform CB'23. Deze methode berekent de circulariteit met behulp van informatie over de hoeveelheid gebruikt materiaal, beschikbaar materiaal voor een volgende cyclus, hoeveelheid verloren materiaal, invloed op milieukwaliteit, hoeveelheid gebruikte bestaande waarde, hoeveelheid beschikbare waarde voor een volgende cyclus en hoeveelheid verloren bestaande waarde per gebouw. Hiervoor is data nodig over de gebruikte materialen in alle levensfasen, de hoeveelheid, herkomst en eigenschappen van het materiaal, data over het adaptieve vermogen, de geschatte levensduur en milieukostenindicator (MKI) berekeningen. Voor de berekening van circulariteit op deze manier is binnen dit onderzoek niet genoeg data beschikbaar. Hierom zal deze methode niet haalbaar zijn binnen dit onderzoek en is er voor een andere methode gekozen.

Een breder toepasbaar alternatief is het 10R-model. Om de casussen te kunnen schalen op circulariteit wordt het 10R-model gebruikt (Cramer, 2017). Voor het gebruik van het 10R-model is de benodigde data beschikbaar binnen dit onderzoek. De 10R-ladder loopt van lineaire naar circulaire economie. Er zijn verschillende circulaire strategieën welke in het 10R-model weergegeven worden. De strategieën zijn onder te verdelen in de drie hoofdkenmerken, het nuttig toepassen van materialen, de levensduur van onderdelen en producten verlengen en het product slimmer gebruiken en maken. Op deze manier kan er een analyse gemaakt worden over de bij de casus horende mate van circulariteit en de circulaire strategie. Hierbij kan de circulaire intentie getoetst worden op schilniveau en op het gehele gebouw (Cramer, 2017; Brand, 1994). Daarnaast kan worden getoetst uit welke kringloop de materialen komen en in welke kringloop deze na levenseinde worden hergebruikt. De vertaalslag die gemaakt moet worden om tot de mate van circulariteit te komen wordt gerealiseerd door de circulaire ambities van de casus te analyseren op de verschillende schilniveaus van de casussen en deze te toetsen op de drie hoofdkenmerken en daarna op de treden binnen het betreffende hoofdkenmerk. Een bepaalde circulaire ambitie behoort bij een bepaalde trede binnen het model. Binnen een casus kunnen verschillende circulaire ambities elkaar afwisselen, daarom wordt er een bandbreedte van de circulariteit gegeven waarbinnen de casus zich bevindt.



Figuur 3: 10R-model (Cramer, 2017)

3.2 Casusselectie

Dit onderzoek selecteert als casussen kantoorgebouwen met een duidelijk circulaire ambitie. Voor circulaire gebouwen zijn er op dit moment geen eenduidig gelijkwaardige gebouwen aangezien de nu gerealiseerde circulaire gebouwen vooruitstrevende innovatieve gebouwen met een voorbeeldfunctie zijn. De circulaire gebouwen verschillen daardoor aanzienlijk in architectuur, maar ook in technologieën, bouwwijze en materialen.

De casussen worden geselecteerd op basis van de mate van circulariteit, beschikbaarheid van informatie over de circulariteit van het gebouw, de circulaire ambitie en LCC, en het soort gebouw. In het onderzoek is gekozen om als casus kantoorgebouwen te gebruiken, omdat de meeste gebouwen met circulaire ambitie in Nederland publieke of private kantoorgebouwen zijn. Om de homogeniteit zo veel mogelijk te waarborgen, zijn kantoorgebouwen geselecteerd met een hoge circulaire ambitie (Swanborn, 1994). De casussen bevatten informatie over de circulaire ambitie van het gebouw en een bespreking van de LCC per determinant. Daarnaast zijn de huidige gebouwen welke worden aangemerkt als een circulair gebouw ontwikkeld en gebouwd in het afgelopen decennium. De onderzochte casussen zijn of worden tussen 2013 en 2022 opgeleverd. Daarnaast zijn de casussen gelegen op matig stedelijke locaties. Verder is nagegaan of het project nieuwbouw of renovatie betrof en of het gehele gebouw of een gedeelte van het gebouw binnen het project viel. Om de homogeniteit te waarborgen is wederom gekozen om alleen nieuwbouw en nieuwbouwrenovatie te kiezen en tijdelijk demontabele gebouwen buiten beschouwing te

laten. Daarnaast is de toekomst van een tijdelijk demontabel gebouw zoals de tijdelijke rechtbank onzeker. In tabel 1 zijn de mogelijke en de geselecteerde casussen weergegeven. Tenslotte resulteren vijf casussen die over een kantoorfunctie beschikken en een nieuwbouwproject waren of renovatie waarbij het gehele project praktisch als nieuwbouw opgeleverd is.

De benodigde informatie en data bestaat uit de circulaire ambitie en data over de investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten en het levenseinde van het kantoorgebouw. Informatie over de circulaire ambitie kan uit de casus documenten gefilterd worden en geïnterpreteerd naar de circulaire ambities van het 10R model. De investeringskosten zijn openbaar of via draaijer+partners beschikbaar. De beheer- en onderhoudskosten is een kost die door te veel exogene variabelen beïnvloed worden. Deze kosten worden hierom alleen via de literatuur onderzocht. Het levenseinde is vaak niet opgesteld of uitgewerkt, deze wordt mee genomen in de casussen waar mogelijk.

De informatie uit de casussen is gewonnen uit documenten die beschikbaar gesteld zijn bij draaijer+partners, op internet en waar nodig verkregen via interviews, telefoon of email. Zoals beschreven in Hancock & Algozzine (2006) wordt de benodigde informatie verzameld om de relatie tussen de LCC en circulariteit te ontdekken.

Tabel 1: *Mogelijke casussen en geselecteerde casussen met functie, projectsoort en vestigingsplaats*

Project	Functie	Projectsoort	Plaats
<i>Casussen</i>			
Swettehûs	Kantoor	Nieuwbouw	Leeuwarden
Triodos Bank	Kantoor	Nieuwbouw	Driebergen-Rijsenburg
Alliander	Kantoor	Nieuwbouw/Renovatie	Duiven
Gemeentehuis Brummen	Kantoor	Nieuwbouw/Renovatie	Brummen
Stadskantoor Venlo	Kantoor	Nieuwbouw	Venlo
<i>Mogelijke casussen</i>			
ZONE.College	School	Tijdelijk demontabel gebouw	Zwolle
CIRCL	Kenniscentrum	Nieuwbouw	Amsterdam
De Kromhout Kazerne	Kantoor	Nieuwbouw	Utrecht
Global Foods Innovation Centre	Kantoor & laboratorium	Nieuwbouw	Wageningen
De tijdelijke rechtbank	Kantoor/rechtbank	Tijdelijk demontabel gebouw	Amsterdam
The green house	Restaurant	Tijdelijk demontabel gebouw	Utrecht
Biosintrum	Kenniscentrum	Nieuwbouw	Oosterwolde
Pharos	Kantoor	Renovatie verdieping	Hoofddorp
Huis van de Gemeente Peel en Maas	Kantoor	Nieuwbouw	Panningen
TenneT	Kantoor	Inbouw huisvesting	Arnhem

3.3 Casus 1: Swettehûs

Het Swettehûs in Leeuwarden is een brugbedieningscentrum (kantoor) in combinatie met een steunpunt voor het beheer en onderhoud van en toezicht op de vaarwegen van Provinciale Waterstaat. Vanuit het brugbedieningscentrum worden circa 40 bruggen op afstand bediend. De verwachting is dat de bouw van het Swettehûs in 2020 begint en in 2022 afgerond zal zijn. De ontwikkeling van het Swettehûs beslaat een gebouw van circa 2100 m² BVO, een haven (ca 2600m²), een boothuis (ca. 450m²) parkeerterrein (1000m²) en een fietsenstalling (80m²). De totale gebouwde omgeving bedraagt circa 5200m².

Circulaire ambitie

Bij de ontwikkeling van het Swettehûs vanaf 2018 is een hoge circulaire ambitie meegegeven. Die wordt gerealiseerd met de vijf pijlers energieke en gezonde werkomgeving, geen nieuw grondstofgebruik, flexibel en adaptief (6S model), zelfvoorzienend (geen water- en energieverbruik) en optimaal gebruik van de waterrijke omgeving. Daarnaast zijn alle materialen circulair, waarvan 50% hergebruikte materialen zijn. De overige materialen bestaan uit hernieuwbare en duurzame materialen. Het Swettehûs is eenvoudig aanpasbaar bij krimp, in functie, bij uitbreiding en belast bij afstoten van een deel van het gebouw het milieu niet. De verbindingen zijn eenvoudig demontabel zodat recycling en scheiding van materiaal in de toekomst eenvoudig is (draaijer+partners, 2018).

Life Cycle Cost

Tijdens de planningsfase van het Swettehûs is er gekozen voor circulair bouwen. Daarbij is er een materialenpaspoort ontwikkeld, waarin opgenomen is wat de herkomst van de materialen is, waar in het gebouw deze materialen verwerkt zijn en hoe de materialen bij onderhoud, vervanging of levenseinde te demonteren zijn.

Omdat de bouwmaterialen voor een groot gedeelte uit materialen die hergebruikt zijn bestaan, vallen de bouwkosten hoger uit. Daarnaast moeten de nieuwe materialen niet toxisch en hernieuwbaar zijn of oneindig mee kunnen gaan, in totaal betekent dit een additionele investering van zo'n 10%. De totale bouwkosten bedragen ongeveer €9,2 miljoen.

De onderhoudskosten zijn door het demontabele gebouw lager, het is namelijk makkelijker om iets te vervangen en minder tijdconsumerend (Durmisevic, 2006).

Bij de LCC-berekening van het kantoor en in de planningsfase zijn geen afspraken gemaakt over de restwaarde. Deze is daarom sterk afhankelijk van wat er gebeurt met het gebouw bij het levenseinde en over de restwaarde van het Swettehûs zijn daarom geen gegevens beschikbaar.

3.4 Casus 2: Triodos Bank

De Triodos Bank moest vanwege groei van de organisatie naar een groter kantoor verhuizen. De nieuwe locatie is op Landgoed De Reehorst in Driebergen-Rijsenburg. Het kantoor heeft een *BREEAM Outstanding* score van boven de 85%. Het gebouw is in 2019 opgeleverd, is in totaal 12.994m² groot en bezit 600 werkplekken (Triodos Bank, 2019).

Circulaire ambitie

Het kantoorgebouw van Triodos Bank is een volledig demontabel gebouw. Het gebouw is in elkaar geschroefd en er zijn geen toxische verbindingen. In theorie betekent dit dat 100% van het gebouw opnieuw gebruikt kan worden zonder waardeverlies. De constructie van het gebouw bestaat geheel uit hout. Alleen de kelder bestaat uit een betonnen constructie in verband met de waterhuishouding. Hierdoor heeft het gebouw de laagste CO₂ voetafdruk tot en met in ieder geval 2019 (RAU Architecten, 2019). Het gebouw bestaat uit hergebruikte, en nieuwe te hergebruiken materialen. Daarnaast is veel hout dat vrijkwam van het landgoed, gebruikt bij de inrichting (Triodos Bank, 2019). Alle materialen zijn bijgehouden in een materialenpaspoort bij Madaster en in Revid 3D ontworpen. Op deze manier is het hergebruik in de toekomst makkelijker te waarborgen.

Life Cycle Cost

Bij de ontwikkeling van het Triodos Bank kantoor op De Reehorst zijn alle keuzes in de ontwerpfase getoetst op de impact op de levensduurkosten over een periode van 40 jaar (Triodos Bank, 2019). Daarnaast is er gestreefd naar een BREEAM-score, wat de planningskosten verhoogt. Verder is het hele gebouw opgenomen in het Madaster, wat ook extra planning- en documentatiekosten met zich mee brengt.

De bouwkosten voor het kantoor beslaan €1.770 per vierkante meter, in totaal zo'n €23 miljoen. Dit ligt tussen de bouwkosten van een simpel rechthoekig kantoor langs de snelweg (€1.200/m²) en een kantoor aan de Zuid-as (€2.200/m²) (de Thouars, 2019).

Doordat de levensduurkosten bij planning continu in de gaten zijn gehouden, het gebouw demontabel en flexibel is gebouwd en er rekening is gehouden in het ontwerp met eventueel onderhoud en vervanging is de verwachting dat de onderhoudsfrequentie laag blijft en de levensduur verlengd wordt. Daardoor blijven de onderhoudskosten laag. Daarnaast is het gebouw energieneutraal en zullen de exploitatiekosten lager uitvallen dan wanneer deze duurzaamheidsmaatregelen niet genomen zouden zijn (Triodos Bank, 2019).

De verwachte restwaarde van het gebouw ligt hoog. De gehele constructie kan uit elkaar gehaald worden en ergens anders weer in elkaar gezet worden. Dat betekent dat er geen sloop nodig is bij dit kantoorgebouw. De daadwerkelijke restwaarde in de toekomst moet nog blijken, hier is geen uitspraak over gedaan (Triodos Bank, 2019).

3.5 Casus 3: Alliander Duiven

Nutsbedrijf Alliander heeft nieuwe huisvesting gecreëerd in een complex van vijf bestaande gebouwen, welke zijn samengevoegd tot één gebouw met een zwevend dak (RAU, 2016). Het gebouw is opgeleverd in 2016, is 23.000m² groot en bezit 1.550 werkplekken en staat in Duiven.

Circulaire ambitie

De grondstoffen en materialen die gebruikt zijn in het gebouw zijn voor 83% hergebruikt en gedocumenteerd in een grondstoffenpaspoort. Verder is afval voor meer dan 90% gerecycled tijdens de bouw (RAU, 2016; RVO, 2016). Daarnaast is het gebouw demontabel, en kunnen er delen van het gebouw, of het gehele gebouw gedemonteerd worden wanneer deze overbodig is geworden (RVO, 2016). Tijdens het bouwproces is gekeken naar de bouwactiviteiten en directe transportbewegingen van en naar het terrein. Daarnaast is tijdens de renovatie geïnvesteerd in energiebesparende maatregelen en de opwekking van zonne- en windenergie. De energie wordt opgewekt voor gebruik tijdens de levensduur van het gebouw maar ook tijdens de bouwfase werd energie geleverd van de zonnepanelen aan de bouwplaats (KPMG Sustainability, 2017).

Life Cycle Cost

De planningskosten van Alliander zijn samengevoegd met de bouwkosten tot investeringskosten. Deze liggen volgens Alliander niet veel hoger dan bij een normaal gebouw. In totaal is de bouwsom zo'n €26 miljoen en kostte de totale renovatie €35 tot €40 miljoen. Door het hergebruik van materialen heeft Alliander €2 miljoen bespaard ten opzichte van de situatie wanneer nieuwe materialen gebruikt zouden zijn. Daarnaast is in de constructie 30% minder staal gebruikt wat €400.000 aan impact vermeden heeft (KPMG Sustainability, 2017).

De onderhouds- en beheerkosten liggen lager dan normaal aangezien het gebouw geen energie gebruikt, het ontwerp heeft geleid tot duurzaam gebruik en onderhoud. De vermeden impact van luchtemissie door energiegebruik ten opzichte van een gemiddeld kantoorpand betreft €4 miljoen (uitgaande van een gebruiksduur van 30 jaar). Dit komt door investering in energiebesparende maatregelen en opwekking van duurzame energie (KPMG Sustainability, 2017).

Voor het meubilair is een afspraak gemaakt met Gispén voor een restwaarde van ongeveer 20%, een eventuele plus of min wordt gedeeld (Hamstra & Verploegen, 2016). Over de restwaarde van de gehele constructie is geen uitspraak gedaan, dit is volgens Alliander over een te lange tijd en daardoor nog niet bekend. Hier is dan ook geen businesscase voor opgemaakt (van der Pijl, 2017).

3.6 Casus 4: Gemeentehuis Brummen

De gemeente Brummen zocht een nieuwe semipermanente huisvesting met een levensduur van minimaal 20 jaar. Het gebouw is het eerste gebouw ter wereld dat is gerealiseerd als grondstoffendepot (RAU, sd). De oude villa uit 1890 is hersteld en hier omheen is een nieuwe uitbouw gerealiseerd. Het gebouw is opgeleverd in 2013 en omvat in totaal 3.000m² bedrijfsvloeroppervlakte.

Circulaire ambitie

Het gemeentehuis is voor ruim 90% demontabel en herbruikbaar. Daarnaast is de aanwezige oude villa gerenoveerd (RAU, sd). Bij de bouw van het gemeentehuis is veel gebruik gemaakt van duurzame materialen met een hoog Cradle to Cradle (C2C) gehalte. Samengestelde materialen zijn zoveel mogelijk vermeden om de materialen in de toekomst makkelijker te kunnen demonteren. Daarnaast is veel gebruik gemaakt van prefab bouwsystemen. Verder is in het interieur zoveel mogelijk van C2C gebruik gemaakt en zijn de binnenwanden transparant of uitgevoerd in karton (BAM Utiliteitsbouw, 2013). Tijdens het ontwerp is er rekening gehouden met flexibiliteit door een standaard modulemaat te gebruiken. Er kunnen op deze manier eenvoudig wijzigingen aangebracht worden. Daarnaast zijn de warmte- en luchtinstallaties gebaseerd op de werkplekken en kunnen deze ook makkelijk aangepast worden. Verder is de aanbouw aan alle kanten uit te breiden wat extra flexibiliteit met zich meebrengt (BAM Utiliteitsbouw, 2013).

Life Cycle Cost

De bouwkosten van het gemeentehuis Brummen waren lager dan gebruikelijke bouwkosten. Dit komt mede door het hergebruik van materialen. Het budget was beperkt, er was 6 miljoen euro beschikbaar om het oude gebouw te slopen en het nieuwe gebouw te realiseren. Het gebouw is naast dat het opgesteld is als grondstoffenbank niet in een systeem geplaatst om de plannings- en ontwerpkosten laag te houden (van den Berg, M., 2016).

Het gebouw is demontabel dus de onderhoudskosten zijn lager dan bij een normaal kantoorgebouw. Daarbij gebruikt het gebouw 93% minder energie, wat de exploitatiekosten verlaagt (Tissink, 2013). Het beheer en onderhoud wordt gedaan door de gemeente zelf (van den Berg, M., 2016).

Naar de restwaarde van het gebouw is geen onderzoek gedaan. Van het gebouw is zo'n 90% herbruikbaar, wat de waarde van de componenten stuwt. In verband met het niet hebben van plannen voor het levenseinde van het gebouw kan geen betrouwbare uitspraak over de restwaarde worden gedaan.

3.7 Casus 5: Stadskantoor Venlo

Stadskantoor Venlo is het nieuwe gemeentehuis van Venlo. Het kantoor is één van de eerste gebouwen in Nederland dat is ontworpen volgens het Cradle-to-Cradle principe. Het gebouw is 13.500m² groot, beschikt over 650 werkplekken en is in 2016 opgeleverd.

Circulaire ambitie

Het gebouw is ontworpen als materialendepot met een vooraf gedefinieerde restwaarde, daarnaast wekt het gebouw energie op en zuivert het binnen- en buitenlucht en water door het overvloedig gebruik van planten (Kraaijvanger, 2016; Cox, sd). Het gebouw is gebouwd met de C2C aspecten: verbetering van de luchtkwaliteit, hernieuwbare energie en energiebesparing, sluitende kringloop en verbeterde waterkwaliteit als hoofdpunten (C2C ExpoLab, 2014). Deze maatregelen hebben geresulteerd in 75% lagere energielasten en een waterbesparing van 10% ten opzichte van een situatie waarin deze maatregelen niet genomen zouden zijn (Circulaire Stad, 2016). Het gebouw is volledig demontabel ontworpen inclusief groen sloopbestek en materialenpaspoort. Op het dak is een kas gebouwd die via natuurlijke ventilatie en veel planten de lucht in het gehele gebouw zuivert (Kraaijvanger, 2016). De gebruikte materialen zijn niet toxisch, hergebruikt en waar mogelijk C2C gecertificeerd. Het resultaat is dat 80% van de materialen hergebruikt kan worden bij levenseinde van het gebouw. Daarnaast is de inrichting van het gebouw volledig C2C gecertificeerd en is er gewerkt met een terugkoopsysteem (C2C ExpoLab, 2014).

Life Cycle Cost

In de casus zijn de plannings- en bouwkosten samengenomen tot een totale investering van €53 miljoen. Deze initiële kosten zijn door de duurzaamheidsinvesteringen hoger dan wanneer het gebouw geen duurzaamheidstoepassingen zou bevatten. Het gebruik van hergebruikte materialen heeft geresulteerd in een besparing van €400.000 aan materiaalkosten (Circulaire Stad, 2016). Voor alle investeringen is een *Total Cost of Ownership* (TCO) berekening gemaakt waaruit berekend is welke investeringen positieve effecten geven.

De duurzaamheidsinvesteringen hebben in de businesscase gezorgd voor een extra investering van €3,4 miljoen. Deze extra investering levert een besparing op van €16,9 miljoen in de exploitatie- en onderhoudskosten over de eerste 40 jaar. Daarbij is er één jaar na oplevering een positieve cashflow door de duurzaamheidsmaatregelen ten opzichte van wanneer deze maatregelen niet genomen zouden zijn (Kraaijvanger, 2016).

De verwachte restwaarde is verankerd in een financieel systeem met terugnamegaranties. De restwaarde van de materialen van het gebouw bedraagt 5% (€2,5 miljoen). De restwaarde van het meubilair en de vloerbedekking is contractueel vastgelegd op 18% na 10 jaar en wordt dan teruggeleverd aan de producent (Circulaire Stad, 2016).

4. Resultaten

In hoofdstuk 4 worden de casussen en de theorie gekoppeld en zal de synthese die hieruit voortvloeit behandeld worden. De casussen zullen geschaald worden naar een mate van circulariteit en daarna zullen de effecten van circulair bouwen binnen de casussen per determinant geanalyseerd worden.

4.1 Circulaire ambitie

Alle casussen beschikken over een uitgebreide circulaire ambitie waarbij de hoofdpijler, het sluiten van de kringloop, bij levenseinde gewaarborgd kan worden. Dit wordt gerealiseerd met verschillende circulaire ambities bij elke casus. De daadwerkelijke circulariteit hangt af van wat er met de componenten en materialen gebeurt bij levenseinde van de gebouwen. Bij de ontwikkeling van de casussen was de circulaire economie nog niet uitgebreid en breed geïmplementeerd in de bouwwereld en werd er nog veel gezocht en geëxperimenteerd met circulair bouwen. Ook is de exacte definitie van circulair bouwen nog steeds niet eenduidig en hierdoor is circulair bouwen op verschillende manieren opgevat binnen de casussen. Daarbij verschillen circulaire ambities en uitvoeringen altijd per bouwproject. In tabel 2 worden de overeenkomende circulaire ambities weergegeven. In bijlage D worden alle circulaire ambities inhoudelijk geëxpliciteerd. De circulaire hoofdambitie dat de materialen te hergebruiken zijn, is logischerwijs in alle casussen toegepast.

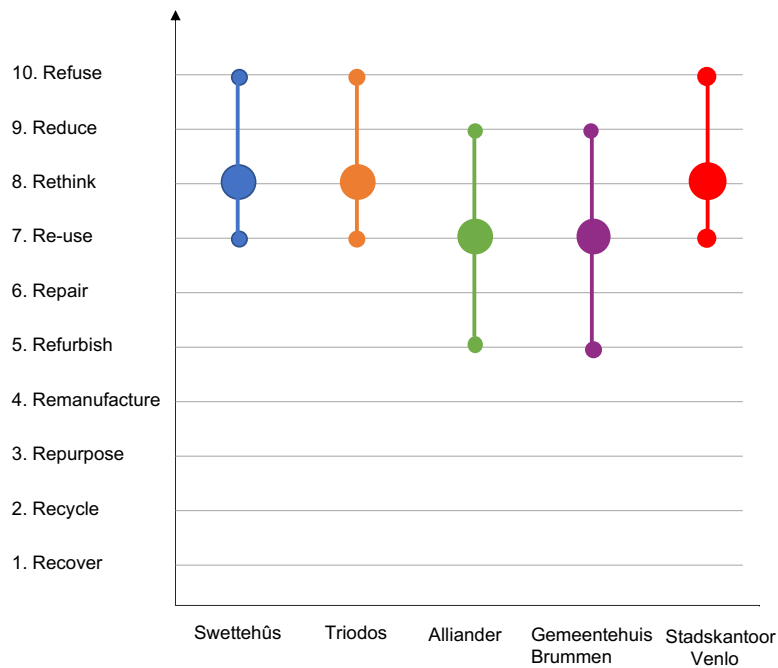
We stellen vast dat de casussen vele gelijkenissen tonen op het gebied van circulaire economie. Zo zijn alle gebouwen demontabel ontworpen, wat ervoor zorgt dat de gebouwen na levenseinde uit elkaar te halen zijn zonder dat hiervoor gesloopt hoeft te worden, en dat de te demonteren componenten in andere gebouwen of voor andere doeleinden zonder aanpassingen te hergebruiken zijn. Demontabel bouwen is in alle casussen van kracht omdat dit de kans van slagen van de circulaire economie bij het levenseinde van materialen, componenten en gebouwen zo succesvol en goedkoop mogelijk waarborgt. Daarnaast beschikken alle gebouwen over hergebruikte materialen. Binnen het gebruik van materialen zit een verschil in welke materialen zijn hergebruikt en op welke manier deze worden hergebruikt. Zo wordt er beton en hout hergebruikt maar ook het hergebruik van meubels en deuren komt aan bod in de verschillende casussen. Alleen bij de ontwikkeling van de Triodos Bank, Alliander en Stads Kantoor Venlo zijn duidelijke circulaire businesscases opgesteld. Hierin zijn bij alle additionele investeringen die gepleegd zouden worden de levenscycluskosten of de impact van deze investering berekend en bekeken op de *spillover* effecten die het gebouw met zich meedraagt. Daarbij is ook de maatschappelijke impact door bijvoorbeeld minder ziekteverzuim of vermeden uitstoot berekend.

Tabel 2: Circulaire ambitie per casus en de ambitie per fase

	Swettehûs	Triodos Bank	Alliander Duiven	Gemeentehuis Brummen	Stadskantoor Venlo
Jaar van oplevering	2022	2019	2016	2013	2016
Planning & bouw					
Demontabel	x	x	x	x	x
Hergebruikt materiaal	x	x	x	x	x
Zo min mogelijk materialen				x	
Niet-toxische materialen	x	x		x	x
Materialen paspoort		x	x		x
Flexibel	x		x	x	
Beperken transportafstand		x	x		
Onderhoud en beheer					
Beperken onderhoudsbehoefte		x			
Energie neutraal	x	x	x		x
Levens einde					
Circulaire business case		x	x		x

4.2 Mate van circulariteit

De geanalyseerde casussen gebruiken verschillende manieren om circulariteit te waarborgen op verschillende schaalniveaus. Om de mate van circulariteit te analyseren zijn de vijf casussen geschaald op de 10R ladder van Cramer (2017). Als het gehele gebouw wordt bekeken dan zijn er verschillende waardebehoudende strategieën mogelijk op verschillende schaalniveaus (Brand, 1994; Cramer, 2017). De strategieën uit het 10R-model van Cramer (2017) die de casussen waarborgen staan weergegeven in afbeelding 4. De hoofdstrategie om circulair te bouwen die is gewaarborgd in desbetreffende casus is weergegeven als het omvangrijkste punt in figuur 4. Strategieën die op een ander schaalniveau zijn toegepast in een kleinere mate binnen het gebouw worden weergegeven doormiddel van de kleine punten. De totale bandbreedte van de mate van circulariteit in de casus wordt weergegeven tussen de twee kleine (bovenste en onderste) punten. Aangezien niet alle projecten zijn ontwikkeld toen het 10R-model bestond, zijn de casussen niet specifiek ontwikkeld met dit model in ogenschouw. De circulariteit is van een score voorzien middels het toepassen van de circulaire ambities van de casussen zoals beschreven in de casus (hoofdstuk 3.3 t/m 3.7) en deze toe te passen op de treden van het 10R-model. Zo is de bandbreedte van de circulaire ambities ontstaan met daarbij de circulaire hoofdambitie.



Figuur 4: Circulariteit per casus, gebaseerd op het 10R-model (Cramer, 2017)

Uit de casussen blijkt dat de mate van circulariteit en de 10R strategie die hier aanhangt niet per se invloed heeft op de LCC. De uitvoering van de strategieën binnen het 10R model maakt daarentegen wel verschil. Zo is demontabel bouwen te schalen onder *rethink*, en het verminderen van bouwmaterialen te schalen onder *reduce*. Bij de realisatie van Gemeentehuis Brummen zijn bijvoorbeeld door zo weinig mogelijk materialen te gebruiken, en alleen het gebruik van natuurlijke materialen de materiaalkosten sterk verminderd. Dit verlaagde de bouwkosten wat op haar beurt de LCC verlaagt. Verder blijkt zoals eerder aangegeven dat demontabel bouwen ervoor zorgt dat de toekomstige waarde van componenten en materialen gewaarborgd wordt wat een positief effect op de restwaarde zal veroorzaken en daarmee de LCC verlaagt. Daarnaast is de verwachting dat wanneer materialen en componenten binnen de hogere circulaire strategieën gecirculeerd worden het waardebehoud groter zal zijn. Het is daarbij belangrijk dat de materialen zo weinig mogelijk samengesteld zijn, zodat wanneer het direct hergebruik niet mogelijk is, deze op de lagere niveaus makkelijker te hergebruiken zijn door middel van bijvoorbeeld *recycling* of *repurpose*. Wanneer een gebouw ontwikkeld wordt waarbij de componenten en materialen op hogere tredes van het 10R-model kunnen rondcirkelen wordt verwacht dat het waardebehoud beduidend hoger blijkt.

Het blijkt dat *refuse* (het niet gebruiken van nieuwe materialen) in geen enkele casus geheel gerealiseerd kan worden. Dit komt doordat het op dit moment nog niet mogelijk is om complete gebouwen te bouwen met alleen hergebruikte materialen. Wanneer alle gebouwen demontabel gebouwd worden en met standaardmaten zal dit in de toekomst waarschijnlijk wel mogelijk zijn en dit zal de restwaarde van deze componenten en materialen vergroten.

4.3 Life Cycle Cost

Binnen de casussen zitten vele verschillen. Er is sprake van verschillende architectuur, materialen, bouwstijlen en bouwtechnieken, BREEAM-labels, of andere duurzaamheidslabels, stedelijkheid et cetera. Dit maakt het binnen de casussen lastig om te vergelijken en om deze gebouwgebonden variabelen buiten beschouwing te laten. Daarnaast zijn er vele keuzes die invloed hebben op de determinanten van de LCC en werken de determinanten en gemaakte keuzes tijdens de fases op elkaar door. Ook zijn de determinanten per casus verschillend berekend. Zo zijn de investeringskosten dus lastig één op één met elkaar te vergelijken.

Planningsfase

De planningsfase is de belangrijkste fase van alle fases om de Life Cycle Cost te bepalen. In deze fase wordt 80% van de flexibiliteit in de LCC vastgelegd (ISO15686-5, 2017). Wanneer alle beslissingen over investeringen, materialen, bouwstijlen en andere investeringen in de planningsfase getoetst worden op de impact over de gehele levensduur van het gebouw, kunnen deze additionele investeringen toekomstige kosten vermijden die de LCC verhoogd zouden hebben. Een hogere initiële investering kan er voor zorgen dat in de toekomst kosten vermeden worden en de LCC lager uitvalt. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de circulaire businesscase van Stads kantoor Venlo, waar een additionele investering van €3,4 miljoen een impact op de LCC vermeden heeft van €16,9 miljoen.

In de planningsfase worden bij circulair bouwen vaak extra werkzaamheden opgenomen ten opzichte van een conventioneel kantoorgebouw. Zo worden alle materialen gedocumenteerd in een materialenpaspoort of een soortgelijk document, kan er een groen sloopbestek gemaakt worden, is soms in kaart gebracht hoe gebouwen op materiaalniveau uit elkaar te halen zijn en worden er plannen gemaakt om toekomstig onderhoud te minimaliseren of versimpelen. Daarnaast zijn huidige circulaire gebouwen innovatieve gebouwen waarin nieuwe technieken zijn toegepast en een andere vorm van materiaalgebruik en bouwstijl wordt gebruikt dan in conventionele kantoorgebouwen. Dit zorgt ervoor dat er gewogen besluiten genomen moeten worden tijdens de planningsfase en over het algemeen dat het ontwerp en de planning van circulaire gebouwen langer duurt. De planningsfase van alle casussen is anders verlopen, er zijn verschillende vormen van aanbesteding toegepast en er werd op een experimentele manier gekeken naar de (circulaire) mogelijkheden van het gebouw. Daarnaast kunnen er scenario's uitgewerkt worden voor de verwerkte materialen en componenten van de gebouwen. Tijdens deze fase kan bij renovatie of sloop van het huidige gebouw geïnventariseerd worden welke materialen er aanwezig zijn, in wat voor staat deze materialen zijn, wat de losmaakbaarheid is en of deze materialen te hergebruiken zijn. De planningsfase geeft dus de grootste verhoging of verlaging van de LCC. Er ligt hierdoor veel potentie bij de planningsfase om de LCC te verlagen.

Bouwkosten

De bouwkosten van een gebouw zijn zeer beïnvloedbaar door tal van factoren. Er worden vele keuzes gemaakt over de manier van bouwen en over materialen. Daarnaast hebben de afmetingen van het gebouw veel invloed op de bouwkosten, maar ook de hoeveelheid technologie die gebruikt wordt voor de bouw en de hoeveelheid technologie die in het gebouw gaat. Een conventioneel kantoorgebouw kost tussen de €1.200/m² en €2.200/m² afhankelijk van de grootte, locatie, technologieën en bouwvormen (Bouwkostenkompas, 2020). Om circulaire ambitie in een kantoorgebouw toe te passen moeten er additionele investeringen gedaan worden. Deze additionele investeringen kunnen verschillende vormen aannemen, voor het Swettehûs is bijvoorbeeld een additionele investering van zo'n 10% over de bouwkosten gepleegd om de circulaire ambitie toe te passen. Alleen bij Stads Kantoor Venlo zijn de investeringskosten fors hoger uitgevallen dan bij een normaal kantoor. Deze hogere investering komt voornamelijk door dat het gebouw een zeer vooruitstrevend gebouw is waarin veel nieuwe technieken zoals het gebruik van planten en complexe constructie zijn toegepast. Uit de casussen blijkt dat de meeste circulaire gebouwen rond de bouwkosten per vierkante meter voor een conventioneel kantoorgebouw vallen. Dit komt door de vele innovaties die in het gebouw toegepast zijn zoals het vele gebruik van planten en de complexe constructie. Daarbij verschilt per casus wat er bij de bouwkosten inbegrepen zit, wat de bouwkosten niet één op één te vergelijken maakt.

Het hergebruik van materialen kan additionele kosten met zich mee brengen maar er zijn ook voorbeelden van kostenbesparingen, dit hangt af van waar deze materialen vandaan komen en vooral hoeveel investering er nodig is om van deze materialen of componenten iets te fabriceren wat bruikbaar is voor het nieuwe gebouw. Zo heeft Alliander een impact van €2 miljoen bespaard door het hergebruik van materialen uit het oude gebouw. Hergebruik van materialen heeft Stads Kantoor Venlo een besparing van €400.000 opgeleverd. Het hergebruik van materialen en de invloed hiervan op de LCC is dus specifiek afhankelijk van de keuzes die gemaakt worden tijdens het ontwikkelingsproces en de kosten die verband houden met het gebruiksklaar maken van deze materialen. Zo liggen de verhoudingen tussen de materiaalkosten en arbeid bij een nieuw gebouw op 35% arbeid en 65% materiaalkosten, bij renovatie ligt dit andersom (TNO, 2019).

Het materiaalgebruik tijdens de bouw is ook van invloed op de LCC. De strategie om het gebruik van bouw materiaal te minimaliseren binnen het gebouw (*refuse*) kan kostenbesparingen met zich meebrengen. Neem als voorbeeld Alliander waar 30% minder staal toegepast is en wat tot een directe kostenbesparing aan materiaal geleid heeft. Materiaalgebruik kan ook de andere kant op wijzen. Zo zijn bij Gemeentehuis Brummen de houten constructiebalken wat dikker gemaakt zodat de producent een hogere restwaarde bij levens einde kan garanderen. Op dit moment zijn circulaire of C2C-gecertificeerde materialen

nog duurder dan conventionele materialen. Het gebruik van deze materialen brengt dus een verhoging van de LCC teweeg.

De bouwfase kan dus de LCC verhogen maar ook verlagen. Het uiteindelijke effect hangt sterk af van de keuzes die gemaakt worden tijdens de planning- en ontwikkelingsfase en de bouwfase zelf. Verder is het zeer belangrijk of, en hoe de gemaakte keuzes getoetst zijn over de gehele levensduur.

Tabel 3: Overzicht *investeringskosten per casus*

Project	m²	€/m²	Toelichting
Swettehûs	5.230	<i>Bekend bij auteur</i>	Gebouwde omgeving
Triodos	12.994	1.770	Kantoor
Alliander	23.000	1.739	Kantoor
Gemeentehuis Brummen	3.000	2.000	Inclusief sloop
Stadskantoor Venlo	13.500	3.926	Kantoor

Onderhoud- en exploitatiekosten

De onderhoud- en exploitatiekosten zijn afhankelijk van meerdere factoren welke lastig op elkaar af te stemmen zijn. Zelfs tussen dezelfde gebouwen onder dezelfde omstandigheden kunnen deze kosten aanmerkelijk verschillen. Het is belangrijk om bij de ontwikkelingsfase het onderhoud en de exploitatiekosten goed in de gaten te houden. Elke beslissing die tijdens de ontwikkelingsfase wordt genomen werkt door in de exploitatie- en onderhoudskosten en er kan van tevoren afgewogen worden of de investering die gepleegd zijn de LCC verhoogt of verlaagt. Wanneer er gebouwd is in het kader van *design for maintenance* zullen de onderhoudskosten lager uitvallen. Ook beslissingen over het energieverbruik, besparingen hierop of geheel energieneutraal zullen deze kosten verlagen.

Tijdens de fases voorafgaand aan gebruik en tijdens onderhoud kunnen keuzes gemaakt worden over het materiaalgebruik en de hoogwaardigheid en levensduur van deze materialen. Wanneer hoogwaardige materialen worden geselecteerd zullen deze de LCC positief beïnvloeden in de onderhouds- en exploitatiekosten door middel van de verlengde levensduur.

Het verlagen van de LCC tijdens de levensduur van een gebouw binnen de onderhouds- en exploitatiekosten kan door het niet uitvoeren van onderhoud of levensduurverlengende schoonmaakwerkzaamheden. Een slechte staat of achterstallig onderhoud van een gebouw zal daarentegen doorwerken in de restwaarde van het gebouw en achterstallig onderhoud ligt daarmee niet in lijn met de ambitie waardebehoud van gebouwen, componenten en materialen en valt daarmee niet binnen de ambities van de circulaire economie.

Als laatste zijn de onderhouds- en exploitatiekosten erg gevoelig voor externe factoren. Het klimaat heeft grote impact op de levensduur van componenten en materialen en zo kunnen er onvoorziene kosten ontstaan. Het weer kan de levensduur van materialen verlengen en verkorten en zo kan het ontstaan dat verwacht onderhoud niet gepleegd hoeft te worden of juist eerder moet worden verricht. Daarnaast is het energiegebruik sterk afhankelijk van weersafhankelijke factoren. Tijdens de plannings- en ontwerpfase kunnen effectieve maatregelen genomen worden om de temperatuur in het gebouw te reguleren door bijvoorbeeld de kas op het dak van Stads kantoor Venlo, of de warmte-koud opslag bij Gemeentehuis Brummen.

Levens einde & restwaarde

In de meeste casussen is nog geen businesscase opgeleverd voor het levens einde van het gebouw. Alleen bij Stads kantoor Venlo is de restwaarde van 5% opgegeven. Deze restwaarde bestaat uit de restwaarde van de materialen die bij de bouw gebruikt zijn en verzorgen een jaarlijkse besparing van €175.000. Uit de andere casussen blijkt dat de restwaarde van gebouwen, producten en materialen in de businesscases nu nog geen rol speelt in het totale financiële plaatje. Dit komt waarschijnlijk doordat de levensduur van gebouwen simpelweg te lang is en men geen goede inschatting kan maken over hoe de economie er over 40 jaar (of langer) uitziet, en er geen garanties voor de restwaarde of een terugkoopwaarde gegeven durft te worden. De essentie is onzekerheid, de onzekerheid van de toekomst is te groot en dat maakt dat de restwaarde van een product op voorhand lastig tot niet in te schatten is en hierom wordt dit doorgaans niet gedaan bij de casussen.

De verwachting is bij alle casussen dat de restwaarde hoog ligt door de demontabele bouwstijl van alle gebouwen en de registratie van alle materialen wat direct hergebruik van de materialen in andere gebouwen mogelijk maakt zonder benodigde aanpassingen. Daarnaast zijn bij de gebouwen hoogwaardige materialen gebruikt waarvan ook verwacht wordt dat deze de levensduur van het gebouw verhogen en daarmee de LCC verlaagt. Wel zien we in toenemende mate dat bij producten met een kortere levensduur, zoals inbouw pakketten of installatiesystemen een restwaarde gegeven wordt. Er kan hier ook een koop-terugkoop afspraak gemaakt worden. Dit zien we bijvoorbeeld bij Stads kantoor Venlo en Alliander, waar de restwaarde van het meubilair en de vloerbedekking contractueel is vastgelegd op 18% en 20% en eventuele plussen of minnen gedeeld worden om het risico dat hieraan kleefte te verdelen.

Overige invloeden

Naast de determinanten wordt de Life Cycle Cost op vele andere manieren beïnvloed. Zo heeft de grootte van het gebouw invloed, kan het bouwjaar invloed hebben of de keuzes die gemaakt worden tijdens het bouwproces, tijdens de levensduur of na levenseinde. Ook zal de LCC substantieel beïnvloed worden wanneer er een renovatie of verbouwing plaatsvindt of als externe effecten andere resultaten geven, zoals bijv. reparaties na natuurverschijnselen.

4.4 Samenhang circulariteit en Life Cycle Cost

De samenhang tussen circulariteit en de LCC is aanwezig. Het uitvoeren van verschillende circulaire ambities neemt andere kostensoorten en andere kostenverdelingen over tijd met zich mee dan wanneer een conventioneel kantoorgebouw gerealiseerd zou worden. Wanneer er meer circulaire ambities in het gebouw toegepast worden, zal de circulariteit hoger zijn. Het idee is dat wanneer de circulariteit stijgt, of de hoeveelheid uitvoering van circulaire ambities stijgt, de LCC zal dalen. Circulaire ambitie wordt binnen de ontwerp- en planningsfase en de bouwfase geïnvesteerd in het gebouw en zal wanneer goed uitgevoerd, haar vruchten afwerpen over de gehele levensduur van het gebouw.

Een hogere circulaire ambitie zal de initiële investering verhogen met een opslag voor de toepassing van circulariteit in vergelijking met een conventioneel gebouw. We zien dat wanneer er in hogere mate adaptief gebouwd is, de LCC daalt. Bij circulair materiaalgebruik is het effect sterk afhankelijk van de materialen, de toepassing, de levensduur van deze materialen en hoeveel er veranderd moet worden aan de materialen wanneer deze in een volgende functie toegepast kunnen worden en wat de levensduur van deze materialen is. De relatie tussen investeringen in circulariteit en de mate van circulariteit toont een afnemend patroon. Dit houdt in dat het blijvend toevoegen van circulariteitsinvesteringen niet in gelijke mate de circulariteit verhoogt en daarmee de effecten van circulair bouwen niet een op een toenemen met de investering. Het zal dus steeds duurder worden om de circulariteit een procent te laten stijgen.

Op basis van de literatuurstudie en de casus Stads kantoor Venlo zal een hogere circulaire ambitie een lagere beheer- en onderhoudskostenpost met zich meebrengen. Hier zorgt hogere circulariteit voor lagere beheer- en onderhoudskosten. Hoe hoger de circulariteit, hoe minder snel de beheer- en onderhoudskosten afnemen. Hoe meer er rekening gehouden wordt met de levensduur, en levensduur verlengende onderdelen en materialen gebruikt worden in de bouw van een kantoorgebouw des te makkelijker aanpasbaar het gebouw is. Oftewel, hoe meer circulaire ambitie aan een gebouw toegevoegd is, des te lager zullen de totale beheer- en onderhoudskosten uitvallen.

Het levenseinde zal er bij een toenemende mate van circulariteit heel anders uit zien dan bij een conventioneel kantoorgebouw. Bij een toenemende circulariteit zullen de componenten en materialen schoner, makkelijker te demonteren en in het algemeen zonder veel aanpassingen te hergebruiken zijn. Dit veroorzaakt een lagere kostenpost voor het hergebruik klaarmaken van deze materialen, en zal er voor zorgen dat de restwaarde van deze materialen en componenten hoger uitvalt dan bij het levenseinde van een conventioneel kantoorgebouw. Dat zal de LCC verlagen door de lage sloopkosten en de hoge restwaarde.

De exacte mate van circulariteit en het effect op de LCC is in dit onderzoek niet te berekenen doordat niet alle benodigde data hiervoor beschikbaar zijn. Binnen dit onderzoek is geen exacte LCC per casus opgesteld, en daarbij kan een cijfermatige circulariteit niet opgesteld worden in dit onderzoek. Als totaal effect zal een toenemende circulariteit de LCC verlagen in vergelijking met een conventioneel kantoorgebouw. Dit zal alleen realiseerbaar zijn wanneer de investeringen goed doorberekend worden op de gehele levenscyclus van het kantoorgebouw.

5. Conclusie & Discussie

In dit hoofdstuk zal een conclusie getrokken worden en een discussie over het onderzoek gegeven worden.

5.1 Conclusie

In dit onderzoek is de relatie tussen circulair bouwen en de Life Cycle Cost van een gebouw exploratief onderzocht. Er zijn vijf casussen van circulaire kantoorgebouwen in Nederland geanalyseerd. Middels dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de hoofdonderzoeksvraag:

Wat is het effect van circulair bouwen op de Life Cycle Cost van kantoorgebouwen?

Uit de theorie blijkt dat de Life Cycle Cost over de vier tijdsperioden “Plannings- en ontwikkelingsfase”, “bouwfase”, “Onderhouds- en exploitatiefase” en “levenseinde” in de levenscyclus van een gebouw verdeeld kunnen worden en dat circulair bouwen op alle fases van de LCC een andere invloed uitoefent.

Uit de casussen blijkt dat circulair bouwen invloed heeft op alle LCC-determinanten. Het is sterk afhankelijk welke circulaire ambitie wordt verkozen, en op welke manier deze wordt uitgewerkt in het gebouw. De circulaire ambitie moet tijdens de ontwerp- en planningsfase duidelijk in het gebouw geïmplementeerd worden en additionele investeringen moeten over de hele levenscyclus afgewogen worden. De waarde bij levenseinde van een gebouw is op dit moment door veel factoren beïnvloedbaar en daarom is de waarde bij levenseinde te onzeker.

Concluderend kan worden gesteld dat er een verband is tussen de mate van circulariteit in een kantoorgebouw en de circulaire ambitie die toegevoegd wordt aan het gebouw. Door de circulaire ambitie worden verschillende levenseindescenario's, bouwstijlen, bouwwijzen en andere circulaire innovaties sterk tegen elkaar afgewogen. Zo wordt voor de bouw onderzocht of additionele investeringen later baten of lasten met zich mee brengen. Circulair bouwen heeft de grootste invloed tijdens de ontwikkel- en planningsfase aangezien de totale LCC hier voor 80% vastgelegd wordt. Daarnaast is de verwachting dat het levenseinde van gebouwen een grote invloed heeft op de LCC wanneer het gebouw circulair gebouwd is. Helaas kunnen hier nog geen bewezen uitspraken over gedaan worden omdat nog geen van de circulaire gebouwen het levenseinde bereikt heeft. De verschillende invloeden per determinant maakt dat het totale effect sterk afhankelijk is van de keuzes die gemaakt worden tijdens de levensloop van het gebouw en dat wanneer deze keuzes goed afgewogen worden over de gehele levensduur, circulair bouwen de LCC wel degelijk kan verlagen.

5.2 Discussie

Dit exploratieve onderzoek heeft nieuwe inzichten opgeleverd door de Life Cycle Cost aan de circulaire economie te koppelen zodat de financiële baten en lasten aan het circulair bouwen gehangen kunnen worden om de transitie naar circulair bouwen te versnellen. Het onderzoek heeft alle LCC-determinanten samengevoegd zodat het totale effect van de LCC op circulaire kantoorgebouwen geanalyseerd kan worden. Er is geen eerder onderzoek welke het effect op alle determinanten heeft geanalyseerd en samengevoegd tot het totale effect van circulair bouwen op de LCC. Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van casussen met data op basis van zowel openbare als private informatie. Door het ondoorzichtige landschap in de bouwwereld en het graag vertrouwelijk willen houden van data door partijen, is het in dit onderzoek niet mogelijk om de cijfers één op één te vergelijken. De keuze voor een meervoudige casusstudie was in beginsel een logische keuze en de casussen zijn gekozen aan de hand van gelijke criteria, uiteindelijk is geconstateerd dat de casussen inhoudelijk nog veel verschillen. Daarom dringt de vraag of de casussen te vergelijken zijn en daarbij of een enkelvoudige casusstudie een betere methode was geweest. Daarbij staat vast dat binnen alle casussen op een andere manier invulling gegeven is aan circulariteitsambitie. Daartegenover staat dat bij alle casussen een soortgelijk resultaat is gevonden wat de conclusie versterkt. Voor een betrouwbare berekening van de LCC dient beschikt te kunnen worden over: de *totale investeringskosten*, de *jaarlijkse gebouw gebonden beheer- en onderhoudskosten* en de *levenseindecasus*.

Binnen dit onderzoek ligt een moeilijkheid in het meten van de circulariteit. De mate van circulariteit is op meerdere wijzen te berekenen en het 10R model is op meerdere schillen toe te passen in verschillende vormen binnen hetzelfde gebouw. Om de circulariteit te indexeren is data benodigd over de gebruikte materialen in gewicht, waar de materialen vandaan komen en wat er met de materialen kan gebeuren in een volgende cyclus. Deze data was niet beschikbaar tijdens het schrijven van dit onderzoek. Daarom is de circulariteit op een systematische wijze op een meer subjectieve methode per casus geanalyseerd. Het zou dus mogelijk zijn dat de vertaalde circulariteit afwijkt van de daadwerkelijke circulaire ambitie. Tevens ligt binnen de LCC berekening een uitdaging. De cijfers zijn door verschillende bedrijven opgesteld waardoor deze ook op een andere manier zijn opgesteld, hierdoor kan een complete transparantie niet gewaarborgd worden over deze cijfers. Daarnaast zijn er vele verschillende invloeden op de LCC zodat kleine veranderingen of externe effecten tijdens de levensduur grote positieve of negatieve effecten kunnen uitwerken op de LCC.

Het is belangrijk om te stellen dat de uiteindelijke kosten sterk verschillen per gebouw. Er zal dus altijd per casus berekend moeten worden of de geïmplementeerde duurzaamheidsmaatregelen de LCC verhogen of verlagen. Daarnaast staat circulair bouwen nooit op zichzelf. Er wordt altijd een combinatie gemaakt met het nieuwe werken, gezonde leefomgeving of

soortgelijke ambities. Dit zorgt ervoor dat het circulair bouwen niet op zichzelf in waarde uit te drukken is. Omdat geen enkel gebouw hetzelfde is, is het voor toekomstig onderzoek wellicht beter om een enkelvoudig casusonderzoek te doen. Hierbij zou de circulariteit cijfermatig berekend kunnen worden aan de hand van het CB'23 circulariteitskader en de invloed van alle implementaties afzonderlijk te berekenen. Daarnaast heeft circulair bouwen veel meer gevolgen dan alleen de directe financiële gevolgen die gemeten worden door de LCC. Kijk naar de *Total Cost of Ownership* waarbij ook de maatschappelijke en milieugerelateerde baten en lasten mee genomen worden. Daarbij is het belangrijk dat de circulaire businesscase wordt opgesteld en er een levenseindecasus opgesteld wordt waarbij een duidelijke restwaarde geformuleerd wordt. Tevens is het interessant om te onderzoeken of de gemaakte levenseindecasus daadwerkelijk uitgevoerd wordt zoals van tevoren opgesteld of dat dit consistent verschilt van de verwachting.

Referenties

- Addis, B. & Talbot, R., 2001. Sustainable construction procurement- A guide to delivering environmentally responsible projects. In: Sustainable construction procurement- A guide to delivering environmentally responsible projects. United Kingdom: UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- Akanbi, L. A. et al., 2018. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation & Recycling*, Volume 129, pp. 175-186.
- Akinade, O. O. et al., 2016. Design for Deconstruction (DfD): Critical success factor for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*, pp. 3-13.
- ARUP, 2016. *Circular Economy in the Built Environment*. London: ARUP Foresight + Research + Innovation.
- BAM Utiliteitsbouw, 2013. Gemeentehuis Brummen, s.l.: BAM utiliteitsbouw.
- Baxter, P. & Jack, S., 2008. Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. In: *Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers*. West Hamilton, Ontario: McMaster University.
- Bossink, B. A. G. & Brouwers, H. J. H., 1996. Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(1), pp. 55-60.
- Bouwkostenkompas, 2020. Bouwkostenkompas Kergetallen Kantoortuin. [Online] Available at: <http://www.bouwkostenkompas.nl/Costs/Default.aspx?table=UtilityOff>
- Bradley, R., Jawahir, I., Badurdeen, F. & Rouch, K., 2018. A Total Life Cycle Cost Model (TLCCM) for Circular Economy and its Application to Post-Recovery Resource Allocation. *Resources, Conservation & Recycling*, Volume 135, pp. 141-149.
- Brand, S., 1994. *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. In: *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. New York: Penguin Books.
- Bull, J. W., 2003. Life cycle costing for construction. In: *Life cycle costing for construction*. London; New York: E&FN Spon, p. 159.
- C2C ExpoLab, 2014. C2C inspired building: City Hall Venlo. [Online] Available at: http://www.c2c-centre.com/sites/default/files/Case%20Study%20City%20Hall%20Venlo_Final.pdf
- Charlson, A., 2008. Recycling and Reuse of Waste in the Construction Industry. *Structural Engineering*, Volume 86, pp. 32-37.
- Chau, C. K., Xu, J. M., Leung, T. M. & NG, W. Y., 2017. Evaluation of the impacts of end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office building. *Applied Energy*, 185(2), pp. 1595-1603.

- Circulaire Stad, 2016. Venlo - Stads Kantoor. [Online]
Available at: <https://circulairestad.nl/projects/venlo/stadskantoor/>
- Cole, R. J. & Sterner, E., 2000. Reconciling theory and practice of life-cycle costing. *Building Research & Information*, Volume 28, pp. 368-375.
- Copper8 & Alba, 2017. De impact van circulair bouwen op bouw- en investeringskosten, s.l.: s.n.
- Cox, G., n.d. De juiste informatie bij de juiste partij. [Online]
Available at: <https://www.madaster.com/nl/actueel/blog/de-juiste-informatie-bij-de-juiste-partij>
[Accessed mei 2020].
- Cramer, J., 2017. The Raw Materials Transition in the Amsterdam Metropolitan Area: Added value for the Economy, Well-Being, and the Environment. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 59(3), pp. 14-21.
- de Thouars, J., 2019. Een duurzaam en circulair kantoor voor Triodos: 'Een grote investering, maar dat verdient zich terug'. *Duurzaam Bedrijfsleven*.
- Debacker, W., 2009. Structural design and environmental load assessment of multi-use construction kits for temporary applications based on 4Dimensional design, Brussel: Vrije Universiteit Brussel.
- Dhillon, B., 2010. Life Cycle Costing for Engineers. In: *Life Cycle Costing for Engineers*. s.l.:CRC Press.
- Dhillon, B., 2013. Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications. In: *Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications*. Hoboken: Taylor and Francis, p. 373.
- draaijer+partners, 2018. Circulaire Ambitie Swettehûs, Groningen: s.n.
- Durmisevic, E., 2006. Transformable Building Structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, Delft: TU Delft.
- Ellen MacArthur Foundation, 2013. Towards the circular economy, Economic and business rationale for an accelerated transition, s.l.: s.n.
- European Commission, 2019. Construction and Demolition Waste. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm
[Accessed December 2019].
- European Commission, 2020. Energy performance of buildings. [Online]
Available at: [\https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview
- European Environment Agency, 2019. European Environment Agency. [Online]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/highlights/europes-circular-economy-still-in>
- European Parliament, 2018. Circular economy: definition, importance and benefits. [Online]
Available at:

[<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
[Accessed December 2019].

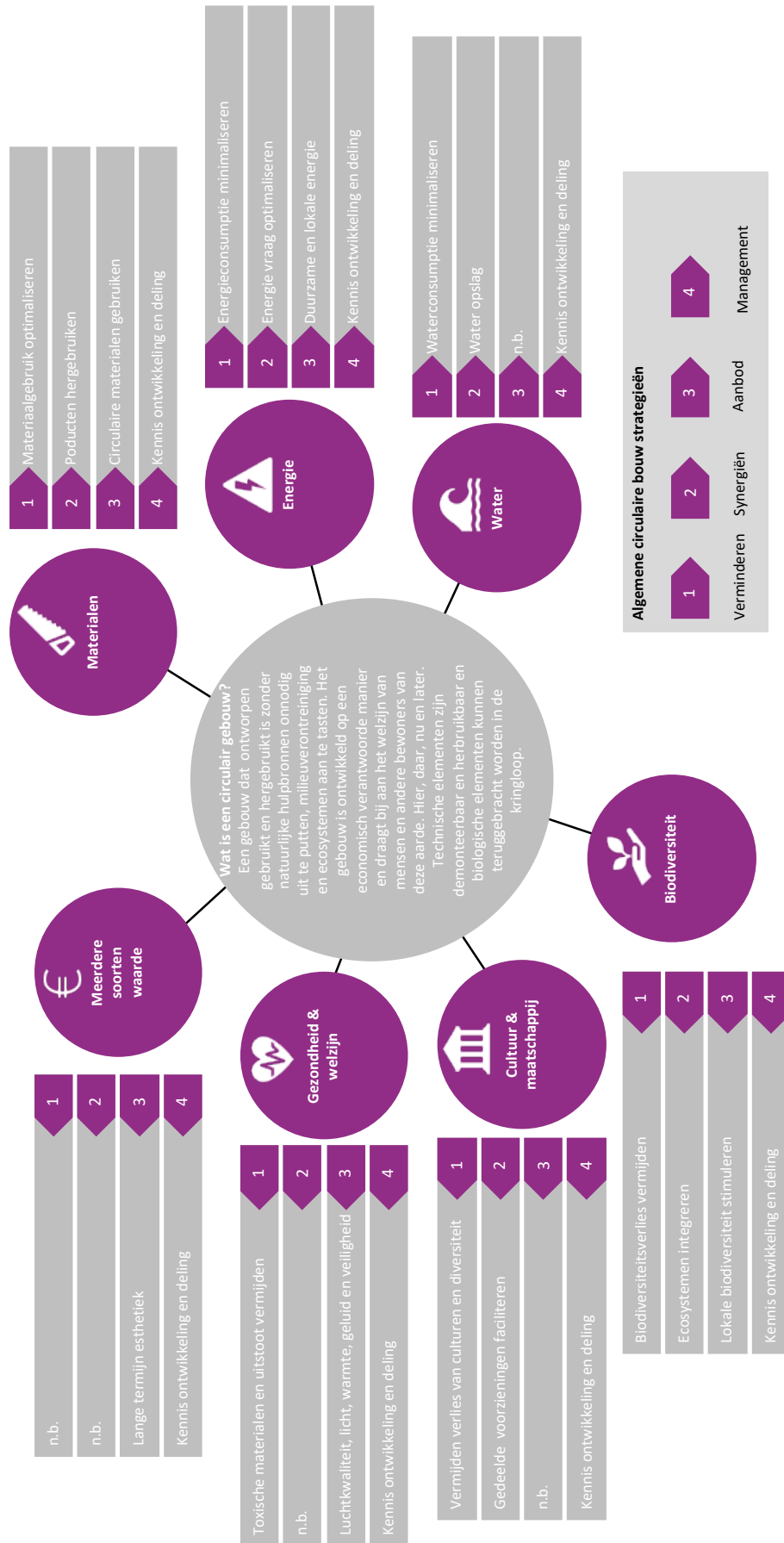
- Eurostat, 2019. Waste statistics: Waste generation. [Online] Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation
- Fuller, S., 2006. Life-Cycle Analysis (LCCA). Whole Building Design Guide.
- Galle, W., 2016. Scenario Based Life Cycle Costing: an Enhanced Method for Evaluating the Financial Feasibility of Transformable Building, Brussel: Vrije Universiteit Brussel.
- Ghisellini, P., Ripa, M. & Ulgiati, S., 2017. Exploring Environmental and Economic Costs and Benefits of a Circular Economy Approach to the Construction and Demolition Sector: A Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, Volume 178, pp. xxx - xxx.
- Gustafsson, J., 2017. Single case studies vs. multiple case studies: A comparative study. Academy of Business, Engineering and Science.
- Hamstra, M. & Verploegen, K., 2016. Alliander en Gispens werken samen aan circulaire kantoorinrichting. Deal!10.
- Hancock, D. R. & Algozzine, B., 2006. *Doing Case Study Research: A Practical Guide for Beginning Researchers*. New York & London: Teachers College Press.
- Han, G. H., Srebric, J. & Enache-Pommer, E., 2014. Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis. *Energy and Buildings*, Volume 79, pp. 223-231.
- Haugbølle, K. & Raffnsøe, L. M., 2019. Rethinking life cycle cost drivers for sustainable office buildings in Denmark.
- Hermans, M., Geraedts, R., van Rijn, E. & Remøy, H., 2014. *Gebouwen met toekomstwaarde! het bepalen van de toekomstwaarde van gebouwen vanuit het perspectief van adaptief vermogen, financieel rendement en duurzaamheid*, s.l.: s.n.
- International Organization for Standardisation ISO, 2017. *Gebouwen en constructies - Planning van de levensduur - deel 5: Onderhoud en levenscyclus*, s.l.: International Organization for Standardisation ISO.
- Islam, H., Jollands, M., Segunje, S. & Bhiuyah, A., 2015. Optimization approach of balancing life cycle cost and environmental impacts on residential building design. *Energy and Buildings*, Volume 155, pp. 282-292.
- ISO15686-5, 2017. *Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life-cycle costing*, Switzerland: ISO copyright office.
- Kambanou, M. L. & Sakao, T., 2020. Using Life Cycle Costing (LCC) to Select Circular Measures: A Discussion and Practical Approach. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 155, pp. xxx-xxx.

- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä, X., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, Volume 143, pp. 37-46.
- KPMG Sustainability, 2017. De waarde van circulair renoveren Alliander; True Value case study, s.l.: KPMG Advisory.
- Kraaijvanger, 2016. Stadskantoor Venlo. [Online] Available at: <https://www.kraaijvanger.nl/nl/projecten/stadskantoor-venlo/> [Accessed April 2020].
- Loppies, W. W., 2015. Bouwen aan de circulaire economie: Een betere wereld begint bij het stellen van een betere vraag, Delft: Faculteit Bouwkunde afdeling Real Estate & Housing, TU Delft.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2016. Nederland Circulair in 2050: Rijksbreed Programma Circulaire Economie, s.l.: Rijksoverheid.
- Paduart, A. et al., 2009. Transforming Cities: Introducing Adaptability in Existing Residential Buildings through Reuse and Disassembly Strategies For Retrofitting. In: *Lifecycle Design of Buildings, Systems and Materials*. s.l.:s.n., pp. 18-23.
- Platform CB'23, 2019. Kernmethode voor het meten van circulariteit in de bouw - Werkafspraken voor een circulaire bouw, s.l.: Platform CB'23.
- Platform CB'23, 2020. Lexicon Circulaire Bouw, s.l.: Platform CB'23.
- Plebankiewicz, E., Zima, K. & Wieczorek, D., 2016. Life Cycle Cost Modelling of Buildings with Consideration of the Risk. *Archives of Civil Engineering*, LXII(2), pp. 149-166.
- RAU Architecten, 2019. RAU. [Online] Available at: <https://www.rau.eu/portfolio/triodos-bank-nederland/> [Accessed april 2020].
- RAU, 2016. Liander. [Online] Available at: <https://www.rau.eu/portfolio/liander/>
- RAU, n.d. Gemeentehuis Brummen. [Online] Available at: <https://www.rau.eu/portfolio/gemeentehuis-brummen/>
- RVO, 2016. Alliander-kantoor in Duiven is volledig circulair gerenoveerd. [Online] Available at: <https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/alliander-kantoor-duiven-volledig-circulair-gerenoveerd> [Accessed Mei 2020].
- Sanchez, B. & Haas, C., 2018. Capital project planning for a circular economy. *Construction Management and Economics*, 36(6), pp. 303-312.
- Schoolderman, H. et al., 2014. Ondernemen in de circulaire economie, nieuwe verdienmodellen voor bedrijven en ondernemers, Amsterdam: Tromp Drukkerij.
- Seawright, J. & Gerring, J., 2008. Techniques in Case Study Research: A Menu of Qualitative and Quantitative Options. *Political Research Quarterly*, 61(2), pp. 294-308.

- Smit, M. A. & Hung, P., 2015. A novel selective parallel disassembly planning method for green design. *Journal of Engineering Design*, Volume 26, pp. 283-301.
- Sterner, E., 2000. Life-cycle costing and its use in the Swedish building sector. *Building Research and Information*, 25(5), pp. 387-393.
- Swanborn, P., 1994. Het ontwerpen van case-studies: enkele keuzen. *Mens en Maatschappij*, 69(3), pp. 322-335.
- Tissink, A., 2013. Cobouw. [Online] Available at: <https://www.cobouw.nl/utiliteitsbouw/nieuws/2013/09/duurzaamheidsprijs-voor-gemeentehuis-brummen-101228335> [Accessed Mei 2020].
- TNO, 2019. De businesscase voor circulaire, gezonde en productieve kantoorgebouwen en duurzame toepassingen, s.l.: s.n.
- Transitieteam Circulaire Bouweconomie, 2018. Transitie-agenda Circulaire Economie: Circulaire Bouweconomie, s.l.: Rijksoverheid.
- Triodos Bank, 2019. Triodos Bank Case Study, s.l.: s.n.
- van den Berg, M., 2016. Het duurzaamste gemeentehuis. [Online] Available at: <https://www.publicspaceinfo.nl/reportages/2016/05/26/het-duurzaamste-gemeentehuis/> [Accessed Mei 2020].
- van der Pijl, R., 2017. Circulaire restwaarde? Een exploratief onderzoek naar waardebegrippen die bepalend zijn voor economische restwaarde, Delft: TU Delft.
- van der Voordt, D. J. M., 2007. Transformatie van kantoorgebouwen. In: Rotterdam: 010 Publishers.
- Yin, R. K., 2003. Case Study Research: Design and Methods. In: Case Study Research: Design and Methods. Thousand Oaks: Sage.

Bijlage A: Raamwerk voor het ontwerpen en bouwen van circulaire gebouwen

Framework voor het ontwerpen en bouwen van circulaire gebouwen

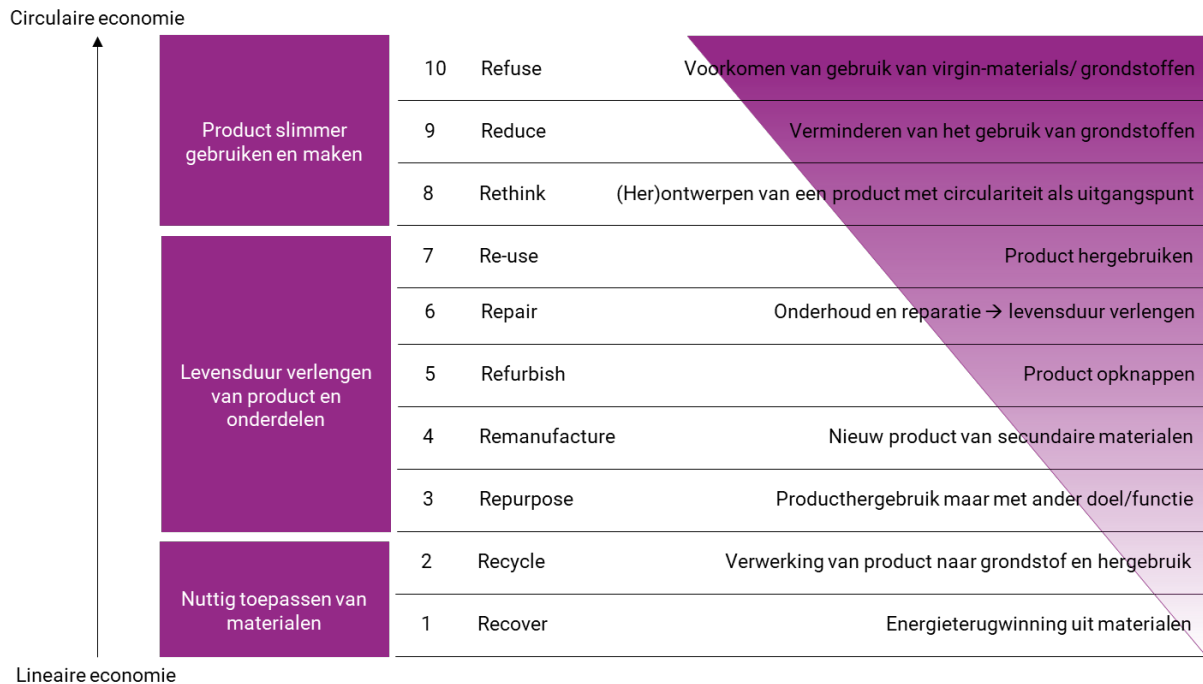


Bijlage B: Life Cycle Cost berekening

In bijlage B zijn de componenten van de Life Cycle Cost opgenomen.

Life cycle cost (LCC)		
Construction		
	Y/N	
Professional fees	<input type="checkbox"/>	Project design and engineering, statutory consents
Temporary works	<input type="checkbox"/>	Site clearance etc.
Construction of asset	<input type="checkbox"/>	Including infrastructure, fixtures, fitting out, commissioning, valuation and handover
Initial adaptation or refurbishment of asset	<input type="checkbox"/>	Including infrastructure, fixtures, fitting out, commissioning, valuation and handover
Taxes	<input type="checkbox"/>	Taxes on construction goods and services (e.g. VAT)
Other	<input type="checkbox"/>	Project contingencies
Operation		
Rent	<input type="checkbox"/>	
Insurance	<input type="checkbox"/>	Building owner and/or occupiers
Cyclical regulatory costs	<input type="checkbox"/>	Fire, access inspections
Utilities	<input type="checkbox"/>	Including fuel for heating, cooling, power, lighting, water and sewerage costs
Taxes	<input type="checkbox"/>	Rates, local charges, environmental taxes
Other	<input type="checkbox"/>	Allowance for future compliance with regulatory changes
Maintenance		
Maintenance management	<input type="checkbox"/>	Cyclical inspections, design of works, management of planned service contracts
Adaptation or refurbishment of asset in use	<input type="checkbox"/>	Including infrastructure, fitting out commissioning, validation and handover
Repairs and replacement of minor components/small areas	<input type="checkbox"/>	Defined by value, size of area, contract terms
Replacement of major systems and components	<input type="checkbox"/>	Including associated design and project management
Cleaning	<input type="checkbox"/>	Including regular cyclical cleaning and periodic specific cleaning
Grounds maintenance	<input type="checkbox"/>	Within defined site area
Redecoration	<input type="checkbox"/>	Including regular, periodic and specific decoration
Taxes	<input type="checkbox"/>	Taxes on maintenance goods and services
Other	<input type="checkbox"/>	
End of life		
Disposal inspections	<input type="checkbox"/>	Final condition inspections
Disposal and Demolition	<input type="checkbox"/>	Including decommissioning, disposal of materials and site clean up
Reinstatement to meet contractual requirements	<input type="checkbox"/>	On condition criteria for end of lease
Taxes	<input type="checkbox"/>	Taxes on goods and services
Other	<input type="checkbox"/>	

Bijlage C: Definities 10R-model



Bijlage C geeft definitie aan circulaire strategieën van het 10R-model van lineair naar circulaire economie (Platform CB'23, 2020).

1. Recover

Het terugwinnen van energie uit grondstoffen, die anders afval waren geweest.

2. Recycle

Recycling is het terugwinnen van materialen en grondstoffen uit afgedankte producten (secundaire materialen), zodat deze opnieuw kunnen worden ingezet voor het maken van producten op hetzelfde kwaliteitsniveau.

Noot: upcycling omschrijft hetzelfde proces, waarbij deze materialen worden ingezet voor het maken van producten met een hoger kwaliteitsniveau. Downcycling omschrijft ook hetzelfde proces, maar dan voor het maken van producten met een lager kwaliteitsniveau. Het kwaliteitsniveau zou kunnen worden omschreven als kenmerken van het materiaal die van waarde zijn, zoals sterkte, flexibiliteit, kleurvastheid, levensduur en herbruikbaarheid.

3. Repurpose

Herbestemmen is een (bouw)product of element gebruiken met een ander doel, of het opnieuw gebruiken van onderdelen van een product (of gehele producten of elementen) voor nieuwe producten of elementen met een andere functie.

4. Remanufacture

Een nieuw (bouw)product met dezelfde functie maken van productonderdelen uit een afgedankt product met een vergelijkbare functie.

5. Refurbish

Renoveren van producten of onderdelen is het opknappen of verbeteren van een bestaand (bouw)product, door gebruik te maken van productonderdelen uit een afgedankt product met een vergelijkbare functie.

6. Repair

Repareren is langer gebruik maken van producten door correctief onderhoud toe te passen tijdens de gebruiksfase van een product of bouwwerk.

7. Re-use

Hergebruik is het opnieuw gebruiken van constructies, elementen of producten van een bouwwerk in dezelfde functie.

8. Rethink

Heroverwegen is het opnieuw nadenken over de vraag of elementen, producten of materialen nodig zijn, en zo ja welke elementen, producten of materialen nodig zijn.

9. Reduce

Reduceren is het verminderen van het toepassen van de hoeveelheid benodigde grondstoffen in een product, waarbij dezelfde functionaliteit en kwaliteit van het product gewaarborgd blijft.

10. Refuse

Vermijden is het voorkomen van het gebruik van producten, elementen of materialen.

Bijlage D: Definitie circulaire ambities

Bijlage D geeft definitie aan de circulaire ambities van tabel 2 (Platform CB'23, 2020).

Demontabel

Een product dat ontworpen is voor demontage. Demontage betreft het niet-destructief uit elkaar halen van een samengesteld bouwproduct of element. Waarbij het de voorkeur geniet dat dit eenvoudig mogelijk is.

Hergebruikt materiaal

Hergebruik is constructies, bouwproducten of gebouw- of GWW-werkonderdelen/elementen opnieuw gebruiken in dezelfde functie, al dan niet na bewerking. Voorbeelden zijn het opnieuw gebruiken van een isolatiemateriaal als isolatiemateriaal, van een deur als een deur, van een dak als een dak.

Zo min mogelijk materialen

Het zo weinig mogelijk gebruik maken van materialen. Overbodige materialen schrappen uit het ontwerp en ontwerpen zodat er zo min mogelijk materiaal nodig is.

Niet-toxische materialen

Niet-toxische materialen zijn materialen die geen schadelijke effecten hebben op de natuur. De materialen zijn natuurlijk en zo weinig mogelijk samengesteld. Deze materialen zijn niet giftig, en biologisch afbreekbaar.

Materialen paspoort

Een paspoort voor de bouw documenteert digitaal een object in de B&U- of GWW-sector, waar een object uit bestaat -zowel kwalitatief als kwantitatief-, hoe het is gebouwd en waar het zich bevindt. Het documenteert het eigenaarschap van het geheel en/of de delen.

Flexibel

Flexibiliteit is het vermogen om veranderingen aan gebouwonderdelen aan te brengen zonder dat het noodzakelijk is om hierbij de constructie aan te passen.

Beperken transportafstand

De transportafstand wordt beperkt door materialen en producten zo veel mogelijk uit de regio te halen. Voor het beperken van de transportafstand is het belangrijk dat de hoeveelheid kilometers die gemaakt wordt voor het gebouw geminimaliseerd wordt in de breedste zin.

Beperken onderhoudsbehoefte

Het beperken van de onderhoudsbehoefte wordt gerealiseerd door *Design for maintainability* en door hoogwaardige materialen te gebruiken met een lange levensduur.

Energie neutraal

De woning of het gebouw heeft op jaarbasis per saldo een totaal energieverbruik van precies nul, uitgaande van standaard klimaatcondities zoals die gelden voor gebouwen: uitgaande van een nader te bepalen gemiddeld gebruikersgebonden energieverbruik. Het betreft alle energieverbruiken die op de energiemeter(s) in de woning of het gebouw zichtbaar worden. Het gaat dus om het totaal van het gebouwgebonden plus gebruikersgebonden energieverbruik min de opbrengst van lokale duurzame bronnen.

Circulaire business case

Een circulaire business case is het bedrijfsmodel waarop de organisatie waarde toevoegt in de circulaire economie. Hierbij de gehele levenscyclus inbegrepen.