

Auteur Dr.ir.-Arch. P. (Pieter) Pauwels, TU Eindhoven

De route naar circulaire ketens: impact op de installatiesector

De bouwsector staat voor een belangrijke transitie naar een circulaire economie. Die is noodzakelijk om het grondstoffenverbruik, dat vele malen te hoog ligt in de bouwsector, aanzienlijk terug te dringen. Verschillende stappen werden reeds gezet in de bouwsector, en dit heeft ook de nodige impact op de installatiesector. Circulaire bouwhubs, take-back modellen, productpaspoorten, wat kunnen we verwachten?

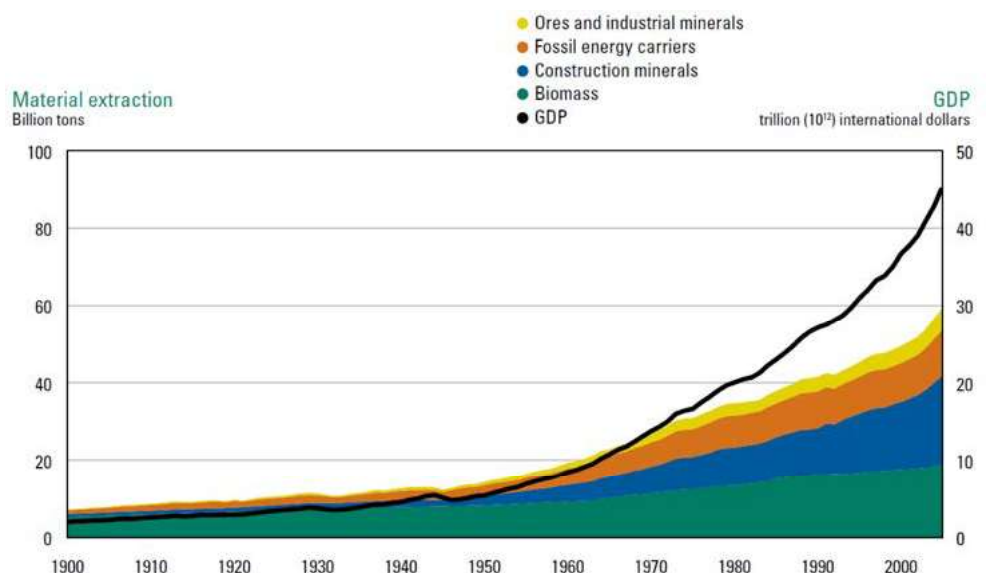
Zoals reeds bekend, staat onze bouwsector voor grote uitdagingen. Het is ook algemeen bekend dat onze planeet tegen de grenzen van haar capaciteiten aan loopt in het ondersteunen van menselijke activiteiten. Ter indicatie, de grafiek in onderstaande figuur [1,2] toont de evolutie van de grondstofwinning wereldwijd overheen de gehele 20e eeuw. Dit toont duidelijk de zeer sterke groei in het winnen van natuurlijke grondstoffen, tot op onhoudbare niveaus. Nog meer treffend is het grote aandeel voor 'bouwmaterialen' in deze grondstofwinning (factor 34 groei in de 20e eeuw),

naast edelmetalen en ertsen voor industriële productieprocessen, en fossiele brandstoffen en biomassa [1]. Deze hoeveelheid grondstofwinning is te hoog en niet houdbaar, en dit moet teruggedrongen worden.

Nederland Circulair in 2050

Vandaar is het plan "Nederland Circulair in 2050" [3] reeds enige tijd in voege (Nationaal Programma Circulaire Economie – NPCE), met vier belangrijke maatregelen: (1) vermindering van grondstoffengebruik, (2) substitutie van grondstoffen, (3) levensduurverlenging, en (4) hoogwaardige verwerking [4]. Met de vermindering van grondstoffengebruik wordt getracht om het produceren en aankopen van ruwe materialen te vermijden en terug te dringen (narrow the loop) [5]. In het beleid wordt dus getracht om in de eerste plaats circulaire aankopen te doen (producten die reeds gebruikt werden – material re-use). Met de substitutie van grondstoffen wordt verwezen naar het vervangen van primaire materiaalbronnen door secundaire en evenwaardige materialen met een lagere milieu-impact (e.g. recyclaten). Met een levensduurverlenging ('slow the loop') wordt ernaar gestreefd om tijdig reparaties en onderhoud uit te voeren, zodat materialen langer

Figuur 1: Grondstofwinning wereldwijd in miljard ton, 1900-2005, uit [1].



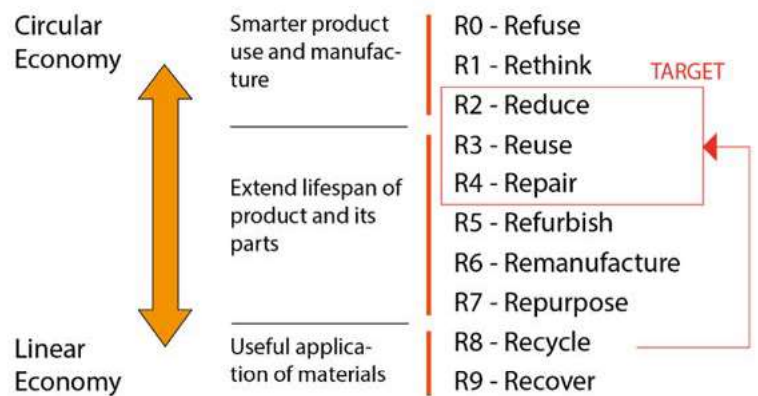
in gebruik blijven. Tot slot verwijst de hoogwaardige verwerking ('close the loop') naar de ambitie om producten die aan het einde van hun gebruik zijn, terug in de keten in te brengen voor hergebruik. Deze maatregelen hebben een impact op de bouwsector in het algemeen, en ook specifiek op de installatiesector. In het NCPE Nationaal Programma [4] worden als actoren 'de bouwsector' genoemd: de residentiële gebouwen, utiliteitsbouw, en de infrastructuursector (wegverharding en betonbouw in bv. bruggen); net als de 'maakindustrie', met name windparken, PV-systemen, en klimaatinstallaties. De bouwsector en de installatiesector hebben dus een belangrijke bijdrage en impact op de circulariteitsdoelen van Nederland, en belangrijke veranderingen moeten gemaakt worden in die sectoren.

Om de hoeveelheid grondstoffengebruik terug te dringen, wordt dus heel uitdrukkelijk getracht om onze economie circulair te maken, volgens bovenstaande 4 maatregelen en richtlijnen [3-4]. Deze circulaire economie draait essentieel om hergebruik (REUSE) van materialen, reductie van materiaalgebruik (REDUCE), en herstelling van materialen (REPAIR). Waar Nederland uitstekend presteert wat betreft recyclage, moet het niveau van hergebruik op een hoger niveau terechtkomen van de 9Rs hiërarchie [6-7] (zie Figuur 2). Verbranding van recycleerbare materialen wordt verbannen tegen 2050, en ook recyclage tot een materiaal met veel lagere kwaliteit wordt liefst vermeden, ten voordele van hergebruik, reparatie, en reductie.

Om dit te realiseren, is het noodzakelijk om een 'fundamenteel ander systeem' in te voeren, namelijk de circulaire economie. Dit is een grote verandering, een systeemverandering, die tijd nodig heeft, en waaruit heel andere economische meerwaarde moet blijken. Dit circulaire systeem heeft ook aanvaarding en vertrouwen door een breed publiek nodig, want dit kan uiteraard niet gerealiseerd worden door slechts een aantal actoren. Hergebruik, reparaties, en reductie van materiaalgebruik gebeuren overal door iedereen, en de bouwsector en installatiesector zijn hier voor een groot deel leidend, gezien hun impact op materiaalgebruik.

Bouwhubs en modulair bouwen

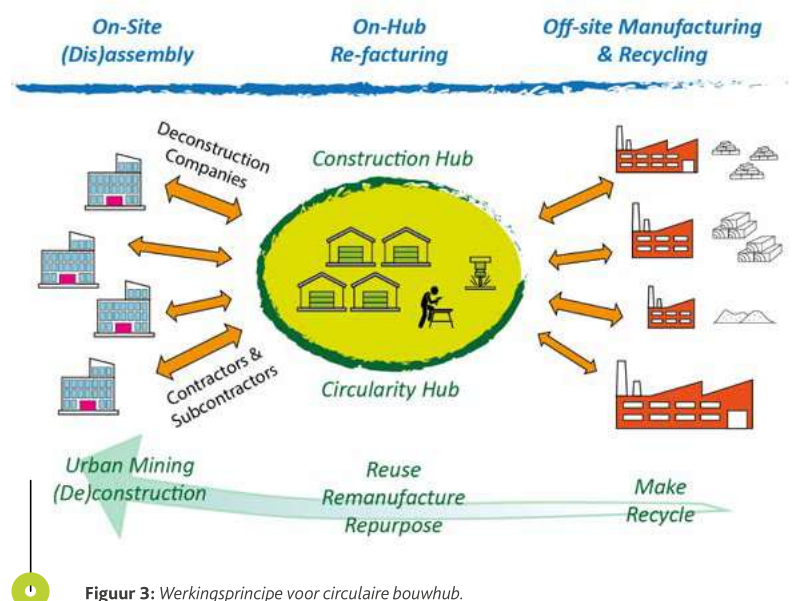
De transitie naar een circulaire economie is al een tijdlang ingezet, en neemt ook snel belangrijke stappen. Eén van de meest zichtbare effecten in de bouwsector, en



Figuur 2: 9Rs of the circular economy (image inspired from Kirchherr et al. [6]).

mogelijks minder zichtbaar in de installatiesector, is het organiseren van de bouwketen aan de hand van bouwhubs en circulaire hubs. Verschillende hubs zijn vandaag in gebruik, zoals de VolkerWessels bouwhubs [8], de Bouwhub Midden-Brabant [9], en verschillende andere hubs. In dergelijke hubs komen materialen samen, zowel uit afbraakprocessen als productieprocessen, voordat deze opnieuw worden ingezet in specifieke bouwprojecten. In sommige gevallen is zo'n bouwhub eigendom van 1 specifieke actor, die daar de eigen logistieke processen organiseert, zoals in elk normaal logistiek centrum. Echter, in veel gevallen zijn deze bouwhubs opgezet door een coalitie aan partners, zowel 'oogsters' ('urban miners') als 'bouwers' [10]. Op die manier worden de risico's en logistieke kosten gedeeld en dus verminderd, en de mogelijkheden tot hergebruik door verschillende stakeholders worden vergroot (Fig. 3).

Deze bouwhubs zijn veelbelovend en werken goed; meer zelfs, ze hebben te veel werk en te veel materiaal. De logistieke organisatie in deze hubs is zacht gezegd uitdagend, ook omdat de winstmarge op andere manieren moet gerealiseerd



Figuur 3: Werkingsprincipe voor circulaire bouwhub.



worden: er moet systemisch anders gedacht worden [11]. Want natuurlijk is het eenvoudiger en in vele gevallen goedkoper om 'gewoon even een nieuw item te bestellen' ipv. een bestaand product aan te passen voor hergebruik. Niettemin moeten we voor een stabiele planeet en een stabiel gebruik van grondstoffen eerder kiezen voor reparatie, heropwaardering en hergebruik, en dus zijn andere verdienmodellen nodig, verdienmodellen die gekoppeld zijn aan ecologische meerwaarde [3-4].

Naast de mogelijkheden voor circulair hergebruik door meerdere actoren, kan de logistieke keten van productie naar de bouwplaats ook efficiënter gemaakt worden met het uitbouwen van deze bouw hubs en circulaire hubs [11,12]. Op die manier kan ook de hoeveelheid zwaar verkeer in de binnenstad verminderd worden [8,11,12]. Door dit juist te organiseren in de bouw hubs, kan materiaal met een minimum aan transportbewegingen op

verschillende plaatsen in een stad aangeleverd worden met een enkel transport, en ook het aantal kilometers wordt teruggedrongen doordat materialen lokaal hergebruikt worden. Dit is normaal gezien een win-winsituatie, op voorwaarde dat de logistieke keten goed georganiseerd en ondersteund is (gepaste systemen), en op voorwaarde dat de hubs voldoende diversiteit aanbieden en dus uitzonderlijk en lang transport meer uitzondering dan regel maken (Fig. 3 en foto 1).

Peer-to-Peer communicatie en hergebruik

Wat duidelijk is uit de manier waarop de circulaire hubs functioneren [11-12], is dat hier een netwerk voor nodig is van meerdere partijen. De samenwerking tussen meerdere actoren is uiterst belangrijk in een circulaire workflow; hergebruik doe je niet alleen,

Foto 1: De circulaire bouw hub Amsterdam van ADEX group (voorheen Beelen Next) – afbeelding van [13].

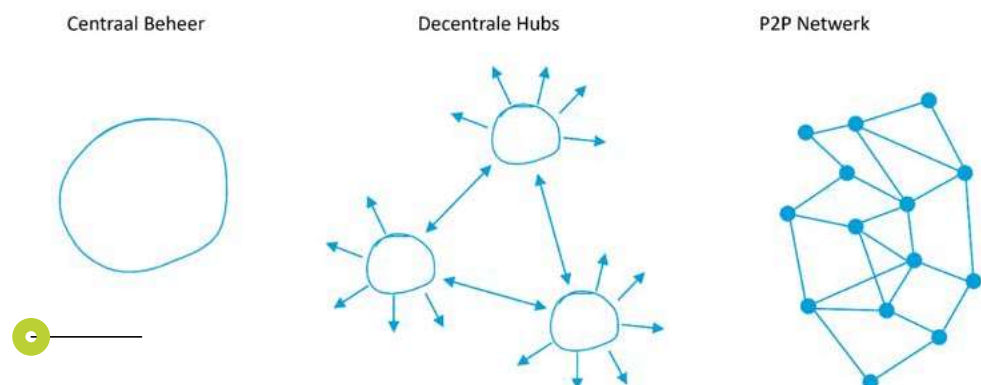
je doet het met zo veel mogelijk partijen, zodat de afzetmarkt voor hergebruik zo groot mogelijk kan worden. Op het moment dat gebouwen en infrastructuur worden afgebroken voor circulair hergebruik, komen ze eerst nog in een opslagplaats terecht, en daar blijven deze materialen liefst zo kort mogelijk om de kostprijs te drukken. Bovendien moeten materialen geschikt gemaakt worden voor hergebruik, en de circulaire bouwhubs moeten zo'n verwerkingsvoorzieningen hebben (On-hub Re-facturing in Fig. 3). Des te eerder iemand het product uit de hub kan hergebruiken, des te beter. Als deze structuur schematisch wordt weergegeven (Fig. 4), verandert de economie dus van een focus op centraal beheer, eerder naar een infrastructuur met decentrale hubs, waarbij meer samenwerking mogelijk is en gestimuleerd wordt.

Een extremere versie die ook gerealiseerd zou kunnen worden, is een peer-to-peer (P2P) netwerk, waar men niet meer van lokale kernen spreekt, maar eerder van een heel dicht netwerk (hoge densiteit). Dit komt eerder in de buurt van de netwerken die men terugvindt op de online tweedehands marktplaats. Waar dit in andere sectoren succesvol is (bv. airbnb, uber), is dit voor de bouwsector heel wat moeilijker uit te werken, gezien dit eerder een markt is voor specialisten uit de bouw, en niet een volledig particuliere markt. Dit brengt dan ook risico's en uitdagingen met zich mee. Wat echter wel denkbaar is, is een netwerk van gebouwen waaruit 'material harvesting' of 'urban mining' kan gebeuren [14]. Dit netwerk bevindt zich wel

op de particuliere markt. Als elk gebouw geïnterpreteerd wordt als een materiaaldepot waaruit materialen en producten geoogst kunnen worden (Buildings as Material Banks – BAMB [15]), dan kan men minstens aan de oogstzijde van de circulaire economie in de bouw het aanbod sterk vergroten. Hiervoor ontbreekt momenteel de informatie-architectuur, omdat IT-systemen voor circulaire uitwisseling vandaag nog vaak worden opgezet onder centraal beheer. Ofwel wordt data opgeladen en aangeboden in een centrale databank (e.g. nationale implementaties voor materiaalpaspoorten), ofwel wordt data beheerd in gecentraliseerde en vaak gesloten platformen in bouwhubs. Dit hoort naar de toekomst te veranderen als men de particuliere bouwmarkt ook beter wil ontsluiten als een netwerk van waaruit materialen kunnen geoogst worden. De informatiesystemen en -architectuur in bouwhubs kan hierbij hopelijk als een startpunt gebruikt worden (opschaling en decentralisering). Naast die nood aan een meer genetwerkte IT-infrastructuur is voor deze evolutie ook hoge nood aan nieuwe businessmodellen die met zo'n netwerkarchitectuur economische meerwaarde kunnen genereren, net als een omslag in gedrag en aanvaarding in de maatschappij ('your building, your data').

Track en Trace? Take Back? Ander?

Het werken met bouwhubs brengt ook een andere evolutie met zich mee in de bouwsector, die ten goede komt aan het realiseren van een circulaire economie, namelijk 'modulair bouwen'. Vaak werken bouwhubs en circulaire hubs met specifieke componenten of objecten die afzonderlijk gelabeld en getraceerd kunnen worden. Als deze componenten demonteerbaar worden



Figuur 4: Verschillende structuren voor samenwerking in een circulaire economie.

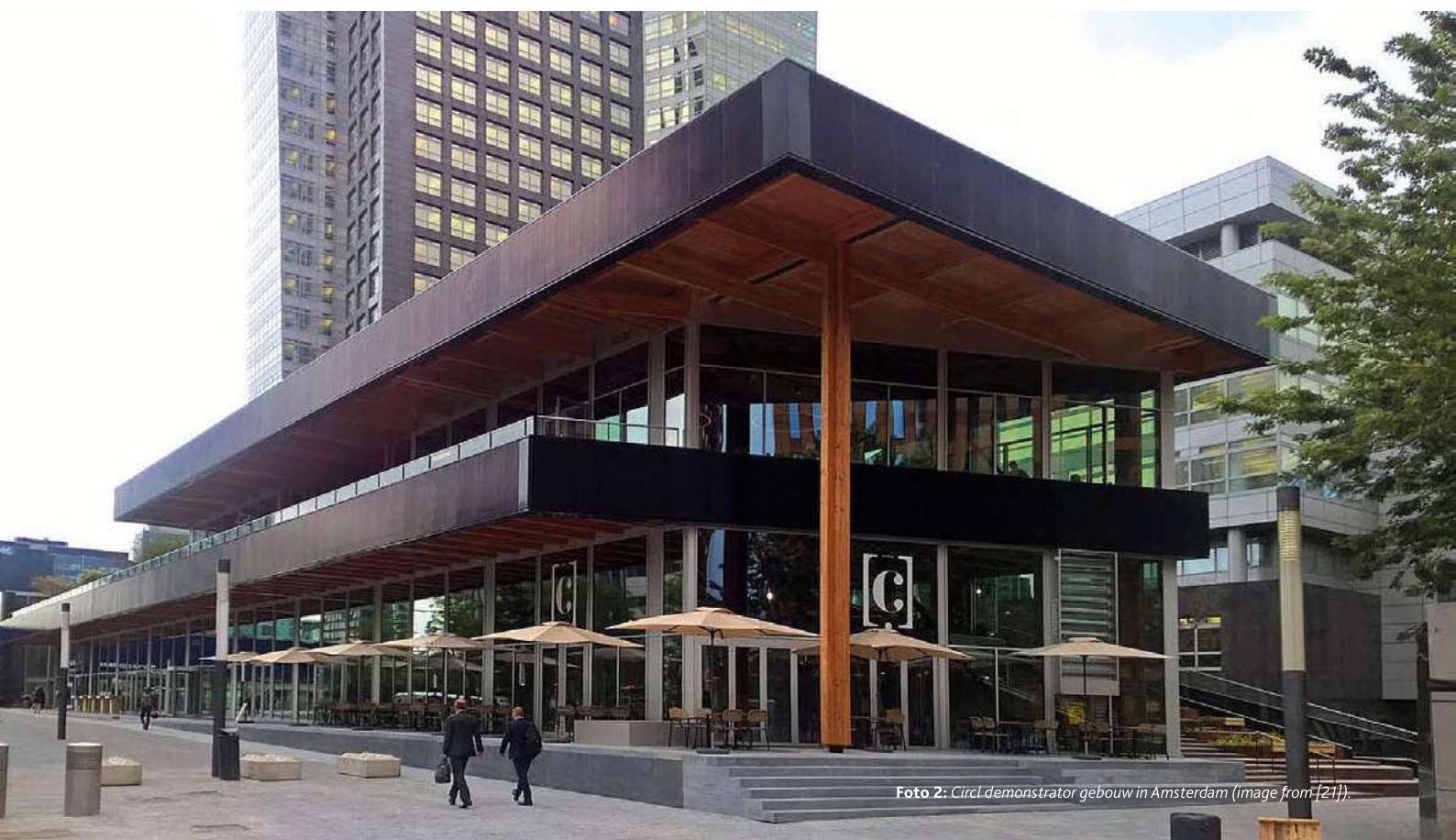


Foto 2: Circl demonstrator gebouw in Amsterdam (image from [21]).

geplaatst ('demountable'), dan vergemakkelijkt dit eveneens het hergebruik en reparatie [16]. Elke component krijgt hierbij een unieke code of identifier, waarmee die component kan getraceerd worden doorheen de levensloop van deze component [17]. Men krijgt dus een soort levenslang genetwerkt productpaspoort, dat men kan gebruiken om na te gaan waar een component gebruikt is in afgelopen jaren, vergelijkbaar met een persoonlijk paspoort, dat bijhoudt wanneer iemand in welk land is geweest [18]. Dit is licht anders dan de bestaande productpaspoorten, waar typisch wordt gebruik gemaakt van een centrale databank waarin staat welke eigenschap een materiaal heeft. Vorige bestemmingen en gebruiken gaan vaak verloren, waardoor het moeilijker is te schatten is wat de restkwaliteit van een product is [17].

Deze modulaire manier van bouwen is vaak iets voor de toekomst, omdat bestaande gebouwen vaak helemaal niet modulair en demonteerbaar

opgebouwd zijn. Nieuwe systemen en gebouwen worden echter wel vaker ontworpen en gerealiseerd op een demonteerbare manier (design for disassembly – zie definities op [19]), zodat hergebruik in de toekomst kan gerealiseerd worden. Echter, circulariteit moet veel sneller gerealiseerd worden, om de doelstellingen van 2030 en, nog meer, de doelstellingen van morgen te kunnen halen [3-4]. Een mooi initiatief op dit gebied is de Circl demonstrator in Amsterdam (Foto 2), een gebouw dat volledig demonteerbaar is opgebouwd, en, meer zelfs, dat momenteel wordt gedemonteerd voor hergebruik van componenten elders [20]. Het is uiterst belangrijk dat in deze case een databank wordt opgebouwd met identifiers per component, zodat blijvend kan nagegaan worden op welke plekken de onderdelen terecht komen na hergebruik; en om na te gaan in hoeverre het überhaupt mogelijk is om componenten terug te demonteren met behoud van die identifiers: componenten moeten namelijk vaak verder onderverdeeld en verwerkt worden om hergebruik mogelijk te maken (bv. verkorten van balken en kolommen, opsplitsen van mechanische componenten).

Als men de componenten van identifiërs voorziet, en hun route doorheen een netwerk traceert met een levenslang productpaspoort, dan spreekt men van een 'Track and Trace' systeem [22]. Als de component telkens wordt verkocht en aangekocht, dan verandert deze steeds van eigenaar, en wordt het de verantwoordelijkheid van die eigenaars om de hoeveelheid van re-use en repair zo hoog mogelijk te houden. In dit geval is een netwerkkarchitectuur nodig, zoals uiterst rechts in Fig. 4 getoond. Zo'n systeem bestaat momenteel niet op de markt, en kan ook niet snel gerealiseerd worden omdat dit een systemische aanpassing nodig heeft. Als een component niet van eigenaar verandert, en eigendom blijft van de oorspronkelijke installateur, dan kan men spreken van een Product as a Service (PaaS) model, waarbij ook Take-back modellen mogelijk zijn: op elk moment kan de fabrikant het product terugroepen voor onderhoud en/of hergebruik en/of vervanging. Dit is een tweede systeem dat beter haalbaar is vandaag om de circulaire economie te realiseren voor de bouwsector. Dit kan ook gerealiseerd worden in een decentrale bouwhub-infrastructuur, zolang de locatie van de component maar getraceerd wordt door de eigenaar. Dit model wordt vandaag makkelijker toegepast op grotere gebouwstructuren, zoals het modulair houtbouwconcept van De Groot Vroomshoop [23] of het Flexbouw concept van De Meeuw [24]. In dat geval worden volledige modules zo ontworpen dat de eigendom blijft liggen bij de bouwer, die ook instaat voor onderhoud en terugname voor hergebruik.

Een heel nieuwe wereld, en wat met installatietechnieken dan?

Bovenstaande zijn de meest voor de hand liggende evoluties en trends die vandaag terug te vinden zijn op de bouwmarkt in Nederland ter ondersteuning en realisatie van een circulaire economie. Gezien de heel dichte netwerkinfrastructuur (afstanden en transport) van Nederland, is in principe een heel vernetwkte keten (rechts in Figuur 4) makkelijk haalbaar. Dit vergt echter wel

de nodige systeemveranderingen (your building, your data) voor beheer van reizende producten (levenslange productpaspoorten) [18] en beheer van logistieke processen in het geval van bouw hubs [11-12]. Naast die systeemveranderingen zijn ook belangrijke veranderingen nodig in de gewoontes en gebruiken van alle actoren in de keten, en ook bij klanten en overheden, die bereid moeten gevonden worden om de noodzaak van materiaalhergebruik in te zien, ook al is het moeilijk om op te boksen tegen de prijzen van massaproductie [17]. Met die verandering in gedrag en verwachtingspatronen bij klanten en bouwers horen dus ook nieuwe economische modellen opgebouwd te worden, zoals de PaaS Take-back en Track and Trace modellen.

Het bovenstaande verhaal is een evolutie die momenteel doorgaat in de bouwsector in het algemeen, en naar verwachting heeft dit ook een belangrijke impact op de verdienmodellen en organisatiestructuren in de installatiesector. Echter, er zijn ook een aantal richtlijnen die rechtstreeks voor de installatiesector genoemd worden door het NPCE National Plan Circulaire Economie [4, p. 114]. Voor de installatiesector, meer specifiek klimaatinstallaties, wordt gericht op circulariteitsdoelen (1) functionele levensduur van klimaatsystemen neemt toe met 50% tegen 2030 (tov. 2016); en (2) 100% van de componenten en toestellen worden hoogwaardig gerecycleerd of hergebruikt na einde levensduur [4]. Dit zijn ambitieuze doelen, en veel van de eerder genoemde evoluties kunnen helpen om deze doelen te realiseren.

Het ontbreekt aan een netwerkinfrastructuur in Nederland om een volledige P2P uitwissel economie te realiseren. Dus, dit soort circulaire economie is op haar best pas in een tweede instantie realiseerbaar. Dit heeft als gevolg dat een 'levenslang materiaalpaspoort' moeilijker bereikbaar is voorlopig, ook

voor de installatiesector. Er wordt eerder getracht om de installatiesector te laten aansluiten op de bestaande nationale milieudatabank (NMD) [26], waarin milieuprestatie-indicatoren van systemen zouden moeten opgenomen worden. In het ontwerpen van systemen kan dan zowel de energieprestatie als de milieuprestatie van een systeem worden bepaald, en in hun geheel beschouwd worden voor het maken van ontwerpkeuzes voor een klimaatsysteem [4]. Dit is echter wel een heel ander systeem dan wat hierboven als een 'reizend materiaalpaspoort' wordt voorgesteld, maar met deze indicatoren kunnen wel uniforme garanties en berekeningen aangeboden worden over de prestaties van een systeem [4]. Verder wordt het gebruik van prestatiecontracten expliciet verder aanbevolen in [4], omdat dit in andere sectoren een positieve impact genereert voor circulair hergebruik van producten.

Circulaire hubs

Het gebruik van circulaire hubs wordt in het NPCE niet uitdrukkelijk genoemd [4], en er wordt algemeen verwezen naar strategieën voor hergebruik (re-use, repair, refuse). Wel worden belangrijke economische prikkels opgenomen die overeenkomen met wat reeds in de rest van de bouwsector werd ervaren (zie hierboven). Er wordt een noodzaak erkend om een mechanisme te gebruiken voor het toekennen en kiezen van offertes dat anders is dan enkel 'de laagste prijs', waarbij verwezen wordt naar terugverdienmodellen over een termijn die voordeliger uitkomen [4, 17]. Daarnaast moet actiever gemotiveerd worden om systemen niet enkel te ontwerpen die 'precies op maat zijn van het beoogde gebouw', zodat componenten makkelijker in andere gebouwen onder te brengen zijn. En ook de modulariteit en demonteerbaarheid van systemen moet hoger, onder andere door voldoende ruimte te voorzien voor demontage (grotere opstelruimte) [4]. In de plannen en aanbevelingen van de NPCE wordt ook gemotiveerd om naar garanties te werken van de leverancier en fabrikant, inclusief producentenverantwoordelijkheid. Dit komt overeen met een PaaS Take-back model, wat inderdaad eenvoudiger te implementeren is, en ook een eerste stap in de goede richting is. Om echte schaalbaarheid te bereiken, zou een netwerkinfrastructuur en een Track and Trace systeem een belangrijke volgende stap kunnen betekenen, die echter een verdere omslag van de installatiesector vraagt.



Foto 3: Circulaire Flexbouw De Meeuw (image from [25]).



Referenties

1. UNEP, Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, 2011, <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9816>.
2. Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Haberl, H. and Fischer-Kowalski, M. (2009) Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10): 2696-2705.
3. Rijksoverheid, Nederland circulair in 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>.
4. Rijksoverheid, Nationaal Programma Circulaire Economie 2023 – 2030, <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>
5. Ellen MacArthur Foundation, Towards the circular economy, 2013.
6. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In *Resources, Conservation and Recycling*, 127: 221-232, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
7. Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A., Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain, Policy Report, 2017 <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
8. VolkerWessels, Onze aanpak: Binnenstedelijk, <https://www.vwm.nl/nl/diensten/bouwlogistiek/1/onze-aanpak-binnenstedelijk>
9. Bouwend Nederland, Bouwhub Midden Brabant, <https://www.bouwendnederland.nl/vereniging/regio-en-afdelingen/regio-zuid/afdeling-brabant-mid-west/bouwhub-midden-brabant>
10. <https://www.vangisbergen.nl/j-a-van-gisbergen-loopt-warm-voor-circulair-bouwen-en-sluit-aan-bij-het-initiatief-voor-een-regionale-bouwhub/>
11. TNO, Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw, https://www.materieeldienst.nl/dynamics/modules/SFIL0200/view.php?fi_id=6344.
12. VolkerWessels, Bouwhubs voor slimme bouwlogistiek, <https://www.volkerwessels.com/nl/projecten/bouwhub>
13. Bouwcirculair, Landelijk netwerk van Circulaire BouwHubs, <https://bouwcirculair.nl/nieuws/2021-2-23-landelijk-netwerk-van-circulaire-bouwhubs-lees-verder/>.
14. Cossu, R., and Williams, I., Urban mining: concepts, terminology, challenges, *Waste Management* 45, pp. 1-3, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>.
15. BAMB, Buildings as Material Banks. <https://www.bamb2020.eu/>.
16. Lukianova, T., Kayaçetin, C., Lefevre, L., Versele, A., & Klein, R., BIM-based circular building assessment and design for demountability, CLIMA 2022 Conference. <https://doi.org/10.34641/clima.2022.291>
17. Panjwani, S., Building asset valuation in a circular ecosystem: A guide to circular trading and procurement. MSc thesis, 31 Jan 2023, Eindhoven University of Technology.
18. Metabolic. On the journey to a circular economy, don't forget your materials passport. <https://www.metabolic.nl/news/circular-economy-materials-passports/>.
19. Elsevier ScienceDirect. Design for Disassembly. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/design-for-disassembly>.
20. Circl. Toekomst van Circl: De volgende stap. <https://circl.nl/verdieping/toekomst-van-circl-de-volgende-stap>.
21. DC Systems. Circl Pavilion Amsterdam. <https://www.dc.systems/projects/circl-pavilion-abn-amro>.
22. Ellsworth-Krebs, K., Rampen, C., Rogers, E., Dudley, L., and Wishart, L., Circular economy infrastructure: Why we need track and trace for reusable packaging, *Sustainable Production and Consumption* 29: 249-258, January 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235255092100289X>.
23. De Groot Vroomshoop, Houtmodulebouw, <https://www.degrootvroomshoop.nl/bouwsystemen/houtmodulebouw/>.
24. De Meeuw, Flexibel bouwen, <https://www.demeeuw.be/over-ons/flexibel-bouwen/>.
25. De Meeuw, De Alliantie - Karmijn, <https://www.demeeuw.com/projecten/de-alliantie-karmijn/>.
26. NMD, De Nationale Milieu Databank – het fundament voor duurzame bouw. <https://milieudatabase.nl/en/>.