

Materialen & Circulair Bouwen

Vervolgonderzoek Pieken in de Delta project REAP+



Materialen & Circulair Bouwen

Vervolgonderzoek Pieken in de Delta project REAP+

Datum: juni 2015

In opdracht van: Gemeente Rotterdam

Uitvoering: TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Klimaatontwerp & Duurzaamheid
Bob Geldermans
Laura Rosen Jacobson

Met bijdragen van: BRIQS Foundation – Remko Zuidema
Kenniscentrum RDM – Duzan Doepel
Kennisplatform Duurzaam Grondstoffenbeheer – Jan-Henk Welink

Table of Contents

LEESWIJZER	4
1. INTRODUCTIE	5
1.1 Pieken in de Delta	5
1.2 REAP+	5
1.3 Concept House Village	5
1.4 Doelstelling	6
2. WERKWIJZE & POSITIONERING	8
2.1 Werkwijze	8
2.2 Positionering en Afbakening	11
3. WORKSHOPS	17
3.1 Workshop 1: Introductie en actoren	17
3.2 Workshop 2: Thema FLEX 2.0 en adaptief vermogen van gebouwen	20
3.3 Workshop 3: Thema Bouwmaterialen en hun eigenschappen	22
3.4 Workshop 4: Thema Economische modellen & circulair bouwen	25
4. INDICATOREN & STAPPENPLAN	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Adaptief vermogen en Circulariteit	30
4.3 Stappenplan	34
5. CONCLUSIES EN PRAKTIJKTOEPASSING	37
5.1 Conclusies	37
5.2 Toetsing en toepassing in de praktijk	38
FIGUREN	41
TABELLEN	41
BRONNEN	42
BIJLAGE I – Deelnemerslijst Workshop sessies	43
BIJLAGE II – Actorenweb kennisontwikkeling Circulair Bouwen	44
BIJLAGE III – Selectie indicatoren uit FLEX 2.0	45
BIJLAGE IV – FLEX 2.0 Light	46
BIJLAGE V – Levensduur gebouwen en verdeling Gebruiker/Belegger	47

LEESWIJZER

Hoofdstuk 1 vormt de **introdunctie** waarin de verschillende initiatieven uiteen worden gezet waarmee dit rapport nauw verband houdt en grotendeels uit is voortgekomen. Daarnaast wordt de **doelstelling** geschetst.

In hoofdstuk 2 wordt inzicht gegeven in hoe het onderzoek vorm heeft gekregen. De **Werkwijze** beschrijft onze aanpak in de vorm een kerngroep en workshopsessies. Om het brede onderwerp van dit onderzoek verder af te kaderen wordt onder **Positionering & Afbakening** toegelicht waar de accenten van het project liggen en welke aspecten wel en niet zijn meegenomen.

Hoofdstuk 3 is een verslaglegging van de vier **workshops** die zijn gehouden op de Faculteit Bouwkunde met een veranderende groep genodigden. Iedere workshop wordt samengevat in een inleiding, een beschrijving van de belangrijkste discussiepunten en een opsomming van de leerpunten.

In Hoofdstuk 4 komen lessen uit de literatuur en uit de workshops samen. Theoretische concepten worden gekoppeld aan praktische kansen en uitdagingen, gevat in indicatoren, principes en een overkoepelend **stappenplan**.

Tot slot worden in Hoofdstuk 5 **Conclusies** getrokken over het hele onderzoek, gevolgd door een reflectie op **toetsing en toepassing** van de bevindingen in praktijk cases.

1. INTRODUCTIE

1.1 Pieken in de Delta

De regio Rotterdam/Delft/Drechtsteden zet hoog in op duurzaam bouwen & gebiedsontwikkeling. Ontwikkellocaties in de regio, zoals Merwe Vierhavens en Concept House Village (Rotterdam, Heijplaat) zijn daarbij fysieke proeftuinen die laten zien wat daadwerkelijk nodig is om tot duurzame gebouwen en gebieden te komen. Duurzaam bouwen richt zich op vernieuwingen bij de realisatie van gebouwen (materiaalgebruik, energiezuinigheid, business cases, et cetera). Gebiedsontwikkeling kent een procesmatige invalshoek en richt zich onder andere op nieuwe samenwerkingsvormen die ontstaan tussen markt, overheid en eindgebruiker [Clean Tech Delta, 2011]. Gebiedsontwikkelingen op water en de duurzame renovatie van het HAKA-gebouw (DoepelStrijkers) zijn voorbeelden van showcases.

Vanaf 2009 gaven Havenbedrijf, Hogeschool Rotterdam, TNO, TU Delft en Gemeente Rotterdam gezamenlijk uitvoering aan het Pieken in de Delta-programma “Cleantech Innovatiecluster”.¹ Het hierboven genoemde Concept House Village is ondersteund vanuit dit programma, evenals ‘REAP+’: een doorvertaling van de Rotterdamse Energie Aanpak en Planning.

1.2 REAP+

REAP+ (TUD, 2012) volgde REAP (TUD, 2009) in het toepassen van de Nieuwe Stappen Strategie [Dobbelsteen et al, 2008] en het koppelen van stromen op verschillende schaalniveaus. Doelstelling van REAP+ was om een methodische basis te leggen voor business cases die passen in een circulaire economie. Binnen REAP+ is onder meer een aanpak ontwikkeld voor het in kaart brengen van materialen opgeslagen in de gebouwde omgeving. Een aanbeveling vanuit REAP+ betrof vervolgonderzoek naar bouwtypologieën & materiaalinhoud in de bestaande voorraad. Een andere aanbeveling ging om de ontwikkeling van materiaal datasets voor nieuwbouw en renovatie, inclusief de verschillende omloopsnelheden van materialen, producten en componenten [Geldermans et al. 2012]. Dergelijke stappen zijn onontbeerlijk geacht voor het faciliteren van circulariteit in de gebouwde omgeving.

1.3 Concept House Village

Concept House Village is een testomgeving voor duurzaam bouwen, wonen en duurzame gebiedsontwikkeling; een zogenaamd living lab, waar innovatieve woningen, producten en systemen getest worden door en met de bewoner. Concept House Village (CHV) is een initiatief van CityPorts Academy Rotterdam en wordt uitgevoerd door Hogeschool Rotterdam, TU Delft en Woonbron. Een aanbeveling vanuit de CHV stuurgroep betreft de ontwikkeling van een methodiek om duurzaamheidsimpact van toegepaste materialen afdoende te beoordelen, circulariteit is hierbij een belangrijk principe.

Een van de woningen die momenteel wordt ontwikkeld binnen CHV is het Active ReUse Huis.

¹ De regeling Pieken in de Delta, geïnitieerd door het Ministerie van Economische Zaken, had tot doel door middel van het verstrekken van subsidie het ondernemers- en vestigingsklimaat in Nederland te versterken. Begin 2011 is de regeling gesloten.

Het doel van het Active ReUse Huis consortium is om een betaalbare woning te ontwikkelen, welke een bijdrage levert aan een circulaire en inclusieve economie. Circulair door het sluiten van energie-, water- en materiaalkringlopen, en inclusief door het behalen van maximale *Social Return on Investment* (SROI) over de hele levenscyclus van het gebouw. Het Active ReUse Huis consortium ontwikkelt een woning waarbij het gebruik van nieuwe grondstoffen wordt beperkt. Dit wordt bewerkstelligd door bijvoorbeeld gebruik te maken van materialen uit gebouwen welke het eind van hun technische levensduur hebben bereikt. Oude gebouwen doen dus dienst als grondstof voor het Active ReUse Huis. De stad is een grondstoffenbank. Een aantal Active ReUse Huizen wordt eind 2015 gebouwd in Concept House Village. De leidende principes, inclusief een circulair bouwen methodiek, zullen worden getoetst voor een periode van twee jaar.

1.4 Doelstelling

De potentiële voordelen van circulair ontworpen producten zijn nagenoeg bekend: minder afval en grondstoffenuitputting aan de ene kant en een nadruk op kwaliteit – qua ontwerp, materiaalgebruik en aanbieder-afnemer relatie – aan de andere. Maar hoe gaat dit op voor een complexe assemblage van producten, diensten en materialen, zoals een gebouw? Dat is geen makkelijke opgave. Zeker is ook in het geval van een gebouw nodig om op gedetailleerd niveau te weten wat er in zit. Ten minste, wanneer circulariteit een criterium is. Bij het huidige bouw-gebruik- sloopparadigma komen we weg met een vrij grove inschatting en navenante end-of-pipe verdienmodellen, waar de rek wel zo'n beetje uit is. Als de bouwsector haar reputatie van energie- en grondstoffenverslinder wil ombuigen naar een positiever beeld, dan moet het roer radicaal om.

Dat laatste geldt vooral voor materialen. Met een gestaag groeiend volume aan energiezuinige (ge)bouwconcepten worden die materialen steeds belangrijker. Vanuit de sector zelf klinkt ook steeds luider de wens om hier actie te ondernemen. Naar kennis omtrent het aanwezige materiaal in de bestaande voorraad enerzijds en ontwerpen voor hoogwaardig hergebruik anderzijds wordt dan ook naarstig gezocht. Met de technische, organisatorische, legale en financiële aspecten die er mee samenhangen is dit een complexe interdisciplinaire opgave. De technische aspecten alleen al – waar binnen dit project het accent ligt – leiden tot vele hoofdbrekens. Want hoe ontwerp en bouw je nu het slimst voorbij de waan van de dag? En welke stakeholders oefenen door de tijd heen relevante invloed uit op welke bouwcomponenten? In ieder geval is registratie van hetgeen je aan materialen en producten (en dus grondstoffen, maar hier liggen genuanceerde verschillen, dat komt later in dit verslag nog terug) gebruikt en hoe je deze toepast, en aanpast, een voorwaarde. Opdat de circulaire intentie straks geen lineair einde wacht, maar inderdaad functioneert in de beoogde gekoppelde kringlopen.

Er lopen meerdere initiatieven rondom het concept 'materiaalregistratie of -paspoort'² voor gebouwen, maar er is weinig helderheid of consensus betreffende de precieze invulling, werking en waarde van zo'n instrument. Het *TurnToo* concept, geïnitieerd door architect Thomas Rau, is een gerelateerd voorbeeld dat op kleine schaal is toegepast. Verder verkent het Rijksvastgoed Bedrijf de

² *Materiaalpaspoort, Grondstoffenpaspoort, Gebouwenpaspoort* zijn voorbeelden van termen die vaak door elkaar gebruikt worden in dit verband, al gaat het – potentieel – om verschillende zaken. Belangrijker is de achterliggende gedachte die uitgaat van de aanname dat een accurate en gedetailleerde registratie van product & materiaal data, m.b.t. toepassing in het gebouw, van essentieel belang is voor een hoogwaardige invulling van circulaire beginselen.

ontwikkeling van een dergelijke tool, specifiek met betrekking tot de tijdelijke rechtbank in Amsterdam, waarbij vooraf hergebruikcontracten worden gesloten met leveranciers en aannemers. Voor het *Active ReUse Huis* (zie 1.3) is Hogeschool Rotterdam samen met Search (partner Cirkelstad), de gemeente Rotterdam en SBRCURnet gestart met het idee van materiaalregistratie. Ook het lectoraat 'Vernieuwing van de bouwketen' (Hogeschool Utrecht), ontplooit meerdere activiteiten omtrent materialen, hergebruik en circulariteit van- en in gebouwen. Daarnaast is onlangs de Green Deal Circulaire Gebouwen afgesloten, hierbinnen buigt een groot aantal samenwerkende organisaties zich over dit concept. Buiten Nederland is vooral Cradle to Cradle® van Michael Braungart³ en EPEA actief op dit vlak.⁴

Dit Materialen & Circulair Bouwen project beoogt vooraleerst kennis en initiatieven op dit vlak te bundelen, want we kunnen beter gezamenlijk het wiel uitvinden dan ieder voor zich (wat in de praktijk nog erg veel gebeurt). Daarnaast richten we ons op een tweetal basisvoorwaarden dat nader onderzocht en uitgewerkt moet worden ten einde implementatie van circulariteit in de gebouwde omgeving haalbaar te maken:

- A) Een set principes en indicatoren m.b.t. de performance van materialen, producten, diensten en gebouwen, wanneer circulariteit leidend is.
- B) Een inzichtelijk stappenplan om circulariteit te faciliteren in bouw- en renovatie opgaven, bruikbaar voor alle stakeholders.

Praktische toepassing staat voorop. De bevindingen worden in eerste instantie getoetst in de CHV testomgeving. In tweede instantie streven we naar uitrolling in een praktijkproject op grotere schaal. Om dit laatste te borgen, zal binnen de grenzen van dit project al geanticipeerd worden op participatie van mogelijk geïnteresseerde partijen in die 2^e fase.

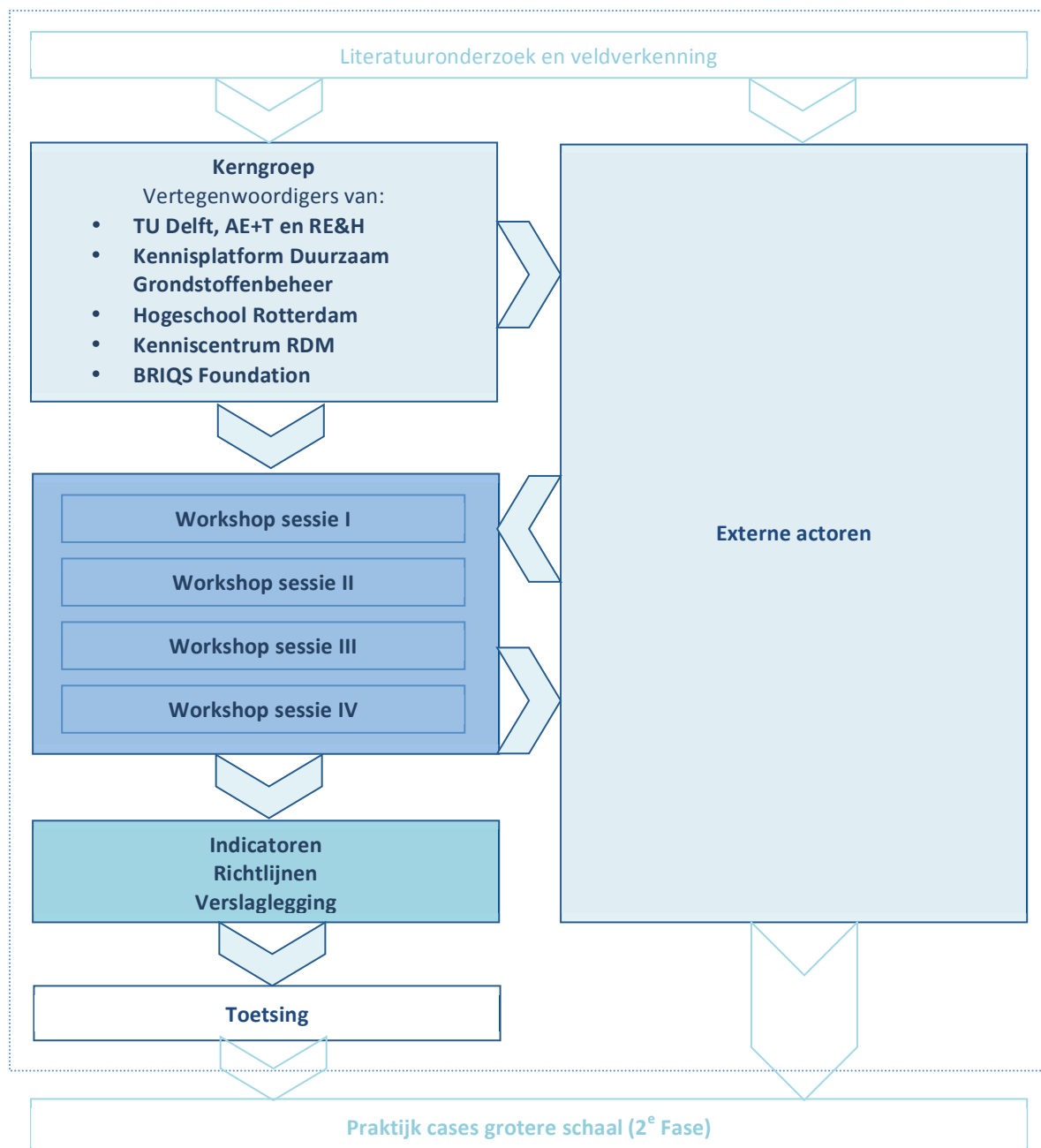
³ Cradle to Cradle® en EPEA zijn operatief vanuit verschillende landen en organisaties, waaronder Nederland en Duitsland.

⁴ Uiteraard is dit geen uitputtende opsomming.

2. WERKWIJZE & POSITIONERING

2.1 Werkwijze

Het onderzoek is gestructureerd rond een reeks van vier workshop sessies waar data, kennis en bevindingen gedeeld, besproken, getoetst en aangescherpt werden. De kerngroep is gevormd vanuit TU Delft (Faculteiten Bouwkunde en 3me), Hogeschool Rotterdam, Kenniscentrum RDM, Kennisplatform Duurzaam Grondstoffenbeheer en BRIQS Foundation. Naast de kerngroep zijn bij iedere workshop externen betrokken. Op deze wijze stemmen we Nederlandse initiatieven zo goed mogelijk op elkaar af. De diagram van Figuur 1 schetst de aanpak in grote lijnen.



Figuur 1: Schematische weergave van projectaanpak

Kerngroep en externe actoren

Na een literatuuronderzoek betreffende de stand van zaken rondom circulair bouwen, evenals een verkenning van de partijen in dit veld, is er een kerngroep ontstaan van personen die in grote lijnen dezelfde doelen nastreven en daarbij de nodige ervaring en netwerken hebben opgebouwd. De organisaties en representanten van deze kerngroep staan toegelicht in onderstaande tabel.

Tabel 1: Kerngroep

Instantie	Toelichting	Personen
TU Delft	Initiatiefnemer. Betrokken bij voorafgaand (REAP) onderzoek en actief in gerelateerde projecten, zoals het Cradle to Cradle Lab en Adaptable Futures. Opererend vanuit de leerstoelen Climate Design & Sustainability en Design Construction & Management.	Bob Geldermans, Laura Rosen Jacobson, Matthijs Prins, Rob Geraedts.
Hogeschool Rotterdam & DoepelStrijkers	Nauw betrokken bij Concept House Village, het Kenniscentrum RDM, alsmede eerder REAP onderzoek. Lectoraat Sustainable Architecture & Urban (Re-)Design bij Hogeschool Rotterdam.	Duzan Doepel
Kennisplatform Duurzaam Grondstoffenbeheer	Centraal punt in het discours rondom- en ontwikkeling van grondstoffen efficiëntie en circulaire stromen. Opererend vanuit de faculteit 3me, TU Delft.	Jan-Henk Welink
BRIQS Foundation	Bruggenbouwer en verbinder van disciplines om circulair en open bouwen verder te brengen. Betrokken bij talloze initiatieven en instanties, waaronder Hogeschool Utrecht en de Green Deal Circulaire Gebouwen.	Remko Zuidema

Met deze groep zijn de lijnen uitgezet voor het onderzoekstraject. Essentiële aspecten daarbij zijn de korte linken en continue interactie met externe actoren; een diverse en groeiende categorie, opgebouwd uit marktpartijen, overheden en kennisinstellingen/onderwijs. De groeifactor is van groot belang, want netwerken worden hierbij steeds gekoppeld en uitgebreid. Deze externe actoren (een complete lijst van betrokkenen is in de bijlage te vinden) hebben hun eigen specifieke agenda's, maar ook grote overlap in doelstellingen en de wil om daarin samen op te trekken. Door afstemming op dit vlak wordt efficiëntie en effectiviteit bereikt bij de implementatie van circulaire principes in de gebouwde omgeving.

Workshop sessies

Er zijn verschillende manieren om onderzoek te doen, kennis te delen en nieuwe kennis en vaardigheden te genereren. Binnen dit project is ingeschat dat een reeks workshops veruit het meeste effect zal sorteren. Dit hangt samen met de doelstelling om zoveel mogelijk gerichte interactie tot stand te brengen in de korte tijd die er voor het project beschikbaar was. Een drietal workshops werd aanvankelijk beoogd om het onderwerp – in thematische sessies – te behandelen, maar door voortschrijdend inzicht is dit uitgebreid tot vier sessies. Zie verder hoofdstuk 3.



Figuur 2: Beeld van een van de workshop sessies

Indicatoren, Richtlijnen en Verslaglegging

In dit deel van het project culmineren de bevindingen uit de workshop sessies zich tot de gewenste resultaten: een selectie aan sleutel indicatoren en een overkoepelend stappenplan vanuit kaderrichtlijnen. Het onderzoekstraject en de bevindingen zijn beschreven in onderliggend verslag.

We streven naar een representatief inzicht in de relevante indicatoren, gevat in een beknopt stappenplan dat de potentiële gebruiker niet afschrikt maar aanmoedigt om toe te passen. Dit laatste betekent niet dat we hebben getracht om een complexe opgave simpel te laten lijken. De complexiteit is inherent aan het onderwerp en neemt met zich mee dat de geassocieerde kennis gefragmenteerd is. Binnen het project was het niet mogelijk noch wenselijk om op alle levels de parameters bloot te leggen. Veel van die parameters zijn specifiek en projectgebonden, terwijl wij een generiek stappenplan beogen voor alle stakeholders waarmee innovatie gestimuleerd wordt om het punt op de horizon te bereiken. Dit stappenplan, met de principes erachter, kan wegwijzers plaatsen in een verder nog ongekend divers en dynamisch landschap.

Toetsing

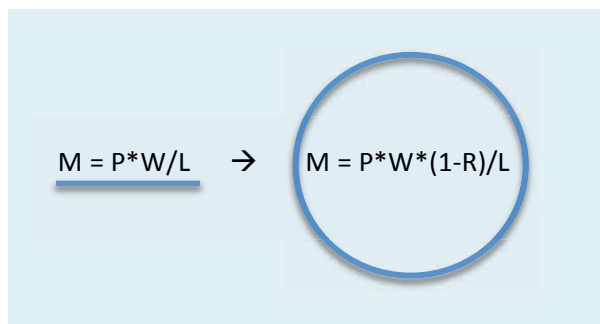
Met het vergezicht van een uitrol op grote schaal, in een tweede fase, zullen de bevindingen eerst kleinschalig getest worden. De testomgeving van Concept House Village op Heijplaat (Rotterdam) is een logische keuze. Binnen CHV worden diverse prototypen ontworpen, gebouwd en gemonitord. Een daarvan, het Active ReUse Huis is momenteel in ontwikkeling en biedt een uitgelezen testcase.

2.2 Positionering en Afbakening

Het moge duidelijk zijn dat dit project om materialen in de gebouwde omgeving draait, niet om bijvoorbeeld energie of water. Daarbinnen zijn er echter nog talloze nuances aan te brengen. Onder meer met betrekking tot terminologie, interpretaties en randvoorwaarden. In dit hoofdstuk wordt de positionering en afbakening van dit onderzoek toegelicht.

Grondstoffen, materialen en producten

De termen grondstoffen, materialen en producten zijn niet synoniem, al vallen ze soms met elkaar samen. Er dient een belangrijk onderscheid aangebracht te worden. Gemakshalve kun je stellen dat **producten** worden gemaakt van **materialen**, welke opgebouwd zijn uit **grondstoffen**. Elk niveau neemt andere keuzes met zich mee wanneer circulariteit een drijfveer is. Zo kan homogeniteit een belangrijke voorwaarde zijn voor een materiaal om goed in een volgende cyclus te functioneren, terwijl een homogene grondstof misschien niet de juiste eigenschappen heeft om optimaal in nieuwe producten toegepast te worden. Wij richten ons op materialen en producten geassocieerd met de bouw, ten einde een gezonde omgang op macro niveau met de grondstoffen daarvoor te ondersteunen. Om dat toe te lichten zou onderstaande formule gebruikt kunnen worden, waarin M = de hoeveelheid materiaal (per jaar), P = het aantal producten, W = het gewicht van de producten en L = de leeftijd van de producten. De stap naar circulair kan gemaakt worden door het toevoegen van de hergebruik factor (in verschillende gradaties: onderhoud, herverdeling, renovatie etc.), vertegenwoordigd door de R van recycling.



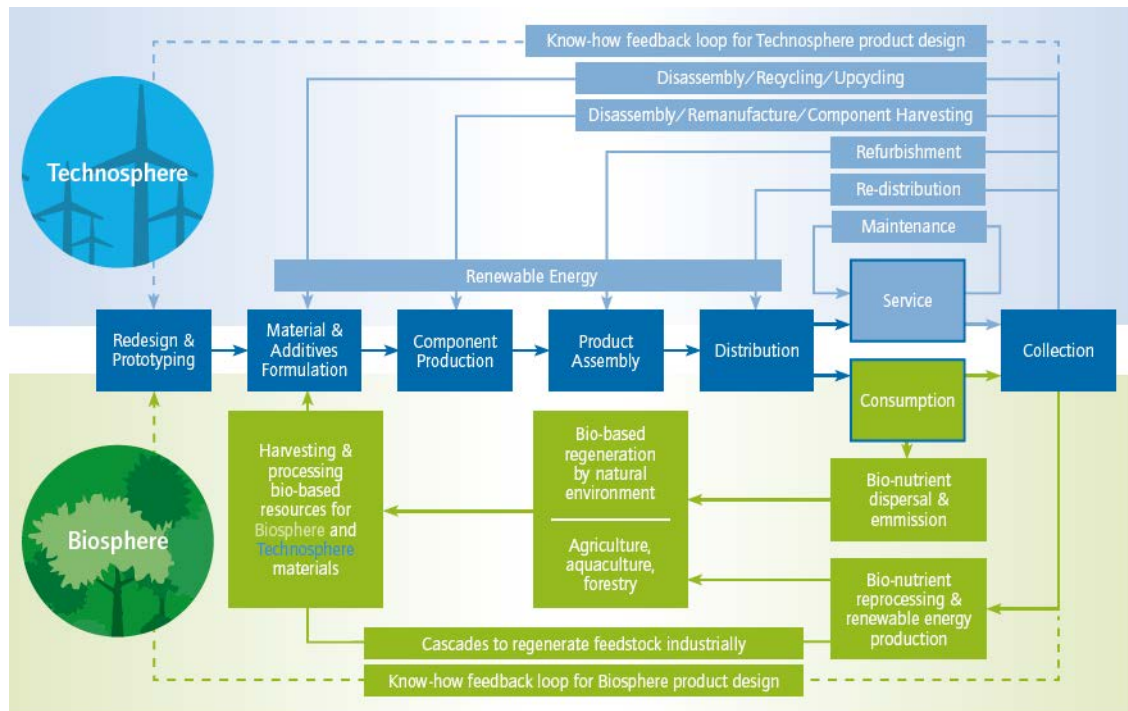
$$\underline{M = P \cdot W / L} \rightarrow M = P \cdot W \cdot (1 - R) / L$$

Figuur 3: Formule voor de stap van lineair naar circulair materiaalgebruik

Circulariteit

Circulariteit is op dit moment een veel gebezigde term en hard op weg het nieuwe 'Duurzaamheid' te worden, met alle interpretaties en uithollingen die daarbij horen. Aan de basis leggen wij circulariteit uit als de regeneratieve omgang met grondstoffen – en afgeleide materialen en producten – op basis van hoogwaardige cycli, idealiter zonder toevoeging van *virgin* grondstoffen. 'Idealiter', want het gaat om de transitie naar dit ideaalbeeld. Een pragmatische uitleg ligt besloten in de zogenaamde *Circular Economy* (CE): een levend economisch systeem gericht op structurele veranderingen in het bestaande economisch model, met waardeontwikkeling gebaseerd op 'gebruik' in plaats van waardevernietiging gebaseerd op 'verbruik' [Het Groene Brein, 2014]. CE, zoals in de propositie van de Ellen McArthur Foundation, gaat daarbij uit van langere en kortere cycli van onderhoud, hergebruik of recycling. Deze propositie is schatplichtig aan het Cradle to Cradle® concept, waarbij afval als voedsel wordt voorgesteld en onderscheid wordt gemaakt tussen biologische- en technische kringlopen [Braungart & McDonough, 2002]. Het betreft hier concepten die zich bewust zijn van de enorme transitie die nodig is voor deze verandering van koers, maar die als ultiem resultaat een symbiotische

relatie zien tussen mens en natuur, zonder in te boeten op een (groeierende) welvaart voor de wereldbevolking. C2C legt daarbij een sterker accent dan CE op het streven naar een brede positieve impact, waarbij circulariteit middel is en nooit het doel. Immers, wanneer we de verkeerde producten circulair maken zijn we verder van huis. De figuur hieronder geeft materiaalstromen weer in een circulaire economie. Hierin is zijn biologische (groen) en technische (blauw) kringlopen te onderscheiden, evenals de verschillende hergebruik gradaties. Verder is in dit diagram kennis feedback opgenomen voor continue verbeteringen.



[Bron: EPEA & Returnity Partners, 2014]

Figuur 4: Cradle to Cradle materiaalstromen in de circulaire economie

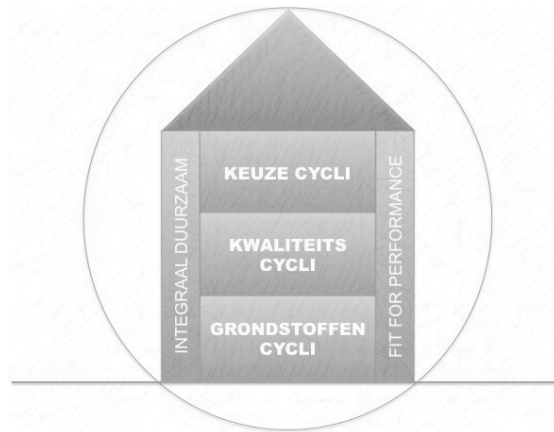
De stap van lineair naar circulair verhoogt de complexiteit van systemen en subsystemen door het toenemende aantal links en/of de geïntensiverde aard daarvan. Tabel 2 toont samenhangende domeinen en aspecten die alle – in meer- of mindere mate – beïnvloed worden door de stap van lineair naar circulair bouwen.

Tabel 2: Voorbeelden van gekoppelde domeinen en aspecten

Domein	Voorbeeld aspecten		
Sociaal	Gebruiker centraal	Werkgelegenheid	Gezondheid & Veiligheid
Technisch	Zuiverheid	Recycling	Verbindingen
Design	Esthetiek	Indeling	Diversiteit
Financieel	Total Cost of Ownership	Life Cycle Costing	Verdienmodellen
Wettelijk	Eigendom	Extended Producer Responsibility	Normering
Organisatorisch	Communicatie	Logistiek	Governance
Contextueel	Milieu	Overlast	contextuele inpassing

Kernthema's

Ten einde de complexiteit enigszins behapbaar te maken, hebben we de opgave ontleed in drie hoofdthema's en twee randcondities waar de aspecten uit Tabel 2 op verschillende manieren aan gelieerd zijn. De drie samenhangende thema's die we onderscheiden vormen voor ons de kern bij het bepalen van indicatoren en richtlijnen voor circulair bouwen gezien vanuit het oogpunt van materialen en producten of componenten. De thema's worden hieronder toegelicht.



Figuur 5: Van lineair naar Circulair → 3 hoofdthema's en 2 randvoorwaarden

Als in alle fasen van een gebouw – als *functie* of *prestatie*, meer dan als fysiek object – hoogwaardig hergebruik van materialen en producten dient te worden gefaciliteerd, dan heeft dat betrekking op de **grondstoffen** (van essentieel belang voor ons allen, maar qua beleid primair voor overheden), **kwaliteit** (behoud of toename daarvan, wat in de praktijk primair de interesse van eigenaren en producenten zal hebben) en **keuze** (een waarde die betrekking heeft op 'diversiteit' en primair het belang zal zijn van de gebruikers en eigenaren van gebouwen en leveranciers in een gezonde markt).

De nadruk in dit project ligt bij deze thema's, maar niet zonder vermelding van randvoorwaarden die daarbij nooit in het geding mogen komen, benoemd als **integrale duurzaamheid** (systeem geënte duurzaamheid, waarbij het systeem enkel positief beïnvloed wordt en negatieve effecten dus niet simpelweg naar elders – in ruimte en tijd – verschoven worden) en **fit for performance** of: *fit for purpose* (circulariteit mag niet ten koste gaan van de prestatie van het materiaal/product).

Vanuit het gezichtspunt van materialen en producten vormt het hierboven gestelde een van de twee hoofdpijlers bij bepaling van de specificaties voor circulair bouwen. De andere hoofdpijler is gebouwoontwerp. Daarbij is het belangrijk nader in te zoomen op de ware aard van een gebouw.

Gebouwlagen

Een gebouw is wat ons betreft geen statisch object, maar een dynamisch geheel aan subsystemen. Dat sluit aan bij de ideeën van bijvoorbeeld Steward Brand, die in de jaren 90 van de vorige eeuw gebouwen als lerende objecten – of processen – voorstelde [Brand, 1994]. Met de slogan '*all buildings are predictions, and all predictions are wrong*', legde Brand het probleem bloot van gebouwen die niet ontworpen waren voor verandering: onderdelen met een langere technische of maatschappelijke levensduur werden veelal vermengd met onderdelen die een kortere levensduur hadden. Brand onderscheidde zogenaamde *shearing layers of change* om hiërarchie aan te brengen

in de onderdelen van een gebouw. Dit is even relevant voor bijvoorbeeld economische, legale en logistieke modellen als voor materiaalgebruik. Brand onderscheid daarbij 6 lagen: het terrein/de kavel, de structuur, de façade, de installaties, de indeling/plattegrond en de spullen.⁵ Zie Figuur 6. De omloopsnelheid van deze lagen – of van de producten en materialen daarbij gebruikt – variëren van virtueel oneindig (terrein) tot, zeg, 1-10 jaar (spullen, zoals inboedel) en de rest valt daartussen.



Figuur 6: Zes gebouwlagen van Brand

Een gerelateerd concept was al eerder geopperd door Johan Habraken in zijn boek 'De dragers en de mensen' [Habraken, 1961], ingestoken vanuit het sociaal-culturele fenomeen van de naoorlogse massabouw. Habraken stelt een scheiding voor van drager (de generieke structuur van een gebouw) en inbouw (de specifieke invulling van de gebruikers units), het zogenaamde 'Open Bouwen'. De drager zal in de regel een langer leven beschoren zijn dan de inbouw, die sterk onder invloed is van persoonlijke en maatschappelijke dynamiek. De tabel licht dit verder toe.

Tabel 3: Onderscheid tussen drager en inbouw

	DRAGER	INBOUW
HOOFDKENMERK	Lange levensduur, vast en architectonisch sterk	Korte levensduur, variabel, demontabel
SCOPE	Hoofdconstructie, grondgebonden, collectieve ruimten	binnenwanden, keuken, badkamer e.d. + alle installaties daarvoor
INVLOED	eigenaar, architect, aannemer	eigenaar/gebruiker, bewoner, interieurarchitect, onderhoudsmonteur e.d.
DUURZAAMHEID/LINK MET CIRCULARITEIT	lange levensduur met behoud of toename van rendement	passend bij veranderingen, minder afval, faciliteert circulair hergebruik

Grofweg kun je stellen dat de inbouw van Habraken de binnenste drie of vier lagen van Brand omvat (Figuur 6), exclusief structuur en terrein. De laag Façades kan feitelijk – project afhankelijk – bij het domein van de inbouw of structuur gerekend worden. En zo zijn er nog wel meer variaties mogelijk, denk aan een toekomstige tweede schil om de energie- en comfort performance te verhogen. Het werkelijke onderscheid draait uiteindelijk dan ook om de combinatie van levensduur differentiatie aan de ene kant en besluitvorming daaromtrent aan de andere.

⁵ Brand hanteert de 6 S'en: Site, Structure, Skin, Services, Space, and Stuff

Het Open Bouwen concept en de hiërarchische lagen van Brand zijn om duidelijke redenen verwant aan circulaire bouw principes: ze vormen voor ons als het ware twee zijden van de munt die *werkelijk duurzaam* bouwen heet. Vandaar dat wij hier nauwe verbindingen leggen. Dit leidt onder meer tot de realisatie dat de drie hoofdthema's uit Figuur 5 zich steeds anders verhouden tot de laag waarover gesproken wordt: bij de materialisatie van de structuur of de drager (met een lange levensduur) neemt circulariteit heel andere kansen en uitdagingen mee dan bij, bijvoorbeeld, installaties of de façade. We vatten de achterliggende principes samen als 'adaptief bouwen'.⁶

Bestaande bouw en nieuwbouw

Wetende dat het overgrote deel van de gebouwen waarin we de komende decennia verblijven op dit moment al gebouwd is, kunnen en willen we niet voorbij gaan aan de bestaande voorraad. De bestaande voorraad die we hebben in Nederland is echter voor het grootste deel gestoeld op traditionele bouwmethoden en bouwmaterialen. De gebouwen zijn niet demontabel, materialen uit de techno- en biosfeer zijn vermengd, er zijn veel laagwaardige materialen toegepast – dit zijn slechts enkele van de vele obstakels wanneer we met een 'circulaire bril' kijken naar deze voorraad. Het is vrijwel onmogelijk om circulaire uitgangspunten te formuleren voor dergelijke gebouwen. Een reden hiervoor is dat circulaire principes m.b.t. materiaalgebruik moeten worden mee ontworpen in de startfase van een project. Alleen op die manier kunnen garanties voor kwaliteitsbehoud en materiaal terugwinning worden gegeven.

Binnen de kaders van dit onderzoek is het daarom relevanter het accent te leggen op toekomstige nieuwbouw en hoe circulaire principes maximaal kunnen worden geïntegreerd in het ontwerpproces om grondstoffenbehoud te faciliteren. Echter, we zijn ons terdege bewust van de meerwaarde die een geïntegreerde, realistische aanpak biedt ten opzichte van de propositie om te starten met een 'schone lei'. Ook herbestemmingen en renovaties van bestaande gebouwen bevatten circulair potentieel, voorbij traditioneel hergebruik – en *down-cycling*.⁷ Als we dit adresseren als een casus waarbij het bestaande gebouw de drager is en de herbestemming de inbouw, zijn er zeker kansen voor circulair materiaalgebruik.

Typologieën

Veel van de probleempunten van circulair bouwen zijn terug te voeren naar eigenaarschap, verantwoordelijkheid en gebruik. Dergelijke aspecten liggen nu bij een koopwoning heel anders dan bij, bijvoorbeeld, een winkelpand. De inbouw van winkelpanden is in veel gevallen al zodanig ontworpen dat het pand flexibel in te vullen is, terwijl aan woningen vaak projectgebonden, op maat gemaakte, ontwerpen ten grondslag liggen, die veel lastiger aan te passen zijn op een afwijkend toekomstig gebruik. De kansen van circulaire modellen zijn dus erg afhankelijk van de typologie van het gebouw.

Duiding van typologie-differentiatie bij het bepalen van indicatoren zou dan ook gerechtvaardigd zijn. Voor iedere typologie zou zelfs een apart onderzoek kunnen worden gedaan. Wij hebben echter een generieke benadering gehanteerd, passend bij de mogelijkheden en doelstellingen van dit rapport.

⁶ De term 'adaptief bouwen' kan verder ontleed worden in bijvoorbeeld: aanpasbaar, veelzijdig, omvormbaar, verplaatsbaar, schaalbaar en vervangbaar. Dit komt terug in Hoofdstuk 4

⁷ Down-cycling behelst – een cascade van – nieuwe toepassingen van gebruikt materiaal in een steeds laagwaardiger kwaliteit

Verschillende typologieën zullen wel de revue passeren, maar de uiteindelijke set richtlijnen zal generiek toepasbaar zijn voor alle soorten gebouwen.

Circulaire gebouwen vs. circulaire bouw

We bezigen steeds de term 'circulair bouwen' en niet bijvoorbeeld 'circulaire gebouwen'. Dit is niet om een semantische discussie aan te zwengelen, maar om de gedachte te onderstrepen dat een gebouw geen statisch fysiek object is, maar een verzameling aan – hiërarchische – functies en processen die onderhevig zijn aan verandering. Circulair bouwen, zijnde een werkwoord, is dan het dynamische totaal aan geassocieerde processen, materialen en netwerkpartijen, gestuurd door de gebruiker/eigenaar. Een gebouw kan daar een tijdelijke manifestatie van zijn. Voor onze focus op materialen en producten is die tijdelijke manifestatie even belangrijk als de fase daarvoor en daarna.

3. WORKSHOPS

Hieronder volgt een weerslag van de vier workshopsessies. Daarbij is steeds een korte introductie gegeven, gevolgd door een puntsgewijs verslag van de discussie, gevat in de belangrijkste vraagstellingen of statements. Per workshopsessie worden concluderend de belangrijkste leerpunten genoemd. Dit hoofdstuk kan worden gezien als een inventarisatie van de complexiteit van het vraagstuk, alsmede een afbakening van de relevante aspecten en het voorzichtig formuleren van uitgangspunten. Een kracht, maar ook potentieel gevaar, van de workshops was de diversiteit van de genodigden, waarvan de samenstelling per sessie verschilde. Hierdoor werd de discussie zowel diep als breed ingestoken en werden sommige thema's meerdere malen besproken. Herhaling van enkele van de hierboven genoemde aspecten is het logische gevolg hiervan, al onderstreept dit vooral ook hun relevantie.

3.1 Workshop 1: Introductie en actoren

Inleiding

De eerste workshop was bedoeld om beter grip te krijgen op het begrip 'circulair bouwen', de rol van grondstoffen, materialen en producten daarin en huidige en toekomstige spelers in het veld. Belangrijke vragen daarbij zijn: Wie zijn de belanghebbenden? Waar liggen de pijnpunten? Wat zijn aan het eind van de dag de sleutelthema's?

Er werd een introducerende lezing gegeven door Bob Geldermans waarin 3 thema's werden belicht en gekoppeld: Keuzevrijheid, Kwaliteitsbehoud & Grondstoffen (zie sectie 2 voor een toelichting). Binnen elk van deze thema's zijn vraagstukken te formuleren die in de komende decennia opgelost zullen moeten worden. Om beter inzicht – en overzicht – te krijgen in de instanties, bedrijven en initiatieven die kennis ontwikkelen op het vlak van circulair materiaalgebruik in gebouwen, is er tijdens de eerste workshop ook een actoren-web opgezet. Hierin is onderscheid gemaakt tussen drie groepen: Markt, Overheid en Onderwijs.

Discussie



Hoe nieuw is het gedachtegoed van circulair bouwen?

- De Circulaire Economie, in de zin van een economisch model, wordt zo nu en dan naar voren gebracht als nieuwe term, maar is feitelijk al decennia oud. Momenteel staat het echter weer hernieuwd in de belangstelling. Er zijn veel overeenkomsten te vinden met andere concepten. Niet in de laatste plaats met het Open Bouwen concept, zoals opgeworpen door John Habraken in de zestiger jaren.

- Het scheiden van functie en levensduur is een van de uitgangspunten die Open Bouwen gemeen heeft met circulair bouwen. De gedachte hierachter is om de gebouwlagen te scheiden naar de verschillende omlooptijd die ze onherroepelijk hebben. Open Bouwen onderscheidt Drager en Inbouw. De – constructieve – drager kan lang meegaan, terwijl de inbouw – niet-dragende wanden, inrichting e.d. – sterk afhankelijk is van maatschappelijke dynamiek. Idealiter is de inbouw dus volledig demontabel en aanpasbaar (en vervolgens herbruikbaar/recyclebaar, naar circulair bouwen principes) zonder aanpassingen te maken aan de drager.

- Het in de praktijk brengen van deze scheiding van gebouwlagen is echter nooit goed van de grond gekomen in Nederland. Er zijn enkele partijen (Matura, Bruynzeel o.a.) die

inbouwconcepten hebben ontwikkeld, maar deze ontwikkelingen zijn in de 90'er jaren in de kiem gesmoord.

-Is de samenleving er nu wel rijp voor? In Japan is in 2008 een wet ingevoerd die het Open Bouwen faciliteert: van nieuwbouw moet de drager 200 jaar kunnen blijven staan. Inbouw kan veranderen per gebruiker, zonder noemenswaardige overlast te veroorzaken bij de andere gebouw gebruikers. Dit heeft tot gevolg dat er een inbouw sector is ontstaan die min of meer losstaat van de traditionele bouwaannemers. Inbouw is dus individueel aanpasbaar, waardoor de gebruiker/huurder een grotere keuzevrijheid maar ook kwaliteitsbelang heeft.

➤ **Als we legoblokjes zien als metafoor voor de bouw, welke vragen roept dat dan op?**

- *Waar zijn die blokjes van gemaakt?* De kwaliteit van grondstoffen wordt heel belangrijk. De waarde van aan materiaal of product dat vrijkomt uit een gebouw wordt onder andere bepaald door de zuiverheid van het materiaal. Welke nieuwe materialen zijn er allemaal op de markt en hoe gaan we daarmee om? Zullen de eisen en wetgeving ten aanzien van bouwmaterialen veranderen?

- *Hoe zijn de blokjes met elkaar verbonden?* Legoblokjes suggereren het al, maar droge verbindingen worden essentieel. De nadruk in het ontwikkelen van een circulaire bouwmethodiek zal liggen op de verbindingen.

- *Van wie zijn de blokjes?* Eigenaarschap wordt een belangrijke heroverweging. De traditionele rollen van ontwikkelaar, belegger, aannemer en gebruiker zullen gaan veranderen, evenals die van producent en leverancier. Blijft een producent eigenaar van zijn producten? Wordt al het materiaal van een gebouw gevangen in leasecontracten? En is hierin onderscheid tussen drager en inbouw? Bovendien moet er onderscheid worden gemaakt tussen juridisch en economisch eigendom. Juridisch kan een gebouw alleen afgescheiden of opgedeeld worden na formele notariële splitsing. Economisch – of commercieel – kunnen gebouwdelen wel al worden opgedeeld, hetgeen we bijvoorbeeld zien bij winkelpanden. Hier is de drager vaak eigendom van de belegger en de inbouw eigendom van de huurder. Dit biedt mogelijkheden voor andere sectoren/typologieën om dit onderscheid ook te maken.

De verantwoordelijkheid (of kans) om de wetgeving m.b.t. (juridisch) eigendom te veranderen zodat ze circulariteit faciliteren ligt bij de overheid.

- *Wat ligt er op het snijvlak tussen de blokjes?* Waar leg je de grens tussen drager en inbouw? Een gevel kan horen bij de drager, maar heeft een kortere levensduur. Installaties zou ook bij de inbouw kunnen horen maar zijn vaak geïntegreerd in de drager. Het leidingwerk zou op zich bij drager kunnen horen en, bijvoorbeeld, de verwarmingen bij inbouw, maar wie levert dan het koppelstukje? Dit vraagt veelal projectmatige grensbepalingen, doch leid ook tot een vraag naar universele afstemming en afspraken.

- *Wat zijn de afmetingen van de blokjes?* In het kader van uitwisselbaarheid van elementen, verplaatsbaarheid van inbouw en terugname van producten is standaardisering van afmetingen een belangrijk item. De NEN 6000⁸ norm is hier een voorstap voor, doorontwikkeld uit de modulaire coördinatie methodieken vanuit het SAR65⁹ 30cm maatstelsel van Open Bouwen en John Habraken via toenmalige normeringen. Is een volledig gestandaardiseerde bouw ons wenselijk voorland?

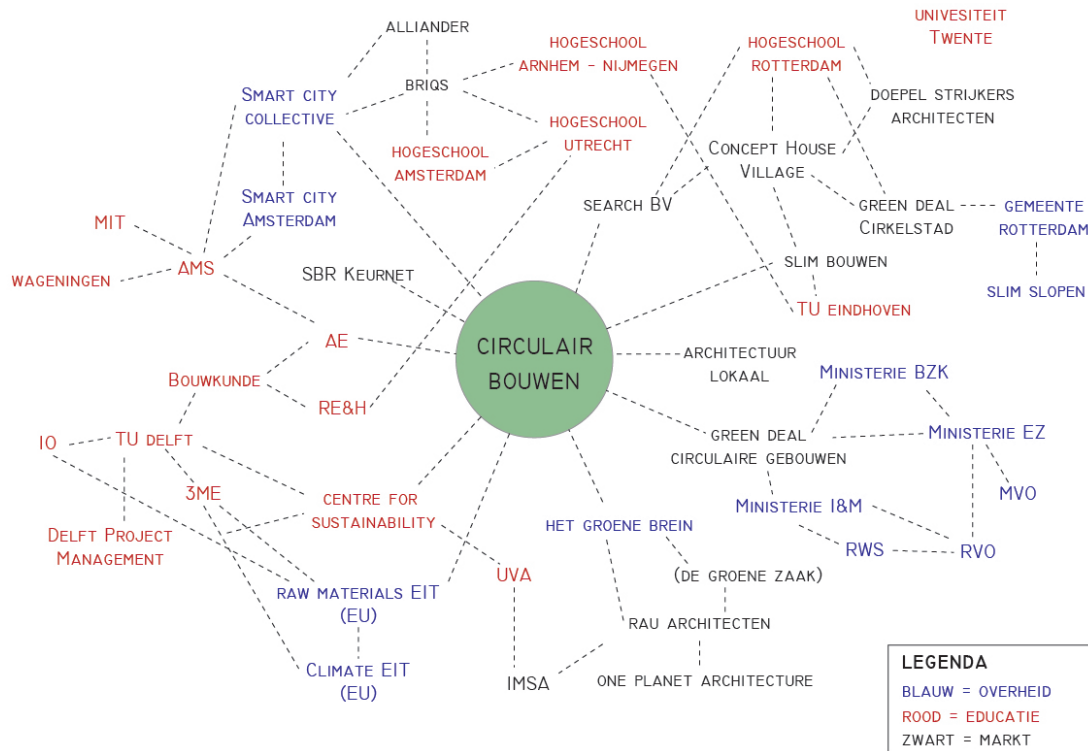
⁸ NEN6000 'Modulaire coördinatie voor gebouwen' [NEN, 1986]

⁹ SAR: Stichting Architecten Research, opgericht in 1965 om industrieel bouwen te stimuleren



Welke instellingen, bedrijven en andere initiatieven bewegen zich op het vlak van circulair bouwen?

Om te voorkomen dat er teveel energie wordt verspild aan het opnieuw uitvinden van het wiel, is het een van de doelen van deze reeks workshops geweest om bestaande enigszins onderzoeken en initiatieven te stroomlijnen. Om te weten welke spelers zich allemaal bevinden in het veld, is er tijdens de eerste sessie een start gemaakt aan een “actoren-web”. Dit is uiteraard geen definitieve afbakening van het veld, maar een groeiend document. Het is bedoeld als indicatie waar krachten gebundeld en kennis gedeeld kan worden. (zie bijlage)



Figuur 7: Actoren-web kennisontwikkeling Circulair Bouwen

Leerpunten

- De belangrijkste toevoeging van het circulaire gedachtegoed aan de principes van Open Bouwen is de conditie dat de demontabele inbouw bestaat uit componenten en materialen die hoogwaardig te hergebruiken of recyclen zijn.
- Als de verschillende bouwlagen (drager/inbouw) zouden worden gescheiden betekent dit een twee (of meer?) deling in de aannemerswereld. Er opent zich dan potentieel een aparte inbouwmarkt.
- Eigenaarschap speelt een belangrijke rol in de haalbaarheid van circulaire modellen. Onderscheid tussen juridisch en economisch eigenaarschap is hierbij van belang.
- In een model waarin onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende bouwlagen met ieder een eigen omloopsnelheid, is het snijvlak van deze lagen cruciaal. Men krijgt te maken met verschillende leveranciers. Wie levert bijvoorbeeld het koppelstuk van de leidingen naar de installaties?

3.2 Workshop 2: Thema FLEX 2.0 en adaptief vermogen van gebouwen

Inleiding

De tweede workshop stond volledig in het teken van het onderzoek van **Rob Geraedts** (TU Delft, Real Estate & Housing) naar “adaptief vermogen van gebouwen”. Hij gaf een lezing hierover waarin de toekomstwaarde van gebouwen wordt verklaard aan de hand van financieel rendement, duurzaamheid en adaptief vermogen. Op die laatste gaat hij verder in. Het gaat hierbij om het opvangen van veranderingen vanuit de maatschappij, de eigenaar of de gebruiker. Het adaptieve vermogen van een gebouw zou die verandering moeten faciliteren in plaats van te trachten haar te voorkomen. Jarenlang onderzoek heeft geresulteerd in – het zich nog steeds door ontwikkelende – document FLEX 2.0.

Doel van de workshop was om te bespreken en vast te stellen wat de relatie is tussen adaptief bouwen en circulair bouwen; in hoeverre zijn deze verweven? Circulair bouwen vraagt in essentie om een bepaalde mate van flexibiliteit in een gebouw om verandering te faciliteren zonder verlies van materiaalkwaliteit. Andersom zijn veel van de doelstellingen van circulair bouwen vergelijkbaar met die van open bouwen (het scheiden van dragen en inbouw bijvoorbeeld), maar over materialen en de kwaliteit, recyclebaarheid en gezondheid daarvan zegt het Open Bouwen dan weer niets. Open Bouwen gaat primair over de bevoegdheid verdeling tussen belegger en gebruiker om te besluiten over de gewenste kwaliteit, niet over de kwaliteit zelf.

Deze workshopsessie is gebruikt om de verschillende standpunten met betrekking tot deze theorieën naast elkaar neer te leggen en de indicatoren op elkaar af te stemmen.

Discussie

- **Hoe kun je omgaan met verandering in gebouwen?**
 - Verandering is de enige constante (Heraclitus). Architecten en ontwikkelaars leveren vaak een gebouw op als een afgerond gebouwd ontwerp, maar gedurende de levensloop van het gebouw zal er nog van alles aan worden veranderd. Hier wordt in het ontwerp zelden op geanticipeerd.
 - Er is een eeuwig conflict tussen belegger en gebruiker. Een belegger wil het liefst dat er niets verandert aan een gebouw, dan blijft de kostprijs / investering in de waarde van zijn vastgoed onaangetast. De gebruiker wil het liefst alles veranderen aan een gebouw om het te laten voldoen aan zijn steeds veranderende wensen.
 - Enige oplossing is om die verandering niet te voorkomen maar te faciliteren. “We moeten niet proberen te voorspellen wat er zal gebeuren, maar probeer de voorbereiding te treffen in wat niet kan worden voorzien.” John Habraken “De dragers en de mensen” 1961
 - Een gebouw moet aanpasbaar zijn om te blijven voldoen aan de wensen van zowel belegger als gebruiker.

 - **Wat is FLEX 2.0 en hoe kan het worden ingezet?**
 - FLEX 2.0 is een aanzet tot het meetbaar maken van aanpasbaarheid van een gebouw. De lijst bestaat nu uit 83 indicatoren die zijn gebaseerd op internationale literatuur en onderzoek. Vergelijking met de Real Estate Norm uit 1992¹⁰: handzaam boekje met checklijst van 170 indicatoren die iedere makelaar/belegger gebruikte om de waarde van een gebouw te bepalen.
- De meetwaarden die aan die indicatoren zijn gekoppeld zijn arbitrair. Rob Geraeds heeft

¹⁰ Real Estate Norm [Stevens et al., 1992]

zelf 'op basis van gezond verstand' waarden gedefinieerd die de indicatoren meetbaar maken. Hieraan wordt een waardeoordeel van 'goed', 'beter', 'business as usual (b.a.u.)' of 'slecht' gehangen. Bijvoorbeeld: *Hoe groot bedraagt de vrije verdiepingshoogte?*
meetwaarden: <2.6m (slecht), 2.6-3m (b.a.u.), 3-3.3m (beter) of 3.3m< (goed)
Deze meetwaarden maken de indicatoren wel kwantificeerbaar en beter implementeerbaar, maar het zou waardevol zijn om grondiger onderzoek te doen naar de waarden die eraan hangen.

- De indicatoren zijn onderling moeilijk vergelijkbaar. Prioritering is nodig om tot gedegen conclusies te kunnen komen. Flex Light bestaat wel al: een shortlist van de belangrijkste indicatoren.

- Deze shortlist van meest relevante indicatoren kan echter verschillen per project.

- Er zou kunnen worden gekeken naar de verschillende vastgoed sectoren en welke indicatoren per typologie het meest relevant en van toepassing zijn.

- De Green Deal Circulaire gebouwen neemt een FLEX 2.0 light mee in haar 7 pilotprojecten als testcase. (zie in bijlage FLEX 2.0 Light, versie 18-06-2015)

- Flexibiliteit moet niet een doel op zich zijn, maar een middel om geld te besparen en/of om kwaliteit/geld te genereren, anders is het niet levensvatbaar.

➤ **Welke indicatoren uit de lijst hebben betrekking op materiaalgebruik in gebouwen?**

- Uit de lijst van 83 indicatoren zijn er, na een eerste scan, 30 aangeduid waarbij materiaal- of productkeuzes in meer- of mindere mate van toepassing zijn. (zie bijlage)

- Die 30 indicatoren zijn in te delen naar 4 thema's:

1. Over-dimensionering
2. Aansluiting & Verbinding
3. Maatvoering
4. Overig

- Kijkend naar de meetwaarden die bij deze indicatoren horen, worden er al handzame suggesties gedaan voor concrete eisen die gesteld kunnen worden aan circulair materiaalgebruik in gebouwen.

➤ **Hoe kunnen veranderingen aan adaptieve gebouwen worden gemonitord door de jaren heen? En hoe weten we of de kosten hebben opgewogen tegen de baten?**

- Het 'volgen' van gebouwen over de jaren heen is een lastig vraagstuk. Er is geen tot weinig onderzoek gedaan naar de effecten van flexibiliteitsmaatregelen.

- In de jaren 80 zijn er binnen het principe van Open Bouwen al enkele projecten gerealiseerd waarbij adaptief vermogen van het gebouw is mee ontworpen. Van geen van deze projecten is echter gedurende de verschillende gebruikersfasen bijgehouden wat er daadwerkelijk is veranderd en in hoeverre de flexibiliteit daaraan heeft bijgedragen.

- Bij een woningbouwproject in Dordrecht was voorzien in extra fundering en een demontabele voor- en achtergevel om uitbreiding alle kanten op te faciliteren. 10 jaar later bleek echter dat geen van de bewoners van deze toevoegingen gebruik had gemaakt. De voornaamste reden was dat ze er niet vanaf wisten.

- Een groot probleem in de nazorg van een adaptief gebouw is dus communicatie. Zolang de

gebruiker niet afweet van de mogelijkheden van het gebouw, hebben de extra investeringen totaal geen nut. Of het moet gaan over het aanpassen via grootschalige renovaties vanuit het belang van de belegger. Vaker nog blijkt echter dat de belegger op de kortere termijn geen belang ziet in het betrekken van de bewoner in mogelijkheden tot veranderingen.



Wat is de relatie tussen grondstoffen en adaptief bouwen?

- Met betrekking tot de waarde van grondstoffen zijn 2 toekomstscenario's denkbaar:

1. Er worden steeds alternatieven/substituties gevonden om de grondstoffen die schaars worden te vervangen.
2. Grondstoffen worden echt schaars; grondstofprijzen stijgen en afval wordt duur. In dat geval zal er zuiniger worden omgegaan met grondstoffen en is terugwinnen ervan economisch interessant.

- Waarde van een materiaal = schaarste x terugwinpotentieel.

- Als de waarde van grondstoffen stijgt kan adaptief bouwen een rol spelen vanuit het uitgangspunt van het scheiden van de verschillende bouwlagen. Bij adaptief bouwen is dit voornamelijk gestoeld op het opvangen van veranderingen in het gebouw, maar vanuit grondstoffenperspectief is dit ook waardevol voor het terugwinnen van materialen.

- Kernwoord hierin is demonteerbaarheid.

Leerpunten

- Een gebouw moet aanpasbaar zijn om te blijven voldoen aan de wensen van zowel gebruiker als belegger. Deze flexibiliteit moet niet een doel op zich zijn, maar een middel om geld te besparen en/of om kwaliteit/geld te genereren.
- FLEX 2.0 van Rob Geraeds bevat interessant indicatoren m.b.t. adaptief bouwen en de rol van materialen daarin. Naar de meetwaarden die daaraan gekoppeld zijn zou nog eens goed moeten worden gekeken.
- Er zijn 3 belangrijke thema's te herkennen die de overlap vormen tussen adaptief en circulair bouwen: Overdimensionering, Aansluiting/Verbinding en Maatvoering.
- Gebouwen dusdanig ontwerpen dat de materialen hun kwaliteit behouden (circulair) is vooral relevant als we een toekomst tegemoet gaan waarin materiaalschaarste economische consequenties zal hebben.
- Communicatie is een essentieel knelpunt. Gebouwen kunnen dan wel aanpasbaar, demontabel of uitbreidbaar zijn, maar als de gebruiker hier niets van weet, is het voor niets geweest.

3.3 Workshop 3: Thema Bouwmaterialen en hun eigenschappen

Inleiding

In de 3^e workshopsessie lag de focus op grondstoffen, materialen en producten. Er is besproken wat voor soort materialen/producten traditioneel worden toegepast in de bouw en hoe dat zal gaan veranderen komende in de aanloop naar circulaire gebouwen. De focus van de discussie zat in het definiëren van eigenschappen en randvoorwaarden die circulariteit bevorderen. Wat is de hergebruik potentie van een materiaal of product? Hoe kunnen deze zo hoogwaardig mogelijk vrijkomen uit gebouwen? Het zwaartepunt verschuift daarbij automatisch van materiaal naar verbinding. Hoe

verschillende bouwelementen en – producten aan elkaar verbonden zijn en of deze verbinding omkeerbaar is. Maatvoering en standaardisering spelen in die discussie ook een belangrijke rol als het gaat om universaliteit en uitwisselbaarheid.

De workshop was opgebouwd uit 2 presentaties met aansluitende discussie. De sprekers waren:-

Jouke Post (XX architecten) – vanuit het gedachtegoed van circulair/Open Bouwen heeft het architectenbureau in de jaren '80 een kantoorpand ontworpen in Delft met een gedefinieerde levensduur van 20 jaar. Alle elementen in het gebouw zijn zo ontworpen dat ze na 20 jaar aan het einde van hun levensduur zijn of terug kunnen worden genomen door de industrie. Zo zijn de ventilatiebuizen van karton en is de hele stalen constructie in elkaar gezet met droge verbindingen. Dit is een interessante case in lijn van deze workshopreeks omdat het gebouw een dezer jaren aan het einde van zijn levensduur is: wat gaat er gebeuren met de materialen? Naast dit gebouw – XX- heeft het bureau enkele andere demontabele ene C2C-geïnspireerde gebouwen ontworpen: de schakelbare containerunits van Villa Zebra, de C2C-woning van Jouke Post zelf en de ontwikkeling van woonwijk bij Berkel en Rodenrijs. Zijn kijk op circulair bouwen is sterk gestoeld op materiaalkeuze en architectonische vrijheid waarbij standaardisering van maten en elementen geen vereiste is om het gebouw demontabel en adaptief te ontwerpen.

- **Bas Slager** (Repurpose) – Een Utrechtse start-up die zich bezig houdt met het verbinden van partijen uit de sloop- en maakwereld. Ze bewegen zich in het veld van de materiaalproblemen van de bestaande bouwvoorraad: hoe kun je materialen en producten die vrijkomen bij sloop van een gebouw inzetten in een nieuw project? Het middel hiervoor is een inventarisatie van bestaande elementen (bijvoorbeeld: deuren, scheidingswanden, lampen). Vervolgens wordt voor deze inventaris een passende match gezocht in een (nieuw)bouwproject. Het is een interessant voorbeeld van de zoektocht naar nieuwe verdienmodellen in een veranderende economie waarbij grondstoffenbehoud een uitgangspunt vormt. Als ontwerpers richten zij zich ook op de vraag: hoe kan ontwerp waarde toevoegen aan materiaal en omgekeerd?

Discussie

- **Is het introduceren van project-ongebonden (standaard) producten een oplossing?**
- Als project-ongebonden producten breed worden uitgerold of zelfs worden verplicht zou dat een enorme standaardisering van gebouwen tot gevolg hebben.
- Op materiaalniveau is dat een gewenste situatie, want dat betekent dat alle producten uit die categorie (bijvoorbeeld: deurklinken) uitwisselbaar zijn. Als een gebouw verandert en er komen deurklinken vrij op de ene verdieping kunnen ze bijvoorbeeld probleemloos worden toegepast op een andere verdieping of zelfs in een ander gebouw.
 - Het betekent ook dat producenten minder verschillende ontwerpen hoeven uit te voeren dus efficiënter materiaalgebruik kunnen toepassen. Van een standaardproduct kan ook de demontage en verwerking sneller en beter worden geregeld.
 - Standaardisering legt echter beperkingen op de ontwerpvrijheid van een architect. Hierdoor zal er vermindering optreden van de diversiteit van de gebouwde omgeving.
 - Met de productietechnieken van tegenwoordig (denk aan 3Dprinten) is specifieke vraag ook steeds gemakkelijker te reguleren. Productieflexibiliteit wordt juist groter in plaats van kleiner.
 - Het zou wel nuttig zijn om materialen te standaardiseren zodat bij demontage van een product de materialen beter kunnen worden gekenmerkt, gescheiden en opnieuw verwerkt.
 - Vooral voor hoogwaardige materialen zou projectongebondenheid een stap vooruit zijn.

- **Is het introduceren van standaard maatvoering een oplossing?**
Standaardmaatvoering heeft veel dezelfde voor- en nadelen als standaard producten; het faciliteert uitwisselbaarheid maar beperkt ontwerpvrijheid.
- “Standaard maatvoering is niet te doen op grote schaal” volgens Jouke Post. Hoe hij het heeft opgelost in zijn ontwerp voor de woonwijk Living 4C in Berkel en Rodenrijs is door niet gebouw maatvoering te standaardiseren, maar wel rekening te houden met toekomstige veranderingen. Dan kan de exacte maatvoering nog wel verschillen per woning, maar zijn ze allemaal berekend op verandering in gebruik.
- Hierbij zijn de verbindingen tussen elementen wel van belang want om verandering te faciliteren moeten elementen kunnen worden verplaatst, verwijderd of toegevoegd. Deze verbindingen zouden bij voorkeur standaard zijn zodat uitwisselbaarheid van elementen wordt vergemakkelijkt, zoals ook geformuleerd in de theorie van ‘LEGOLisering’¹¹
- **Hoe kunnen we in een circulair afsprakenstelsels omgaan met het verschil tussen grondstof, materiaal en product?**
- Bepaalde materialen hebben een grotere meerwaarde als ze in productvorm voorkomen, andere materialen moeten juist worden teruggebracht naar hun grondstof. Het is dus belangrijk om die waarden van te voren te definiëren.
- Voor hoogwaardige producten kan bijvoorbeeld een standaardisering van afmetingen en verbindingen nuttig zijn omdat dit hergebruik van het product faciliteert. Voor laagwaardige producten is het minder zinvol om hier extra rekening mee te houden omdat deze weinig tot geen restwaarde overhouden.
- **Helpt het om de levensduur van een gebouw vooraf te bepalen? En wat is het effect van ‘dierbaarheid’ daarop?**
- Gemiddeld genomen heeft een gebouw grofweg een levensduur van 40-60 jaar¹². Alle materialen, producten en elementen die erin zijn toegepast hebben echter een eigen levensduur die daarvan verschilt. Dat zorgt ervoor dat sommige elementen om de zoveel jaar moeten worden vervangen terwijl anderen technisch nog prima zijn bij de sloop van een gebouw.
- Voor ieder gebouw zou in het ontwerp al moeten worden bepaald hoe lang het meegaat en daar alle materiaalkeuzes op afstemmen – onafhankelijk van of je hierbij drager en inbouw scheidt of niet. (Naar voorbeeld van het project XX – een kantoorpand in Delft dat volledig is gerealiseerd op een levensduur van 20 jaar) en het gedachtegoed van Cradle-to-Cradle.
- Dierbaarheid gaat een rol spelen als men (de samenleving, de gebruiker, de eigenaar) het gebouw wil behouden na haar geplande levensduur. Dan kan het zelfs worden omgedoopt tot monument en is het het waard om te investeren in het onderhoud ervan. Levensduurverlenging daar waar nodig.
- **Hoe kan in de huidige gebouwvoorraad worden omgegaan met materialen die vrij zullen komen uit sloop?**
- Zolang er financiële beweegredenen zijn om een materiaal/product te hergebruiken of recycleren, zal de sloper dit doen. Er is genoeg handel in bijvoorbeeld staal, antieke dakpannen en authentieke baksteen.
- Het probleem zijn de materialen/producten die de sloper geen waarde toekent of die teveel moeite kosten om uit het gebouw te halen, of waar transport of opslagkosten relatief hoog zijn.
- Repurpose zet hierin een stap door een inventarisatie te maken van materialen/producten

¹¹ LEGOLisering [Hennes de Ridder, 2013]

¹² ‘Bouwen met tijd’ [Slim Bouwen, 2004]

die herbruikbaar zijn in nieuwe projecten. Ze gaan dan op zoek naar een nieuwe toepassing of gebruiker voor dit materiaal/product en treden op als tussenpersoon.

- Om dit soort initiatieven op grote schaal mogelijk te maken is het essentieel dat het reserveren en demonteren van bepaalde elementen wordt opgenomen in het sloopbestek.

Leerpunten

- Standaardisering op materiaalniveau schept voorwaarden voor recycling.
Standaardisering op productniveau schept voorwaarden voor verbindingen en aansluitingen.
- Het invoeren van standaardisering legt beperkingen op de ontwerpvrijheid en zal een vermindering van de diversiteit van onze gebouwde omgeving tot gevolg hebben.
- Digitale productietechnieken kunnen specifieke vraag op een materiaalefficiënte manier reguleren waardoor standaardisering van producten niet altijd de beste oplossing is.
- Standaardisering van maatvoering: niet nodig als de verbindingen tussen elementen gestandaardiseerd zijn.
- Als het waardeverschil tussen product en materiaal/grondstof groot is, is het zinvol om standaardisering toe te passen.
- Levensduurbepaling van iedere gebouw-laag zou aan het begin van het ontwerpproces moeten worden gedefinieerd zodat materiaal- en productkeuze daarop kan worden afgestemd.

3.4 Workshop 4: Thema Economische modellen & circulair bouwen

Introductie

Tijdens deze 4^e en laatste sessie lag de focus op het verkennen van de economische mogelijkheden en struikelblokken in de overgang van een lineaire naar een circulaire economie. De belangrijkste onderwerpen die hier aan de orde zijn gekomen, zijn: business, aanbesteding, wet- en regelgeving, digitalisering en private- en publieke meerwaarde.

Ter ondersteuning van de discussie waren 2 sprekers uitgenodigd:

- **Ruben Vrijhoef** (TU Delft & Hogeschool Utrecht) – Als onderzoeker betrokken bij diverse projecten omtrent circulair bouwen, vanuit TU Delft (Real Estate & Housing) en Hogeschool Utrecht (Lectoraat Vernieuwing van de Bouwketen). Actief in het verkennen van de rol van BIM in de bouwketen. Informatisering is een belangrijke stap in het stimuleren van hergebruik, met specifieke aandacht voor de bestaande woningvoorraad. In de transitie van nu naar een toekomstige circulaire economie is het ook nuttig om aandacht te schenken aan de materiaalstroom die vrijkomt uit de huidige bouw. Opnieuw toepassen van granulaat uit de betonnen gevelelementen van de Shell-toren is daar een voorbeeld van. Cirkelstad Utrecht houdt zich ook bezig met dergelijke levensduurverlengende initiatieven.

- **René de Klerk** (Rendemint) – Het ontwerpen van een circulaire inbouw is geen toekomstscenario. Het adviesbureau Rendemint heeft het interieur van het Tennet kantoor volledig volgens circulaire principes ingericht. Aan de basis hiervan ligt een vernieuwde contractvorm (PRP: *Pre Returnable Procurement*) waarbij producenten verantwoording afdragen over alle geleverde materialen – van wandelementen tot aan schroefjes en lijm – en bij sloop/afbouw van het gebouw ook weer

beschikking krijgen over deze materialen. Alle materialen zijn gekeurd op toxiciteit en gezondheid en hoogwaardig genoeg voor terugname. Het verdienmodel van deze aanbesteding is vernieuwend en heeft veel input vereist van alle betrokken partijen, maar interessant is ook dat de uiteindelijke kosten voor de opdrachtgever niet hoger zijn geweest dan bij traditionele aanbesteding en dat dit ontwerp een relevante case is voor toekomstige projecten.

Discussie

- **Hoe kan BIM een rol spelen?**
Informatietechnologie en dataverzameling spelen een cruciale rol als het gaat om grondstoffen en hun recuperatie. De informatie over de kwaliteit en samenstelling van de grondstof is niet alleen meer van belang voor de producent van een product, maar van groot belang gedurende de hele keten. De beschikbaarheid van de informatie kan hergebruik stimuleren maar ook van invloed zijn op sloop- en verbouwprocessen.
- Als materiaaldata worden ingevoerd in het BIM model zou het een volgende stap zijn om aan ieder materiaal een economische hergebruikwaarde te koppelen. Hierdoor weet een toekomstige sloper bijvoorbeeld precies wat de waarde is van de materialen die in het pand zitten en kan daar al vroeg in het proces een afnemer voor zoeken. Materiaaldata in een BIM model kunnen dus grootschalige invloed hebben op bouw- en sloopprocessen.
- BIM modellen kunnen tijdens de levensduur van een gebouw ook worden ingezet om te identificeren wie de producent/eigenaar/leverancier is geweest van een bepaald materiaal of product.
- **In hoeverre moeten we nu oplossingen genereren voor een toekomstige circulaire nieuwbouw als 90% van de woningvoorraad van 2050 al staat?**
De bestaande (woning)voorraad is absoluut van belang als we het hebben over grondstoffen. Als je echt wil innoveren is het echter ook belangrijk om dit aan de voorkant van de keten te doen. Er zijn dan 2 benaderingen mogelijk met betrekking tot de het overgaan naar een circulaire bouwwereld:
Bottom-up: De bestaande (traditionele) bouwwereld stapje voor stapje omvormen door kleine ingrepen in processen, materiaalkeuzes, maatvoering etc. die langzamerhand tot steeds 'circulairdere' gebouwen leiden.
Top-down: De bestaande bouwwereld sturen via wet-en-regelgeving in dienst van circulariteit, bijvoorbeeld door specifieke eisen te stellen aan materiaalkeuze, aanbesteding en contractvormen
Veel praktijkvoorbeelden en -problemen zijn gelieerd aan bestaande bouw en traditionele bouw- en sloopprocessen. Recycling van sloopmateriaal wordt daarbij soms abusievelijk genoemd als voorbeeld van een 'circulaire' oplossing. Dit komt uiteindelijk echter neer op down-cycling (bijvoorbeeld: betonpuin uit geveldelen van Shelltoren laagwaardiger toegepast in een nabijgelegen nieuwbouwproject). Circulaire kringlopen zijn met het merendeel van de bestaande output geen haalbare kaart. Een betere valorisatie van sloopmateriaal uit die bestaande voorraad vormt echter een belangrijke stap vooruit, zeker als dit lokaal kan worden toegepast en als er een volgordelijke beoordeling aan vooraf ging: Sloop noodzakelijk? Delen direct her te gebruiken? Etc. De vraag is wel of dit de juiste stap is naar een circulair bouwparadigma, want het kan ook traditionele patronen bestendigen.
- **Wat zijn de belangrijkste stappen om van een lineair naar een circulair verdienmodel te komen?**
De overgang naar circulaire verdienmodellen ligt voornamelijk besloten in toekomstige wet- en regelgeving met betrekking tot de volgende aspecten:

- kwaliteit en eigenschappen van materialen (bijv.: toxiciteit, zuiverheid, etc.)
- Inkoopmethoden / aanbestedingen / contracten met leveranciers

Het veranderen van aankoopcontracten in leasecontracten waarbij de leverancier verantwoordelijk blijft voor terugname en verwerking van de grondstoffen is een belangrijke stap in die richting, maar de contractvorm op zichzelf is niet relevant. Het gaat erom dat leveranciers een hoogwaardig materiaal leveren waar ze zelf ook baat bij hebben om het na verloop van tijd terug te nemen.



Hoe realistisch is het om een gebouw te bouwen dat 100% recyclebaar is?

Het begrip “recyclen” wordt – net als het begrip ‘circulair overigens – op veel verschillende manieren geïnterpreteerd en gehanteerd. Officieel houdt ‘recyclen’ in dat een grondstof/materiaal volledig kan worden hergebruikt, al dan niet door middel van bewerking. Zo kan staal weer worden omgesmolten tot nieuw staal en kan er van oud glas nieuw glas worden gemaakt.

Echter is bij bijna al deze processen de te recyclen grondstof niet voldoende om nieuw materiaal te genereren; om staal te maken moet je altijd een klein percentage nieuw staal toevoegen in het productieproces. Hetzelfde geldt voor aluminium en glas; het materiaal kan nooit meer 100% worden teruggebracht in eerdere staat. Daarmee vallen al deze te recyclen materialen eigenlijk onder “down-cycling”.

Misschien dat nieuwe technologieën deze recyclingprocessen zouden kunnen optimaliseren zodat toegevoegde materialen niet meer nodig zijn, maar tot die tijd is een 100% recyclebaar gebouw ondenkbaar.



Hoe belangrijk is het om een milieuwaarde toe te kennen aan materialen?

Metingen gedaan door Rendement geven grondstoffen weer in aantal kilogram. Dat zou voor verwarring kunnen zorgen omdat steen en andere zware materialen daarmee een grotere impact hebben op de uitkomst dan bijvoorbeeld kunststoffen. Dat terwijl kunststoffen door afbraak/verbranding juist veel schadelijker kunnen zijn dan steen. De vraag is dus of kilogram wel de juiste meetwaarde is en of het relevant zou zijn om ieder materiaal een milieuwaarde toe te kennen om die impact of schadelijkheid mee te kunnen weerspiegelen. Wanneer we echter uitgaan van een volledig circulair model, waarbij alle grondstoffen oneindig blijven circuleren, dan hebben dat soort waarden geen bestaansnoodzaak.

Leerpunten

- Het invoeren van materiaalgegevens van een gebouw heeft voordelen in alle levensstadia.
 - Tijdens de gebruiksfase kan worden teruggeleid wie de producent of leverancier van een bepaald product is in het geval dat iets moet worden vervangen, hersteld of gedemonteerd.
 - Voorafgaande aan de sloopfase weet een sloopaannemer ook precies wat er in het gebouw aan materiaal zit en kan tijdig beginnen met het zoeken naar de juiste afnemers/verwerkers voor deze materialen of producten.
- Het laten doordringen van circulair gedachtegoed kan op twee manieren: Bottom-up (stapje voor stapje de huidige praktijk veranderen) of top-down (verandering opleggen d.m.v. bijvoorbeeld wetgeving)
- Het onderscheid tussen ‘less bad’ en ‘good’ (zoals gemaakt in het C2C gedachtegoed) is ook van toepassing op de bouw: down-cycling uit bestaande bouw is ‘less bad’, gebouwen ontwerpen vanuit volledig circulaire principes is ‘good’.

- Circulaire kringlopen zijn met het merendeel van de bestaande output geen haalbare kaart. Een betere valorisatie van sloopmateriaal uit die bestaande voorraad vormt echter een belangrijke stap vooruit, zeker als dit lokaal kan worden toegepast en als er een volgordelijke beoordeling aan vooraf ging: Sloop noodzakelijk? Delen direct her te gebruiken? Etc. De vraag is wel of dit de juiste stap is naar een circulair bouwparadigma, want het kan ook traditionele patronen bestendigen.
- De transitie naar circulaire verdienmodellen ligt voornamelijk besloten in toekomstige wet- en regelgeving met betrekking tot de volgende aspecten:
 - kwaliteit en eigenschappen van materialen (bijv.: toxiciteit, zuiverheid, etc.)
 - Inkoopmethoden / aanbestedingen / contracten met leveranciers
- Recyclingprocessen zullen technisch moeten verbeteren als we materialen 100% willen kunnen recyclen zonder er zuivere grondstoffen aan toe te hoeven voegen.

4. INDICATOREN & STAPPENPLAN

Vanuit literatuur en de workshop sessies zijn er waardevolle lessen te trekken ter ondersteuning van de stap naar praktische implementatie van circulariteit in de bouw. In dit hoofdstuk komen de bevindingen samen en werken we toe naar een set sleutelindicatoren en een stappenplan.

4.1 Inleiding

Ten einde circulariteit te faciliteren dienen bouwmaterialen en -producten te voldoen aan een aantal criteria. Ten eerste moeten de *intrinsieke eigenschappen* in orde zijn. Dit betekent dat het materiaal of product:

- 1) kwalitatief hoogwaardig is (functionele prestatie)
- 2) duurzaam tot stand is gekomen en duurzaam kan 'reïncarneren' (na iedere iteratie)
- 3) niet toxisch is (alleen gezonde materialen toegepast)
- 4) past binnen beoogde biologische cycli en cascades enerzijds, of een of meerdere technische cycli anderzijds (in toenemende mate van bewerkelijkheid: onderhoud, herverdeling, renovatie, her-fabricatie en materiaal recycling).

Samenstelling en prestatiekwaliteit van het duurzame, niet-toxische materiaal of product moet dus bekend zijn, evenals het gebruik- en hergebruik-pad. Complexe producten die veelvuldig in korte onderhouds- of herverdeling cycli kunnen functioneren zijn daarbij niet meer of minder geschikt dan homogene recyclebare producten met een hoge zuiverheid en concentratie. Dit is geen eenmalige administratie: ingrepen aan het materiaal of product door de tijd heen maken dit een 'lerend' proces.

Verder dienen de producten vervaardigd te zijn in afstemming met het ontwerp en gebruik van het gebouw, wat we de *relationele eigenschappen* zouden kunnen noemen. Dit heeft alles te maken met het anticiperen op meerdere – minimaal gelijkwaardige – gebruiksiteeraties in de toekomst. Technisch gezien komt dit neer op¹³:

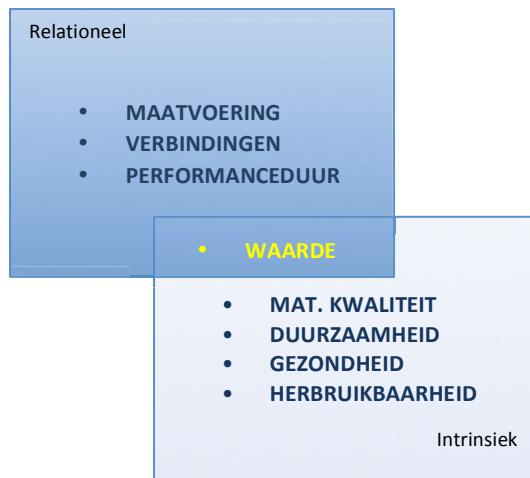
- a) Maatvoering (hou rekening met modulaire coördinatie en veranderende capaciteitseisen)
- b) Aansluiting & verbindingen (droog en logisch)
- c) Performanceduur (definieer performanceduur, bijvoorbeeld naar de lagen van Brand).

Ook hier betreft het weer een lerend proces, waarbij relevante interventies – bijvoorbeeld het vervangen van een tussenwand – geregistreerd moeten worden.

Op het snijvlak van intrinsieke en relationele eigenschappen vormt zich de eigenlijke 'waarde' van het bouwproduct, gezien vanuit een circulair oogpunt. Deze waarde is niet absoluut en kent meerdere parameters. Er is bijvoorbeeld de gebruiks- of gebruikerswaarde: hoe waardeert de gebruiker de bouwtechnische interventie waar het product aan bijdraagt? Verder kan het terugwin potentieel genoemd worden: hoe gemakkelijk kan het product worden gedemonteerd? En/of hoe goed is het product te recycleren? Daarnaast is er een waarde of potentieel dat we *Circular Economy (CE) waarde* zouden kunnen noemen: de mate waarin het product kan functioneren binnen de

¹³ Uiteraard zijn er allerlei aspecten te noemen die minstens zo belangrijk zijn, maar voor deze exercitie secundair, denk daarbij lucht-reinigende of zelfhelende eigenschappen van gebouwcomponenten etc.

gegeven CE cycli. Uiteraard is er ook een waarde in euro's, welke afhangt van a) marktwaarde, b) materiaal- en grondstof waarde en c) culturele waarde.



Figuur 8: Circulariteits-waarde op het snijvlak van intrinsieke en relationele aspecten

De intrinsieke eigenschappen op zichzelf hebben beperkte betekenis en dat geldt ook voor de relationele eigenschappen. Op het snijvlak van de twee zullen zich gekoppelde indicatoren voor circulair bouwen, vanuit overwegend technisch oogpunt, manifesteren. Deze indicatoren zijn:

- **De exacte samenstelling van het materiaal of product,**
- **De prestatiekwaliteit van het materiaal of product,**
- **Het beoogde (her)gebruiks-pad van het materiaal of product,**
- **De mogelijke performanceduur van materiaal, product, component of dienst**
- **De toegepaste verbindingstechniek tussen materialen, producten of componenten,**
- **De gehanteerde maatvoering van de materialen, producten of componenten,**
- **De datakwaliteit van het registratiesysteem.**

4.2 Adaptief vermogen en Circulariteit

De relationele eigenschappen, zoals hierboven genoemd, zijn het gebied van adaptief en open bouwen. Voor een beter begrip van het belang hiervan moeten we iets dieper ingaan op 'adaptief vermogen'. Dit is vooral gestoeld op het gedachtegoed van de eerder genoemde Steward Brand en John Habraken, maar evenzeer op andere denkers en wetenschappers in dit veld. Voor dit project maken we gebruik van beide concepten. De tweedeling van Habraken volstaat voor het weergeven van de belangrijkste verschillen, terwijl de 6 lagen van Brand nuttig zijn bij het nader inzoomen op materialisatie enerzijds en nuances in de invloedsfeer anderzijds.

FLEX 2.0, geïntroduceerd in hoofdstuk 4, is gebaseerd op adaptief vermogen van gebouwen. Van de lange lijst indicatoren die geformuleerd zijn binnen FLEX 2.0 is een deel van toepassing op materialen en producten vanuit het zichtpunt van circulair bouwen. Een selectie is weergegeven in Tabel 4. De betreffende lagen van Brand zijn daarbij weergegeven. De nummering verwijzen naar de FLEX 2.0 indeling van Geraedts [Geraedts, 2015].

Tabel 4: Selectie indicatoren uit FLEX 2.0 met belang voor materialen en producten

LAAG	Nr	INDICATOR
STRUCTUUR	12	MAATSYSTEEM: MODULAIRE COORDINATIE
	13	MAATSYSTEEM: GEVELRASTER
	20	UITBREIDEN/HERGEBRUIK TRAPPEN LIFTEN
	21	DRAAGVERMOGEN VLOEREN
	22	DRAGENDE VLOERSAMENSTELLING
	23	ZELFDRAGENDE GEVEL
	24	VORM KOLOMMEN (ivm aansluiting binnenwanden)
	26	AANWEZIGHEID FONTANELCONSTRUCTIES (sparingen)
	28	BRANDWERENDHEID HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE
	35	ONDERBREKEN DRAAGSTRUCTUUR
	36	AANSLUITDETAILLERING MET FUNDERING EN GRONDGEBONDEN INSTALLATIES
	37	BOUWTECHNIEK VOOR DE HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE
	38	THERMISCHE & AKOESTISCHE ISOLATIEKWALITEIT VERDIEPINGEN
FAÇADE	42	DEMONTABELHEID GEVELS
	43	HERGEBRUIK RAMEN
	47	DAGLICHTTOETREDING
	48	THERMISCHE & AKOESTISCHE ISOLATIEKWALITEIT GEVEL
	49	AANSLUITDETAILLERING GEVELCOMPONENTEN
INSTALLATIES	56	OVERDIMENSIONERING LEIDINGKANALEN
	57	OVERDIMENSIONERING CAPACITEIT INSTALLATIES
	58	OVERDIMENSIONERING CAPACITEIT VOORZIENINGEN
	65	ONTKOPPELBAARHEID INSTALLATIECOMPONENTEN
INDELING	70	ONDERSCHEID DRAGER INBOUW* (projectonafhankelijke inbouw)
	71	UITWISSELBAARHEID INBOUWCOMPONENTEN
	78	VERPLAATSBARE BINNENWANDEN
	79	AANSLUITDETAILLERING BINNENWANDEN
	82	INDIVIDUELE INBOUW/AFWERKING

*Indicator 70, binnen (de gebruikte versie van) FLEX 2.0 opgenomen onder 'Indeling', zou ook als overkoepelende randvoorwaarde aangemerkt kunnen worden

Wanneer de indicatoren uit Tabel 4 worden geclassificeerd, dan zijn er vier categorieën te herleiden: maatvoering, dimensionering, aansluiting & verbinding en overig (overlappend of niet helemaal binnen de andere categorieën vallend).¹⁴ Tabel 5 geeft voor ieder van deze categorieën een voorbeeld indicator, inclusief een toelichting en een voorgestelde meetwaarde binnen FLEX 2.0. Deze meetwaarde is nog rudimentair en arbitrair van aard.

De term 'Adaptief' is nog onder te verdelen in verschillende kwalificaties. Het programma *Adaptable Futures* binnen de Loughborough University (Engeland) heeft veel werk gedaan op dit vlak. Tabel 6, gebaseerd op hun werk [Schmidt et al, 2009], geeft inzicht in hoe een adaptief ontwerp zich uitsplitst in verschillende facetten, hoe deze zich verhouden tot de gebouwlagen van Brand en wie hier in de regel de grootste invloed op heeft. In de praktijk komt dit feitelijk neer op twee besluitvormers: gebruiker en belegger. Eigenaarschap speelt een grote rol in de haalbaarheid van circulaire modellen, om de veranderingsmogelijkheid/-wens te kunnen bekrachtigen. Onderscheid tussen juridisch en economisch eigenaarschap is hierbij van essentieel belang. In de Nederlandse wet is dit nog niet goed geregeld: een aanpassing van economisch eigendom wordt niet zonder meer juridisch gesteund.

¹⁴ De categorieën 'maatvoering' en 'dimensionering' zouden gemakshalve ook samengevoegd kunnen worden

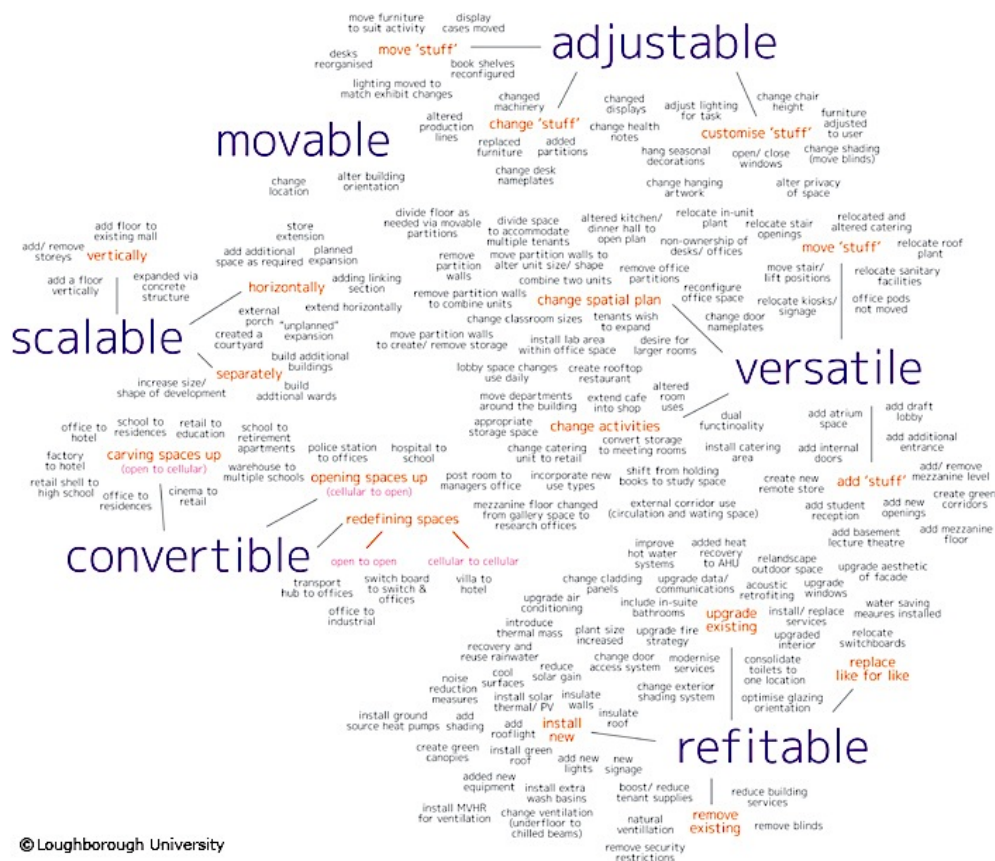
De drie variabelen in Tabel 6 – adaptief aspect, gebouw-laag en beïnvloeder – hebben waarschijnlijke (donkergroen) en mogelijke (lichtgroen) raakvlakken. Figuur 9 (Engelstalig) geeft wat meer grip op de betekenis en invulling van de termen die hier in samenhang het label ‘adaptief’ bepalen.

Tabel 5: Indicator categorieën, met voorbeelden en toelichting

Categorie	VOORBEELD INDICATOR	Toelichting en meetwaarde indicatie 4 = "Goed"
Maatvoering	MAATSYSTEEM: MODULAIRE COORDINATIE	Hoe meer gebruik is gemaakt van de toepassing van een maatraster volgens de normen van modulaire coordinatie, des te makkelijker is een gebouw herverkavelbaar en indeelbaar en des te makkelijker is een unit indeelbaar. Goed = >90% toegepast
Dimensionering	OVERDIMENSIONERING LEIDINGKANALEN	Naarmate de leidingkanalen/schachten van installaties meer zijn overgedimensioneerd, neemt de uitbreidbaarheid van het gebouw toe. Goed = >50% overgedimensioneerd
Aansluiting & Verbinding	AANSLUITDETAILLERING BINNENWANDEN	Hoe makkelijker de aansluitdetailtering ontkoppelbaar is, hoe beter een gebouw herindeelbaar is, hoe makkelijker de 'korrelgrootte' van een gebouw gewijzigd kan worden, hoe beter tegemoet kan komen geworden aan veranderende eisen m.b.t. faciliteiten en voorzieningen, hoe beter tegemoet kan komen geworden aan eisen m.b.t. het wijzigen van de kwaliteit van het gebouw, des te groter de afstootbaarheid van een deel van het gebouw, hoe beter een gebouw verplaatsbaar is, hoe beter een unit herindeelbaar is, hoe meer mogelijkheden aanwezig zijn om de locatie van de units in het gebouw te wijzigen, hoe meer mogelijkheden aanwezig zijn om het oppervlakte van de units in het gebouw uit te breiden en hoe groter de afstootbaarheid van een deel van de unit. Goed = projectongebonden demontabele koppelstukken
Overig	AANWEZIGHEID FONTANELCONSTRUCTIES (sparingen)	Hoe meer fontanelconstructies in dragende wanden en/of vloeren, des te groter de verkavelbaarheid en indeelbaarheid van een gebouw en hoe beter tegemoet kan komen geworden aan veranderende eisen m.b.t. faciliteiten en voorzieningen. Goed = geen dragende wanden aanwezig

Tabel 6: Adaptieve facetten, gebouwlagen en besluitkracht

		GEBOUWLAGEN					TERREIN	BESLUIT- VORMING
		SPULLEN	INDELING	INSTALLATIES	FACADE	STRUCTUUR		
ADAPTIEF	AANPASBAAR (verandering van taak)							GEBRUIKER
	VEELZIJDIG (verandering van ruimte)							GEBRUIKER
	VERVANGBAAR (verandering van prestatie)							GEBRUIKER / EIGENAAR
	OMVORMBAAR (verandering van gebruik)							EIGENAAR
	SCHAALBAAR (verandering van formaat)							EIGENAAR
	VERPLAATSBAAR (verandering van locatie)							EIGENAAR



digitale productietechnieken kunnen specifieke vraag op een materiaalefficiënte manier reguleren waardoor standaardisering van producten niet altijd de meest logische oplossing is.

Ten slotte maken we de link tussen de bouwlagen en materiaal/product cycli concreet door middel van een matrix. Tabel 7 hieronder zet de bouwlagen af tegen de materiaalstromen uit Figuur 4 (gebaseerd op CE en C2C). Het invullen van een dergelijk schema is geen eenvoudige opgave: het vereist veel expertise, welke niet bij één partij ligt. Bovendien is dit continue afhankelijk van de state of the art in (recycling) technologie en – financiële, logistieke – organisatie. Nauwe afstemming tussen ontwerpers en leveranciers en/of producenten is hier dus noodzakelijk.

Tabel 7: Schema Gebouwlagen vs. Circular Economy/C2C

	Bio-cascades	Bio-feedstock	Onderhoud	Herdistributie	Renovatie	Herfabricatie	Recycling
SPULLEN							
INDELING							
INSTALLATIES							
FACADE							
STRUCTUUR							
TERREIN							

4.3 Stappenplan

De Nieuwe Stappen Strategie [Dobbelsteen, 2008], een modernisering van het 3-stappen concept *reduce, reuse, produce* ten einde circulariteit te integreren, is hier toepasbaar, maar niet één op één: belangrijke nuance verschillen vragen om aanpassingen. Ten eerste is er onderscheid gemaakt tussen planning en gebouwontwerp aan de ene kant en materialen en producten aan de andere. Verder ligt er een spanningsveld besloten in de stap 'Vermindering van de vraag', dit is namelijk niet zonder meer van kracht. Ook zijn er meerdere routes denkbaar, waardoor de stappen volgorde iets complexer wordt. Desondanks hebben we er als basis dankbaar gebruik van gemaakt. Het betreft hier basic richtlijnen waarbinnen verschillende tools en bevindingen vanuit dit onderzoek – matrices, checklisten – toegepast kunnen worden. Deze aanpak speelt verder nauw samen met externe krachten, bijvoorbeeld omtrent wet- en regelgeving qua eigendom en bouwtechnische voorschriften.

Tabel 8 geeft de domeinen uit het stappenplan (Figuur 11) weer met de indicatoren uit sectie 4.1 en primair betrokken partijen. Controle op de kwaliteit van data en de registratie methodiek (in BIM of een ander systeem) is nodig ten einde in de pas te blijven lopen met kennis ontwikkelingen en stakeholders behoeften. In die zin gaat het altijd om 'lerende producten in lerende gebouwen'.

Tabel 8: Domeinen, indicatoren en primair betrokkenen

Domein	Indicator groep	Primair betrokken partijen
Materiaal/Product	Samenstelling	Producenten, product ontwerpers
Materiaal/Product	Kwaliteit	Producenten, product ontwerpers
Materiaal/Product	Gebruiks-pad	Producenten, product ontwerpers, architecten
Gebouw ontwerp	Performance duur	Architecten, aannemers, eigenaar/gebruikers
Gebouw ontwerp	Verbinding	Architecten, aannemers, producenten, leveranciers
Gebouw ontwerp	Maatvoering/ dimensionering	Architecten, aannemers, producenten
Bijhouden van relevante veranderingen aan- en kennis omtrent bouwproduct	Data/registratie kwaliteit	Alle stakeholders: Onderhoudsinstallateurs, Facility Managers, Gebruikers, Leveranciers, Ontwerpers, Aannemers etc.

Stap 1: Toegevoegde waarde beoordelen van beoogde functie en huisvesting daarvan. Bijvoorbeeld: Het Nieuwe Werken uitbreiden of toch meer kantoorruimte middels een nieuwe vestiging?

Stap 2: Verken bestaand, leegstaand/-komend lokaal vastgoed op beschikbaarheid en bruikbaarheid. M.b.v. lokale/regionale inventarisaties van leegstaand vastgoed, voor zover aanwezig.

Stap 3: Integreer Verandering in nieuw adaptief ontwerp. Maak onderscheid tussen generieke delen met een lange levensduur en hoge functioneel-architectonische waarde (die *dierbaarheid* in de hand werkt) aan de ene kant en de specifieke demontabele delen met variabele levensduren aan de andere. In nauw overleg met de eigenaar/gebruiker. Het is heel goed denkbaar dat deze stap door verschillende partijen ingevuld worden. Maatvoering, dimensionering en verbindingstechniek zijn hier vanuit gebouw-ontwerpend en construerend opzicht de leidende principes. Het integreren van springen in dragende wanden (fontanel constructies) kan hier bijvoorbeeld deel van uitmaken.

NB: Er kan ook sprake zijn van ‘aanbodgericht ontwerpen’, waarmee deze stap in het traject opschuift.

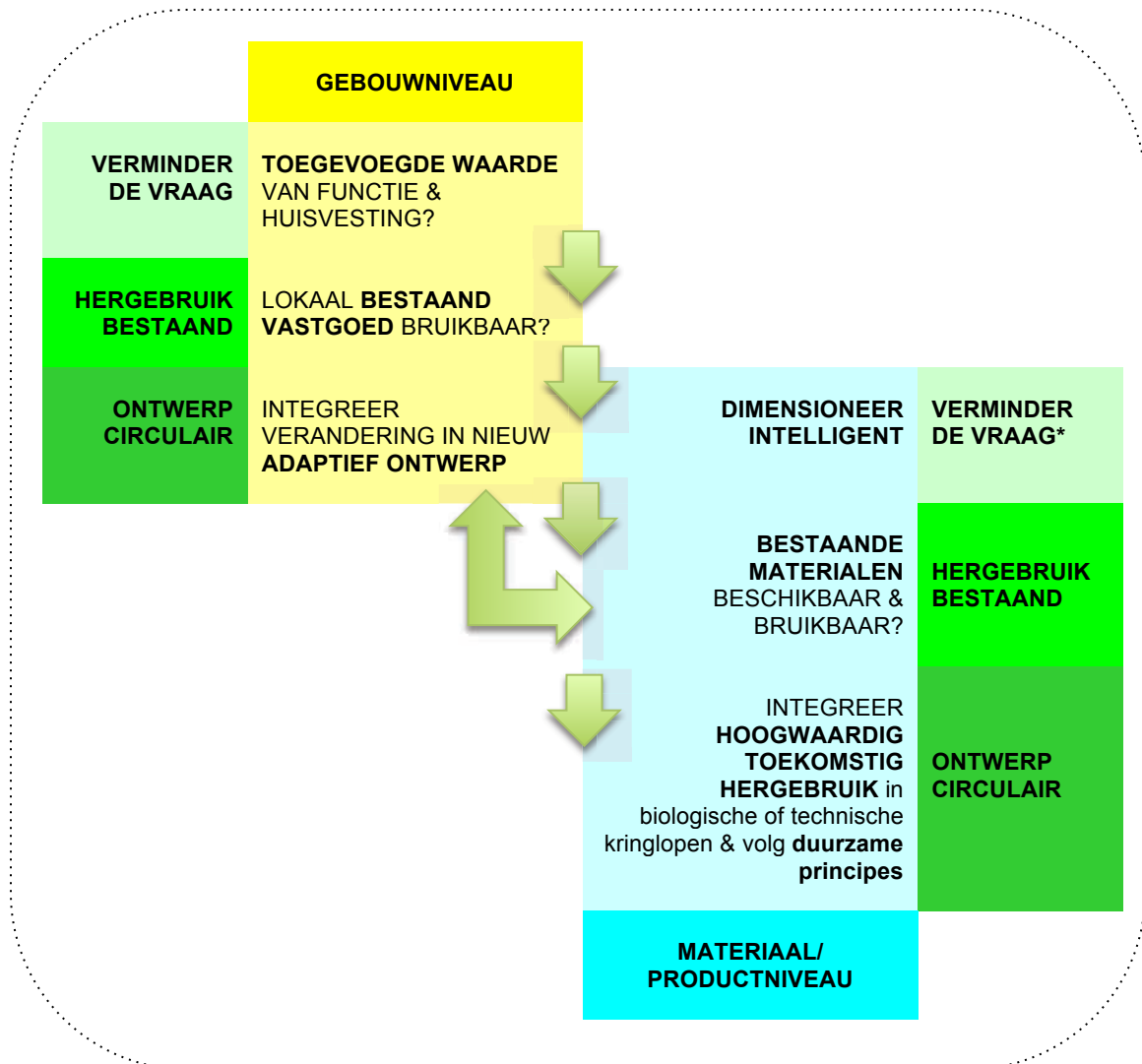
Stap 4: Dimensioneer intelligent. Maatvoering en capaciteiten dienen aangepast te worden aan de beoogde functie en functieduur. Dit betreft het domein van materiaal en product ontwerp. In sommige gevallen zal een over-dimensionering van toepassing zijn (ten einde vrijheid in functieveranderingen in de tijd te faciliteren) en er dus meer materiaal benodigd zijn, in andere gevallen kan *lean* worden ontworpen en gebouwd, wat de materiaalvraag vermindert.

‘Verminder de vraag’ uit de NSS is hier dus afhankelijk van welke termijn in acht wordt genomen. Hier schuilen potentiële spanningsvelden.

Stap 5: Verken de beschikbaarheid en bruikbaarheid van bestaande materialen. Uiteraard dient hier een actieradius in acht te worden genomen: wanneer is het nog lonend om gebruikte materialen toe te passen die op grotere afstand vrijkomen? Een oogstkaart, waarin geografische en tijd-gerelateerde gegevens (afstemming met sloop/deconstructie activiteiten en planning) gekoppeld zijn, kan hier goed dienst doen.

NB: Deze stap kan ook leidend zijn bij ontwerpkeuzes en dus naar voren schuiven in het traject.

Stap 6: Integreer hoogwaardig toekomstig hergebruik. Zie Figuur 4.



Figuur 10: Stappenplan circulair bouwen

5. CONCLUSIES EN PRAKTIJKTOEPASSING

5.1 Conclusies

Hieronder volgen puntsgewijs de belangrijkste conclusies gerelateerd aan dit onderzoek:

- Adaptief bouwen en circulair bouwen zijn nauw verbonden concepten.
- Onderscheid aanbrengen tussen de verschillende bouwlagen is even nuttig als cruciaal bij het tot stand brengen van circulaire stromen, zowel op materiaal/product vlak als qua eigendom. Aan de basis staat daarbij de tweedeling drager – inbouw qua besluitvormingsbevoegdheid, zoals voorgesteld door Habraken. Daarnaast is diezelfde scheiding dan goed te volgen in realisatie. De lagen van Brand geven nog extra grip op de scheiding tussen en invulling van de diverse materiaal-/product cycli.
- Een gebouw moet aanpasbaar zijn om te blijven voldoen aan de wensen van zowel gebruiker als belegger. Deze flexibiliteit moet niet een doel op zich zijn, maar een middel om kwaliteit te genereren of om geld te besparen/genereren.
- Gebouwen ontwerpen op behoud of toename van materiaalkwaliteit is vooral relevant m.b.t. economische consequenties van (toekomstige) grondstoffen schaarste/leveringszekerheid en op de opbrengsten bij sloop / verwijdering.
- Adaptief en circulair bouwen vraagt per definitie om een mate van standaardisering waar het de inbouw betreft. Standaardisering van verbindingen is daarbij het meest van belang.
- Communicatie is een essentieel knelpunt. Gebouwen kunnen aanpasbaar, demontabel of uitbreidbaar zijn, maar als de gebruikers hier niet goed van op de hoogte zijn of de belegger het niet als eigen belang ziet dat te communiceren, is het vaak tevergeefs.
- Levensduurbepaling van iedere gebouw-component zou aan het begin van het ontwerpproces moeten worden gedefinieerd zodat materiaal- en productkeuzes daarop kunnen worden afgestemd.
- Het invoeren van product en materiaalgegevens van een gebouw heeft voordelen in alle levensstadia.
Tijdens de gebruiksfase kan bijvoorbeeld worden teruggeleid wie de producent of leverancier van een bepaald product is in het geval dat iets moet worden vervangen, hersteld of gedemonteerd. En voorafgaande aan de sloopfase weet een sloopaannemer ook precies wat er in het gebouw aan materiaal zit en kan deze tijdig beginnen met het zoeken naar de juiste afnemers/verwerkers voor deze materialen of producten.
- De transitie naar circulaire verdienmodellen ligt voornamelijk besloten in toekomstige wet- en regelgeving met betrekking tot de volgende aspecten:
 - kwaliteit en eigenschappen van materialen (bijv.: toxiciteit, zuiverheid, etc.)
 - Inkoopmethoden / aanbestedingen / contracten met leveranciers
 - eigendomsafspraken (bij vastgoed)
- Eigenaarschap speelt een belangrijke rol in de haalbaarheid van circulaire modellen, om de veranderingsmogelijkheid/wens ook te kunnen bewaken en bekrachtigen. Onderscheid tussen juridisch en economisch eigenaarschap in vastgoed is hierbij van essentieel belang. In de Nederlandse wet is dit nog niet goed geregeld: een aanpassing van economisch eigendom wordt niet juridisch gesteund, tenzij dure inflexibele notariële en kadaster handelingen worden uitgevoerd.

- Ondanks het technische accent binnen dit onderzoek is duidelijk dat het hier inherent een interdisciplinaire opgave betreft. Daarbij kunnen de verschillende domeinen dus niet los van elkaar worden gezien: hoe wordt een en ander financieel en logistiek geborgd, bijvoorbeeld? Dergelijke borging is omgeven door wettelijke, economische en regulerende factoren en vormt een complex samenspel van technische, sociale, financiële, juridische en organisatorische domeinen.
- De Nieuwe Stappen Strategie is deels toepasbaar bij het faciliteren van circulariteit in de bouw, met belangrijke nuances aangaande de stap 'vermindering van de vraag' en de stappenvolgorde.
- De link tussen gebouw-component en materiaal-/product cycli is eenvoudig weer te geven in een matrix. Het invullen van een dergelijk schema is vereist echter veel expertise, welke niet bij één partij ligt. Daarnaast is er naast een systematische ook een projectmatige afstemming benodigd die het niet eenvoudiger maakt.
- Controle op de kwaliteit van data en de registratie methodiek (in BIM of een ander systeem) is nodig ten einde in de pas te blijven lopen met kennis ontwikkelingen en stakeholders behoeften. In die zin gaat het altijd om 'lerende producten en lerende gebouwen'.

5.2 Toetsing en toepassing in de praktijk

Uit dit onderzoek blijkt eens te meer dat circulair materiaal- en productgebruik in gebouwen een radicaal andere visie verlangt; vooraf, gedurende en na de prestatieduur. Daartoe hebben we hier de belangrijkste indicatoren en richtlijnen bepaald. Dit gaat om technische aanpassingen ten opzichte van gangbare bouwpraktijken, maar evenzeer organisatorische; leidend tot een verschuiving in aard- en duur van relaties en samenwerkingen. Al met al wordt er een grote innovatieslag gevraagd. Het goede nieuws is dat 1) het begrip dat deze innovatieslag onvermijdelijk is steeds verder reikt, en 2) er her en der al voorbeeldprojecten zijn geïnitieerd en uitgevoerd. Maar het is niet voldoende. Om een versnelling teweeg te brengen, alsmede een cognitief proces richting de meest slimme oplossingen, zijn meer pilots nodig: zowel op kleine als op grote schaal.

Kleine en grote schaal

De relatief veilige omgeving van een klein demonstratieproject, met een bescheiden diversiteit aan belangen, is de ideale omgeving om innovaties te testen. Maar veel innovaties op het vlak van circulair en adaptief bouwen zijn het experiment allang ontstegen; het is ook tijd voor uitrolling op grote schaal. Natuurlijk gelden hier andere wetten, die innovatie wellicht in de weg zitten, maar ook andere kansen: namelijk schaalvoordelen die bepaalde interventies of processen zodanig veel goedkoper zullen maken dat ook economische argumenten mogelijk in het voordeel van circulariteit zullen uitvallen. Verder zijn synergiën tussen grootschalige renovatie van de bestaande voorraad aan de ene kant en energetische optimalisatie aan de andere, bijvoorbeeld denkbaar, waarbij circulair materiaalgebruik en product-dienst combinaties meerwaarde kunnen bieden. Kleine demoprojecten zijn dus cruciaal om opschaling te 'informer', maar andersom geldt dat de lessen vanuit de grotere schaal ook weer nieuwe demonstratieprojecten zullen informeren; rondom collectieve technische interventies en 'shared values' bijvoorbeeld. Op die wijze stuwt innovatie zich voort; het hoeft niet in één keer, maar moet wel in een lerend proces vooruit. Daarbij is de manier waarop gemonitord wordt natuurlijk van cruciaal belang. Alleen met het continuerend verzamelen van de juiste,

hoogwaardige informatie kunnen straks zinvolle uitspraken worden gedaan over het effect van circulair bouwen op de verschillende partijen, hun relaties en de nieuwe contractvormen.

Twee klanten benadering

Deze studie heeft benadrukt dat er feitelijk twee klanten met twee vraagperspectieven zijn, namelijk de belegger/investeerder aan de ene kant en de gebruiker aan de andere. Hun vragen – die soms diametraal van elkaar verschillen – komen samen in de opgave van een corporatie. Hier zal op geanticipeerd moeten worden door duidelijke demarcaties aan te brengen: wat valt onder de besluitvorming van welke soort partij? En hoe manifesteert dit zich in de fysieke bouwopgave? In de uitwerking liggen antwoorden op de specifieke vragen van beide partijen dan harmonisch besloten. De demarcaties – volgens de scheiding drager & inbouw, zoals toegelicht in dit rapport – moeten eenduidig gedefinieerd en gecommuniceerd worden. Dit is de algemeen geldende regel, gericht op het faciliteren van verschillende, deels onbekende gebruiksiteraties. Echter, invulling hiervan kan per typologie zeer verschillen; een zorgcomplex zal een andere benadering vragen dan een kantoorpand of appartementencomplex. In basis onderwijs gebouwen zijn qua demarcaties al veel ervaringen opgedaan, echter vaak niet volgens deze methodiek van besluitvormingsbevoegdheid, gevolgd door technische uitwerking/ verdeling/ opdeling. Lessen vanuit demonstratieprojecten, zoals het hieronder beschreven voorbeeld, bekrachtigen – of ontkrachten – bepaalde richtlijnen, maar typologische differentiaties en eigendomsverschuivingen die daar bij horen zullen op grotere schaal nadere uitwerking behoeven. Vervolgstudie op dit vlak is nodig om deze opgave goed aan te vliegen.

Active ReUse Huis

Het Active ReUse Huis is een voorbeeld van Energieneutraal en Circulair Bouwen met de nadruk op hergebruik (bouwen met secundaire grondstoffen en ontwerpen voor demontage en hergebruik). Casco, gevel, inbouw en installaties zijn ontkoppeld om een toekomst bestendig gebouw te realiseren. Een balans wordt gezocht tussen een aanpasbaar casco (uitbreiden verticaal, naar achteren, en samenvoegen van woningen) en de meerkosten die dit zich meebrengt. Active ReUse Huis (ARUH) wordt ontwikkeld door een consortium¹⁵. Aannemer/ontwikkelaar Waalbouw overweegt 5 woningen op Heijplaat in Concept House Village te gaan bouwen. Het ARUH consortium is momenteel bezig met de uitwerking van het definitieve ontwerp. Met dit ontwerp wordt de markt getoetst en mogelijke kopers gezocht. Afhankelijk van de interesse zal wel of niet het plan verder uitgewerkt worden voor Heijplaat. Zo ja, dan zal start bouw eind 2015 zijn. Als er voor Heijplaat geen kopers te vinden zijn, dan wordt naar een alternatieve locatie gezocht.

Als gezegd wordt beoogd om meteen 5 woningen te bouwen. Hierbij kunnen verschillende inbouw, uitbouw en installatie concepten getoetst worden. Bewoners kunnen daarbij hun eigen indeling en afwerking bepalen. Door het aanpasbare casco kunnen verdiepingvloeren op verschillende hoogtes worden geplaatst. Ook de positie van binnenwanden en mogelijke doorbraak naar een extra verdieping zijn aanpasbaar. Naast het monitoren van de energetische- en comfort prestaties in relatie tot gebruikers gedrag (ca. 2 jaar), is een meerjarige monitoring van de aanpasbaarheid

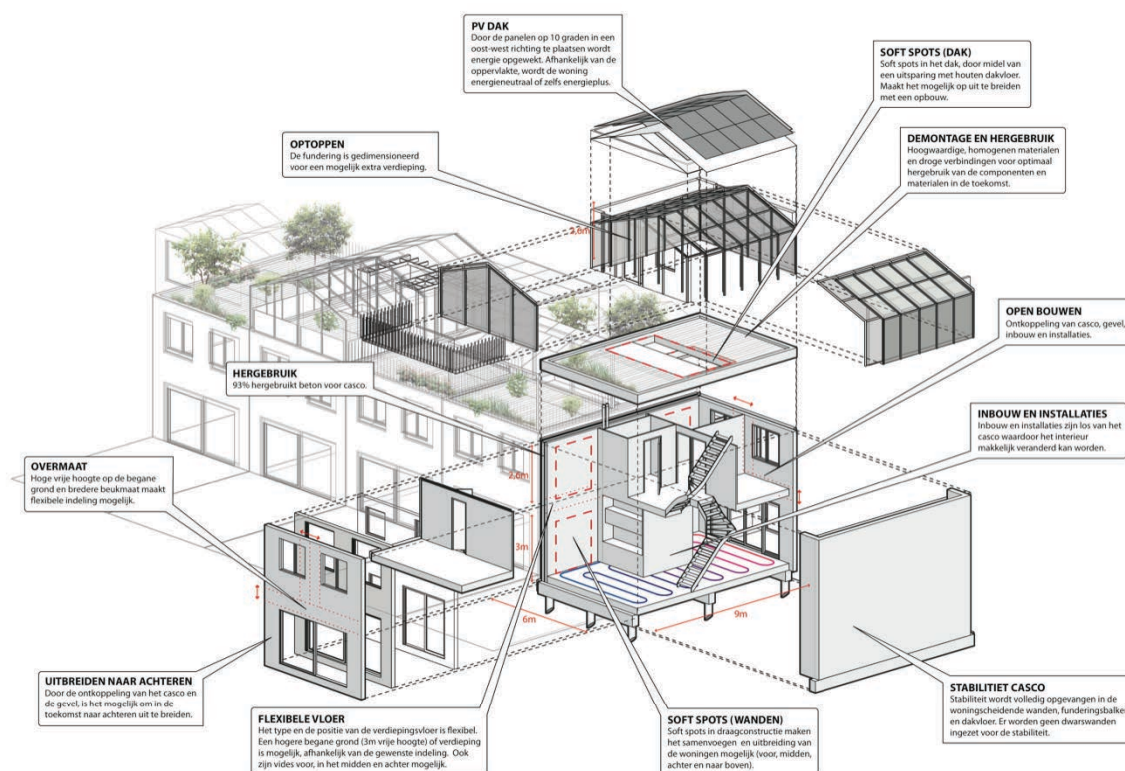
¹⁵ Partners in het project: Hogeschool Rotterdam, Hunter Douglas, DWA, Studio Bouwhaven, DGMR, Van Gansewinkel, Search, Oranje BV, Holcim, Woonbron, Werkgeversservicepunt Rijnmond DAAD, Van der Tol, BAM, SBR, Kenniscentrum Sustainable Solutions RDM, Stadsontwikkeling Rotterdam, Cirkelstad

(gebruik en functie) in relatie tot materiaal gebruik noodzakelijk. De volgende vragen komen bijvoorbeeld aan de orde:

- In hoeverre wordt gebruik gemaakt van de aanpasbaarheid?
- Draagt het bouwprincipe bij aan circulair materiaalgebruik?
- Wat is de rol van een materiaalpaspoort (& een koppeling met BIM) in dit geheel?

De bevindingen uit onderliggende studie zijn waar mogelijk direct meegenomen in de ontwikkeling van ARUH en worden verder toegepast in de voortgang. Dit heeft al geleid tot inzichten en discussies binnen het bouwteam. Andersom bieden die inzichten en discussies weer voeding voor de verdere verfijning van indicatoren en richtlijnen.

Figuur 11 toont enkele ARUH interventies gerelateerd aan adaptief en circulair bouwen.



Figuur 11: Active ReUse Huis maatregelen

Slotakkoord

Het Active ReUse Huis team ziet bovengenoemde pilot als een prototype voor doorontwikkeling. Alle partners hebben aangegeven geïnteresseerd te zijn om dit principe op grote schaal te realiseren. Door de aanpasbare drager en ontkoppeling van de gevel, is het mogelijk om context-specifiek te bouwen, dit biedt veel mogelijkheden. Sturen op waarde-behoud of waarde-creatie, wat centraal staat in een circulaire economie, kan verbindend werken, zelfs bij partijen met verschillende bloedgroepen. Dit is een les die we nu al kunnen trekken uit kleine projecten, maar hoe dit gaat werken op grote schaal moet de praktijk uitwijzen. Er staan al partijen klaar om hier aan bij te dragen: partijen die zien dat circulaire systemen de toekomst zijn en die daar in willen investeren. Wie durft nog meer?

FIGUREN

Figuur 1: Schematische weergave van projectaanpak	8
Figuur 2: Beeld van een van de workshop sessies	10
Figuur 3: Formule voor de stap van lineair naar circulair materiaalgebruik	11
Figuur 4: Cradle to Cradle materiaalstromen in de circulaire economie	12
Figuur 5: Van lineair naar Circulair → 3 hoofdthema's en 2 randvoorwaarden	13
Figuur 6: Zes gebouwlagen van Brand	14
Figuur 7: Actoren-web kennisontwikkeling Circulair Bouwen	19
Figuur 8: Circulariteits-waarde op het snijvlak van intrinsieke en relationele aspecten	30
Figuur 9: Positionering van adaptieve facetten	33
Figuur 10: Stappenplan circulair bouwen	36
Figuur 11: Active ReUse Huis maatregelen	40

TABELLEN

Tabel 1: Kerngroep	9
Tabel 2: Voorbeelden van gekoppelde domeinen en aspecten	12
Tabel 3: Onderscheid tussen drager en inbouw	14
Tabel 4: Selectie indicatoren uit FLEX 2.0 met belang voor materialen en producten	31
Tabel 5: Indicator categorieën, met voorbeelden en toelichting	32
Tabel 6: Adaptieve facetten, gebouwlagen en besluitkracht	32
Tabel 7: Schema Gebouwlagen vs. Circular Economy/C2C	34
Tabel 8: Domeinen, indicatoren en primair betrokkenen	35

BRONNEN

Brand S., How Buildings Learn – What happens after they are built, Viking Press, New York, 1994

Braungart M & McDonough W., Cradle to Cradle - Remaking the Way We Make Things, North Point Press, New York, 2002

Brink Groep en Centrum voor Proces Innovatie TU Delft, Gebouwen met Toekomstwaarde, VNO-NCW, 2013

Circular Economy Science Lab, Onderzoek- en kennisagenda thema Circulaire Economie in Nederland – Bouwstenen voor onderzoek naar essenties, principes en toepassingsgebieden, Het Groene Brein, 2015

Clean Tech Delta, Meerjaren visie, CTD, 2011

Dobbelsteen A. van den, Towards closed cycles – New strategy steps inspired by the Cradle to Cradle approach, in: Proceedings PLEA 2008, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, UCD, Dublin, 2008

Ellen MacArthur Foundation, Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition, EMF, 2012

Geldermans B., Dijk S. Van, Broersma S., en Dobbelsteen A. Van den, REAP+ Materialen en Water – Naar een integrale stromenaanpak, Clean Tech Delta, 2012

Geraedts R., FLEX 2.0, Indicatoren Adaptief Vermogen, versie 09032015

Habraken, N.J., De dragers en de mensen, Scheltema en Holkema, Amsterdam, 1961

Hansen, K. en Brey, M., Circular Economy, Powered by Cradle to Cradle®, 2014, EPEA en Kienbaum Management

Hoogers J., Bouwen met tijd, in: Slim Bouwen, 2004

NEN6000 'Modulaire coördinatie voor gebouwen', NEN, 1986

Ridder H. de, LEGOlisering van de bouw, MGMC, 2013

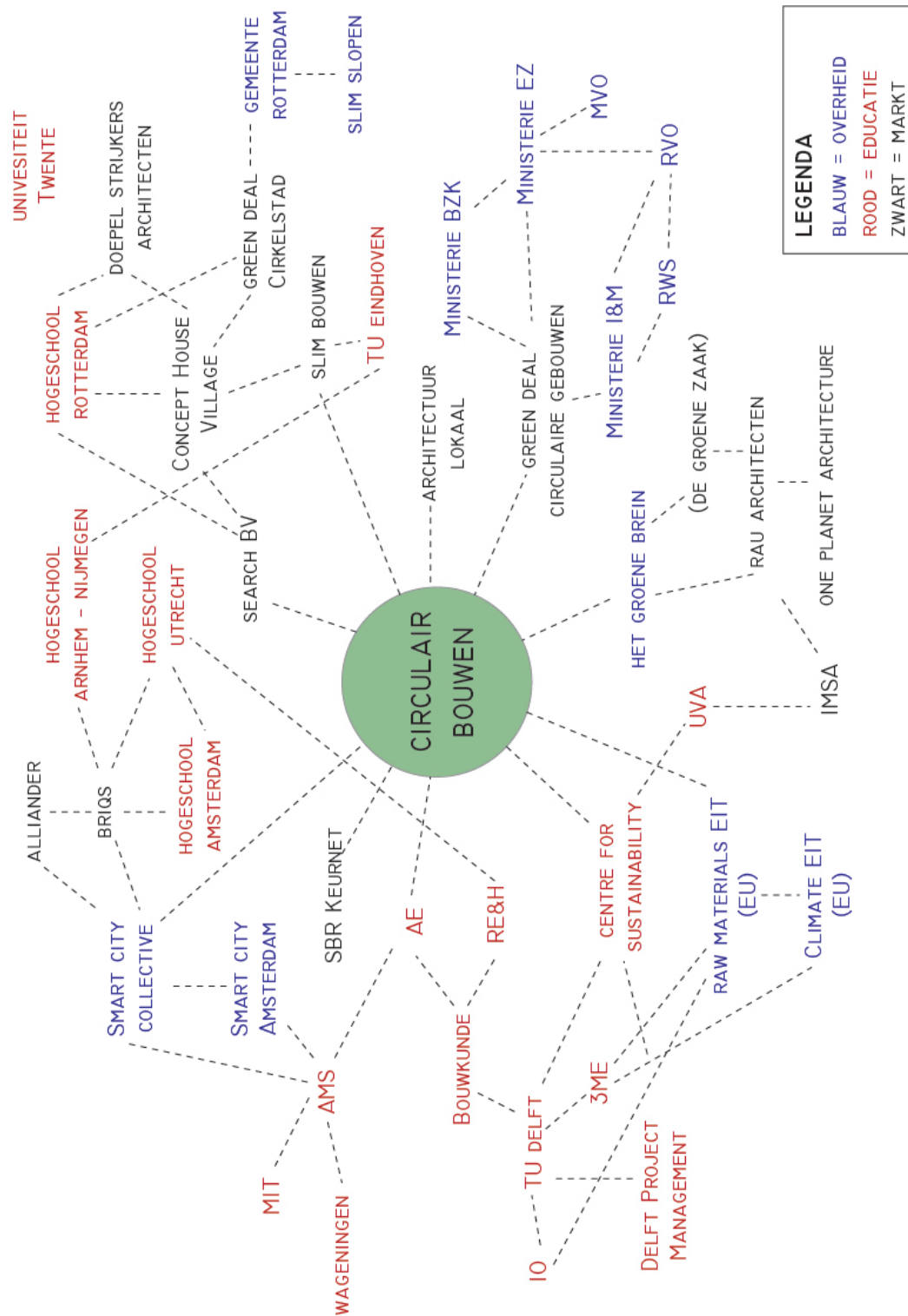
Schmidt R., Deamer J., Austin S., Understanding adaptability through layer dependencies, ICED 11, 2011

Stevens R. et al., Real Estate Norm (REN), Atelier V, 1992

BIJLAGE I – Deelnemerslijst Workshop sessies

1	Laura Rosen Jacobson	TUD, AE+T/Buurman Materialen Werkplaats
2	Remko Zuidema	BRIQS Foundation/Green Deal Circulaire Gebouwen
3	Bob Geldermans	TUD AE+T/Circular Economy Science Lab
4	Matthijs Prins	TUD RE&H, Design & Construction Management
5	Ruben Vrijhoef	TUD RE&H, Design & Construction Management/Hogeschool Utrecht
6	Tillman Klein	TUD AE+T, Façade Research Group
7	Juan Azcarate Aguirre	TUD AE+T, Façade Research Group
8	Rob Geraedts	TUD RE&H, Design & Construction Management
9	Sander van Nederveen	TUD CiTG, Integral Design & Management
10	Bas Mentink	Royal Haskoning DHV
11	Martine Verhoeven	Royal Haskoning DHV
12	Ger van der Zanden	CRH Structural
13	Jan Willem Kanters	Urgenda/D66 Voorzitter Werkgroep Duurzame Economie
14	Rene de Klerk	Rendemint
15	Bas Slager	Repurpose
16	Piet van Luijk	Ministerie BZK
17	Frans van der Werf	Architect
18	Jouke Post	XX Architecten/TU Eindhoven
19	Kees Faes	Search BV/Cirkelstad
20	Jan-Henk Welink	Kennisplatform Duurzaam Grondstoffenbeheer
21	Bram van der Grinten	TUD IO/Ellen MacArthur Foundation
22	Duzan Doepel	Doepel Strijkers/Hogeschool Rotterdam/kenniscentrum RDW
23	Stingo Huurdeman	stud Hogeschool Utrecht/Heijmans Utiliteitsbouw
24	Carolín Bellstedt	stud TUD Industrial Ecology
25	Thomas Steigenga	stud TUD, AE&T
26	Siebe Besseling	stud Hogeschool Rotterdam/SBRCURnet
27	Ruud Stigter	stud TUD RE&H
28	Robert vd brink	stud TUD RE&H
29	Jan van Asten	stud TU Eindhoven
30	Michel Martens	stud Hogeschool Utrecht
31	Roshan Rampersad	stud TUD, RE&H
32	Bram van Hemmen	stud TUD, RE&H

BIJLAGE II – Actorenweb kennisontwikkeling Circulair Bouwen



BIJLAGE III – Selectie indicatoren uit FLEX 2.0 [Rob Geraedts]

12	Maatsysteem: modulaire coördinatie Is er voor de plaats- en maatafspraken van bouwcomponenten gebruik gemaakt van de normen voor Modulaire Coördinatie (10-20-30 raster en veelvouden daarvan; NEN 6000), voor toepassing van projectongebonden, demontabele en verplaatsbare bouwcomponenten?	35	Onderbreken draagstructuur In hoeverre kan de draagstructuur worden onderbroken?	56	Overdimensionering leidingkanalen / schachten Zijn de distributiekkanalen (W, E, ICT) installaties overgedimensioneerd?
13	Maatsysteem: gevel Wat zijn de afmetingen van het gevelraster (o.m. i.v.m. de aansluitmogelijkheden van binnenwanden)?	36	Aansluitdetailering met fundering en grondgebonden installaties Welke aansluitdetailering is toegepast voor de overgang van het gebouw met de fundering en de grondgebonden installaties?	57	Overdimensionering capaciteit installaties Is de capaciteit (voedende voorzieningen) van de (E, W, ICT) installaties overgedimensioneerd?
20	Uitbreiden / hergebruik van trappen en liften In hoeverre bestaat de mogelijkheid om nieuwe trappen en/of liften toe te voegen en bestaande te hergebruiken?	37	Bouwtechniek voor de hoofd draagconstructie Welke bouwtechniek is toegepast voor de hoofd draagconstructie?	58	Overdimensionering capaciteit openbare voorzieningen Is de capaciteit (voedende voorzieningen) van de openbare (toeleverende) voorzieningen (b.v. stadsverwarming) overgedimensioneerd?
21	Draagvermogen van de vloeren Hoe groot is het nuttig draagvermogen van de vloeren in kN/m ² ?	38	Isolatie tussen verdiepingen en units Hoe is de thermische en akoestische isolatiekwaliteit van de verdiepingen in het gebouw?	65	Ontkoppelbaarheid installatiecomponenten Hoe is de ontkoppelbaarheid van de installatie-componenten?
22	Dragende vloeren Op welke wijze zijn de dragende vloeren samengesteld?	42	Demontabele gevel In hoeverre kunnen bij transformatie gevelcomponenten worden gedemonteerd?	70	Onderscheid Drager-Inbouw In welke mate is in het gebouwontwerp onderscheid gemaakt tussen drager (gebouwcomponenten met een lange levensduur) en inbouw (gebouwcomponenten met een korte levensduur, die eenvoudig kunnen worden vervangen zonder de drager aan te tasten)? <i>Als meetwaarde hiervoor is het % toegepaste projectonafhankelijke inbouwsystemen gehanteerd: hoe groot is het percentage inbouwcomponenten dat projectonafhankelijk geproduceerd is (en derhalve goed uitwissel- en/of demonteerbaar)?</i>
23	Zelfdragende gevel In welke mate is de gevel constructief zelfdragend?	43	Hergebruik ramen In hoeverre kunnen bij transformatie de bestaande ramen in de gevel van het gebouw behouden blijven en gebruikt worden?	71	Uitwisselbaarheid (in)bouwcomponenten In hoeverre is het mogelijk om wanden, deuren, plafonds, etc. elders in het gebouw toe te passen?
24	Vorm van de kolommen Welke vorm hebben de kolommen (i.v.m. de aansluiting van al dan niet gestandaardiseerde binnenwandelementen)?	47	Daglichttoetreding In hoeverre worden de ruimtes in het gebouw voorzien van daglicht?	78	Verplaatsbare binnenwanden In hoeverre zijn binnenwanden eenvoudig verplaatsbaar?
26	Aanwezigheid fontanelconstructies Zijn er in dragende constructieve wanden en/of vloeren fontanelconstructies (wapeningloze en met demontabele hsb/systeem-elementen gevulde sparingen) toegepast?	48	Isolatie van de gevel Hoe is de thermische en akoestische isolatiekwaliteit van de gevel?	79	Aansluitdetailering binnenwanden - horizontaal/verticaal Welke detailering is toegepast tussen de aansluiting van binnenwanden op wanden / kolommen / gevel / vloeren / plafonds?
28	Brandwerendheid hoofd draagconstructie Hoe groot is de brandwerendheid van de hoofd draagconstructie?	49	Aansluitdetailering (kop)gevelcomponenten Welke detailering is toegepast bij de (kop)gevel-componenten?	82	Individuele inbouw/afwerking In hoeverre is het voor de individuele gebruiker mogelijk om een eigen inbouw(systeem) en/of afwerking/inrichting in de unit toe te passen?

BIJLAGE IV – FLEX 2.0 Light [Rob Geraedts, Versie 18-06-2015]

Flex 2.0 Light	BEOORDELINGSFORMULIER ADAPTIEF VERMOGEN Voorbeeld formulering & beoordeling van ruimtelijke/functionele & constructie/technische kwaliteit
----------------	--

RG v0.6 18-06-2015

FLEX LIGHT 2.0				Weging			Oordeel				SCORE
LAAG	Sublaag	Nr.	Flexibility Performance Indicator	1	2	3	1	2	3	4	
1. LOCATIE		01(2)	Overmaat aan locatieruimte	1					3		3
2. STRUCTUUR	2.1 Afmetingen	02(5)	Overmaat aan gebouwruimte / oppervlak		2			2			4
		03(11)	Vrije verdiepingshoogte			3				4	12
	2.2 Toegang	04(17)	Gebouwontsluiting, plaatsing liften/kernen/trappen		2		1				2
	2.3 Constructie	05(21)	Draagvermogen van de vloeren			3			3		9
		06(29)	Uitbreidbaar gebouw/unit, horizontaal			3		2			6
		07(30)	Uitbreidbaar gebouw/unit, verticaal	1			1				2
3. HUID	3.2 Gevel	08(42)	Demontabele gevel			3				4	12
4. INSTALLATIES	4.1 Meten & regelen	09(53)	Instel- en regelbaarheid van installaties		2		1				2
	4.2 Dimensionering	10(56)	Overdimensionering leidingkanalen / schachten		2		1				2
		11(57)	Overdimensionering capaciteit installaties			3	1				3
		12(65)	Ontkoppelbaarheid installatiecomponenten		2			3			6
5. RUIMTEN/AFWERKING	5.1 Functioneel	13(70)	Onderscheid Drager-Inbouw			3		2			6
	5.2 Ontsluiting	14(73)	Horizontale routing, corridors, ontsluiting	1				2			2
	5.3 Technisch	15(77)	Verplaatsbaarheid units			3	1				3
		16(78)	Verplaatsbare binnenwanden			3			3		9
		17(79)	Aansluitdetailering binnenwanden - horizontaal/verticaal			3				4	12

* Nummers tussen () verwijzen naar de volledige lijst met 83 indicatoren

Totale Adaptiviteitscore: **95**

Bij alle wegingen 1 en oordeel 1: Minimum score = $17 \times 1 \times 1 = 17$

Bij alle wegingen 3 en oordeel 4: Maximum score = $17 \times 3 \times 4 = 204$

Adaptiviteitsklasse: **3**

KLASSETABEL		Score
Adaptiviteitscores		Range
Klasse 1: Niet/nauwelijks adaptief		17 - 54
Klasse 2: Nauwelijks adaptief		55 - 92
Klasse 3: Beperkt adaptief		93 - 130
Klasse 4: Goed adaptief		131 - 168
Klasse 5: Uitstekend adaptief		169 - 204

BIJLAGE V – Levensduur gebouwen en verdeling Gebruiker/Belegger
[BRIQS Foundation, 2015]

