

Real Estate Research Quarterly

Circulaire economie

Voorwoord

Hilde Remøy

Het Nieuwe Normaal: het meten van circulariteit in de bouw

Hans Wamelink en Tomas Peeters

From vision to action:

An integrative approach for circular adaptive reuse

Brian van Laar, Mohammad B. Hamida and Angela Greco

Hergebruik van bouwcomponenten door matching van demontage en ontwerp

Ana Luísa Martins da Conceição van Nieuwenhuizen, Marc van den Berg en Vincent Gruis

Circular Renovation of Aged Educational Buildings: Context and Necessities for Transformation in The Netherlands

Fujing Ma, Torsten Schröder and Juliette Bekkering

Industrieel erfgoed (her)bestemd – het faciliteren van de circulaire maakindustrie

Christiaan Hanse

COLOFON

Real Estate Research Quarterly signaleert nieuwe ontwikkelingen in de wetenschapsgebieden die relevant zijn voor de vastgoedsector. Daarnaast worden in Real Estate Research Quarterly wetenschappelijke inzichten toegepast om aanbevelingen te doen voor commerciële vastgoedpartijen, overheden, maatschappelijke instellingen en vastgoedopleidingen.

Real Estate Research Quarterly biedt een podium voor analyses en discussie die kunnen bijdragen aan de verdere ontwikkeling van de vastgoedsector. Real Estate Research Quarterly is een onafhankelijke uitgave van VOGON. De uitgave wordt mede mogelijk gemaakt door bijdragen van sponsors die op de achterzijde staan vermeld.

REDACTIEADRES

Real Estate Research Quarterly
per adres Amsterdam School of Real Estate
Jollemanhof 5
1019 GW Amsterdam
tel. 020-6681129
e-mail redactie@vogon.nl

HOOFDREDACTIE

Madeline Buijs Msc (Colliers)

REDACTIE

drs. Jeroen Beimer MBA (Bouwinvest)
drs. Kaj Deana (IBOX)
dr. Dorinth van Dijk (DNB)
drs. Bart Louw (Amvest)
dr. Ioulia Ossokina (TU Eindhoven)
dr. Huub Ploegmakers (Radboud Universiteit)
prof. dr. Hilde Remøy (TU Delft)
prof. dr. Jan Rouwendal (VU Amsterdam)
drs. Leo Uittenbogaard (Amsterdam School of Real Estate)
Johannes van Bentum (eindredactie)

RAAD VAN ADVIES

prof. dr. Tom Berkhout (Nyenrode Business University)
prof. dr. Dorien Manting (Universiteit van Amsterdam en PBL)
drs. Roel van de Bilt (DEBTA)
drs. Cor Worms

VORMGEVING EN DRUKWERK

Jubels bv, Amsterdam
www.jubels.nl

Real Estate Research Quarterly wordt toegestuurd aan de leden van VOGON.

ISSN 1570-7814

Voorwoord

Dit themanummer presenteert onderzoek naar de toepassing van de principes van de circulaire economie in de bouw. De bouw en exploitatie van de gebouwde omgeving hebben een aanzienlijke impact op het milieu, voornamelijk door het grote aandeel in grondstoffenverbruik, afvalproductie en uitstoot van broeikasgassen. In Nederland is de bouwsector verantwoordelijk voor 40% van het nationale energieverbruik en 30% van de afvalproductie, wat de dringende noodzaak benadrukt voor duurzamere praktijken en de implementatie van de principes van de circulaire economie (van Oorschot et al., 2023).

Om de grote milieu-impact te verkleinen heeft Nederland de ambitie om voor 2050 volledig circulair te zijn. Het ambitieuze Nationaal Programma Circulaire Economie maakt het voor de bouwsector noodzakelijk om circulaire bouwstrategieën en -praktijken te adopteren om aan deze duurzaamheidsdoelstellingen te voldoen (Joensuu et al., 2020). De overgang naar een circulaire economie kan de milieu-impact aanzienlijk verminderen door de levenscyclus van gebouwen en hun materialen te verlengen door hergebruik, recycling en het verminderen van grondstoffenwinning en door afvalproductie te bevorderen en biobased-materialen te gebruiken (Malabi Eberhardt et al., 2021).

Het Nieuwe Normaal: het meten van circulariteit in de bouw

Dit artikel van Hans Wamelink en Tomas Peeters bespreekt hoe de ambitie om in 2050 volledig circulair te zijn vorm krijgt in de praktijk. Het beschrijft de ontwikkeling van een raamwerk dat verschillende circulaire indicatoren integreert, specifiek ontwikkeld voor en door de Nederlandse bouwsector: Het Nieuwe Normaal (HNN), als 1.0 versie gelanceerd in december 2023.

From vision to action: An integrative approach for circular adaptive reuse

Brian van Laar, Mohammad B. Hamida en Angela Greco schreven dit artikel naar aanleiding van onderzoek aan de TU Delft. Circulaire transformatie kan worden ingezet om verouderde panden aan te pakken en de waarde ervan te verhogen, terwijl energiegebruik en afvalproductie worden gereduceerd en minder nieuwe grondstoffen nodig zijn. Het bij elkaar brengen van visionaire hergebruikscenario's en ontwerpstrategieën blijft echter een uitdaging. Dit artikel presenteert een aanpak om systematisch circulaire vastgoedsenario's te definiëren en deze te vertalen naar uitvoerbare strategieën.

Hergebruik van bouwcomponenten door matching van demontage en ontwerp

Ana Luísa Martins da Conceição van Nieuwenhuizen, Marc van den Berg en Vincent Gruis brengen in dit artikel hergebruik van gebouwniveau terug tot componentenniveau. Het matchen van vraag en aanbod van herbruikbare componenten blijft een uitdaging. Samenwerking tussen slopers en ontwikkelaars kan hierbij helpen. Met een casestudie is een samenwerking onderzocht waarbij een nieuw 'doelgebouw' wordt ontwikkeld met herbruikbare componenten van een 'donorgebouw'.

Circular Renovation of Aged Educational Buildings: Context and Necessities for Transformation in the Netherlands

Dit artikel van Fujing Ma, Thorsten Schröder en Juliette Bekkering focust op de circulaire renovatie van scholen en stelt een circulaire aanpak voor om levenscycli van gebouwen te verlengen, afval en uitstoot van broeikasgassen te verminderen en educatieve omgevingen te verbeteren. Circulai-

re renovatie actualiseert educatieve gebouwen en bevordert duurzaamheid in de bouwsector, wat essentieel is voor toekomstige ontwikkeling.

Industrieel erfgoed (her)bestemd – het faciliteren van de circulaire maakindustrie

Dat bestaand vastgoed ook een rol kan spelen om de circulaire economie juist te faciliteren, beschrijft Christiaan Hanse in dit artikel. Duidelijk wordt dat transformatie van stedelijk industrieel erfgoed ruimte kan bieden aan circulaire maakindustrie van diverse schaalgroottes en sectoren. Dit levert vervolgens een bijdrage aan de (toekomstige) circulaire economie in steden.

Namens de redactie,

Hilde Remøy

BRONNEN

- Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>
- Malabi Eberhardt, L. C., van Stijn, A., Kristensen Stranddorf, L., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2021). Environmental Design Guidelines for Circular Building Components: The Case of the Circular Building Structure. *Sustainability*, 13(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/su13105621>
- van Oorschot, J., Sprecher, B., Rijken, B., Witteveen, P., Blok, M., Schouten, N., & van der Voet, E. (2023). Toward a low-carbon and circular building sector: Building strategies and urbanization pathways for the Netherlands. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 535–547. <https://doi.org/10.1111/jiec.13375>

Het Nieuwe Normaal:

het meten van circulariteit in de bouw

De Nederlandse overheid heeft als doel gesteld om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren, waarin primair grondstofgebruik en afvalproductie worden geminimaliseerd. De bouwsector speelt door het intensieve materiaalgebruik een cruciale rol in deze transitie. Dit artikel bespreekt hoe deze ambitie vorm krijgt in de praktijk en beschrijft de ontwikkeling van een raamwerk dat verschillende circulaire indicatoren integreert, specifiek ontwikkeld voor en door de Nederlandse bouwsector: Het Nieuwe Normaal (HNN), als 1.0 versie gelanceerd in december 2023, gevolgd door de 1.1 versie in december 2024.

Hans Wamelink en Tomas Peeters

EEN GEDRAGEN STANDAARD

De transitie naar een circulaire bouwsector verloopt niet zonder uitdagingen. Hoewel er in het afgelopen decennium al diverse bouwprojecten op circulaire wijze zijn gerealiseerd, blijft de opschaling naar een volledig circulaire sector de volgende grote stap. Veel pilots richten zich op specifieke aspecten van circulariteit. Deze projecten tonen ook aan dat de verschillende actoren binnen het bouwproces uiteenlopende visies en interpretaties hebben van wat circulariteit precies inhoudt. Om deze kloof te overbruggen, sloegen in 2019 een groep van grote opdrachtgevers, grote opdrachtnemers, adviesbureaus en de TU Delft de handen ineen. Hun doel was het in samenwerking en op een transparante manier ontwikkelen van een gezamenlijke taal voor circulariteit, zodat alle betrokkenen op een eenduidige manier naar dit concept kijken en ermee werken. Dit laatste betekent ook dat HNN het mogelijk diende te maken dat circulariteit meetbaar werd gemaakt op gebouwniveau, zodat opdrachtgevers met de ontwikkelde taal ook ambities kunnen vastleggen en opdrachtnemers in staat worden gesteld deze ambities te realiseren en/of te laten zien wat het circulaire niveau van hun producten en/of bouwprojecten is.

Kortom, de ontwikkeling van Het Nieuwe Normaal (HNN) diende te leiden tot:

- Een eenduidige taal voor opdrachtgevers en opdrachtnemers die circulair willen bouwen,
- Een raamwerk met circulaire indicatoren, waar-

mee door opdrachtgevers en opdrachtnemers gestuurd kan worden op de circulaire prestaties van bouwprojecten,

- Een overzicht van haalbare én ambitieuze prestaties, waarmee opdrachtgevers en opdrachtnemers afspraken kunnen maken over circulair bouwen in aanbestedingen en projecten.

Deze doelen zijn uitgewerkt in het meerjarige programma 'Samen Versnellen' dat is ingebed in Cirkelstad, een netwerkorganisatie voor een circulaire en inclusieve bouwsector. In dit programma is een brede groep opdrachtgevers, opdrachtnemers, beleidsmakers en advies- en kennisinstellingen betrokken (Cirkelstad, 2024).

De kern van het project Samen Versnellen was het ontwikkelen van het raamwerk van HNN. Tegelijkertijd zijn er vanuit de uitgevoerde activiteiten brede positieve effecten voortgekomen voor de transitie naar een circulaire bouw:

1. Bij het vaststellen van de ambitieniveaus voor de verschillende indicatoren waren uitgebreide evaluaties van ontwikkel- en bouwprojecten onmisbaar. Deze evaluaties zijn uitgevoerd door ervaren adviesbureaus, wat niet alleen een grote hoeveelheid gegevens ter onderbouwing van HNN opleverde, maar ook leidde tot waardevolle gesprekken met betrokken partijen in deze projecten. Op die manier werd kennis uitgewisseld en overgedragen aan verschillende spelers binnen de sector.

2. De data die tijdens de projectevaluaties zijn opgehaald, betreffen niet alleen (kwantitatieve) informatie over de circulaire ambitieniveaus, maar hebben ook een schat aan (kwalitatieve) informatie opgeleverd over de interventies die nodig zijn om circulariteit te bevorderen. In een paralleltraject, het (NWO) TranCiBo-project, zijn de bevindingen uit deze evaluaties verder onderzocht, zoals de barrières die de transitie belemmeren (Kooter e.a., 2021), de manieren waarop circulariteit kan worden versneld (van Uden e.a., 2024), en de verschillende tools die beschikbaar zijn om interventies (Eikelenboom & van Marrewijk, 2023) te ondersteunen (Interventie Toolbox, 2024).

Het vervolg van dit artikel richt zich op specifiek op één aspect van de ontwikkeling van HNN: het meetbaar maken van circulariteit. Hierbij wordt de totstandkoming van de leidraad HNN Gebouw voor nieuwbouw in de Burgerlijke- en Utiliteitsbouw (B&U) besproken (Verhulst e.a., 2023). In aanvulling hierop is er een leidraad HNN Infra voor circulaire infrastructuur en is er een leidraad HNN Gebied voor circulaire gebiedsontwikkelingen. Deze zijn op vergelijkbare wijze tot stand gekomen.

HET METEN VAN CIRCULARITEIT IN BOUW EN VASTGOED

Bij de transitie naar een circulaire economie in de bouwsector komen enkele cruciale vragen naar voren: hoe kunnen we de mate van circulariteit van bouwprojecten op een betrouwbare manier meten en hoe beoordelen we of we onze ambitieuze doelen daadwerkelijk realiseren? Daarnaast rijst de vraag hoe we voor de bouwsector ons pad richting 2050 (een volledig circulaire economie) kunnen monitoren en de voortgang van onze circulaire ambities effectief in kaart kunnen brengen.

Objectieve meetmethoden en indicatoren zijn onmisbaar voor zowel gebouweigenaren en ontwerpers als beleidmakers. Voor ontwerpers zijn meetmethoden essentieel om de effecten van circulaire ontwerpstrategieën te kunnen evalueren en hierop het ontwerp te kunnen aanpassen. Voor beleidmakers biedt het meten van circu-

lariteit een middel om trends in de markt te volgen en te beoordelen of beleidsdoelen worden gehaald. Zonder een duidelijke set meetbare indicatoren is het onmogelijk om gefundeerde beslissingen te nemen over welke maatregelen daadwerkelijk bijdragen aan de transitie naar een circulaire economie. Daarom is de ontwikkeling van objectieve indicatoren die circulariteit meten van groot belang.

In Nederland is al veel werk verzet op dit gebied. Diverse initiatieven en netwerkorganisaties, zoals Platform CB'23 en Cirkelstad, zijn actief betrokken bij het opstellen van leidraden en het ontwikkelen van indicatoren voor circulair bouwen. De in 2022 gepubliceerde Leidraad Meten van Circulariteit door Platform CB'23 (Platform CB'23, 2022) introduceerde zes indicatoren om de circulariteit van bouwwerken te bepalen. Deze indicatoren bieden een overzicht van verschillende aspecten van circulariteit en worden bewust niet samengevoegd tot één enkele score. Dit is omdat het integrale beeld van circulariteit complex is en niet adequaat kan worden samengevat in één getal.

Hoewel deze indicatoren nuttig zijn, is de praktische toepassing ervan nog uitdagend. Zoals Platform CB'23 zelf aangeeft, zijn de meetmethoden nog niet eenvoudig in de praktijk te implementeren en daarom vaak niet direct toepasbaar in bijvoorbeeld aanbestedingsprocessen. Op Europees niveau is het Level(s) raamwerk ontwikkeld, dat duurzaamheid van gebouwen als scope heeft (European Commission, 2021). Level(s) is bedoeld als taal voor het proces van initieel ontwerp tot aan ingebruikneming van een woon- of kantoorgebouw. Het raamwerk bestaat uit een levenscyclusanalyse (LCA) en 16 indicatoren, verdeeld over zes duurzaamheidsdoelstellingen. Deze doelstellingen variëren van het beperken van de uitstoot van broeikasgassen en het efficiënt gebruik van water tot gezonde gebouwen en klimaatadaptatie. Dit raamwerk is door de Europese Commissie aangewezen als basis voor prestaties op duurzaam bouwen, diverse andere richtlijnen en wetten verwijzen naar individuele Level(s)-indicatoren (de Hoog & Peeters, 2024).

Een ander bekend raamwerk is de Material Circularity Indicator (MCI) van de Ellen MacArthur Foundation (2015). Dit raamwerk is niet specifiek ontwikkeld voor het meten van circulariteit in de bouwsector.

De wetenschappelijke literatuur biedt nog geen eenduidige antwoorden op de vraag welke indicatoren de mate van circulariteit van gebouwen goed beschrijven en meetbaar zijn. Khadim (2022) heeft een uitgebreide literatuurreview

naar bestaande indicatoren gedaan en benadrukt de complexiteit van het meten van circulariteit. Hij ontdekte in de literatuur 35 verschillende indicatoren, variërend van materiaalstromen en CO₂-uitstoot tot adaptief vermogen en de herbruikbaarheid van bouwmaterialen (zie tabel 1). Ook blijkt uit deze review dat Nederland vooroploopt in de ontwikkeling van circulaire indicatoren, met 21 artikelen die specifiek ingaan op de Nederlandse praktijk, tegenover 30 artikelen uit 14 andere landen. Toch is er nog veel werk te ver-

TABEL 1 ► RAAMWERKEN EN INDICATOREN VOOR METEN CIRCULARITEIT

Acroniem	Methode	Sector	Gepubliceerd door	Van toepassing op
Level(s)	Level(s)	Overheid	Europese Commissie	Woon- en kantoorgebouwen
BCI	Building Circularity Indicator	Academisch, adviesbureau	Universiteit Twente	Alle type gebouwen, funderingen en bruggen
BCIDR	Building Circularity Indicator (Disassembly Reconsidered)	-	Technische Universiteit Eindhoven	
BBCA	BIM Based Building Circularity Assessment	-	-	
MAC	Modified Alba Concept (For foundations)	-	Technische Universiteit Delft	
ACBCI	Alba Concepts BCI	-	Alba Concepts	
MBCI	Modified Building Circularity Indicator	-	Resources, Conservation and Recycling	
PBCI	Predictive Building Circularity Model	-	-	
CIPB	Circularity Indicator for Pedestrian Bridges	-	International Winter Conferences 2020, Tignes, Frankrijk	
ARCHCEIF	ARCH Circular Environmental Indicator Framework	Academisch	Environmental Sciences Europe	Bestaande ARCH gebouwen
MAD-CI	MADASTER Circularity Indicator	Adviesbureau	MADASTER	Alle type gebouwen
FLEX	FLEX (Ver 1.0, 2.0, 3.0 & 4.0)	Academisch	Technische Universiteit Delft	Algemene-, kantoor- en schoolgebouwen
MCI	Material Circularity Indicator	Adviesbureau, goed doel	Ellen MacArthur Foundation / Granta Design	Materialen
CEMS	Circular Economy Measurement Scale	Academisch	Sustainability (Zwitserland)	Bouwbedrijven
CES	Circular Economy Scale	Academisch	Journal of EU Research in Business	
CBMCI	Circular Business Models (CBM) Based Circularity Indicator	Academisch	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Alle type gebouwen
MCI	Material Circularity Indicator for Construction	Academisch	Universiteit Twente	Bouwproducten
IEPC	Integrated Energy Performance and Circularity	Academisch	Technische Universiteit Delft	Nieuwe gebouwen
BBWPE	BIM-based Whole-life Performance Estimator (BWPE)	Academisch	Resources, Conservation and Recycling	Draagconstructies
BCAF	Bridge Circularity Assessment Framework	Academisch	Journal of Industrial Ecology	Bruggen
SEEI	Synthetic Economic Environmental Indicator	Academisch	Buildings	Bestaande gebouwen
GEOLMI	Gypsum End of Life Measurement Indicator	Academisch	Waste and Biomass Valorization	Materiaal (gips)
RIPAT 1.0	RIPAT 1.0	Academisch	Arquitetura Revista	Historisch erfgoed
FCB	Framework for Circular Buildings	Adviesbureau	Circle-economy.com	Alle type gebouwen
PCB	Platform CB' 23	Adviesbureau	Platform CB'23	Alle type gebouwen
CC	Circularity Calculator	Adviesbureau	IDEAL & CO Explore	Generiek
CBAP	Circular Building Assessment Prototype	EU project	BAMB, Europese Unie Horizon 2020	Alle type gebouwen
C-CALC	C-CALC	Adviesbureau	CENERGIE	Alle type gebouwen
Cirulytics	Cirulytics	Goed doel	Ellen MacArthur Foundation	Bedrijven
CACE	Circular Assessment Criteria for Envelope	Academisch	Sustainable Cities and Society	Bouwenvelop
CCEF	Circular Construction Evaluation Framework	Academisch	Journal of Cleaner Production	Alle type gebouwen

Vertaald uit Khadim e.a., 2022

richten voordat er een standaardmethode is voor het meten van circulariteit. De wetenschappelijke consensus ontbreekt en de ontwikkeling van indicatoren is vooral praktijkgedreven in plaats van theoretisch onderbouwd

Khadim e.a. (2022) concludeert verder dat de meeste indicatoren gericht zijn op materiaalstromen en dat daarnaast losmaakbaarheid, adaptief vermogen en hergebruik vaak worden gehanteerd als indicator. Tenslotte constateert hij dat de indicatoren nu nog niet volwassen genoeg zijn. Hierdoor is het vertrouwen in de indicatoren onder bouwpartijen en beleidsmakers op dit moment beperkt. Het is de bedoeling van HNN om met een overzichtelijke set van indicatoren en onderliggende meetmethoden bij te dragen aan het creëren van vertrouwen en de genoemde barrière te slechten.

HET NIEUWE NORMAAL: EEN RAAMWERK VOOR CIRCULAIR BOUWEN

Het Nieuwe Normaal (HNN) is ontwikkeld om de in de vorige paragraaf genoemde hiaten te vullen en de Nederlandse bouwsector een praktisch handvat te bieden voor circulair bouwen (zie Peeters e.a., 2023). Tijdens de ontwikkeling van het HNN in de afgelopen jaren werd duidelijk dat er keuzes moesten worden gemaakt over de scope van het raamwerk. Hierbij is de keuze gevallen op de materialen- en grondstoffentransitie, omdat hierop door wetgeving beperkt wordt gestuurd en daardoor op dit vlak de meeste milieuwinst valt te behalen. Natuurlijk is circulair bouwen een integraal vraagstuk en daarom wordt de duurzame context (rondom energie, water en stikstof) ook benoemd in HNN. Ook worden versnellers meegenomen, die op sociale en managementthema's ingaan.

Een belangrijk uitgangspunt van het HNN is dat het gebruikmaakt van bestaande meetmethoden. Het doel was om geen nieuwe methoden te ontwikkelen, maar om bestaande meetmethoden op een pragmatische manier te integreren in een coherent raamwerk. Het fundament van dit raamwerk zijn de drie circulaire thema's zoals

gedefinieerd door Platform CB'23 (2022). Deze thema's vormen de kern van HNN en worden in het raamwerk verder uitgewerkt in onderliggende indicatoren. Een uitgebreide onderbouwing van de gekozen indicatoren en bijbehorende prestatieniveaus voor verschillende gebouwtypologieën is te vinden in Peeters e.a. (2023).

Zoals hierboven benoemd is het meten van circulariteit zowel in de praktijk als in de wetenschappelijke literatuur nog in ontwikkeling. Dit is meegenomen bij de ontwikkeling van het raamwerk door de indicatoren te classificeren:

- Bij een Standaard (S) is de meet- of bepalingmethode duidelijk en breed geaccepteerd en is er voldoende data uit de praktijk beschikbaar om een ambitieuze en tegelijkertijd haalbare norm te bepalen.
- Bij een Indicatie (I) is de meet- of bepalingmethode nog niet breed geaccepteerd of nog in ontwikkeling en is er niet voldoende data uit de praktijk beschikbaar.
- Bij Begrip (B) is er nog géén gedragen meet- of bepalingmethode en worden kwantitatieve of kwalitatieve inzichten verzameld voor verdere ontwikkeling.

Door deze methodologie te hanteren, biedt HNN een flexibele benadering voor circulair bouwen. Indicatoren kunnen evolueren van een 'Begrip' naar een 'Standaard' naarmate de methoden volwassen worden en er meer gegevens beschikbaar komen. Dit maakt het mogelijk om continu te verbeteren en tegelijkertijd praktijkervaringen te integreren in de evaluatie van projecten.

DE DRIE THEMA'S VAN HET NIEUWE NORMAAL

HNN is gestructureerd rond drie hoofdthema's, zoals gedefinieerd door Platform CB'23 (2022):

1. **Milieu-impact - Beschermen van het milieu:** Dit thema gaat over het minimaliseren van de negatieve impact van bouwprocessen op het milieu door middel van indicatoren die CO₂-uitstoot, CO₂-opslag en milieukosten meten.
2. **Materiaalgebruik - Beschermen van materiaalvoorraden:** Dit thema richt zich op het minimaliseren van het gebruik van primaire grond-

FIGUUR 1 ► RAAMWERK HNN GEBOUW (ZONDER PRESTATIENIVEAUS)

Milieu-impact			
🏠 Milieuprestatie Gebouw (MPG) ^{1,2}	Standaard	€MKI / m² BVO / jaar	Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken
📉 Materiaalgebonden CO ₂ -uitstoot ³	Standaard	kg CO ₂ -eq / m² BVO	Rekenmethodiek <i>Paris Proof</i>
🏠 Materiaalgebonden CO ₂ -opslag	Indicatie	ton CO ₂ -eq	Bepalingsmethode <i>koolstofvastlegging biobased materialen</i>
Materiaalgebruik			
🏠 Herkomst materialen	Standaard	% massa hernieuwbaar, hergebruikt, gerecycled	CB'23 leidraad <i>Metten van Circulariteit</i> (v3.0)
🏠 Gezonde materialen	Begrip	Aantal gecertificeerde producten	Certificaten (o.a. <i>Material Health Certificate</i> , <i>Natureplus</i>)
🏠 Omgang restmateriaal bouw	Begrip	-	Inventarisatie materiaalstromen & aantoonbare afspraken
Waardebehoud			
🏠 Adaptief vermogen	Indicatie	%	<i>Methode Adaptief Vermogen Gebouwen</i>
🏠 Losmaakbaarheid	Standaard	%	<i>Circular Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid</i> (v2.0)
🏠 Hergebruikpotentie	Indicatie	% massa recycling, hergebruik	Verwerkingsscenario einde levensduur (EPD, fase C3 - C4)

Verhulst e.a. 2023

stoffen, het creëren van een gezonde leef-omgeving en het minimaliseren van rest-stromen.

3. Waardebehoud - Beschermen van bestaande waarde: Dit thema benadrukt het belang van het behouden van de waarde, kwaliteit en functionaliteit van gebouwen en gebouw-onderdelen gedurende hun levensduur, zodat ze in de toekomst kunnen worden aangepast, hergebruikt of gedemonteerd zonder dat waarde verloren gaat.

De drie thema's vormen de kern van het raamwerk van Het Nieuwe Normaal en zijn uitgewerkt in specifieke indicatoren die binnen de drie thema's vallen. In figuur 1 is het raamwerk voor HNN Gebouw weergegeven, in aanvulling hierop zijn ook raamwerken opgesteld voor HNN Infra en HNN Gebied.

In figuur 1 zijn niet alleen de indicatoren per thema opgenomen, maar ook een kolom met de eenheid waarin de indicator wordt gemeten en de methode waarmee dit gebeurt. Met andere woorden: hoe wordt de indicator gemeten en welke waarde is eraan gekoppeld?

Thema 1: Beschermen van het milieu

Onder het thema milieu-impact vallen drie indicatoren die helpen bij het beschermen van het milieu gedurende de levenscyclus van een gebouw. Deze indicatoren bieden handvatten om de negatieve impact van bouwmaterialen en -processen te beperken, positieve impact door CO₂-opslag inzichtelijk te maken en de CO₂-uitstoot te minimaliseren.

De **Milieuprestatie Gebouw (MPG)** is een indicator die de milieubelasting van een gebouw meet gedurende de gehele levenscyclus. Deze belasting wordt uitgedrukt in kosten per vierkante

meter per jaar (€MKI/m²/jaar). De MPG-score is in Nederland wettelijk verplicht en maakt deel uit van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). De MPG-indicator is gebaseerd op de levenscyclusanalysemethodiek (Life Cycle Assessment, LCA) en telt de milieu-impact op voor alle bouwproducten die in een bouwwerk worden verwerkt en de daarbij komende bouwprocessen over de gehele levensduur van het bouwwerk. In de Nationale Milieudatabase (NMD) staan milieuprofielen van deze bouwproducten die de milieu-impact in €MKI van 11 (in de toekomst: 19) milieu-impactcategorieën in de verschillende fasen bepaalt en per module opgeeft. De NMD wordt beheerd door de Stichting Nationale Milieu Database (2023).

Naast de MPG richt HNN zich specifiek op de **materiaalgebonden CO₂-uitstoot**. Deze indicator meet de CO₂-uitstoot die vrijkomt tijdens de productie van bouwmaterialen en de bouwfase zelf. Door expliciet te sturen op deze indicator van CO₂-uitstoot op korte termijn, kunnen bouwprojecten bijdragen aan de doelstellingen van het Parijsakkoord om de wereldwijde opwarming te beperken. Hoewel de MPG helpt om de ecologische impact in bredere zin te meten, is het sturen op CO₂-uitstoot cruciaal om kortetermijneffecten op het klimaat te beperken. De prestatieniveaus van materiaalgebonden CO₂-uitstoot worden gemeten in overeenstemming met de Paris Proof-methodiek van de Dutch Green Building Council (DGBC).

De **materiaalgebonden CO₂-opslag** is een aanvullende indicator die een positieve bijdrage aan de circulaire economie kan leveren. Hierbij wordt gekeken naar de vastlegging van CO₂ in materialen als hout of vezelgewassen. Het bevorderen van het bouwen met natuurlijke materialen die CO₂ opslaan in plaats van uitstoten, is een belangrijke maatregel om de ecologische voetafdruk van gebouwen te verkleinen. Dit kan op lange termijn een groot verschil maken in de totale milieubelasting van bouwprojecten.

Thema 2: Beschermen van materiaalvoorraden

Het tweede thema van HNN richt zich op het beschermen van materiaalvoorraden. Dit wordt gedaan door hergebruikt en het gebruik van hernieuwbare en gerecyclede materialen te stimuleren, te sturen op gezonde materialen en door reststromen te minimaliseren en eventueel rest-materiaal slim te benutten.

Binnen het thema materiaalgebruik is de **herkomst van materialen** een belangrijke indicator, waarbij het doel is zoveel mogelijk hergebruikte, gerecyclede of biobased materialen te gebruiken en daarmee het gebruik van primaire, niet-hernieuwbare grondstoffen te beperken. Materialen die lokaal beschikbaar zijn of afkomstig zijn uit hergebruikte bronnen hebben de voorkeur.

Een ander belangrijk aspect van materiaalgebruik is de focus op **gezonde materialen**. Gezonde materialen zijn materialen die geen toxische stoffen bevatten voor mens en milieu. Het gebruik van deze materialen draagt bij aan een gezondere leef- en werkomgeving en minimaliseert de gezondheidsrisico's die samenhangen met toxische stoffen als vluchtige organische stoffen en asbest. De toepassing van gezonde materialen kan leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit in gebouwen en heeft positieve effecten op het welzijn van de bewoners. Dit sluit aan bij de bredere duurzaamheidstrend waarbij niet alleen de impact op het milieu wordt gemeten, maar ook het welzijn van mensen centraal staat.

De derde indicator onder het thema materiaalgebruik is de **omgang met restmateriaal** dat vrijkomt tijdens het bouwproces. Primaire doel is het überhaupt voorkomen van reststromen en als dit onvermijdelijk is, moet op verantwoorde manier worden omgegaan met de vrijkomende materialen door deze te hergebruiken of te recyclen.

Thema 3: Beschermen van bestaande waarde

Het derde thema binnen HNN richt zich op het behouden van waarde binnen de gebouwde omgeving. Waardebehoud betekent dat gebouwen zo worden ontworpen en gebouwd dat ze flexi-

bel blijven en over de tijd hun waarde behouden. Dit wordt gerealiseerd door adaptief vermogen, losmaakbaarheid en hergebruikpotentie te bevorderen.

Adaptief vermogen verwijst naar de mate waarin een gebouw kan worden aangepast aan veranderende omstandigheden of behoeften zonder ingrijpende renovaties of sloop. Dit kan bijvoorbeeld gaan om het omzetten van een kantoorruimte naar een woonruimte, of het eenvoudig toevoegen of verwijderen van binnenmuren. Het vergroten van het adaptief vermogen van gebouwen draagt bij aan het behoud van waarde, omdat gebouwen langer functioneren zonder dat grote investeringen nodig zijn.

De **losmaakbaarheid** van een gebouw of onderdeel daarvan heeft te maken met het vermogen om een gebouw eenvoudig te demonteren zonder verlies van materiaalwaarde. Losmaakbaarheid speelt een sleutelrol in het bevorderen van hergebruik van bouwmaterialen of -elementen. Bovendien is een losmaakbaar gebouw makkelijker te onderhouden. Losmaakbaarheid moet worden meegenomen in het ontwerpproces van een gebouw. Dit betekent dat verbindingen tussen materialen en componenten eenvoudig en niet-destructief demonteerbaar moeten zijn en dat er zoveel mogelijk met modulaire bouwmethoden wordt gewerkt. Hierdoor kunnen gebouwelementen aan het einde van de levenscyclus van een gebouw opnieuw worden gebruikt.

De **hergebruikpotentie** van materialen is nauw verbonden met losmaakbaarheid en adaptief vermogen. Het gaat om de mogelijkheid om bouwmaterialen opnieuw te gebruiken in andere projecten, waardoor de levenscyclus van materialen wordt verlengd en nieuwe grondstoffen worden bespaard. Het verhogen van de hergebruikpotentie kan worden bereikt door het selecteren van duurzame materialen en door te ontwerpen met het oog op toekomstige demontage. HNN stelt prestatieniveaus voor op basis van hoeveel van het oorspronkelijke gebouw of materiaal in nieuwe projecten kan worden toegepast.

Dit sluit aan bij het bredere doel van circulariteit, waarbij de waarde van materialen zoveel mogelijk behouden blijft.

HAALBAAR EN TEGELIJKERTIJD AMBITIEUS

Nu de belangrijkste indicatoren voor het evalueren van circulariteit zijn vastgesteld, rijst een belangrijke vervolgvraag: wat zijn de waarden die we aan deze indicatoren dienen te hangen? Wat duidt op een hoog niveau van circulariteit en wat wordt beschouwd als laag? In de praktijk vragen vooral beleidsmakers en opdrachtgevers in de bouwsector zich af wat realistisch haalbaar is en waartoe ze opdrachtnemers kunnen uitdagen.

De prestatieniveaus van indicatoren binnen HNN Gebouw zijn primair gebaseerd op kwantitatieve gegevens uit de eerdergenoemde projectevaluaties, die sinds 2020 binnen het Samen Versnellen project zijn uitgevoerd. Daarnaast zijn aanvullende databronnen gebruikt, waaronder data van Samen Versnellen-partners als de gemeenten Rotterdam en Amsterdam, Heijmans en Metabolic en de BCI Gebouw-database van Alba Concepts. Deze database bevat circulaire gegevens als materiaalgebruik en losmaakbaarheid van diverse bouwprojecten. Op basis van deze gecombineerde gegevens is een analyse uitgevoerd die de prestatieniveaus van HNN ondersteunt. Het resultaat is weergegeven in figuur 2.

Het vaststellen van haalbare en tegelijkertijd ambitieuze waarden die door de markt kunnen worden gehanteerd is niet gemakkelijk. Het is pas ambitieus wanneer uit de projectmetingen blijkt dat een bepaalde waarde bijna nooit voorkomt. Haalbaar betekent juist dat de waarde in bijna alle projectevaluaties wordt behaald. Welke waarde is dan zowel haalbaar als ambitieus? Mede omdat met de verzamelde dataset wordt teruggekeken in de tijd en de sector stappen blijft zetten richting duurzaamheid is ervoor gekozen om prestatieniveaus in HNN Gebouw te baseren op het eerste kwartiel van een boxplot. Het eerste kwartiel betekent dat 25% van de datapunten zoals verzameld uit de gerealiseerde projecten een hogere score heeft en 75% een lagere score heeft.

FIGUUR 2 ► PRESTATIENIVEAUS HNN-GEBOUW

Indicator	Categorie	Prestatieniveaus: HNN Gebouw 1.0 Nieuwbouw			Eenheid	Methode
		Woningbouw grondgebonden	Woningbouw gestapeld	Utiliteitsbouw kantoren		
Milieu-impact						
 Milieuprestatie Gebouw (MPG) ^{1,2}	Standaard	≤0,45	≤0,50	≤0,70	€MKI / m² BVO / jaar	Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken
 Materiaalgebonden CO ₂ -uitstoot ³	Standaard	≤200	≤240	-	kg CO ₂ -eq / m² BVO	Rekenmethodiek Paris Proof
 Materiaalgebonden CO ₂ -opslag	Indicatie	-	-	-	ton CO ₂ -eq	Bepalingsmethode koolstofvastlegging biobased materialen
Materiaalgebruik						
 Herkomst materialen	Standaard	≥25%	≥20%	≥25%	% massa hernieuwbaar, hergebruikt, gerecycled	CB'23 leidraad Meten van Circulariteit (v3.0)
 Gezonde materialen	Begrip	-	-	-	Aantal gecertificeerde producten	Certificaten (o.a. Material Health Certificate, Natureplus)
 Omgang restmateriaal bouw	Begrip	-	-	-	-	Inventarisatie materiaalstromen & aantoonbare afspraken
Waardebehoud						
 Adaptief vermogen	Indicatie	-	-	≥40%	%	Methode Adaptief Vermogen Gebouwen
 Losmaakbaarheid	Standaard	≥55%	≥50%	≥55%	%	Circular Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid (v2.0)
 Hergebruikpotentie	Indicatie	-	-	-	% massa recycling, hergebruik	Verwerkingsscenario einde levensduur (EPD, fase C3 - C4)

1. De Milieuprestatie Gebouw prestatieniveaus zijn gebaseerd op de bepalingmethode versie 1.1 en de monetaire weegset conform de norm EN 15804+A1
2. Voor kleinere woningen (< 80 m² BVO) is het lastiger om de MPG-prestatie uit HNN raamwerk te halen. Voor deze woningen geldt een indicatief prestatieniveau van ≤0,55.
3. Voor Materiaalgebonden CO₂-uitstoot is de methodiek 'Rekenmethodiek Paris Proof'. De HNN prestaties zijn gebaseerd op leerervaringen uit evaluaties en aanvullende databronnen ('Wat is er op dit moment haalbaar én ambitieus?'). De daadwerkelijk benodigde CO₂-grenswaarde conform Paris Proof ligt lager. Het doel is dat deze waarde en het prestatieniveau HNN steeds dichterbij elkaar toe komen.

Verhulst e.a. 2023

Figuur 2 laat een aantal interessante aspecten zien. Ten eerste laat het grote verschillen zien tussen grondgebonden woningbouw, gestapelde woningbouw en utiliteitsbouw. De manier waarop deze gebouwen worden geconstrueerd, heeft een aanzienlijke invloed op de haalbaarheid van bepaalde circulaire waarden. Dit betekent dat we rekening moeten houden met de verschillen tussen deze bouwtypen, aangezien ze invloed hebben op de haalbaarheid van circulaire ambities. Een ander interessant punt is dat de Milieuprestatie Gebouwen (MPG) in veel gevallen lager kan worden geschat dan wat momenteel in de wetgeving is vastgelegd, namelijk 0,8 voor woongebouwen (stand december 2023). Uit de geanalyseerde projecten blijkt dat 25% van de geëvalueerde circulaire woningbouwprojecten een MPG van lager dan 0,5 haalt. Het is echter belangrijk om op te merken dat deze projecten circulaire ambities hadden, waardoor ze niet representatief zijn voor de hele markt. Voor de markt als geheel zou het

eerste kwartiel van de data waarschijnlijk boven 0,5 liggen.

Voor materiaalgebonden CO₂-uitstoot geldt dat het prestatieniveau alleen voor woningbouw is vastgesteld, bij gebrek aan data over kantoorgebouwen. De geïdentificeerde prestatieniveaus (wat mogelijk is) liggen nog niet geheel in lijn met de Paris Proof-normen voor 2021 zoals bepaald door de Dutch Green Building Council (Spitsbaard & van Leeuwen, 2022). Dit toont de noodzaak om op korte termijn naar lagere materiaalgebonden CO₂-uitstoot te bewegen. Een ambitieuze en haalbare score op verantwoord materiaalgebruik van hergebruikte onderdelen of gerecyclede en biobased materialen ligt tussen de 20 en 25%, afhankelijk van de bouwtypologie. Een ambitieuze én haalbare score op losmaakbaarheid ligt rond de 50 of 55%, afhankelijk van de bouwtypologie.

Voor bepaalde indicatoren als materiaalgebonden CO₂-opslag, adaptief vermogen en hergebruikpotentie, waren er onvoldoende gegevens beschikbaar om (voor alle gebouwtypologieën) prestatieniveaus vast te stellen. Deze vallen daarom in de categorie Indicatie. Daarnaast zijn er voor de indicatoren gezonde materialen en omgang met restmateriaal dat vrijkomt tijdens het bouwproces op dit moment geen geschikte meetmethoden, deze vallen daarom in de categorie Begrip.

De komende jaren wordt het raamwerk van HNN verder ontwikkeld en uitgebreid naar nieuwe gebouwtypologieën. Dit wordt gedaan op basis van data van daadwerkelijk gerealiseerde projecten. Daarmee worden ook de prestatieniveaus uitgebreid en waar mogelijk aangescherpt. Zo blijven we elkaar uitdagen om de volgende stappen te zetten op weg naar een circulaire bouwconomie.

HNN IN DE PRAKTIJK

In bouwprojecten is HNN praktisch toepasbaar in alle fasen. Zo kunnen opdrachtgevers en opdrachtnemers samenwerken om een zo hoog mogelijke mate van circulariteit te halen. HNN bevordert deze samenwerking met een gemeenschappelijke taal en set van indicatoren waarmee alle partijen kunnen werken. Dit zorgt ervoor dat de verschillende spelers in de keten dezelfde doelen nastreven en hun activiteiten beter op elkaar kunnen afstemmen.

Aanbestedingsfase

Bij het aanbesteden van een opdracht, of een gronduitgifte door gemeenten, kunnen de indicatoren en de prestatieniveaus van HNN worden gebruikt om ambities formuleren, gunningsvoordeel te bieden of minimale eisen te stellen. Voor deze fase is de Handreiking Aanbesteden met HNN Gebouw opgesteld (Beaujean – Kuijsters & Ponte, 2023).

Ontwerpfase

Voor ontwerpers biedt HNN een instrument om circulaire bouwprincipes vanaf het eerste mo-

ment in een project te integreren. Het raamwerk helpt bij het maken van keuzes en afwegingen die niet alleen de levensduur van het gebouw verlengen, maar ook de ecologische voetafdruk minimaliseren. Ontwerpers kunnen met behulp van de circulaire indicatoren beslissingen nemen over materiaalkeuze, flexibiliteit in het ontwerp en het hergebruik van bestaande materialen en elementen.

Realisatiefase

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden toets je of de prestaties ook daadwerkelijk worden bereikt. In deze fase treden er vrijwel altijd wijzigingen op in het ontwerp: zorg daarbij dat de toegezegde prestaties ook echt worden gerealiseerd. Voor eigen inzicht én voor het verder ontwikkelen van het HNN-raamwerk en de prestatieniveaus is het van groot belang om de uiteindelijke prestaties vast te leggen en deze onderling en binnen HNN te delen. Van elkaar leren is de sleutel tot kennisontwikkeling.

Gebruiks- en onderhoudsfase

Op dit moment wordt gewerkt aan een raamwerk HNN Bestaande Bouw, dat van toepassing is op (grootschalige) renovaties en transformaties van gebouwen. Hiermee kunnen deze werkzaamheden zo circulair mogelijk worden uitgevoerd. Een gebouw dat vanaf moment één circulair is ontworpen en gebouwd leent zich goed voor dergelijke ingrepen, maar ook voor gebouwen die niet vanuit die gedachte zijn gerealiseerd is voldoende handelingsperspectief.

(Circulaire) sloopfase

Ook voor de uiteindelijke sloopfase wordt gewerkt aan een apart raamwerk: HNN Sloop, waarin circulair slopen wordt gedefinieerd. Het gaat hierbij om het sluiten van de keten, zodat gebouwonderdelen en materialen uit sloopprojecten vrijkomen om toe te passen als hergebruikt of gerecycled materiaal in nieuwe projecten. Ook hier geldt dat een gebouw makkelijker te demonteren is als dit gebouw circulair is ontworpen en gebouwd, zodat hoogwaardig hergebruik mogelijk is. Met een gedegen plan is ook voor minder

circulaire gebouwen een circulair sloopproces mogelijk.

CONCLUSIE

HNN biedt een uitgebreide set aan indicatoren en methoden om de circulaire prestaties van bouwprojecten te meten. Door de focus op drie hoofdthema's – milieu-impact, materiaalgebruik en waardebehoud – biedt het raamwerk een solide basis voor de transitie naar circulair bouwen in Nederland. Het is een belangrijk instrument voor ontwerpers, aannemers en beleidsmakers en draagt bij aan de gezamenlijke ambitie om tegen 2050 een volledig circulaire bouwsector te realiseren.

Hoewel er nog veel werk te verzetten is om te komen tot een circulaire bouwsector, biedt HNN een duidelijke routekaart voor de toekomst met houvast voor verschillende (markt)partijen. Door innovatie, samenwerking en de ontwikkeling van nieuwe technologieën kunnen we de bouwsector transformeren en een circulaire economie tot stand brengen. Het is aan de sector zelf om deze uitdaging met beide handen aan te pakken en de ambitie van een circulaire, duurzame toekomst te realiseren.

OVER DE AUTEURS

Prof. dr. ir. Hans Wamelink is hoogleraar bij de afdeling Management in the Built Environment van de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft.

Tomas Peeters MSc is adviseur circulaire economie bij Copper8, een onderzoeks- en adviesbureau op gebied van circulariteit.

BIBLIOGRAFIE

- Beaujean – Kuijsters, A., & Ponte, J. (2023). Handreiking Aanbesteden met Het Nieuwe Normaal Gebouw. <https://www.hetnieuwenormaal.nl/assets/handreiking-aanbesteden-met-het-nieuwe-normaal-1.0.pdf>
- Cirkelstad. (2024) Samen Versnellen: "Het Nieuwe Normaal" - Cirkelstad. Geraadpleegd op 6 juli 2024 van <https://www.cirkelstad.nl/project/samen-versnellen/>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Material Circularity Indicator (MCI). <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>
- European Commission. (2021). Product Bureau | Circular Economy: Environmental and Waste Management. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/home>
- De Hoog, D., & Peeters, T. (2024), Samenhang Europese Raamwerken. Hoe verhoudt Het Nieuwe Normaal zich tot Level(s), EU Taxonomie en CSRD? Cirkelstad, Geraadpleegd maart 2024 van <https://www.hetnieuwenormaal.nl/assets/HNN-Whitepaper-CSRD-web.pdf>
- Eikelenboom, M., & van Marrewijk, A. (2023) Creating points of opportunity in sustainability transitions: Reflective interventions in inter-organizational collaboration. Environmental Innovation and Societal Transitions, 48. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100748>
- Interventie Toolbox. (2024). <https://www.interventietoolbox.nl/>
- Khadim, N., Agliata, R., Marino, A., Thaheem, M. J., & Molloy, L. (2022). Critical review of nano and micro-level building circularity Indicators and Frameworks. Journal of Cleaner Production, 357, 131859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131859>
- Khadim, N., Agliata, R., Thaheem, M. J., & Molloy, L. (2023). Whole Building Circularity Indicator: A Circular Economy assessment framework for promoting circularity and sustainability in buildings and construction. Building and Environment, 241, 110498. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110498>
- Kooter, E., Uden, M., Van Marrewijk, A., Wamelink, H., Bueren, E., & Heurkens, E. (2021) Sustainability transition through dynamics of circular construction projects Sustainability, 13(21) (2021), p. 12101
- Peeters, T., Wamelink, H., Huitema, N., de Gier, L. (2023) Onderbouwing Het Nieuwe Normaal 1.0.

- <https://www.hetnieuwenormaal.nl/assets/HNN-onderbouwing-versie%201.0.pdf>
- Platform CB'23 (2022). Leidraad Meten van circulariteit, versie 3.0
https://platformcb23.nl/wp-content/uploads/PlatformCB23_Leidraad_Meten-van-circulariteit.pdf
 - Spitsbaard, J. en van Leeuwen, C. (2022). Rekenprotocol Paris Proof Materiaalgebonden v1.1
<https://www.dgbc.nl/wat-is/paris-proof>
 - Stichting Nationale Milieudatabase. (2023, 1 maart). Assessment method. NMD.
<https://milieudatabase.nl/en/environmental-performance/assessment-method/>
 - Van Uden, M., Wamelink, H., van Bueren, E., & Heurkens, E. (2024). Aligning practices towards a circular economy in the architecture, engineering, and construction sector: seven transitions in different stages of reconfiguration. *Construction Management and Economics*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/01446193.2024.2401829>
 - Verhulst, T., Quax, L., van Vliet, M., Bosch, S. (2023). HNN-Leidraad Gebouw 1.0.
<https://www.hetnieuwenormaal.nl/assets/leidraden/hnn-leidraad-gebouw-1.0.pdf>

From vision to action: An integrative approach for circular adaptive reuse

Circularity in adaptive reuse helps tackle material shortages, environmental damage, and ageing properties, while enhancing asset value. However, bridging the gap between visionary reuse scenarios of existing real estate and design strategies remains challenging. Integrating scenario tools with adaptive reuse frameworks can address this issue. This paper presents an approach to systematically define promising circular real estate scenarios and translate them into actionable strategies.

Brian van Laar, Mohammad B. Hamida and Angela Greco

1. INTRODUCTION

Adaptive reuse—or building transformation—has emerged as a key strategy in the transition toward a circular built environment (Tam & Hao, 2019; Remøy, 2010). By reducing the demand for new construction, conserving materials, and extending the lifespan of existing structures, adaptive reuse mitigates environmental impacts while also generating economic and social benefits, such as preserving cultural heritage and enhancing asset value (Foster, 2020).

Despite its multifaceted cultural, societal, and environmental advantages, the implementation of adaptive reuse to enhance circularity continues to face significant technical, legal, and design challenges. These difficulties can be attributed to the intrinsic complexity of decision-making processes, which must balance diverse and often competing criteria (van Laar et al., 2024).

To address this complexity and facilitate more effective adaptive reuse, scholars have primarily focused on two complementary but often disconnected streams of work. The first involves the development of design strategies and frameworks aimed at guiding circular interventions—such as adaptable design, resource efficiency, and the use of low-impact biomaterials—which have demonstrated strong potential to improve environmental performance (Pomponi & Moncaster, 2017; Hamida et al., 2024).

An example is the Circular Building Adaptability for Adaptive Reuse (CBA-AR) framework, which integrates principles of circularity and adaptability to offer context-sensitive strategies (Hamida et al., 2024). However, the practical application of such frameworks is still hampered by knowledge gaps and the difficulty of tailoring strategies to specific economic, functional, and technical conditions (Greco et al., 2024).

The second stream focuses on future-oriented scenario tools, which support stakeholders in exploring long-term consequences and navigating uncertainty in adaptive reuse decisions. These tools are especially valuable in the early stages of planning, where they facilitate collaborative envisioning of different futures. For instance, Cross-Impact Balance (CIB) analysis enables the identification of consistent and plausible scenarios by assessing interrelations among key factors (Weimer-Jehle, 2023; van Laar et al., 2025). While both design frameworks and scenario-building methods contribute critical insights, their development in parallel has limited their combined potential. Current tools tend to focus either on crafting visionary reuse scenarios or on providing practical, context-specific strategies—but rarely both. This separation creates a persistent gap between foresight and implementation, making it difficult for stakeholders to transform aspirational ideas into actionable plans. To bridge this gap, we explore the synergies between the CIB methodology,

which enables the co-creation of resilient long-term pathways, and the CBA-AR framework, which provides concrete guidance for adaptive reuse, to offer a more holistic and future-proof approach to circular real estate reuse.

The aim of this paper is to propose and demonstrate an integrated approach that combines scenario development tools with practical circular design strategies, enabling design and real estate professionals to define and visualize desirable adaptive reuse scenarios alongside applicable strategies that promote a circular built environment.

2. BACKGROUND

2.1 Circular Building Adaptability (CBA) and its adaptive reuse framework

Circular building adaptability (CBA) is a conceptual framework that combines the principles of adaptable and circular design to create sustainable, resource-efficient building strategies (Hamida et al., 2023). It integrates ten key determinants that contribute to ensuring that buildings can adapt to changing needs over time while reducing waste and building generative capacity. These are: "configuration flexibility", "product dismantlability", "asset multi-usability", "design regularity", "functional convertibility", "material reversibility", "building maintainability", "resource recovery", "volume scalability", and "asset refit-ability". These determinants are operationalized through passive (design-based), active (design- and user-based), and operational (process-based) strategies such as using modular design, providing adjustable products, and applying material passports, respectively. Building on these concepts, the CBA framework has been expanded in a strategic design framework for adaptive reuse (CBA-AR), a tool for mapping each determinant to 33 strategies alongside their enablers (e.g., collaboration and technical innovation) and inhibitors (e.g., lack of expertise or regulatory support) (Hamida et al., 2024). Practitioners can use the CBA as a checklist or guide during adaptive reuse projects

to implement circular design principles, ensuring that buildings remain adaptable, functional, and sustainable across their lifecycles.

2.2 Cross-Impact Balance Analysis for scenario development

Cross-Impact Balance (CIB) analysis is a structured method for analysing complex systems and developing plausible scenarios by examining the interdependencies between system components (Weimer Jehle, 2023). CIB is founded on descriptors, variants, and the cross-impact matrix. Descriptors represent the key factors of the system studied, such as regulatory frameworks, market dynamics, or resource availability. The cross-impact matrix is the core analytical tool in CIB. It quantifies how variants influence other variants, revealing interdependencies and feedback loops within the system. Once the matrix is constructed, the analysis identifies consistent combinations of variants, where no contradictions exist in how the variants interact. These consistent combinations are then assembled into scenarios, each representing a logically coherent and plausible future.

CIB systematically explores how changes in one part of the system influences others, making it particularly valuable in fields like urban planning, climate adaptation, and adaptive reuse projects. Its structured approach ensures transparency and allows for stakeholder involvement, making it both robust and participatory.

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Overview and background of the research methodology

This study followed an iterative theory- and practice-oriented research methodology, using literature review and desktop research to develop an integrated methodological approach based on a conceptual framework. Technically, a conceptual framework is a constructed network that brings together interrelated concepts to comprehensively explain a phenomenon or

phenomena of interest (Jabareen, 2009). In mixed methods research, conceptual frameworks can be conceptualized, borrowed, or adopted in a research based on certain theories in relevant fields and act as predicting, determining or informing, or they might be expanded through a data collection process. The creation of frameworks constitutes an important research tool that can aid new discoveries by exposing limitations and enablers of knowledge-driven insights (Sharma et al., 2022).

Accordingly, in this paper, our methodological approach is a processes-oriented framework that brings together certain processes, tools and concepts to aid design and real estate professionals to turn their vision of circular adaptive reuse into a defined set of concrete strategies that can be implemented. The development of this approach is based on knowledge gained from adaptive reuse and circular economy related literature combined with desktop research and interviews.

3.2 Methods

3.2.1 Literature review

A brief literature review of circular adaptive reuse was carried out, covering academic literature (Foster, 2020; Hamida et al., 2022; Vafaie et al., 2023; van Laar et al., 2024, Fusco Girard & Vecco, 2021; Gravagnuolo et al., 2024; Hamida et al., 2023; Ikiz Kaya et al., 2021), and grey literature sources. The focus was on methods for circular adaptive reuse and requirements for a methodological approach. The sources were selected in a purposive way. The included themes were applied as a coding scheme to process the requirements, methods, and approaches for circular adaptive reuse. Literature on approaches and frameworks for circular economy in the built environment and circular adaptive reuse were reviewed to initially define steps in the approach while grey literature and methods-based literature were reviewed to define useable tools to be incorporated into the methodological approach.

3.2.2 Desktop research

Based on the reviewed literature, a set of functional requirements are put forward that serve as prerequisites for the integrative methodological approach (section 4). Desktop research was conducted to bring together the scenario development- and strategies-oriented tools and concepts in a stepwise structure. The CIB- and CBA-AR-related literature identified existing tools, while process related literature contributed to synthesizing the steps of the methodological approach. The definition and visualization of the approach were interactively carried out, including rephrasing and merging different steps to avoid redundancy in the process. The approach was then tested in a hypothetical case to validate its potential use. A specific vacant monumental project in the Netherlands was considered as a hypothetical case. Accordingly, the methodological approach was developed during the research while guidelines were put forward for users.

4. REQUIREMENTS FOR AN INTEGRATIVE METHODOLOGICAL APPROACH

The literature review indicates that current decision-support tools for adaptive reuse face significant challenges and lack mechanisms to connect high-level foresight with adaptable, project-specific strategies. Many existing tools prioritize either broad functional outcomes or specific design details, which can limit their ability to provide comprehensive, future-proof solutions for adaptive reuse projects (van Laar et al., 2024). Furthermore, there is often a gap between the visionary nature of scenario planning and the practical steps needed to implement circularity principles effectively.

To address these challenges, we apply a methodological approach combining scenario development and circular strategy based on literature:

1. **Clear definition of steps:** Providing practitioners with stepwise approaches is useful for facilitating emerging innovations and practices

in the built environment (Arfa et al., 2022; Foster, 2020; Geldermans, 2016; Stijn & Gruis, 2019).

2. **Consistency and Plausibility:** Scenarios must be internally consistent and plausible, ensuring that future-oriented projections are logically cohesive and applicable (Weimer-Jehle, 2023). The CIB methodology provides a structured approach to scenario development by assessing interdependencies among scenario elements, supporting realistic and stable projections (Weimer-Jehle, 2006).
3. **Normative Scenarios Aligned with Project Goals:** The scenarios are driven by the specific goals and objectives of the adaptive reuse project. This ensures that envisioned future pathways correspond with the broader project sustainability, community, and financial aims, enabling design and real estate professionals to envision and collaboratively pursue desirable outcomes. By anchoring strategy selection to these high-level project goals, the approach maintains coherence between long-term vision and practical actions.
4. **Adaptability to Evolving Project Conditions:** Given the uncertainty inherent in adaptive reuse, the methodology must allow for flexibility in strategy selection and application to accommodate changing environmental, social, or regulatory conditions. This adaptability enables project-specific tailoring of CBA strategies, ensuring that chosen actions remain relevant and effective under various potential future scenarios.

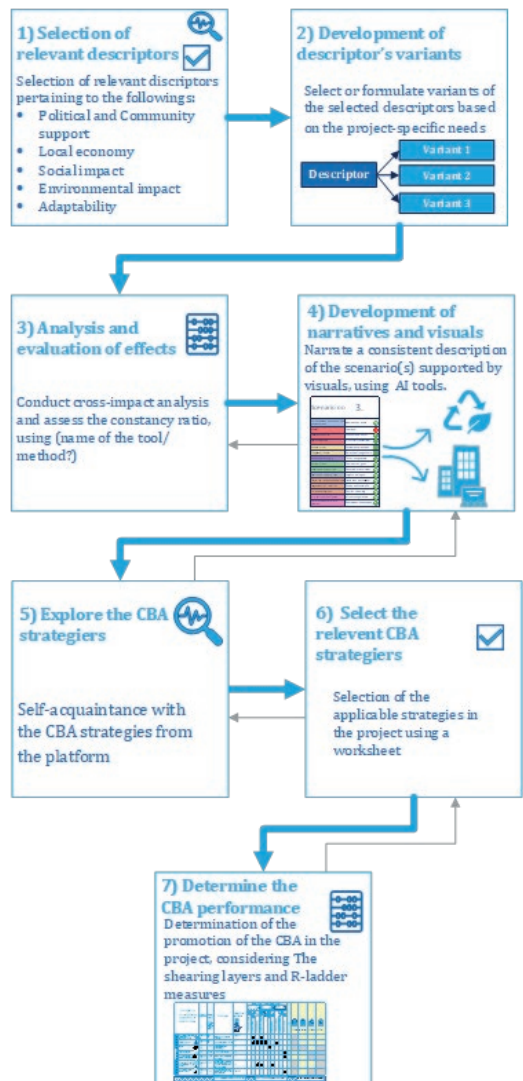
Together, these requirements provide a foundation for an integrated and robust methodological approach that can be further developed and implemented in practice, offering decision-makers a balanced, forward-looking, and methodological approach to circular adaptive reuse.

5. RESULTS

5.1 Overview of the content of the methodological approach

Based on the literature review and desktop research, we developed a stepwise methodological approach of 7 steps (Figure 1). This methodological approach brings together

FIGURE 1 ▶ AN INTEGRATIVE METHODOLOGICAL APPROACH FOR DEFINING SUITABLE ADAPTIVE REUSE SCENARIOS AND THEIR PRACTICAL STRATEGIES



three elements, namely informative activities (steps), concepts (circularity and adaptive reuse), and tools (CIB, AI, and CBA-AR worksheet). First, the steps of the approach are detailed, followed by a demonstration of its application to a hypothetical case, illustrating how it fulfils the functional requirements.

The initial definition of the seven steps has been inspired by the model by (Arfa et al., 2022), in which the six subphases of the preparation phase begin with an analysis and evaluation of values and feasibilities of feeding design decisions and outcomes. This has been adapted to accommodate the scenario development process steps from Weimer-Jehle, (2023), enriched with narrative and visualisation techniques by van Laar et al. (2025), and the practical CBA-AR framework (Hamida et al., 2024).

The first four steps are adapted from the scenario development methodology by (Weimer-Jehle, 2023), specifically focusing on Cross-Impact Balance (CIB) analysis to create internally consistent, future-oriented scenarios. The final three steps are derived from the CBA-AR framework (Hamida et al., 2024). The first four steps are visionary, while the last three steps are more practical.

5.1. Description of the steps composing the methodological approach

Step 1: Identification of Relevant Descriptors

This step focuses on identifying descriptors that capture the key uncertainties and influences within the adaptive reuse context. Descriptors (see 2.2) are the central themes that influence the scenario space (Weimer-Jehle, 2023). This step is essential for establishing a scenario framework that is both context-specific and broad enough to encompass various possible futures, aligning with the emphasis on the scenario factors such as economic, environmental, social, and functional.

Step 2: Development of Descriptor Variants

Following the CIB methodology, descriptor

variants are crafted to represent a range of plausible outcomes for each descriptor. Variants are defined as: “potential future alternatives” (Weimer-Jehle, 2023). This step is informed by the principle of future openness, where descriptors must cover all potential states without overlap, allowing for a complete exploration of future possibilities. Creating distinct variants ensures that scenarios reflect the diverse conditions that might impact adaptive reuse projects.

Step 3: Cross-Impact Analysis and Consistency Check

This step applies the CIB analysis to evaluate the interdependencies among descriptor variants. By assessing these, this step generates scenarios that are internally consistent, discarding those that are contradictory or logically incoherent. This analytical process is critical for ensuring the reliability and robustness of each scenario, as inconsistencies could undermine stakeholder confidence and strategic decision-making crucial in adaptive reuse projects.

Step 4: Scenario Narratives and Visualizations

This step transforms consistent scenarios into accessible narratives and visuals to facilitate stakeholder understanding and dialogue on adaptive reuse priorities. Generative AI tools can be used to produce vivid visualizations and detailed descriptions, incorporating data from CIB analysis and insights from workshops. Unlike traditional methods like artist impressions, AI provides speed, consistency, and adaptability, enabling efficient content creation tailored to diverse audiences (Epstein et al., 2023). This enhances the storytelling process, making complex scenarios more relatable and applicable for stakeholders.

Step 5: Exploration of CBA Strategies

The CBA-AR framework highlights the importance of familiarizing users with various CBA strategies, categorized as passive, active, and operational. This step provides design and real estate professionals with the opportunity to explore available strategies. By grounding

scenario planning in practical strategies, this step aligns visionary scenarios with applicable actions, bridging the gap between theoretical analysis and practical application.

Step 6: Selection of Relevant CBA Strategies

This step employs the CBA-AR as a worksheet framework, allowing users to map selected CBA strategies to specific scenario outcomes, by ensuring that strategy selection is informed by the scenario objectives and project-specific descriptors identified in the initial steps.

Step 7: Assessment of CBA Performance

In the final step the effectiveness and impact of the chosen CBA strategies is evaluated using performance metrics relevant to circular economy goals. This assessment provides insight into the outcomes aligned with circular principles.

5.2. Application to Hypothetical Case

The following section discusses how the methodological approach is applied to a hypothetical transformation project and examines how it fulfils the functional requirements.

Step 1: Identification of Relevant Descriptors

11 descriptors were selected for the scenario development process, namely: Political &

Community support, Cost, market Potential, Social Impact, Building Technology, Indoor Environmental Quality, Rules and Regulations, Flexibility and Adaptability, Durability and Quality, Historic and Cultural value, aligning with the recommended range of 9-15 (Weimer-Jehle, 2023). These descriptors were derived from the criteria and objectives outlined by van Laar et al., (2024), related to the project's objectives, creating normative scenarios aligned with project goals.

Step 2: Development of Descriptor Variants

Each descriptor has three ordinal variants: a strong variant where the objective is fully achieved, a medium variant where the objective is partially achieved, and a weak variant where the objective is not achieved.

Step 3: Cross-Impact Analysis and Consistency Check

A cross-impact matrix was used to evaluate the interdependencies among descriptor variants, ensuring logical coherence and consistency in scenarios that were in line with the first functional requirement. Each variant's direct effects on others are rated from -3 to +3, representing negative, neutral, or positive impacts. Scenarios with high inconsistency (e.g., a negative impact

FIGURE 2 ► PRODUCED CONSISTENT SCENARIOS FOR OUR HYPOTHETICAL EXAMPLE

Scenario No. 1	Scenario No. 2	Scenario No. 3	Scenario No. 4	Scenario No. 5	Scenario No. 6	Scenario No. 7	Scenario No. 8	Scenario No. 9	Scenario No. 10	Scenario No. 11	Scenario No. 12
A) Political and Community Support A1) Everybody on board					A) Political and Community Support A3: Lack of support	A) Political and Community Support A1) Everybody on board	A) Political and Community Support A3: Lack of support				
						B) Cost B2) Very costly					
C) Market Potential: C1) Great Market Potential					C) Market Potential: C3) Limited Market potential	C) Market Potential: C1) Great Market Potential	C) Market Potential: C3) Limited Market potential				
D) Social Impact: D1) Social Heaven					D) Social Impact: D2) Socially acceptable	D) Social Impact: D1) Social Heaven	D) Social Impact: D2) Socially acceptable				
E) Building technology: E1) A technical tour de force					E) Building technology: E2) Technologically sufficient	E) Building technology: E1) A technical tour de force	E) Building technology: E2) Technologically sufficient	E) Building technology: E1) A technical tour de force	E) Building technology: E2) Technologically sufficient	E) Building technology: E1) A technical tour de force	E) Building technology: E2) Technologically sufficient
F) Environmental impact: F1) Sustainability Heaven					F) Environmental impact: F2) Environmentally friendly	F) Environmental impact: F1) Sustainability Heaven	F) Environmental impact: F2) Environmentally friendly				
G) Indoor Environmental quality G1) Decent indoor climate											
H) Rules and Regulations: H1) Following the rules					H) Rules and Regulations: H3) Regulatory challenges	H) Rules and Regulations: H1) Following the rules	H) Rules and Regulations: H3) Regulatory challenges	H) Rules and Regulations: H2) overseable non-compliance	H) Rules and Regulations: H3) Regulatory challenges	H) Rules and Regulations: H2) overseable non-compliance	H) Rules and Regulations: H3) Regulatory challenges
I) Flexibility and Adaptability: I1) Flexible and adaptable	I) Flexibility and Adaptability: I2) Moderately flexibel	I) Flexibility and Adaptability: I1) Flexible and adaptable	I) Flexibility and Adaptability: I2) Moderately flexibel	I) Flexibility and Adaptability: I1) Flexible and adaptable		I) Flexibility and Adaptability: I2) Moderately flexibel		I) Flexibility and Adaptability: I1) Flexible and adaptable		I) Flexibility and Adaptability: I2) Moderately flexibel	
J) Durability and Quality: J1) Strong and durable		J) Durability and Quality: J2) Sufficiently durable		J) Durability and Quality: J3) Poor building quality							
K) Historic and Cultural value: K1) Preserving history								K) Historic and Cultural value: K2) Attention to history			

Figure developed with scenario wizard, adapted from van Laar et al., 2025

sum) are discarded, marginal inconsistencies up to a value of 1 are accepted (Weimer-Jehle, 2023). The ScenarioWizard¹ software was used to generate a set of consistent scenarios for robust analysis. Figure 2 displays a consistent scenario.

Step 4: Development of narratives and visuals
 Narratives and visualizations were created using generative ChatGPT-4 to compile structured narratives from the descriptor variants, while DALL-E generated visual representations based on these storylines. Henceforth, a comprehensive scenario scorecard summarizes a selected scenario for the hypothetical case.

Step 5: Explore the CBA performance
 In this step, a detailed exploration of the passive, active, and operational CBA strategies was carried out by browsing the CBA-AR framework and its platform (CBA-AR)².

Step 6: Select relevant CBA strategies
 After reviewing the strategies, the CBA-AR framework was adapted to select applicable strategies. Figure 3 presents the results of using the CBA-AR worksheet for the passive strategies, where the yellow fields are the ones that must be filled out. The green fields show the CBA determinants and R-ladder measures. Strategy selection was aligned with the project objectives, guided by the descriptor variants of the chosen scenario, which aligns with functional requirements 3 and 4.

Step 7: Determine the CBA performance
 The CBA (section 2.1) performance was assessed by identifying how many of the 10 CBA determinants were addressed and to what extent they aligned with the shearing layers model (Brand, 1995). The circularity level was evaluated based on the strategies' relevance to the R-ladder model (Potting et al., 2017). In the hypothetical example, 8 of 10 determinants were covered.

FIGURE 3 ▶ A WORKSHEET SELECTING THE CBA STRATEGIES AND ASSESSING THE CBA PERFORMANCE

Strategies for Circular Building Adaptability in Adaptive Reuse		Phase to implement	Related Layer(s)	Examples	Related Rs from the R-ladder	Determinants of Circular Building Adaptability										YES/ NO				
						Adaptability Determinants			Interrelated Determinants			Circularity Determinants								
																				
						Functional Convertability	Volume Scalability	Asset Re-use Ability	Configuration Flexibility	Product Disassemblability	Asset Multi-Usability	Design Regenerability	Material Re-use Ability	Building Maintenanceability	Resource Recovery					
Passive Strategies	1. Design Standardization	Design	S4, S5, S6	Consistent use of walls, doors and windows	R2				✗	✗				✓		Acoustical installations	Wall panels	Fit-outs (10-15 years)		
	2. Separation of the Building Layers (e.g. Separated Walls)	Design	S3, S4, S5, S6	Partitions are independent connected by dry connections	R2		✗		✗	✗				✓		Partitions (20-25 years)		Fit-outs (10-15 years)		
	3. Open the Floor Plan	Design	S5	Open office space	R2		✗							✓			Hall			
	4. Provision of Multi-Purpose Spaces	Design	S5	Spaces that can be used as offices and meeting rooms	R1						✗			✓		Multi-purpose hall (used for working, & co-working)				
	5. Modularization of Spatial Configuration (Layout)	Design	S4, S5	Utilized and repetitive pattern of rooms	R2		✗					✗		✓		Modular configuration and consistent number of offices of				
	6. Utilization of Standardized Building Products	Design	S4, S5, S6	Using standardized doors, ceilings and partitions throughout the building	R2							✗	✗	✓		Standardized partitions				
	7. Provision of a Core for Building Services	Design	S5	Central area providing an elevator and a shaft	R2		✗							✓		Free cores for stairs, MEP's shafts and toilets				
	8. Design for Surplus Capacity	Design	S3, S4, S5	Over-sizing spaces and systems	R1 and R0		✗	✗	✗											
	9. Compartmentalization of Design	Design	S4, S5	The building is divided into independent zones	R1		✗		✗					✓		Each floor is a compartment				
	10. Design for a Mixed Use (Multi-functionality)	Design	S4, S5, S6	The building includes and can accommodate different function	R1		✗													
	11. Utilization of Secondary (Reused/Recycled) Materials/Products	Design	S4, S5, S6	Using second hand furniture	R3 and R8								✗		✓			Second hand fit-outs on the first floor		
	12. Utilization of Biobased (Biological) Materials	Design	S3, S4, S5, S6	Using timber-based products	R2								✗		✓		Bio-based partitions and wooden stools			
	13. Utilization of Circular (Reusable/Recyclable) Materials/Products	Design	S3, S4, S5, S6	Glass panels can be reused and recycled at the end of their use	R2								✗		✓		Removable wall partitions			
	14. Alignment of the Interconnection Between the Floor Plans	Design	S5	Horizontal zones are vertically coordinated with other zones through circulation means	-			✗							✓		Free services shafts are in the same location on each floor			
	15. Alignment of the Building Design with the Real Estate Strategy	Design	S5	The building horizontal zones are coordinated with other zones	-				✗						✓		Preserving heritage assets while diversifying sources of income			
Legend						R0- R2 = Smarter product use and manufacture					R3- R7 = Extend life of product and its parts					R8- R9 = Useful application of materials				

Adapted from Hamida et al., 2024

6. CONCLUSION AND DISCUSSION

This paper aims to provide design and real estate professionals with an approach to coherently define promising scenarios and strategies for circular adaptive reuse. The approach links future-oriented scenarios with applicable strategies that are co-designed by designers and developers.

This paper has established a seven-step methodological approach. The first four steps are vision- and future-oriented activities, while the last three steps are practical and solution-oriented. This approach allows the alignment of project-specific scenarios with practical strategies, ensuring that decisions are grounded in future-oriented sustainability goals. The research underscores the importance of linking scenarios with strategies to align reuse goals with circular principles. Further research on consistent scenario-strategy connections would make these processes repeatable across project types, facilitating earlier decision-making. Future studies could explore how to systematically map scenario descriptors to relevant design strategies. Developing semi-quantitative tools or decision-support mechanisms may also help practitioners balance subjective judgments with more standardized criteria. Additionally, iterative testing in real-world projects would support refinement of the methodology, improving its usability and ensuring that circularity goals are not only envisioned but effectively implemented.

In the scenario development process, the descriptors and variants are crucial for deciding which circular building adaptability (CBA) strategies can be applied. Decisions in this phase

directly impact which strategies are feasible. For instance, if project stakeholders prioritize a “strong” variant for the “Historic and Cultural Value” descriptor over others, preserving historical integrity becomes a central theme. This choice supports strategies like retaining monumental parts but may limit strategies such as integrating renewable energy technologies, as installing solar panels on a heritage-protected roof could compromise historical authenticity. By combining value-driven scenario development with strategic planning, practitioners can ensure that chosen strategies align with project goals, minimizing the need for costly adjustments later. A key challenge noted is that practitioners must consider legal, cultural, environmental, and technical factors to select relevant descriptors. Future research could address this subjectivity by developing semi-quantitative tools to standardize descriptor selection and balancing subjective insights.

The presented approach in this paper has two limitations associated with its use and outputs. First, it is an informing, visualizing, and guiding tool that aids design and property professionals in aligning circular vision with applicable strategies, but it does not generate a design. Second, the AI outcomes are based on the user input, and could be misaligned with the actual project situation – ‘garbage in – garbage out’.

In sum, this study provides a scenario-based approach for embedding circularity into adaptive reuse projects. Future research could refine the approach for an even more effective process that enhances both the sustainability and adaptability of our built environment.

ABOUT THE AUTHORS

Brian van Laar is a PhD researcher at Delft University of Technology (TU Delft), focusing on decision-making processes in adaptive reuse projects within the built environment.

Mohammad B. Hamida is a PhD researcher at TU Delft, developing frameworks that integrate circular economy principles into sustainable building adaptation.

Angela Greco serves as an Assistant Professor in Innovation Management at TU Delft and is also a Senior Scientist at TNO Vector, Centre for Societal Innovation and Strategy.

FOOTNOTES

1 https://www.cross-impact.org/english/CIB_e_ScW.htm

2 <https://cba-ar.com/>

REFERENCES

- Arfa, F. H., Zijlstra, H., Lubelli, B., & Quist, W. (2022). Adaptive Reuse of Heritage Buildings: From a Literature Review to a Model of Practice. *The Historic Environment: Policy & Practice*, 13(2), 148–170. <https://doi.org/10.1080/17567505.2022.2058551>
- Brand, S. (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. Penguin.
- Epstein, Z., Hertzmann, A., & the Investigators of Human Creativity. (2023). *Art and the science of generative AI*. Science, 380(6650), 1110–1111. <https://doi.org/10.1126/science.adh4451>
- Foster, G. (2020). Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104507. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104507>
- Fusco Girard, L., & Vecco, M. (2021). The “Intrinsic Value” of Cultural Heritage as Driver for Circular Human-Centered Adaptive Reuse. *Sustainability*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/sul3063231>
- Geldermans, R. J. (2016). Design for Change and Circularity – Accommodating Circular Material & Product Flows in Construction. *Energy Procedia*, 96, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.153>
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M., Bosone, M., Buglione, F., De Toro, P., & Fusco Girard, L. (2024). Participatory evaluation of cultural heritage adaptive reuse interventions in the circular economy perspective: A case study of historic buildings in Salerno (Italy). *Journal of Urban Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.12.002>
- Greco, A., van Laar, B., Remøy, H. & Gruis, V. (2024). Accelerating circularity systemically: three directions for impactful research. *npj Urban Sustain* 4, 45. <https://doi.org/10.1038/s42949-024-00183-8>
- Hamida, M. B., Jylhä, T., Remøy, H., & Gruis, V. (2022). Circular building adaptability and its determinants – A literature review. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-11-2021-0150>
- Hamida, M. B., Remøy, H., Gruis, V., & Jylhä, T. (2023). Circular building adaptability in adaptive reuse: Multiple case studies in the Netherlands. *Journal of Engineering, Design and Technology*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2022-0428>
- Hamida, M. B., Remøy, H., Gruis, V., & van Laar, B. (2024). Towards promoting circular building adaptability in adaptive reuse projects: A co-developed framework. *Smart and Sustainable Built Environment*, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0087>
- Ikiz Kaya, D., Dane, G., Pintossi, N., & Koot, C. A. M. (2021). Subjective circularity performance analysis of adaptive heritage reuse practices in the Netherlands. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102869. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102869>
- Jabareen, Y. (2009). Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure. *International Journal of Qualitative Methods*, 8(4), 49–62. <https://doi.org/10.1177/1609406909000800406>
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. *Planbureau Voor de Leefomgeving*, 2544. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>
- Remøy, H. (2010). *Out of office: a study on the cause of office vacancy and transformation as a means to cope and pre-*

vent. IOS Press.

- Sharma, G., Greco, A., Grewatsch, S., & Bansal, P. (2022). Cocreating forward: How researchers and managers can address problems together. *Academy of Management Learning & Education*, 21(3), 350-368. <https://doi.org/10.5465/amle.2021.0233>
- Stijn, A. van, & Gruis, V. (2019). Towards a circular built environment: An integral design tool for circular building components. *Smart and Sustainable Built Environment*, 9(4), 635–653. <https://doi.org/10.1108/SASBE-05-2019-0063>
- Tam, V. W. Y., & Hao, J. J. L. (2019). Adaptive reuse in sustainable development. *International Journal of Construction Management*, 19(6), 509–521. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1459154>
- Vafaie, F., Remøy, H., & Gruis, V. (2023). Adaptive reuse of heritage buildings; a systematic literature review of success factors. *Habitat International*, 142, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102926>
- van Laar, B., Greco, A., Remøy, H., & Gruis, V. (2024). What matters when? – An integrative literature review on decision criteria in different stages of the adaptive reuse process. *Developments in the Built Environment*, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100439>
- van Laar, B., Greco, A., Remøy, H., Gruis, V., & Hamida, M. B. (2025). Towards desirable futures for the circular adaptive reuse of buildings: A participatory approach. *Sustainable Cities and Society*, 106259. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106259>
- Weimer-Jehle, W. (2006). Cross-impact balances: A system-theoretical approach to cross-impact analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(4), 334–361. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.06.005>
- Weimer-Jehle, W. (2023). *Cross-Impact Balances (CIB) for Scenario Analysis: Fundamentals and Implementation*. Springer Nature Switzerland.

Hergebruik van bouwcomponenten door matching van demontage en ontwerp

Hergebruik van bouwcomponenten kan zowel het grondstoffenverbruik als de uitstoot van broeikasgassen verminderen. Het matchen van vraag en aanbod van herbruikbare componenten blijft echter een uitdaging. Samenwerking tussen slopers en ontwikkelaars kan hierbij helpen. Met een casestudie onderzochten we een dergelijke samenwerking waarbij een nieuw ‘doelgebouw’ ontwikkeld wordt met herbruikbare componenten van een ‘donorgebouw’. We identificeerden vier matchingprincipes die hergebruik kunnen bevorderen: identificeer donor- en doelgebouwen met vergelijkbare volumes, zorg voor overlappende demontage- en ontwerpfasen, deel projectinformatie vroegtijdig in het proces en benader onzekerheden met een flexibele houding.

Ana Luísa Martins da Conceição van Nieuwenhuizen, Marc van den Berg en Vincent Gruis

INLEIDING

Hergebruik in de bouw is nog steeds zeer beperkt mede doordat het matchen van vraag en aanbod van materialen bijzonder ingewikkeld blijkt. In Nederland wordt ongeveer 88% van het sloop- en bouwafval gerecycled. Het dient dan als grondstof voor de productie van nieuwe bouwcomponenten. Vaak zijn die componenten van lagere kwaliteit dan de oorspronkelijke toepassing, zoals wanneer beton wordt vermalen tot vervangers van natuurlijke aggregaten, waardoor ook wel wordt gesproken van downcycling. Bij hergebruik worden componenten daarentegen opnieuw toegepast in een vergelijkbare functie zonder substantiële veranderingen aan hun fysieke kenmerken (Küpfer et al., 2023). In tegenstelling tot recycling blijft de ingesloten energie (embodied energy) van die componenten daarbij behouden. Hergebruik wordt vaak als een wenselijke strategie gezien wanneer een gebouw aan het einde van zijn levensduur is (Dorsthorst en Kowalczyk, 2005). Het kan leiden tot vermindering van de milieu-impact (Haas et al., 2020; Iacovidou en Purnell, 2016; Minunno et al., 2020) en draagt bij aan het realiseren van een circulaire economie waarin materiaalkringlopen gesloten zijn. Ondanks deze voordelen blijft het op elkaar afstemmen van vraag en aanbod van herbruikbare componenten een aanzienlijke uitdaging voor de bouwsector (Haas et al., 2020; Minunno et al., 2020).

Eerder onderzoek heeft deze afstemming slechts beperkt onderzocht. Veel studies richten zich op de barrières voor grootschalig hergebruik (Durmisevic en Binnemars, 2014; Giorgi et al., 2022; Mhatre et al., 2023), zoals onzekerheden rondom de kwaliteit en beschikbaarheid van materialen, maar bieden weinig inzicht in de mogelijkheden. Onderzoeken die dit wel doen, kiezen ofwel het perspectief van de sloper (van den Berg et al., 2023; Eikelenboom et al., 2024) of de ontwerper (Gorgolewski en Morettin, 2009), maar richten zich zelden op de afstemming tussen beide. Daardoor is er nog weinig kennis over de principes waarmee vraag en aanbod van herbruikbare bouwcomponenten met elkaar kunnen worden gematcht.

Wij onderzochten aan de hand van een casestudie welke matchingprincipes hergebruik kunnen bevorderen. Centraal in deze casestudie stond de vrij unieke samenwerking tussen een sloop-aannemer (demontagebedrijf) en een ontwerp-bureau. Deze twee bedrijven werkten samen aan het ontwerp van een zogenoemd ‘doelgebouw’ met zoveel mogelijk (beton)componenten die beschikbaar kwamen uit een zogenoemd ‘donorgebouw’. Dit artikel onthult vier principes die ten grondslag liggen aan hun matchingpogingen.

Het artikel start met een theoretische achtergrond en licht dan de methode toe. Na onze



bevindingen bediscussiëren we de implicaties en beperkingen van dit onderzoek en vatten we onze lessen samen in de conclusie.

ACHTERGROND

De implementatie van hergebruik in de bouwsector kent een groot aantal barrières. Mhatre et al. (2023) classificeerden deze onder economische, milieutechnische, technische, maatschappelijke, institutionele en gedragsmatige barrières. De belangrijkste hiervan betreffen hogere operationele kosten voor circulaire ketens en beperkte mogelijkheden voor milieuvriendelijk herstel van materiaal. Gorgoloweski (2008) vat de problematiek samen door te stellen dat herbruikbare materialen niet op het juiste moment, in de juiste hoeveelheid of met de correctie dimensies beschikbaar komen. Nauwere samenwerking tussen demontagebedrijven en ontwerpers lijkt daarom essentieel om barrières te overwinnen en hergebruik te bevorderen (Wijewickrama et al., 2021).

In de praktijk zijn er verschillende instrumenten om die samenwerking te bevorderen. Bijvoorbeeld marktplaatsen voor secundaire materialen, zowel fysieke als digitale, waar herbruikbare materialen worden verzameld en aangeboden. De opslag van materialen en de daarbij behorende onzekerheden kan belanghebbenden er echter van weerhouden hergebruik te omarmen. Materiaalpaspoorten bieden inzicht in de samenstelling, herkomst en duurzaamheid van materialen en kunnen zodoende hergebruik ook ondersteunen (Çetin et al., 2023). Toch worden dergelijke innovaties nog niet op grote schaal toegepast bij nieuwe gebouwen – en nog minder bij bestaande – onder meer doordat ze een significante inspanning vergen om informatie te zoeken en te beheren.

Twee ontwerpstrategieën richten zich verder specifiek op hergebruik. De eerste, 'design for disassembly', promoot toekomstig hergebruik van componenten door demontagemogelijkheden te vereenvoudigen (zie e.g. Akinade et al.,

2017; Durmisevic en Yeang, 2009). Deze strategie gaat echter uit van nieuwe materialen en legt in die zin een claim op de toekomst. Bij de tweede strategie, 'design with reuse', worden geoogste materialen als uitgangspunt genomen voor een ontwerp (Bertin et al., 2022; Kawa et al., 2022). Dit vereist extra (tijds)investeringen en voegt aanzienlijke complexiteit toe aan het traditionele ontwerpproces (Kawa et al., 2022). Dat kan mogelijk worden verminderd door een nauwere afstemming tussen demontage- en ontwerpprojecten.

METHODEN

Deze casestudie verkent hoe een nauwere afstemming tussen demontage- en ontwerpprojecten hergebruik van bouwcomponenten kan bevorderen. Daartoe hebben we een bijzonder circulariteitsinitiatief in Nederland in detail gevolgd. In dit initiatief ontwikkelen een demontagebedrijf en een ontwerpbureau gezamenlijk een doelgebouw uit een donorgebouw door beide projecten met elkaar te matchen. Dit soort samenwerkingen is nog verre van standaard in de bouwpraktijk. Casestudies zijn bijzonder geschikt om diepgaand inzicht te krijgen in complexe fenomenen zoals deze (Yin, 2018) en daarom is deze methode passend om de matchingsprincipes voor hergebruik beter te begrijpen.

Het donorgebouw is een kantoorgebouw van ongeveer 7.400 m² dat is gebouwd in 1987 en uit geprefabriceerde betonnen gevelelementen en kanaalplaatvloeren bestaat. Het doelgebouw is een kantoorgebouw van ongeveer 7.380 m² en ligt op ongeveer 50 kilometer afstand van de donorlocatie. Het doelgebouw werd ontworpen terwijl het donorgebouw werd gedemonteerd. De ambitie was om het te bouwen kort nadat de componenten waren geoogst. Aangezien volgens de betrokken partijen veruit de meeste milieuwinst te behalen valt met het hergebruik van betonnen componenten, richtten ze hun aandacht op het matchen van vraag en aanbod van de gevelelementen en de kanaalplaatvloeren. Hierdoor werden 255 van de 340 beschikbare gevelelementen en 415 van de 550 kanaalplaatvloeren gematcht voor hergebruik. Andere componenten, zoals glas, aluminium kozijnen, buitenzonwering, dakbedekking, isolatie, systeemwanden, binnendeuren, plafonds en installaties werden ook 'geoogst' en hergebruikt in andere gebouwen of gerecycled. In dit artikel richten we ons op de principes waarmee een nieuw ontwerp werd gemaakt met de betoncomponenten uit het donorgebouw.

Onze dataverzameling en -analyse is kwalitatief van aard (Creswell, 2014). Gedurende een peri-

BEELD 2 ► ONTWERPVERSIE BIJ TENDER VAN HET DOELGEBOUW



ode van ruim een jaar werden de processen van demontage van het donorgebouw en ontwerp van het doelgebouw van dichtbij gevolgd. De hoofdonderzoeker had daarbij directe toegang tot 4 ontwerpvergaderingen en meer dan 200 documenten. Die documentatie bevatte informatie over de geoogste betoncomponenten in de vorm van archieftekeningen, hoeveelhedenstaten, afmetingen en kenmerken, en een Building Information Model (BIM). Documentatie over het ontwerpproces van het doelgebouw (waaronder projectstudies, visualisaties, technische tekeningen en notulen van vergaderingen) werd ook gedeeld met de onderzoekers. De hoofdonderzoeker voerde verder 42 ongestructureerde interviews en 3 workshops uit met de betrokken actoren en bezocht de locaties van het donor- en doelgebouw (opslag van componenten). Al deze data werden georganiseerd en inductief gecodeerd om thema's te identificeren. Deze thema's vormden de basis voor een empirisch onderbouwd inzicht in de onderliggende principes voor het matchen van vraag en aanbod van herbruikbare materialen.

BEVINDINGEN

Het ontwerpen van een doelgebouw met componenten uit een donorgebouw omvatte een veelvoud aan activiteiten waar vier matchingprincipes aan ten grondslag lagen. Zo maakten de twee partnerbedrijven vroegtijdig de inschatting dat meer dan 80% van de betonnen componenten uit het beoogde donorgebouw van voldoende kwaliteit waren om hergebruikt te worden. Die doelstelling werd leidend gedurende het hele proces. Tijdens de demontage en het ontwerpproces leidde steeds gedetailleerder onderzoek naar de herbruikbaarheid van deze componenten, evenals verliezen door schade, tot aanpassingen in het totale aandeel hergebruik. Uit het onderzoek komen vier matchingsprincipes naar voren waarmee de partnerbedrijven aanstuurden op de doelstelling en hergebruik wisten te bevorderen: (1) identificeer donor- en doelgebouwen met vergelijkbare bouwvolumes, (2) zorg voor overlappende demontage- en ontwerpfasen, (3) deel projectinformatie vroegtijdig in het proces,

en (4) benader onzekerheden met een flexibele houding. Deze vier matchingprincipes droegen bij grootschalig toepassen van hergebruik.

Identificeer donor- en doelgebouwen met vergelijkbare bouwvolumes

Het eerste matchingprincipe betreft het identificeren van donor- en doelgebouwen met vergelijkbare bouwvolumes. Wanneer een doelgebouw qua grootte min of meer gelijk is aan een donorgebouw, zijn schaalvoordelen te behalen met het één-op-één hergebruiken (of verplaatsen) van componenten. Vanaf het begin van hun samenwerking, richtten de demontage- en ontwerppartners zich op het hergebruiken van zoveel mogelijk componenten van het donorgebouw in één of meer doelgebouwen. Door dit te doen, verwachtten ze een zo klein mogelijke milieu-impact te behalen en ongunstige gevolgen van mismatches tussen vraag en aanbod van de geoogste materialen te voorkomen. Al voordat de partners deelnamen aan de aanbesteding voor de demontage van het donorgebouw, moedigden ze de eigenaar van het donorgebouw aan om doelgebouwen te vinden en vonden ook zelf een doelgebouw. Een hoeksteen van hun aanbestedingsvoorstel was dat de meeste betonnen constructievloeren en -wanden zouden worden hergebruikt in doelgebouwen.

Zoals de partners opmerkten, kon het identificeren van een doelgebouw met een vergelijkbaar bouwvolume als het donorgebouw helpen om te voorkomen dat materialen alsnog niet zouden kunnen worden hergebruikt na activiteiten zoals het inventariseren, oogsten, transporteren, opslaan en herstellen. Bovendien was zo een besparing mogelijk van veel van de inspanningen en investeringen die nodig waren om herbruikbare componenten te vinden en toe te passen in het nieuwe ontwerp. De componenten en de aanzienlijke hoeveelheid bijbehorende informatie, zoals de beschikbaarheid, kwantiteit, kwaliteit en het vermogen om te voldoen aan de (wettelijke) vereisten voor hun functie in het nieuwe gebouw, waren hierdoor gemakkelijker beschikbaar. Ze konden rechtstreeks via het demontagebedrijf

worden verkregen vanaf het begin van of tijdens het proces, in plaats van dat verschillende bronnen moesten worden benaderd om ze te vinden. Bovendien werd demontage als een haalbare optie beschouwd boven sloop. Partners namen namelijk aan dat ze enerzijds inkomsten konden genereren uit het hergebruik van de componenten en anderzijds de kosten voor het verwijderen van bouw- en sloopafval en (geluids- en stof-)overlast konden terugdringen.

Zorg voor overlappende demontage- en ontwerpfasen

Het tweede principe is het zorgen voor overlappende demontage- en ontwerpfasen. De partners probeerden op die manier de tijd tussen het einde van de demontage en het begin van de bouw (of 'remontage') van de geoogste componenten in het beoogde doelgebouw te verkorten. Op die manier wilden de partners de opslagkosten verminderen, evenals de kans op schade aan materialen gedurende die periode. Bovendien bood het de mogelijkheid om informatie over de componenten te vergaren en te delen. Zo gaf de ontwerpprojectleider aan dat hij vaak vragen ontving van het demontagebedrijf over de toepasbaarheid van bepaalde te demonteren componenten. Om dat te beoordelen, stuurde hij dan een lijst met vragen over die componenten terug. Voorbeelden hiervan zijn: wat waren de afmetingen van de elementen, hoeveel waren er beschikbaar, was de fabrikant bekend, was er documentatie over technische eigenschappen, wat voor soort verbindingen hadden ze, wat was de staat, konden ze netjes worden geoogst of moesten ze opnieuw worden gecertificeerd? De directe communicatie tussen 'leverancier' en 'koper' van componenten maakte het mogelijk om de (tijds) investeringen te optimaliseren om alle informatie te verkrijgen die nodig is voor het ontwerp.

De daadwerkelijke bouw van het doelgebouw startte echter niet direct nadat de demontage was voltooid, zoals de partners aanvankelijk hadden gehoopt. De ontwerpfase moest worden verlengd voorbij het einde van de demontage door wijzigingen in de programmatische eisen voor het

nieuwe gebouw. Zo vereiste de ambitie om een natuurlijk ventilatiesysteem in het doelgebouw te installeren, extra onderzoek (en tijd) van de adviseurs, wat de initiële ontwerp- en bouwplannen aanzienlijk vertraagde. Het hergebruik van componenten veroorzaakte deze vertraging niet, zoals de projectleider van het ontwerp bevestigde in een interview. Zonder overlappende projectfasen zou de tijd tussen vraag en aanbod echter kunnen zorgen voor informatieverlies.

Deel projectinformatie vroegtijdig in het proces

Het derde principe wijst naar het delen van informatie zo vroeg mogelijk tijdens de demontage- en ontwerpprocessen. Dit droeg bij aan het verminderen van onzekerheid in de besluitvormingsprocessen van de beide partijen. Het delen van informatie bleek cruciaal om hergebruik te vergemakkelijken, zelfs al tijdens het aanbestedingsvoorstel. Zo werden daarin visualisaties van het doelgebouw opgenomen, zoals gemaakt door de ontwerper op basis van een inventarisatie van de componenten uit het donorgebouw door het demontagebedrijf. Om het zogenoemde demontageplan op te stellen, was het noodzakelijk om te begrijpen welke componenten de moeite waard en haalbaar waren om te oogsten. Aangezien er geen materiaalpaspoort beschikbaar was van het donorgebouw en het ook niet was ontworpen om te worden gedemonteerd, moest veel informatie over de componenten op andere manieren worden verzameld. Bouwtekeningen en andere documenten werden daarom uit archieven opgehaald. Voormalige werknemers die bij de bouw eind jaren tachtig betrokken waren geweest, werden zelfs actief gezocht door het demontagebedrijf en bevraagd. Deze gesprekken lieten details van het oorspronkelijke bouwproces van de donor zien. Die hielpen bij het plannen van de demontage. Zo werd bijvoorbeeld de volgorde achterhaald waarin de componenten waren gemonteerd of welke verbindingen waren toegepast. Verder werden ter inventarisatie een point cloud scan en een BIM-model van het donorgebouw gemaakt. Op basis van deze inventarisatie plande het demontagebedrijf de



demontage en onderzocht het ontwerpbedrijf de mogelijkheden voor hergebruik van de componenten in een doelgebouw.

Tijdens het demontage- en ontwerpproces bleek vroegtijdige informatieverzameling en -uitwisseling essentieel. Dit werd ontdekt zowel tijdens een workshop met de partners over hun informatiebehoeften in dit proces als ook tijdens onderzoeksinterviews. De ontwerpprojectleider zei bijvoorbeeld dat het veel gedoe had kunnen schelen als ze veel eerder in het proces op de hoogte waren geweest van een wettelijke eis over de brandwerendheid van de kanaalplaatvloeren. De totale dikte van de geoogste componenten (kanaalplaten met druklaag) zou bij het opnieuw aanbrengen buiten het toegestane bereik kunnen vallen, wat kostbare aanpassingen zou kunnen vereisen. Een oplossing werd wel gevonden, maar dit kostte een aanzienlijke extra investering en leidde tot vertraging. Als er geen oplossing was gevonden, kon dit belangrijke bouwdeel niet worden hergebruikt. Dat had het hele project on-

haalbaar kunnen maken en het verlies van de tot dan toe gedane investeringen kunnen betekenen.

Benader onzekerheden met een flexibele houding

Het vierde en laatste principe omvat het benaderen van onzekerheden met een flexibele houding. Terwijl de partners graag duidelijke informatie wilden hebben waarop ze hun beslissingen konden baseren, bleek een flexibele en creatieve houding juist essentieel bij het aangaan van de uitdagingen rondom het hergebruik van componenten. Flexibiliteit was de basis van hun samenwerking en werd nog relevanter naarmate het proces vorderde. Hiervan getuigt het innovatieve karakter van hun gezamenlijke aanbestedingsvoorstel, waarbij de demontage van een donorgebouw werd gekoppeld aan het ontwerp van een doelgebouw. Dat geldt ook voor de ontwikkeling van methoden voor het demonteren van een gebouw dat helemaal niet voor dat doel was gebouwd. Een ander voorbeeld is het frequent zoeken naar of creëren van oplossingen voor het hergebruiken

van componenten, zelfs buiten het ontwerp van het doelgebouw. Zo werden de kanaalplaatvloeren getest en opnieuw gecertificeerd in samenwerking met de oorspronkelijke leverancier en werd de mogelijkheid geopperd om betonnen trappen te leveren voor hergebruik op dijken.

De ontwerper merkte op dat flexibiliteit bij het ontwikkelen van dergelijke oplossingen voor hergebruikontwerp van groot belang is. Wanneer er tijdens het hergebruikproces meer en nauwkeurigere informatie beschikbaar komt, kan dat aanleiding zijn voor aanpassingen in het ontwerp. Enige flexibiliteit is dan van belang. Als voorbeeld gaf hij aan dat bufferruimtes in plattegronden werden opgenomen om mismatches in materiaalafme-

tingen op te vangen. Zoals de ontwerper aangaf, vereist het ontwerpen bovendien een onconventionele aanpak waarbij enkel specifieke beschikbare componenten worden voorgeschreven in plaats van nieuwe in welke soort en maat dan ook. In een traditioneel (lineair) ontwerpproces worden nieuwe materialen geselecteerd, of zelfs op maat gemaakt, op basis van voorgeschreven vereisten. Dit gebeurt dan ook vaak in een later stadium. Maar bij het ontwerpen met geoogste materialen zijn specifieke kenmerken vanaf het begin van het proces bepalend voor de ontwerp-oplossingen. Niettemin werden in dit project verschillende ontwerpversies voor het doelgebouw ontwikkeld uit dezelfde geoogste componenten. Het ontwerpen met de beschikbare componen-

BEELD 4 ► ONTWERPVERSIE 2023 VAN HET DOELGEBOUW



ten leek de creativiteit van de ontwerpers daarbij niet te beperken.

DISCUSSIE

Dit onderzoek naar de samenwerking tussen een demontage- en een ontwerppartner rondom het circulair matchen van een donor- en een doelgebouw levert vier principes op voor het hergebruik bouwcomponenten. Dat geeft nieuwe inzichten voor circulair bouwmanagement.

De matchingprincipes geven richting aan de onderzochte samenwerking en blijken als zodanig grootschaliger hergebruik te ondersteunen. Het samenwerkingsinitiatief bleek succesvol in het aanpakken van diverse barrières in de categorisatie van Mhatre et al. (2023). Zo konden economische barrières worden overwonnen, bijvoorbeeld doordat er lagere kosten waren omdat geen nieuwe materialen hoefden te worden ingekocht. Door vroegtijdige informatieverzameling en -uitwisseling konden beide partijen milieu- en technische barrières omzeilen. Hier droeg bijvoorbeeld ook het creëren van technische oplossingen aan bij voor de demontage van gebouwen die daarvoor niet zijn ontworpen. Maatschappelijke barrières werden verder aangepakt door de creatie van een eigen markt voor geoogste materialen. Ze gingen met wettelijke beperkingen om door zelf te streven naar hercertificering van componenten. Gedragsbarrières werden omgezet door open communicatie binnen de samenwerking en naar het grote publiek te bevorderen. Tot slot droegen ze door de uitvoering van hun project bij aan het verminderen van negatieve percepties over geoogste materialen.

Hoewel de geïdentificeerde principes hergebruik bevorderden, kunnen ook andere belemmerende factoren een rol spelen bij het daadwerkelijk mogelijk maken van hergebruik. Zo was er in de onderzochte samenwerking een lange stand-byperiode gedurende het ontwerpproces door veranderende functionele ambities voor het project. Verder moeten de principes die we in dit onderzoek hebben geïdentificeerd worden geïnterpreteerd als lessen die nog verder gevalideerd moeten worden in toekomstig onderzoek. Het onderzoek heeft dan ook

een beperkte voorspellende waarde gezien de complexiteit die inherent is aan hergebruik. Meer onderzoek is nodig om inzicht in andere relevante factoren te verkrijgen. Niettemin bevestigt onze studie het potentieel van een nauwere samenwerking tussen actoren die traditioneel tot het einde respectievelijk het begin van de levenscyclus behoren. Eerdere, meer theoretisch georiënteerde onderzoeken, zoals dat van Wijewickrama et al. (2021), maakten vergelijkbare claims, maar zonder daarvoor bewijs te leveren. Ons onderzoek gaat een stap verder. Het levert met vier matchingprincipes een nieuwe bijdrage doordat we empirisch aantonen hoe hergebruik op een haalbare manier mogelijk kan worden gemaakt binnen de huidige bouwpraktijk.

Hergebruik lijkt een haalbare circulaire strategie te kunnen zijn wanneer de geïdentificeerde matchingsprincipes kunnen worden gevolgd. Enerzijds bespaart hergebruik op milieueffecten en kosten, zoals de productie van nieuwe componenten en stortafval. Tegelijkertijd brengt het initieel hogere kosten met zich mee door een complexer en tijdrovender proces, inclusief inspectie, inventarisatie van kenmerken, demontage, transport, opslag en eventueel hercertificering, herstel of aanpassingen van de componenten. Volgens de berekeningen van het demontagebedrijf zijn bijvoorbeeld tweedehands kanaalplaten goedkoper dan nieuwe kanaalplaten, ondanks de demontagekosten. De prijzen voor hergebruik van geoogste kanaalplaten kunnen echter iets hoger uitvallen dan die voor het gebruik van nieuwe door benodigde aanpassingen en/of herstelwerkzaamheden. Doordat het verschil in kosten beperkt is en hergebruik in een scenario met droge verbindingen zelfs goedkoper kan uitvallen, biedt hergebruik ook in dit opzicht een kansrijke basis voor een nieuwe gebruikscyclus en een duurzamer bouwproces.

De complexiteit die inherent is aan hergebruik, zoals ook benadrukt door Kawa et al. (2022), kan worden verminderd door een aanpak vergelijkbaar aan die we geïllustreerd hebben in dit artikel. Door de tijd tussen de demontage en het hergebruik van componenten te verkorten, kunnen de extra

kosten worden verminderd. Bovendien zou de prikkel om hergebruik toe te passen groter zijn als de besparingen op milieu-impact – zoals het vermijden van grondstofuitputting, bouw- en sloopafval en schadelijke emissies – konden worden meegenomen in de totale kosten, bijvoorbeeld via regulerende mechanismen voor koolstofhandel. Toch was dit in het geobserveerde geval geen belemmering. In feite bevestigt deze aanpak dat de operationalisering van hergebruik innovatieve ontwerpmethoden vereist (Gorgolewski & Moretten, 2009). Een dergelijke aanpak kan hergebruik haalbaar en opschaalbaar maken.

CONCLUSIE

Deze studie heeft in kaart gebracht hoe demontage- en ontwerpactoren kunnen samenwerken om hergebruik van bouwcomponenten mogelijk te maken. We volgden een matchingsproces

waarbij een donorgebouw werd gedemonteerd en een doelgebouw werd ontworpen met de componenten van het eerste. Ondersteund met observaties, interviews en projectdocumentatie leiden we vier matchingprincipes af die hergebruik mogelijk maken. Wanneer deze demontage- en ontwerpactoren samenwerken om de materiaalkringloop te sluiten kan hergebruik van bouwcomponenten haalbaar en opschaalbaar worden door: (1) een doelgebouw te identificeren met een vergelijkbaar bouwvolume als het donorgebouw, (2) demontage- en ontwerpfasen te laten overlappen, (3) projectinformatie vroegtijdig in het proces met elkaar te delen en (4) onzekerheden met een flexibele houding te benaderen. Deze vier matchingprincipes bieden nieuwe handvatten voor het realiseren van circulariteitsdoelstellingen in demontage- en ontwerpprojecten.

OVER DE AUTEURS

Ana Conceição is postdoc-onderzoeker naar circulariteit in de gebouwde omgeving bij de faculteit Bouwkunde van TU Delft.

Marc van den Berg is universitair docent bij de Faculty of Engineering Technology van de Universiteit Twente.

Vincent Gruis is hoogleraar Housing Management bij de faculteit Bouwkunde van TU Delft, en voorzitter van het Transitieteam Circulaire Bouweconomie.

Dit artikel is een beknopte versie van een 'working paper' zoals gepresenteerd bij de 40e Annual ARCOM Conference 2024.

REFERENTIES

- Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Bello, S. A., Jaiyeoba, B. E., en Kadiri, K. O. (2017) Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. "Waste Management", 60, 3-13.
- Bertin, I., Saadé, M., Le Roy, R., Jaeger, J.-M., en Feraille, A. (2022) Environmental impacts of Design for Reuse practices in the building sector. "Journal of Cleaner Production", 349, 131228.
- Çetin, S., Raghu, D., Honic, M., Straub, A., en Gruis, V. (2023) Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. "Sustainable Production and Consumption", 40, 422-437.
- Creswell, J. W. (2014) "Research design: qualitative, quantitative, and mixed method approaches". 4ed. Los Angeles: Sage Publications.
- Durmisevic, E., en Binnemars, S. (2014) Barriers for deconstruction and reuse/recycling of construction materials in Netherlands. In: S Nakajima and M Russell, (eds.) "Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials". CIB Publication 397.
- Durmisevic, E., en Yeang, K. (2009) Designing for disassembly (DfD). "Architectural Design", 79(6), 134-137.
- Eikelenboom, M., Oosterlee, M., & van Marrewijk, A. (2024). Demolishers or 'material experts'? Project actors negotiating changing roles in sustainable projects. *International Journal of Project Management*, 42(4), 102605.
- Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G., en Campioli, A. (2022) Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices. "Journal of Cleaner Production", 336, 130395.
- Gorgolewski, M. (2008). *Designing with reused building components: some challenges*. *Building Research & Information*, 36(2), 175-188.
- Gorgolewski, M., en Morettin, L. (2009) The Process of Designing with Reused Building Components. In: "CMS2009: Conference on Construction Material Stewardship - Lifecycle Design of Buildings, Systems and Materials", Rotterdam.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., en Mayer, A. (2020) Spaceship earth's odyssey to a circular economy - a century long perspective. "Resources, Conservation and Recycling", 163, 105076.
- Iacovidou, E., en Purnell, P. (2016) Mining the physical Infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse. "Science of the Total Environment", 557-558, 791-807.
- Kawa, G., Galle, W., en De Temmerman, N. (2022) Developing a 'Design with Reuse' guide. Case study analysis from a design procedural perspective for the integration of reclaimed wood in façade architecture. "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", 1122(1), 012032.
- Küpfer, C., Bastien-Masse, M., en Fivet, C. (2023) Reuse of concrete components in new construction projects: Critical review of 77 circular precedents. "Journal of Cleaner Production", 383, 135235.
- Mhatre, P., Gedam, V. V., Unnikrishnan, S., en Raut, R. D. (2023) Circular economy adoption barriers in built environment - a case of emerging economy. "Journal of Cleaner Production", 392, 136201.
- Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G. M., en Gruner, R. L. (2020) Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. "Resources, Conservation and Recycling", 160, 104855.
- van den Berg, M., Hulsbeek, L., en Voordijk, H. (2023) Decision-support for selecting demolition waste management strategies. "Buildings and Cities". 4(1), 883-901.
- Wijewickrama, M. K. C. S., Chileshe, N., Rameezdeen, R., en Ochoa, J. J. (2021) Information sharing in reverse logistics supply chain of demolition waste: A systematic literature review. "Journal of Cleaner Production", 280, 124359.
- Yin, R. K. (2018) "Case study research and applications: design and methods". 6ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications.

Circular Renovation of Aged Educational Buildings: Context and Necessities for Transformation in the Netherlands

Many educational buildings in the Netherlands and EU (1950s-1990s) face outdated infrastructure, energy inefficiencies, and poor indoor environments. This paper presents a literature review highlighting the necessity for circular renovation as a solution, addressing issues in energy efficiency, material performance, structural integrity, functionality, and building code compliance. Using Steward Brand's 'Shearing Layers' model, the research identifies key problems across building layers. It proposes a circular approach to extend building life cycles, reduce waste and GHG emissions, and improve educational environments. Circular renovation updates educational buildings and promotes sustainability in the construction industry, making it essential for future development.

Fujing Ma, Torsten Schröder and Juliette Bekkering

1. INTRODUCTION

1.1 Background and Problem Statement

The construction and operation of buildings significantly impact the environment (Akkose et al., 2021), where reducing environmental impacts requires a shift from new construction to renovating and transforming existing buildings (EPRS, 2021). To achieve the European Union's (EU) 2030 energy efficiency targets and the revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) and its long-term goal of decarbonizing its building stock by 2050, renovation has become critical, and the renovation rate needs to be increased to at least 2-3% every year (European Commission, 2021).

In the EU, educational buildings account for 17% of the non-residential building stock (Economidou et al., 2011; Österreicher & Geissler, 2016). In the Netherlands, there are approximately 12,000 educational buildings, covering 20.6 million square meters, 62% of these were built before 1990 (TU/e, 2022).

Aged educational buildings often exhibit significant wear and tear, including outdated HVAC and electrical systems, poor energy

performance, and non-compliance with today's standards for comfort, accessibility, and safety (Hu, 2020). Furthermore, they frequently lack the flexibility and technological integration needed to support contemporary and future educational demands (Papaioannou et al., 2023; Valtonen et al., 2021). This ageing building stock underscores the urgent need for renovation to meet contemporary educational and sustainability standards.

1.2 Importance of Circular Renovation

The construction industry is increasingly embracing circular economy principles to reduce carbon emissions, conserve resources, and minimize waste across a building's lifecycle (Hossain et al., 2020). Circular renovation emphasizes reuse, adaptability, and longevity in existing buildings, reducing the need for virgin materials and waste generation (Ginga et al., 2020). Circular design for new buildings has received much attention and diverse guidelines have been developed (ARUP & EMF, 2022; BTIC, 2021; Platform CB'23, 2023; Cheshire, 2019). However, advancing circular renovation practices is equally crucial, yet requires further development and clarification.

Circular renovation is particularly relevant for educational buildings, which often require substantial updates after decades of use. Instead of demolition, circular principles advocate for renovating and retrofitting these buildings to enhance sustainability, functionality, and adaptability. This approach conserves resources, reduces emissions, and preserves cultural heritage, aligning with initiatives like the European Union's Renovation Wave (European Commission, 2020). By extending the lifespan of aged educational buildings by 10 to 20 years or more, circular renovation minimizes environmental and financial costs associated with new construction and demolition, marking a significant shift from traditional practices (Fernandes & Ferrão, 2023).

1.3 Research Objectives and Research Questions

This paper delves into the imperatives of renovating aged educational buildings in the Netherlands. Through the lens of circular renovation, we explore the potential of these buildings to serve as anchors for sustainable development, redefining their roles within the educational sector and the broader community. Our research is anchored on three fundamental questions:

- Why is it necessary to renovate aged educational buildings?
- What are the specific problems and characteristics that necessitate renovation in relation to distinct building elements/layers?
- Why do the characteristics of these buildings necessitate a shift towards circular practices in renovation?

By addressing these questions, we aim to contribute to the discourse on circular building practices and inspire actionable insights for policymakers, educational institutions, and the building industry.

2. METHODOLOGY

To explore the necessity and characteristics of renovating aged educational buildings in the Netherlands, a literature review is conducted to understand the current state of educational buildings constructed from the 1950s to the 1990s. The focus will be on identifying the specific issues these aged educational buildings face.

The literature search was conducted using the academic database Scopus, covering publications from 2017 to 2024 to ensure the inclusion of recent and relevant studies. Additionally, relevant books were identified through library catalogs to ensure a comprehensive review of both journal articles and monographs. The search strategy utilized key terms, including “circular economy” OR “circular renovation” OR “energy efficiency” AND “educational buildings” OR “school”. This search yielded a total of 1,154 documents, including peer-reviewed journal articles, conference papers, and book chapters. The documents retrieved were first screened based on their titles and abstracts. Papers were excluded if they did not specifically address themes related to circular renovation, energy efficiency, or educational buildings, 106 documents were obtained after relevance screening. The remaining papers were then subjected to a full-text review to determine their direct relevance to the research questions. After full-text screening, 56 documents were selected for inclusion in the review.

Grey literature, such as white papers, technical reports, and policy documents, was identified through targeted searches on official government and institutional websites, as well as industry-specific portals. These sources were included to provide a comprehensive understanding of both academic and practical perspectives on circular renovation.

3. LITERATURE REVIEW

The literature review consists of three parts that aim to answer the three research questions defined in section 1.3. The following part aims to answer the question “Why is it necessary to renovate aged educational buildings?”.

3.1 Necessity for Renovating Aged Educational Buildings

The literature review showed that aged educational buildings are no longer fully capable of addressing contemporary demands in five key areas: energy efficiency, material performance, structural integrity, functional design, and compliance with updated building codes.

Many of these buildings suffer from energy inefficiency due to outdated envelopes, single-glazed windows, and inefficient HVAC systems (Akram et al., 2022; Luo et al., 2019; Mohamed et al., 2021). The renovation of these buildings is necessary to extend their life cycle, reduce the consumption of energy and other resources, and decrease the associated level of emissions

(Mohammadizazi & Bilec, 2023; Monsù Scolaro & De Medici, 2021). Integrating renewable energy solutions, such as solar panels, can transform these buildings from passive energy consumers to active producers, aligning with modern sustainability goals (Chen et al., 2024; Citadini de Oliveira et al., 2024; Fernandes et al., 2021).

Material degradation and the presence of hazardous substances like asbestos and lead paint further necessitate renovations (Faqih et al., 2020; Kim & Yu, 2014; Wu et al., 2021). Stuart Brand’s ‘Shearing Layers’ model emphasizes the need for designs that allow easy disassembly and replacement of shorter-lived components (Brand, 1995). Additionally, as buildings age, their structural integrity can be compromised, posing significant safety risks to occupants. In the Netherlands, safety regulations for educational buildings are primarily governed by the Bouwbesluit (Building Decree), which specifies requirements for fire safety, structural integrity, and indoor climate, including ventilation standards (SABA Adhesives, 2021).

TABLE 1 ► REASONS FOR RENOVATION

Energy ◦	● Outdated heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) Systems (Mohamed et al., 2021) ◦ ● Resource Use and Operational Costs (Mohammadizazi & Bilec, 2023) ◦ ● Environmental Impact (Chen et al., 2024; De Wolf et al., 2020) ◦ ● Need renewable energy and energy independence (Citadini de Oliveira et al., 2024; Fernandes et al., 2021) ◦
Materials ◦	● Materials degrade (Faqih et al., 2020) ◦ ● Hazardous Materials (Kim & Yu, 2014; Wu et al., 2021) ◦
Structures ◦	● Structural Integrity (SABA Adhesives, 2021) ◦
Function ◦	● Functional and Technological Obsolescence (Papaioannou et al., 2023) ◦ ● Active learning environments require flexible/adaptable spaces (Carlos et al., 2024; Papaioannou et al., 2023) ◦
Building codes ◦	● Not Meeting Contemporary Educational Building Standards (Tse et al., 2018) ◦

Furthermore, the facilities within aged educational buildings often fail to meet contemporary educational standards (Tse et al., 2018). Functionally, these buildings frequently fail to support emerging educational needs. Outdated spatial configurations, poor indoor air quality, and inadequate lighting can hinder learning and well-being (Sadrizadeh et al., 2022). Contemporary pedagogies demand flexible spaces that accommodate diverse learning formats, from group work to virtual learning (Carlos et al., 2024; Papaioannou et al., 2023). Additionally, renovations must address updated building codes, including fire safety and accessibility improvements (Ching & Winkel, 2021).

In summary, renovating aged educational buildings involves enhancing energy efficiency to cut emissions and operational expenses while improving ventilation and thermal comfort. Material upgrades should replace hazardous substances like asbestos with non-toxic, durable, and recyclable options. Structural adjustments may be needed for flexibility and modern technology integration. Renovations must also

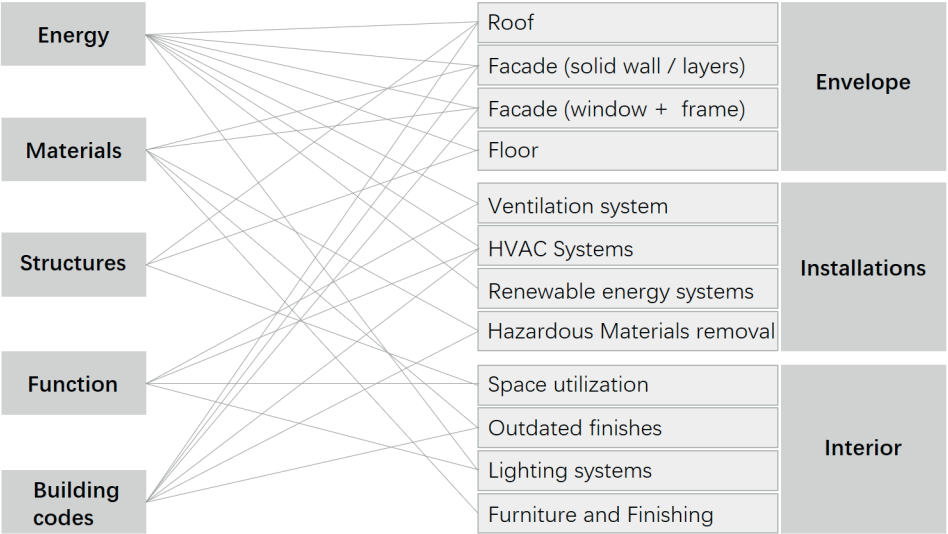
create adaptable spaces to support evolving educational methods and ensure compliance with updated safety, accessibility, and energy performance codes.

3.2 The specific problems and characteristics that necessitate renovation

This section aims to explore and analyse how necessities for renovations (section 3.1) relate to specific parts/layers of the buildings encountered by educational buildings as they age. By categorizing the challenges mentioned in the previous section, we can better understand how issues such as material degradation, structural instability, and functional inefficiency manifest in different ‘Shearing Layers’ (Brand, 1995). In the following, these problems are mapped across various sections, enabling a more targeted approach to renovation planning.

The building envelope plays a vital role in energy performance, affecting thermal insulation, air infiltration, and HVAC efficiency (Mohelníková et al., 2020). Specific issues with aged educational buildings include deficiencies in ventilation

FIGURE 1 ► KEY RELATIONS BETWEEN MAIN PROBLEMS' DISTRIBUTION OF AGED EDUCATIONAL BUILDINGS IN BUILDING PARTS/LAYERS



Source: Diagram by author

quality, user comfort (Masseck et al., 2024), inadequate thermal comfort, poor indoor air quality, and high energy consumption due to inefficient building envelopes (Díaz-López et al., 2022). Therefore, optimizing the building envelope is critical to enhancing energy efficiency, reducing the environmental footprint, and achieving sustainable performance in educational buildings.

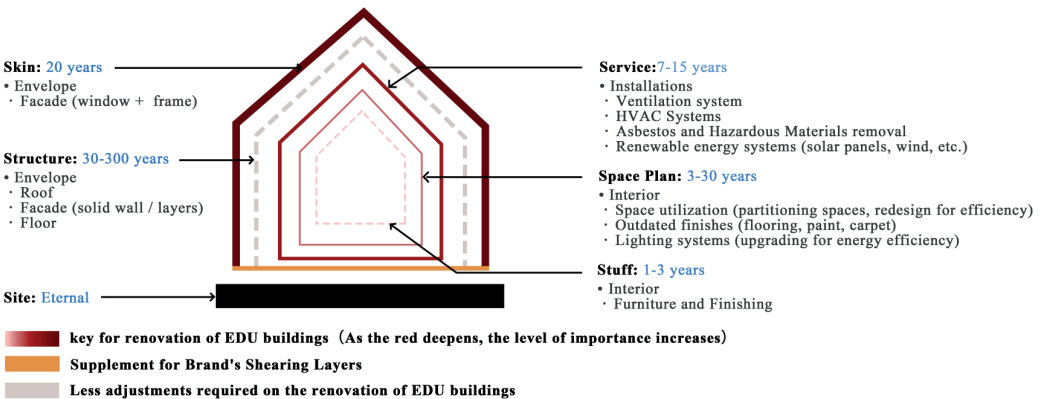
Ventilation systems in many educational buildings fail to meet modern standards for air quality and comfort (Bugenings et al., 2022), often requiring upgrades or replacements. Outdated HVAC systems further compromise indoor environmental quality, increase energy use, and raise operational expenses (Pourebrahimi et al., 2023). The absence of updated technology in these critical areas not only compromises indoor environmental quality but also leads to higher operational expenses and increased energy consumption.

Additionally, many aged buildings were constructed with less durable materials and methods, leading to faster degradation and higher maintenance needs (Reguis et al., 2023). These structures often lack design considerations for future disassembly and reuse, resulting in material waste at the end of their lifecycle (Kitayama et al., 2024).

Based on the literature review (Bugenings et al., 2022; Díaz-López et al., 2022; Kitayama et al., 2024; Masseck et al., 2024; Mohelníková et al., 2020; Pourebrahimi et al., 2023; Reguis et al., 2023), the main issues in aged educational buildings are categorized into three areas: Envelope, Installations, and Interior. The diagram illustrates the interconnections between the specific building elements (Envelope, Installations, Interior) and the primary categories of issues faced by aged educational buildings: Energy, Materials, Structures, Function, and Building Codes. Each connection highlights the interdependence of building systems, underscoring the need for a holistic renovation approach that addresses the interrelated nature of all components.

Figure 2 adapts Brand's 'Shearing Layers' model to focus on the specific challenges faced by aged educational buildings. Brand's model identifies six layers — Site, Structure, Skin, Services, Space Plan, and Stuff — highlighting their temporal nature (Brand, 1995). However, there are some limitations in Brand's framework. For instance, Brand overlooks the significance of the floor, particularly in terms of insulation and energy performance. In contrast to Brand's original framework, this analysis emphasizes issues related to the building's skin, services, and space plan, while also incorporating the neglected element of flooring (displayed in orange). The

FIGURE 2 ► MAIN RENOVATION CHALLENGES MAPPED ONTO BRAND'S 'SHEARING LAYERS'



Source: Diagram based on (Brand, 1995)

adapted model provides a more comprehensive approach tailored to the objectives of circular renovation in educational architecture. In Figure 2, gray is used to signify areas where the degree of change required during the renovation process is minimal. In contrast, red is employed to denote areas of greater importance during renovation, with the intensity of the red indicating the level of priority or urgency. The darker the shade of red, the more critical the renovation intervention in that particular layer. This classification helps prioritize critical renovation interventions, guiding the circular renovation process effectively.

3.3 Aged Educational Buildings shift towards circular practices in renovation

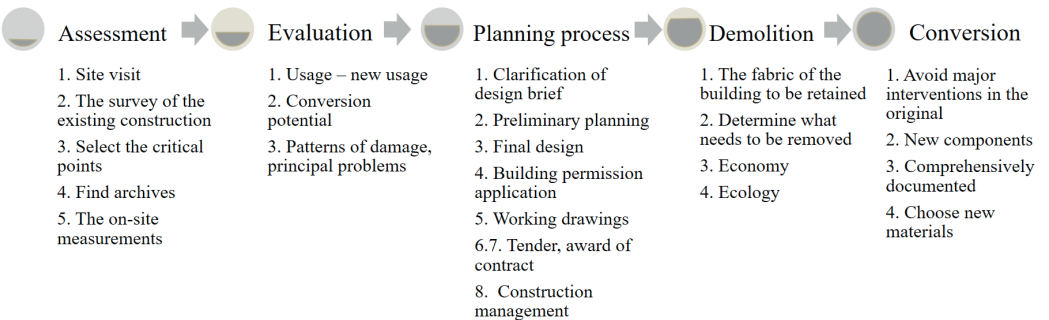
This section seeks to address the research question: “Why do the characteristics of aged educational buildings necessitate a shift towards circular practices in renovation?”

Educational buildings have unique functions and societal roles, particularly in shaping learning environments (Valtonen et al., 2021). These characteristics present distinct opportunities for sustainability and circular renovation. Educational buildings can serve as living labs or demonstration sites that showcase sustainable practices in energy use, materials, and circular renovation (Katikas & Sotiriou, 2023). By incorporating sustainable and circular principles in design and renovation, these buildings can educate students and staff about environmental challenges and

solutions in a real-world context. Educational buildings are highly utilized throughout the year, with students and staff occupying them daily for long hours (Sadrizadeh et al., 2022). This continuous use means their energy efficiency, indoor air quality, and comfort have a greater impact on overall sustainability and well-being than less frequently used buildings. With long lifecycles, educational buildings must adapt to evolving educational methods and technologies (Le et al., 2021). Circular renovation can extend their lifespan, ensuring they remain functional and flexible. Higher education buildings must exhibit a high degree of adaptability to accommodate a dynamic user population and the frequently evolving programmatic and organizational requirements of academic institutions (Becker et al., 2023). The evolution of learning environments requires a reconsideration of architectural practices, particularly for educational buildings. It emphasizes that educational buildings must adapt to new forms of learning that prioritize flexibility (ARCH+, 2022).

The Dutch government is working to address the challenges associated with aging educational buildings, including promoting circular economy principles and developing circular renovation practices. A broad range of circular design principles for new buildings exists: it includes Design for Disassembly (Dams et al., 2021; O’Grady et al., 2021), Modular design (Machado & Morioka, 2021; Yang et al., 2024), Flexible

FIGURE 3 ► BUILDING RENOVATION DESIGN PROCESS



Source: Diagram based on (Giebelier et al., 2012)

Design (Hamida et al., 2022). Design with Reuse, Design with Biodegradables, Design for Reuse, Design for Repair, Design for Repair (ARUP & EMF, 2022; BTIC, 2021; Platform CB'23, 2023; Cheshire, 2019). To move towards circular renovation, it is a crucial future task to explore, test and adapt these design strategies for circular renovation.

Adopting circular design principles—such as design for disassembly, material recovery, and renewable energy integration—can transform educational buildings into sustainable, adaptable spaces that meet contemporary educational demands. Circular renovation is driven by both environmental imperatives and the need for buildings to adapt to dynamic learning environments.

Understanding the renovation process is crucial, as specific challenges at each phase require tailored strategies. Decisions on material reuse, energy efficiency, and system upgrades must be carefully planned to transition towards circular renovation. The traditional process includes preliminary analysis, planning, demolition, restoration, modernization, and finishing (Giebeler et al., 2012).

Circular practices such as reuse and recycling, are essential to minimize the environmental impact of traditional construction through minimizing waste, reducing carbon footprint, and prolonging the life of building components, making renovation projects more circular (Díaz-López et al., 2022; Kitayama et al., 2024).

Renovation processes are inherently material-intensive, often requiring substantial resources to address structural, functional, and aesthetic needs. By adopting circular renovation strategies, architects, and builders can reduce the environmental impact of material consumption. This approach advocates for reusing, recycling, and upcycling materials wherever possible, minimizing the extraction of new resources and reducing waste (Santos et al., 2024). Additionally, designing for material recovery

and adaptability ensures that future renovations or deconstructions can similarly benefit from sustainable practices (Askar et al., 2022).

4. RESULTS AND KEY FINDINGS

4.1 *Necessity for Renovation of Aged Educational Buildings*

The analysis reveals that multiple factors, including energy efficiency, material performance, structural integrity, functional design, and compliance with updated building codes drive the renovation of aged educational buildings.

Aged educational buildings face multiple, interconnected challenges that necessitate renovation. Outdated HVAC systems lead to high energy consumption and costs (Chen et al., 2024; Mohamed et al., 2021; Mohammadizazi & Bilec, 2023). The integration of renewable energy is crucial to achieving energy independence (Citadini de Oliveira et al., 2024). On the materials front, degraded and hazardous materials like asbestos pose health risks (Faqih et al., 2020; Kim & Yu, 2014), while structural integrity concerns compromise safety (SABA Adhesives, 2021). Functionally, these buildings suffer from technological obsolescence and lack the flexibility needed for contemporary learning environments (Papaioannou et al., 2023). Furthermore, non-compliance with current building codes underscores the need for comprehensive updates to ensure both safety and functionality (Ching & Winkel, 2021). These factors collectively highlight the urgency of renovating aged educational buildings. Additionally, aesthetic upgrades can enhance the campus's appeal and reflect the institution's commitment to innovation.

4.2 *Specific Problems and Characteristics of Aged Educational Buildings*

The study identifies specific Problems faced by aged educational buildings into three main categories: Envelope, Installations, and Interior:

- Envelope: Roofs, facades, windows, and

floors are often energy-inefficient, leading to high consumption and poor thermal performance (Díaz-López et al., 2022; Mohelníková et al., 2020).

- Installations: HVAC and ventilation systems, along with the presence of hazardous materials (e.g., asbestos), require modernization to meet safety and efficiency standards (Bugenings et al., 2022; Maseck et al., 2024; Pourebrahimi et al., 2023).
- Interior: Space utilization, outdated finishes, and inefficient lighting systems contribute to a lack of adaptability and energy inefficiency (Kitayama et al., 2024; Reguis et al., 2023).

This study adapts and expands the Brand's 'Shearing Layers' model (Brand, 1995) to address the specific challenges of aged educational buildings and emphasizes issues related to the building's skin, services, and space plan.

4.3 Shift Towards Circular Practices in Renovation

Educational buildings possess specific functional, spatial, and operational requirements that distinguish them from other types of structures, including higher flexibility, more technology integration, longer lifecycle, higher health and safety standards (Becker et al., 2023). Given their considerable size and high energy consumption (Elkhapery et al., 2021), long lifecycles, and the need for flexibility to accommodate evolving educational practices, they are uniquely positioned to benefit from circular renovation approaches.

Aged educational buildings are being demolished and replaced due to a lack of government compensation for building renovation or transformation (Oorschot, 2022). However, by renovating and not demolishing aged educational buildings, plenty of precious resources can be saved, and the negative environmental impact of new construction avoided. This is an important shift and paradigm change in the building sector, towards updating the existing building stock, instead of the past dominant approach

to starting from new. Circular renovation is still a relatively new topic, with only limited sources and guidelines yet available, but applying circular economy principles to the building renovation sector offers a transformative approach to address the problems of aged educational buildings.

5. CONCLUSION

5.1 Contribution and Relevance

The article contributes to the academic discourse and practice by:

Bridging Data Gaps: It points out the lack of precise data on the scope and challenges of aged educational buildings, providing a structured analysis of their specific issues. The lack of precise data regarding the number and composition of educational buildings at both the EU level and within the Netherlands, particularly for higher education institutions, presents a notable challenge in architectural research. While educational buildings constitute around 17% of non-residential structures in the EU, detailed information on universities is limited due to inconsistent data collection and categorization across member states. This data gap reflects the variability in data collection and categorization methods across EU member states. Moreover, the complexity of educational facilities — ranging from primary schools to universities — makes it challenging to pinpoint the exact number of buildings dedicated to higher education.

Advancing Circular Renovation: This research highlights the need to shift from traditional to circular renovation methods, providing a framework for applying circular principles to educational facilities. Renovating aged educational buildings in the Netherlands is essential due to energy inefficiency, material degradation, structural issues, functional obsolescence, and non-compliance with current building codes. It also presents an opportunity to enhance circularity through sustainable practices.

Practical Application: By using the 'Shearing

Layers' model, the research provides actionable insights for architects, engineers, and policymakers, enhancing the practical implementation of circular renovation strategies. The characteristics of aged educational buildings—such as the longer service life, energy efficiency upgrades, and adaptability—necessitate a shift towards circular renovation practices. These practices, prioritizing material reuse and sustainability, offer a transformative solution to extend building lifecycles and reduce environmental impact.

5.2 Future Research Directions

Further research is essential to develop comprehensive circular renovation strategies that are specifically tailored to the unique

challenges of aged educational buildings. “How can these strategies, typically tailored to new buildings, be transformed for renovation?” The question emphasizes the challenge of adapting strategies commonly used for new buildings to the renovation of educational buildings. This highlights a scientific need for developing tailored frameworks and a practical need for tools and methods that can be directly implemented in renovation projects. Simultaneously, it is essential to rethink and transform the traditional renovation process to establish a universal circular renovation framework. This transition involves integrating circular economy principles at every stage, from design to construction. Through the circular renovation process, enhancing the lifespan of aged educational buildings.

ABOUT THE AUTHORS

Fujing Ma is a PhD student at the Faculty of Built Environment, Architectural Design and Engineering at Eindhoven University of Technology.

Dr Torsten W.A. Schröder is an assistant professor of sustainability in architectural design at Eindhoven University of Technology (TU/e).

Prof Juliette Bekkering is a professor of Architectural Design and Engineering at Eindhoven University of Technology (TU/e).

REFERENCES

- Akkose, G., Meral Akgul, C., & Dino, I. G. (2021). Educational building retrofit under climate change and urban heat island effect. *Journal of Building Engineering*, 40, 102294. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102294>
- Akram, M. W., Mohd Zublie, M. F., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2022). Global Prospects, Advance Technologies and Policies of Energy-Saving and Sustainable Building Systems: A Review. *Sustainability*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su14031316>
- ARCH+. (2022). *Learning Spaces* | ISBN 978-3-931435-72-1. <https://archplus.net/en/archiv/ausgabe/249/#article-6910>
- ARUP & EMF. (2022). *Circular Buildings Toolkit*. <https://ce-toolkit.dhub.arup.com/>
- Askar, R., Bragança, L., & Gervásio, H. (2022). Design for Adaptability (DfA)—Frameworks and Assessment Models for Enhanced Circularity in Buildings. *Applied System Innovation*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/asi5010024>
- Becker, A. K., Ross, B. E., & Albright, D. (2023). Comparing Design Features of Campus Buildings with Adaptation/Demolition Outcomes. *Technology|Architecture + Design*, 7(2), 192–203. <https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245716>
- Brand, S. (1995). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin.
- BTIC. (2021, February 2). *TKI Bouw en Techniek*. https://tki-bouwentechniek.nl/wp-content/uploads/2021/02/Kenns-en-Innovatieprogramma_BTIC_CirculairOntwerpen_02022021.pdf
- Bugenings, L. A., Schaffer, M., Larsen, O. K., & Zhang, C. (2022). A novel solution for school renovations: Combining diffuse ceiling ventilation with double skin facade. *Journal of Building Engineering*, 49, 104026. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104026>

- Carlos, V., Reses, G., & Soares, S. C. (2024). Active learning spaces design and assessment: A qualitative systematic literature review. *Interactive Learning Environments*, 32(6), 2925–2942. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2163263>
- Chen, L., Zhang, Y., Chen, Z., Dong, Y., Jiang, Y., Hua, J., Liu, Y., Osman, A. I., Farghali, M., Huang, L., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2024). Biomaterials technology and policies in the building sector: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(2), 715–750. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01689-w>
- Cheshire, D. (2019). *Building revolutions: Applying the circular economy to the built environment*. RIBA publishing.
- Ching, F. D. K., & Winkel, S. R. (2021). *Building Codes Illustrated: A Guide to Understanding the 2021 International Building Code*. John Wiley & Sons.
- Citadini de Oliveira, C., Catão Martins Vaz, I., & Ghisi, E. (2024). Retrofit strategies to improve energy efficiency in buildings: An integrative review. *Energy and Buildings*, 321, 114624. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114624>
- Dams, B., Maskell, D., Shea, A., Allen, S., Driesser, M., Kretschmann, T., Walker, P., & Emmitt, S. (2021). A circular construction evaluation framework to promote designing for disassembly and adaptability. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128122>
- Díaz-López, C., Serrano-Jiménez, A., Verichev, K., & Barrios-Padura, Á. (2022). Passive cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in Mediterranean schools based on a critical review. *Building and Environment*, 221, 109297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109297>
- Economidou, M., Atanasu, B., Staniaszek, D., Maio, J., Nolte, I., Rapf, O., Laustsen, J., Ruyssevelt, P., Strong, D., & Zinetti, S. (2011). Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings.
- Elkhapery, B., Kianmehr, P., & Doczy, R. (2021). Benefits of retrofitting school buildings in accordance to LEED v4. *Journal of Building Engineering*, 33, 101798. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101798>
- EPRS. (2021). Revision of the Energy Performance of Buildings Directive: Fit for 55 package. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698901/EPRS_BRI\(2022\)698901_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698901/EPRS_BRI(2022)698901_EN.pdf)
- European Commission. (2020). Renovation wave. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- European Commission. (2021). DEEP Renovation: Shifting from exception to standard practice in eu policy - European Commission. https://managenergy.ec.europa.eu/publications/deep-renovation-shifting-exception-standard-practice-eu-policy_en
- Faqih, F., Zayed, T., & Soliman, E. (2020). Factors and defects analysis of physical and environmental condition of buildings. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s41024-020-00084-0>
- Fernandes, J., & Ferrão, P. (2023). A New Framework for Circular Refurbishment of Buildings to Operationalize Circular Economy Policies. *Environments*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/environments10030051>
- Fernandes, J., Santos, M. C., & Castro, R. (2021). Introductory Review of Energy Efficiency in Buildings Retrofits. *Energies*, 14(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/en14238100>
- Giebler, G., Krause, H., Fisch, R., Musso, F., Lenz, B., & Rudolphi, A. (2012). *Refurbishment Manual: Maintenance, Conversions, Extensions*. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1112/detail.9783034614337>
- Ginga, C. P., Ongpeng, J. M. C., & Daly, M. K. M. (2020). Circular Economy on Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Material Recovery and Production. *Materials*, 13(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ma13132970>
- Hamida, M. B., Jylhä, T., Remøy, H., & Gruis, V. (2022). Circular building adaptability and its determinants – A literature review. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 41(6), 47–69. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-11-2021-0150>
- Hossain, Md. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges, and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>
- Hu, M. (2020). Life-cycle environmental assessment of energy-retrofit strategies on a campus scale. *Building Research & Information*, 48(6), 659–680. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1691486>
- Katikas, L., & Sotiriou, S. (2023). Schools as living labs for the new European bauhaus. *Universal Access in the Information Society*. <https://doi.org/10.1007/s10209-023-01044-4>
- Kim, J. T., & Yu, C. W. F. (2014). Hazardous materials in buildings. *Indoor and Built Environment*, 23(1), 44–61. <https://doi.org/10.1177/1420326X14524073>
- Kitayama, S., Iuorio, O., Josa, I., Borrión, A., & Black, L. (2024). Determining the carbon footprint reduction of reusing

- lightweight exterior infill walls: A case study of a school building in the United Kingdom. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143061>
- Le, A. T. H., Park, K. S., Domingo, N., Rasheed, E., & Mithraratne, N. (2021). Sustainable refurbishment for school buildings: A literature review. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(1), 5–19. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2018-0009>
 - Luo, Y., Zhang, L., Bozlar, M., Liu, Z., Guo, H., & Meggers, F. (2019). Active building envelope systems toward renewable and sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 470–491. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.005>
 - Machado, N., & Morioka, S. N. (2021). Contributions of modularity to the circular economy: A systematic review of literature. *Journal of Building Engineering*, 44, 103322. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103322>
 - Masseck, T., Paris-Viviana, O., Habibi, S., & Pons-Valladares, O. (2024). Integrated sustainability assessment of construction waste-based shading devices for the refurbishment of obsolete educational public building stock. *Journal of Building Engineering*, 87, 109024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109024>
 - Mohamed, S., Smith, R., Rodrigues, L., Omer, S., & Calautit, J. (2021). The correlation of energy performance and building age in UK schools. *Journal of Building Engineering*, 43, 103141. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103141>
 - Mohammadizazi, R., & Bilec, M. M. (2023). Quantifying and spatializing building material stock and renovation flow for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 389, 135765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135765>
 - Mohelníková, J., Novotný, M., & Mocová, P. (2020). Evaluation of School Building Energy Performance and Classroom Indoor Environment. *Energies*, 13(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en13102489>
 - Monsù Scolaro, A., & De Medici, S. (2021). Downcycling and Upcycling in Rehabilitation and Adaptive Reuse of Pre-Existing Buildings: Re-Designing Technological Performances in an Environmental Perspective. *Energies*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/en14216863>
 - O'Grady, T., Minunno, R., Chong, H.-Y., & Morrison, G. M. (2021). Design for disassembly, deconstruction, and resilience: A circular economy index for the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105847. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105847>
 - Oorschot, L. M. (2022). A Second Life for School Buildings by Atelier PRO architects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1085(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012004>
 - Österreicher, D., & Geissler, S. (2016). Refurbishment in Educational Buildings – Methodological Approach for High Performance Integrated School Refurbishment Actions. *Energy Procedia*, 96, 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.163>
 - Papaioannou, G., Volakaki, M.-G., Kokolakis, S., & Vouyioukas, D. (2023). Learning Spaces in Higher Education: A State-of-the-Art Review. *Trends in Higher Education*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/higheredu2030032>
 - Platform CB'23. (2023). Platform CB'23. https://platformcb23.nl/wp-content/uploads/PlatformCB23_Guide_Circular-Design.pdf
 - Pourebrahimi, M., Karimi Azeri, A. R., & Pour Ahmadi, M. (2023). A decision-making framework to prioritize existing buildings for adaptive reuse, with a case study of school buildings in Guilan, Iran. *Architectural Science Review*, 66(3), 201–213. <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2174067>
 - Reguis, A., Tunzi, M., Vand, B., Tuohy, P., & Currie, J. (2023). Energy performance of Scottish public buildings and its impact on the ability to use low-temperature heat. *Energy and Buildings*, 290, 113064. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113064>
 - SABA Adhesives. (2021). SABA – Whitepaper The essential importance of smoke resistance and fire prevention. <https://www.saba-adhesives.com/en/knowledge-center-en/learn-from-the-new-dutch-fire-safety-legislation/>
 - Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., Cao, G., Croitoru, C., de Dear, R., Haghighat, F., Kumar, P., Malayeri, M., Nasiri, F., Ruud, M., Sadeghian, P., Wargocki, P., Xiong, J., Yu, W., & Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, 57, 104908. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104908>
 - Santos, P., Cervantes, G. C., Zaragoza-Benzal, A., Byrne, A., Karaca, F., Ferrández, D., Salles, A., & Bragança, L. (2024). Circular Material Usage Strategies and Principles in Buildings: A Review. *Buildings*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/buildings14010281>
 - Tse, H. M., Daniels, H., Stables, A., & Cox, S. (2018). Designing Buildings for the Future of Schooling: Contemporary Visions

for Education. Routledge.

- TU/e. (2022). BREEAM hails Atlas as the world's most sustainable education building. <https://www.tue.nl/en/our-university/tue-campus/buildings/atlas>
- Valtonen, T., Leppänen, U., Hyypiä, M., Kokko, A., Manninen, J., Vartiainen, H., Sointu, E., & Hirsto, L. (2021). Learning environments preferred by university students: A shift toward informal and flexible learning environments. *Learning Environments Research*, 24(3), 371–388. <https://doi.org/10.1007/s10984-020-09339-6>
- Wu, P.-Y., Mjörnell, K., Mangold, M., Sandels, C., & Johansson, T. (2021). A Data-Driven Approach to Assess the Risk of Encountering Hazardous Materials in the Building Stock Based on Environmental Inventories. *Sustainability*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su13147836>
- Yang, Y., Zheng, B., Luk, C., Yuen, K., & Chan, A. (2024). Towards a sustainable circular economy: Understanding the environmental credits and loads of reusing modular building components from a multi-use cycle perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 543–558. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.027>

Industrieel erfgoed (her)bestemd – het faciliteren van de circulaire maakindustrie

Industrieel erfgoed komt steeds vaker leeg te staan en wordt met sloop bedreigd. Dit onderzoek gaat specifiek in op de kansen van het transformeren van industrieel erfgoed voor de circulaire maakindustrie. Duidelijk wordt dat transformatie van stedelijk industrieel erfgoed ruimte kan bieden aan circulaire maakindustrie van diverse schaalgroottes en sectoren. Dit levert vervolgens een bijdrage aan de (toekomstige) circulaire economie in steden.

Christiaan Hanse

INLEIDING

Veel industrieel erfgoed bevindt zich op stedelijke locaties (Foster, 2020) en heeft niet meer de oorspronkelijke functie. Productie die eerst plaatsvond op deze locaties, is verplaatst naar de nieuwe randen van de stad of buiten de stad. Of naar andere landen door offshoring, de-industrialisatie en globalisering (Grodach & Gibson, 2019; Van den Berghe & Vos, 2019). Bij leegstand neemt het risico op ongeoorloofd gebruik en verval toe. Door transformatie kan industrieel erfgoed een maatschappelijke bijdrage leveren, in plaats van een maatschappelijke kostenpost zijn (Saleh et al., 2020).

Getransformeerd erfgoed is vaak een hoeksteen van nieuwe gebiedsontwikkelingen en draagt bij aan de revitalisering van stedelijke gebieden (Foster, 2020; Foster & Saleh, 2021b). Het is hierbij van belang verder te kijken dan de impact op beeldkwaliteit of financieel resultaat. Een passende functie is vereist voor een bredere positieve bijdrage aan de leefomgeving (Niu et al., 2018 in Arbab & Alborzi, 2022).

Transformatie van industrieel erfgoed kan worden gezien als een circulaire strategie. Door fysieke of functionele aanpassing wordt voldaan aan de huidige en toekomstige maatschappelijke vraag (Foster, 2020, Foster & Saleh, 2021a; Girard & Gravagnuolo, 2017; Girard & Nocca, 2019; Gravagnuolo et al., 2019; Ikiz Kaya et al., Vellecco & Martone, 2021; Abastante et al., 2020; Gaballo

et al., 2021). De integratie van circulaire gebruiksfuncties maakt transformatie onderdeel van de strategie naar een circulaire stad door bijvoorbeeld circulaire maakindustrie op te nemen, wat bijdraagt aan het sluiten van materiaalstromen. Volgens Tsui et al. (2021) zijn een aantal voorwaarden van toepassing voor circulaire stedelijke maakindustrie:

1. Maakbedrijven gebruiken lokale toeleveringsketens en hebben een lokale afzetmarkt.
2. Uitstoot door transport is een significant onderdeel van de totale uitstoot (dit is bijvoorbeeld het geval bij secundaire materiaalbronnen).
3. Lokale afval- of secundaire materialen worden gebruikt als bron.
4. Opschalen is mogelijk, waarbij productie binnen de stad blijft.

Circulaire maakbedrijven kunnen profiteren van de waarde van industrieel erfgoed en tegelijkertijd waarde toevoegen aan hun omgeving. Echter, veel voormalige industriegebieden zijn de afgelopen decennia getransformeerd naar (high end) woon-, werk- en commerciële gebieden. Dit is mede het gevolg van ruimtelijk beleid dat focust op de plek als locatie, in plaats van het ontwikkelen van een stedelijk ecosysteem. De circulaire maakindustrie is echter van belang voor het behalen van ambities voor een circulaire economie, door bijvoorbeeld het repareren en recyclen van materialen, leveren van kennis en vaardigheden en innovatieve technologie (Busch et al., 2021; Hausleitner et al., 2022). Daarbij kunnen nieuwe vormen van maakindustrie

beter worden geïntegreerd in stedelijk gebied, met minder impact op de omgeving.

Huidig onderzoek beperkt zich vaak tot het onderzoeken van óf transformatie van erfgoed en de waarde daarvan (Della Spina, 2020; Gravagnuolo et al., 2019) óf de waarde van circulaire activiteiten (Girard & Gravagnuolo, 2017; Tsui et al., 2021), maar niet de directe relatie tussen transformatie van erfgoed en circulaire maakindustrie. Het doel van dit onderzoek is een beoordelings- en ontwikkelmodel samen te stellen waarin de verschillende waarden en mogelijke synergieën van deze combinatie worden opgenomen. Daarbij wordt de volgende onderzoeksvraag beantwoord: *‘Hoe kan industrieel erfgoed de circulaire maakindustrie faciliteren?’*

Het beoordelings- en ontwikkelmodel is bedoeld om de circulaire maakindustrie, beleidsmakers, gemeenten, ontwikkelaars, vastgoedeigenaren en planners te informeren en ondersteunen in de besluitvorming over herbestemming van industrieel erfgoed.

ONDERZOEKSMETHODEN

Literatuurstudie en casestudies

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is een literatuurstudie uitgevoerd, waarin wordt ingegaan op 1. de succesfactoren voor transformatie van industrieel erfgoed, 2. de waarden en wensen van circulaire maakindustrie en 3. de relatie tussen industrieel erfgoed en deze bedrijven. Vervolgens zijn drie casestudies uitgevoerd van projecten die drie typen circulaire maakindustrie faciliteren (figuur 1). Dit zijn:

Type I: de creatieve bedrijven, bijvoorbeeld in makerspaces

Type II: start-en scale-ups van middelgroot formaat en

Type III: volwassen bedrijven, zowel traditioneel als high-tech.

Als deel van de casestudies zijn zowel de makers, ontwikkelaars en beheerders geïnterviewd. Uit een lijst met 37 transformatieprojecten van industrieel erfgoed in Nederland zijn 18 cases geselecteerd waarbij een vorm van circulaire maakindustrie aanwezig was. Hiervan zijn 3 cases geselecteerd aan de hand van de volgende selectiecriteria:

- Locatie (zowel in het binnenland als aan het water, stedelijk)
- Industrieel erfgoed dat ruimte biedt aan circulaire maakbedrijven
- De case is een voorbeeld van transformatie
- De case faciliteert een of meerdere functies en de cases representeren samen de 3 typen
- Een ex ante case van industrieel erfgoed dat nog niet is getransformeerd, leeg staat of tijdelijk wordt gebruikt.

Semigestructureerde interviews zijn gehouden met makers, locatiemanagers, initiators van de ontwikkelingen en experts. Doel was te onderzoeken of en in welke mate de in de literatuur beschreven waarden, wensen, locatie- en succesfactoren van toepassing zijn op circulaire maakbedrijven. Op de casuslocaties bevinden zich diverse bedrijven van verschillende grootte. Niet alle bedrijven beschikten over interviewkandidaten binnen de termijn van het onderzoek. Er is mede daarom gekozen om ook interviews te houden met locatiemanagers, ontwikkelaars en initiators van de ontwikkeling die door hun betrokkenheid een goed beeld kunnen schetsen van onder andere de diverse voorkeuren van maakbedrijven, uitdagingen en succesfactoren. De geïnterviewden zijn gevraagd een weging toe te kennen aan een lijst met locatiecriteria om zo het belang per type maakindustrie te onderzoeken. De antwoorden zijn afgewogen tegen de resultaten uit de literatuurstudie en als input gebruikt voor ontwikkeling van het beoordelings- en ontwikkelmodel.

Ontwikkeling, test en evaluatie van het model

Het model is gebaseerd op een toetsingskader bestaand uit de transformatiecriteria en vestigingsfactoren zoals gedefinieerd in de literatuur,

verrijkt met informatie uit interviews. Met het model kan de geschiktheid voor transformatie van industrieel erfgoed voor een bepaald type maakindustrie getoetst worden. Na ontwikkeling is het model toegepast op de onderzochte casestudies en geëvalueerd met experts.

LITERATUURSTUDIE

De introductie van circulaire maakbedrijven in stedelijk gebied heeft potentie, maar niet al het industrieel erfgoed is geschikt om deze activiteiten te huisvesten. Dit hangt af van de specifieke eigenschappen van gebouwen en locaties en de circulaire economie in de omgeving. Samen bepalen deze of de combinatie van transformatie en circulaire maakindustrie mogelijk is (Foster & Saleh, 2021b; Gravagnuolo et al., 2019).

Vestigingsfactoren: de waarde van industrieel erfgoed

Veel makers hebben een voorkeur voor locaties waar andere makers, klanten en kennis economieën dichtbij zijn, maar ook vaardig personeel (Busch et al., 2021; Grodach & Gibson, 2019; Grodach & Martin, 2021). Onderwijsfaciliteiten, kennisnetwerken en gerelateerde bedrijvigheid, bereikbaarheid (per ov) en een aantrekkelijke stedelijke omgeving met een hoge mate van flexibiliteit is van belang (Prins, 2021; Groeneveld, 2016; Hill, 2020, Hausleitner et al., 2022). Dit zijn agglomeratievoordelen die op veel stedelijke locaties aanwezig zijn.

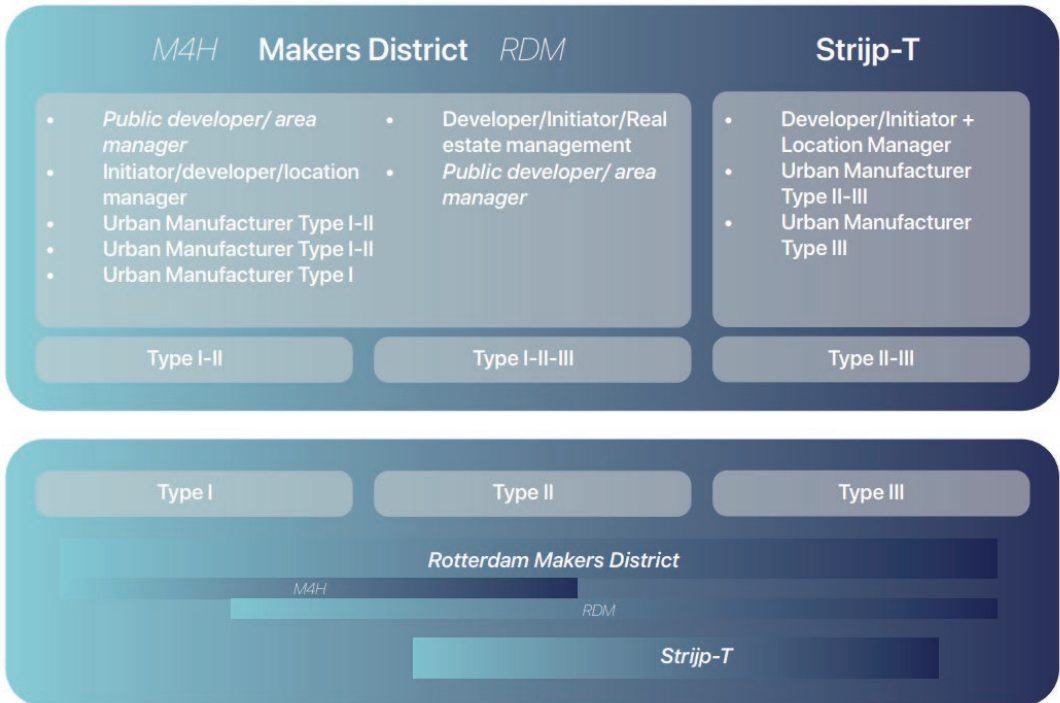
Veel industrieel erfgoed bevindt zich aan de randen van (oude) binnensteden. Nieuwe maakbedrijven kunnen profiteren van deze locaties, mede door de bereikbaarheid, omvang van de gebouwen en bestaande infrastructuur en bestaande (technische) kennis in de nabijheid van deze gebieden (Hill, 2020). Daarnaast kunnen bedrijven profiteren van de uitstraling van industrieel erfgoed en dit gebruiken om zich te onderscheiden van andere bedrijven. Dit belang verschilt per sector. Bijvoorbeeld kennen creatieve ondernemers een hoge waarde toe aan de visuele kwaliteit van hun huisvesting en directe omgeving (Smit, 2011).

Gebouwen met historische en architectonische kwaliteit, zoals oude (stads)werven, worden gewaardeerd door maakbedrijven, mede om de rijke uitstraling en industriële sfeer (Groeneveld, 2016; Bianchini et al., 2014). Daarnaast kunnen een diversiteit aan ruimtes, overgangszones en gedeelde ruimtes waardevol zijn. Een divers aanbod aan ruimtes kan een diverse groep makers en ondersteunende functies aantrekken. Locaties met overgangszones tussen woongebieden en productiefuncties kunnen bijvoorbeeld overlast verminderen. Ook kunnen gedeelde, flexibele ruimtes kunnen waardevol zijn voor sommige bedrijven om bijvoorbeeld productiemateriaal te delen, of om samen met onderaannemers te zijn gehuisvest.

Succesfactoren

Geschikte huisvesting is één van de factoren die kan bijdragen aan het realiseren van circulaire maakindustrie, maar ook andere factoren zijn van belang. In Hausleitner (2022) en Hill (2020) wordt de waarde van een community manager genoemd, om onderlinge afstemming en een sterke identiteit te ondersteunen. Voor vrijwel alle bedrijven geldt dat duidelijkheid over het eigenendom of huurcontracten van belang is om te kunnen blijven investeren en te kunnen groeien. Ook is toegang tot natuurlijke hulpbronnen, de lokale markt en het bedrijfsklimaat, regelgeving en beleid van belang (Spalanzani et al., 2016). Een omgeving waarin kennis en vaardigheid of innovatie aanwezig is, of een bepaald concept gebaseerd op de economische en geografische eigenschappen, zijn voorwaarden voor de levensvatbaarheid van circulaire maakindustrie (Spalanzani et al., 2016). Clustering van bedrijven en relevante functies uit de productieketen kan bijdragen aan succesvolle circulaire ontwikkeling door een gevoel van betrokkenheid en collectieve identiteit te creëren (Tsui, et al., 2024). Voorbeelden zijn clusters met complementaire bedrijvigheid of juist bedrijven die dezelfde materialen verwerken die vervolgens lokaal verwerkt kunnen worden. De circulaire relatie kan zowel symbiotisch zijn, circulair, regeneratief als generatief (Bosone et al., 2021; Girard, 2013, 2019; Girard & Nocca, 2019).

FIGUUR 1 ► DE CASESTUDIES, INTERVIEWS EN TYPE CIRCULAIRE MAAKBEDRIJVEN



CASESTUDIES

De bestudeerde casestudies zijn Rotterdam Makers District, bestaande uit Merwe-Vierhavens (M4H) en de RDM-campus en Strijp T, een voormalige productielocatie van Philips in Eindhoven. De verschillende actoren die zijn geïnterviewd en typen bedrijven zijn weergegeven in figuur 1.

Merwe-Vierhavens is een voormalig havengebied in Rotterdam. Zowel start-ups, creatieve makers, ontwerpers en multinationals zijn gehuisvest in het gebied, dat bestemd is verder te worden ontwikkeld tot mixed-use stedelijk gebied. Verschillende gebouwen in het gebied zijn rijks- of gemeentelijk monument. Dit geldt ook voor de RDM-campus, waar maritieme industrie wordt gecombineerd met (haven)bedrijven en een onderwijsinstelling. Het biedt ruimte aan start- en scale-ups in een monumentale werkplaats, waar voorzieningen kunnen worden gedeeld. Daarnaast zijn er op het terrein meer volwassen maakbedrijven gevestigd.

Strijp-T bevindt zich naast de wijken Strijp-S en Strijp-R in Eindhoven en is getransformeerd voor de innovatieve hightech maakindustrie. De ontwikkelaar is eigenaar van de gebouwen en gronden in het gebied, met als doel manager te blijven van het gebied en zo een bepaald ecosysteem in stand te houden. In het gebied zijn (voormalige) fabriekshallen, kantoorgebouwen en nieuwbouw productielocaties te vinden. Het is gericht op bedrijven die voorbij de start-upfase zijn en beginnen aan productie op een kleine tot middelgrote schaal. Het bevindt zich daarmee tussen de start-ups vanuit de universiteit en de volwassen maakbedrijven die zich op de nabijgelegen Brainport Industries Campus bevinden.

Wensen en eisen maakbedrijven

De geïnterviewden onderschrijven de potentie van erfgoedtransformatie voor de stedelijke omgeving en de circulaire economie, maar zien ook dat in de praktijk vooral de revitalisatie van het gebouw invloed heeft op de directe omgeving. Waarden van de transformatie in relatie tot circu-

lariteit zijn vermindering van uitstoot door transport en bouwactiviteiten en materiaalgebruik. Het erfgoed zelf heeft volgens een aantal makers toegevoegde waarde door onder andere hoge draagkracht, grote openingen en de bestaande (energie)infrastructuur. Dit in combinatie met de uitstraling en de centrale locatie maakt de kwaliteit van een erfgoedlocatie uniek. In toenemende mate is ook de esthetische uitstraling van belang, ook voor meer volwassen circulaire maakbedrijven (Type II en III). Waar deze lager worden gewaardeerd dan door Type I-bedrijven, geven ze wel aan dat het in een competitieve arbeidsmarkt en voor het ontvangen van klanten steeds meer waarde heeft. Toch zijn kosten en functionaliteit de belangrijkste factoren in hun locatiekeuze. De toegevoegde waarde van erfgoedlocaties is volgens meerdere geïnterviewden de uniciteit.

Succesfactoren en ontwikkelprincipes

De belangrijkste succesfactoren zijn volgens de interviews maatwerk, flexibiliteit, community, een sterk concept en positionering en samenwerking met de omgeving. Het is van belang om aan te sluiten op de wensen van makers, mee te denken in het huisvestingsproces (door bijvoorbeeld een locatiemanager) en onderscheidende huisvesting met meerdere ruimtetypen aan te bieden, zodat diverse bedrijvigheid ontstaat. Zowel fysieke als contractuele flexibiliteit is daarbij van belang, zodat bedrijven (vooral in de eerste fasen van ontwikkeling) kunnen op- en afschalen. Een cruciale factor is het management van een community. Veel makers geven het belang aan van een toegankelijke actor om huisvesting, diensten en evenementen mee te bespreken, maar ook commercie, financiering en bijvoorbeeld personeel. Daarbij is het van belang gezamenlijke evenementen niet te forceren. Het liefst ontstaan deze vanuit de community zelf. Het is daarbij zoeken naar een balans tussen 'net genoeg' te doen om een bepaald type makers aan te spreken en aan een bepaald concept te voldoen. Met name het faciliteren van het concept is daarom van belang, door de juiste condities te creëren in plaats van deze zelf als ontwikkelaar in te vullen.

Een bepaald concept of thema moet goed aansluiten bij de economische context of complementair zijn binnen de (regionale) context. Daarbij is het van belang scherp te zijn in het selecteren en toelaten van bedrijven op een bepaalde locatie, om dit concept niet te laten verwateren. Ten slotte is samenwerking met gemeente van groot belang. Op Strijp-T werd het bestemmingsplan aangepast zodat er op basis van activiteiten bedrijven konden worden gehuisvest. Het bestemmen van een overgangszone van hoogstedelijke (woon)functies naar productielocaties is aan te raden om eventueel overlast te beperken.

Uitdagingen

Hoewel de voordelen opwegen tegen de nadelen van huisvesting in industrieel erfgoed, geven de geïnterviewden aan dat er een aantal uitdagingen zijn. Deze zijn gerelateerd aan regelgeving over monumenten, waardoor aanpassingen en materiaalgebruik beperkt kunnen zijn. Het gebouw kan zelf schadelijke materialen en stoffen bevatten en niet alle gebouwen zijn in even goede conditie. Dit beperkt zowel de professionele uitstraling als het energieverbruik, comfort en (brand)veiligheid.

Daarnaast zijn er uitdagingen rondom de financiering, met name voor middelgrote bedrijven. Vaak moeten deze in ontwikkelplannen concurreren met meer lucratieve vormen van bebouwing. De maatschappelijke waarde van productielocaties in de stad is (nog) niet te kapitaliseren. Dit resulteert regelmatig in een situatie waar de huisvesting voor circulaire makers slechts tijdelijk is en met name kleinschalige (Type I) bedrijven zijn gehuisvest.

BEOORDELINGS- EN ONTWIKKELMODEL

De interviewresultaten zijn gebruikt om een beoordelings- en ontwikkelmodel op te stellen voor herontwikkeling van industrieel erfgoed voor circulaire maakbedrijven. Voor het beoordelingsmodel zijn de belangrijkste criteria voorzien van een weging door de geïnterviewde makers, ontwikkelaars, locatiemanagers, publieke opdrachtgevers en twee experts. Deze zijn vervolgens ingedeeld per type bedrijf, zodat van een nieuwe

FIGUUR 2 ► HET BEOORDELINGSMODEL MET DE VERSCHILLENDE CRITERIA

3. Criteria evaluation | Assessment Matrix

Assessment (match)
Deviation = difference score asset/scenario - score man./manufacturer

A Criteria

B Score
Type I

Score
Type II

Score
Type III

Indicator

C Asset score
Current Potential

Argumentation/comments

D Deviation current scenario
Type I Type II Type III

Deviation potential scenario
Type I Type II Type III

Urban/ central location, Proximity to:

Material resources

(Skilled) workers*

Education

Knowledge & R&D

Services

Clients

Accessibility (clients & employees)*

Logistic accessibility & infrastructure
(water/railway/motorway)*

Shared facilities (making/testing)

Shared facilities (meeting/ cafe/s)

Catering facilities **

Sports facilities **

Organised events **

Other facilities (shops, urban) **

Proximity and colocation with other
manufacturers*

Proximity to cultural hubs

Greenspace **

Making adjustments

Building infrastructure (power, bearing
load)

Atmosphere:

Visual quality*

Image/branding

Reflecting production

Neighbourhood characteristics

Land/building costs*

Regulation (planning)*

Economic or financial context*

Dimension & scale (layout: diversity of
accommodation possibilities*)

Flexibility (scale up-down)*

Visual appearance building*

Sustainable appearance

Innovative appearance

Crucial factors *

Nice to have **

locatie de match per type kan worden bepaald (figuur 2). Hiermee kunnen verschillende gebouwen of verschillende toekomstscenario's per gebouw worden onderzocht.

Het ontwikkelraamwerk bestaat uit een aantal principes voor de ontwikkeling van gebouw en locatie, circulariteit, het concept en algemene ontwikkelprincipes in zowel de ontwikkel- als gebruiksfase (figuur 3). Deze zijn gebaseerd op de literatuur, wensen en eisen van maakbedrijven, succesfactoren en ontwikkelprincipes uit de interviews en kunnen worden gebruikt om een voorstel te maken voor een specifiek type bedrijf bij herontwikkeling.

Het model is getest op de onderzochte cases. Hieruit blijkt dat de belangrijkste gevonden criteria een indicatie kunnen geven of een locatie geschikt is voor een bepaald type circulaire maakindustrie op basis van matching en afwijking met de scores van de omgeving. Deze factoren verschillen per type bedrijf en veranderen naarmate een bedrijf verder ontwikkelt. Zo kan worden bepaald of een locatie onderdoet, of juist meer biedt dan vereist voor een bepaald type. Het model is gebaseerd op een beperkt aantal interviews. Daarmee is het een prototype, maar geeft het wel inzicht in de mogelijkheden voor transformatie.

CONCLUSIES

Dit onderzoek presenteert een aantal opties voor circulaire herontwikkeling doormiddel van een set beoordelingscriteria en ontwikkelprincipes gebaseerd op succesfactoren in de literatuur en casestudies.

Circulariteit en de relatie met de stad

Huisvesting van circulaire maakindustrie in getransformeerd industrieel erfgoed kan actief bijdragen aan de realisatie van een circulaire stad, door bijvoorbeeld reststromen te verwerken, skills en innovatieve technologie te leveren. Door ontwikkelingen in de sector kunnen maakbedrijven steeds beter in een stedelijke omgeving worden gehuisvest. Dit soort locaties staan echter ook onder druk door de woningmarkt en meer commerciële ontwikkelingen. Voor een gebalanceerde stedelijke ontwikkeling is het behoud van productiefuncties echter relevant.

Criteria

De locatie van veel industrieel erfgoed in de stad is waardevol voor circulaire maakbedrijven. Belangrijke criteria zijn gerelateerd aan de functionaliteit en diversiteit van ruimtes, flexibiliteit, aanwezige ondersteunende functies en faciliteiten, (energie) infrastructuur, bereikbaarheid, uitstraling, regelgeving en kosten.

Uitdagingen en succesfactoren

Er zijn een aantal uitdagingen met betrekking tot hergebruik van erfgoed, zoals beperkte aanpassingsmogelijkheden door regelgeving, mogelijke schadelijke stoffen en materialen en (brand)veiligheidsregels die flexibel gebruik en verduurzaming kunnen beperken.

Relevante succesfactoren zijn een concept dat landt in de economische en stedelijke context, flexibele huisvesting, het selecteren van passende bedrijvigheid en de huisvesting daarop aanpassen, het scheppen van de randvoorwaarden voor onderlinge interactie en ten slotte het borgen van goede relaties voor samenwerking met de stedelijke, maatschappelijke en politieke context. Het laatste is bijvoorbeeld mogelijk door be-

drijven ook toegevoegde waarde te laten leveren aan hun directe omgeving, door energie-uitwisseling of het aanbieden van gedeelde faciliteiten. Dit draagt bij aan de mate van circulariteit van de herontwikkeling. Door bedrijven te clusteren op basis van hetzelfde materiaalgebruik, of juist een materiaal-of productieketen met complementaire functies te faciliteren op één locatie, kan circulariteit versterken. Het blijft echter in alle gevallen van belang om de bereikbaarheid voor diverse materiaalstromen en de beschikbaarheid van ruimte voor circulaire processen te garanderen, om zo circulaire maakindustrie mogelijk te maken in de stad.

Dit brengt ons terug naar het beantwoorden van de onderzoeksvraag: De verschillende waarden van erfgoed, samen met de kwaliteiten voor specifiek maakbedrijven, maken dat transformatie voor de circulaire maakindustrie kansrijk kan zijn, mits wordt voldaan aan de randvoorwaarden beschreven in de criteria en succesfactoren. Door een sterk concept te onderhouden en ontwikkelen, kan erfgoed voor langere termijn huisvesting bieden aan circulaire maakbedrijven, de condities scheppen voor circulariteit, innovatie en implementatie van circulaire principes en wordt het erfgoed bewaard voor toekomstige generaties.

Aanbevelingen

De resultaten van het onderzoek zijn verwerkt in beoordelingscriteria en ontwikkelprincipes. Deels zijn deze gebaseerd op criteria van andere beoordelingsmodellen (Della Spina, 2020; Spalanzani et al., 2016). De toepassing op de casestudies en evaluatie laten zien dat dit model een indicatie kan geven van de mate van geschiktheid van locaties voor de onderzochte typen circulaire makers. Er is echter nog achtergrondkennis en verder onderzoek vereist om generieke uitspraken te kunnen doen over de geschiktheid van transformatie van industrieel erfgoed voor circulaire maakbedrijven.

Het volledige onderzoek is te raadplegen via de volgende link:

<https://repository.tudelft.nl/record/uuid:b94825b5-61e7-4485-8580-86416632d8ff>

OVER DE AUTEUR

Christiaan Hanse is adviseur bij Brink Management & Advies en won in 2023 een Circularity in the Built Environment award voor zijn afstudeeronderzoek over transformatie van industrieel erfgoed voor de stedelijke maakindustrie.

LITERATUURLIJST

- Abastante, F., Lami, I. M., & Mecca, B. (2020). How to revitalise a historic district: A stakeholders-oriented assessment framework of adaptive reuse. In *Green Energy and Technology* (pp. 3–20). Springer Verlag.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23786-8_1
- Arbab, P., & Alborzi, G. (2022). Toward developing a sustainable regeneration framework for urban industrial heritage. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 12(3), 263–274.
<https://doi.org/10.1108/JCHMSD-04-2020-0059>
- Bianchini, M., Arquilla, V., Maffei, S., & Carelli, A. (2014). FabLand: “Making” digital/analog distributed urban production ecosystems. In *Conference proceedings From Fab Labs to Fab Cities-and Fab Citizens, FABIOBarcelona*.
- Bosone, M., De Toro, P., Girard, L. F., Gravagnuolo, A., & Iodice, S. (2021). Indicators for ex-post evaluation of cultural heritage adaptive reuse impacts in the perspective of the circular economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9).
<https://doi.org/10.3390/su13094759>
- Busch, H. C., Mühl, C., Fuchs, M., & Fromhold-Eisebith, M. (2021). Digital urban production: how does Industry 4.0 reconfigure productive value creation in urban contexts? *Regional Studies*, 55(10–11), 1801–1815.
<https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1957460>
- Della Spina, L. (2020). Adaptive sustainable reuse for cultural heritage: A multiple criteria decision aiding approach [supporting urban development processes. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041363>
- Foster, G. (2020). Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts. *Resources, Conservation and Recycling*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104507>
- Foster, G., & Saleh, R. (2021a). The adaptive reuse of cultural heritage in European circular city plans: A systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su13052889>
- Foster, G., & Saleh, R. (2021b). The Circular City and Adaptive Reuse of Cultural Heritage Index: Measuring the investment opportunity in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105880>
- Gaballo, M., Mecca, B., & Abastante, F. (2021). Adaptive reuse and sustainability protocols in Italy: Relationship with circular economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148077>
- Girard, L. F. (2013). Toward a smart, sustainable development of port cities/areas: The role of the “Historic Urban Landscape” approach. *Sustainability (Switzerland)*, 5(10), 4329–4348. <https://doi.org/10.3390/su5104329>
- Girard, L. F. (2019). Implementing the circular economy: the role of cultural heritage as the entry point. Which evaluation approaches? *BDC. Bolletino Del Centro Calza Bini - Università Degli Studi Di Napoli Federico II*, 19(2), 245–277.
- Girard, L. F., & Gravagnuolo, A. (2017). Circular Economy and Cultural Heritage/Landscape regeneration. Circular business, financing, and governance models for a competitive Europe Horizon 2020 “CLIC” Circular models Leveraging Investments in Cultural heritage adaptive reuse View project. <https://doi.org/10.6092/2284-4732/5472>
- Girard, L. F., & Nocca, F. (2019). Moving towards the circular economy/city model: Which tools for operationalizing this model? *Sustainability (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226253>
- Gravagnuolo, A., de Angelis, R., & Iodice, S. (2019). Circular Economy Strategies in the Historic Built Environment: Cultural Heritage Adaptive Reuse. *STS Conference Graz*, 2. <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-668-0-08>
- Gravagnuolo, A., Fusco Girard, L., Kourtis, K., & Nijkamp, P. (2021). Adaptive re-use of urban cultural resources: Contours of circular city planning. *City, Culture and Society*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2021.100416>
- Grodach, C., & Gibson, C. (2019). Advancing Manufacturing? Blinkered Visions in U.S. and Australian Urban Policy. *Urban Policy and Research*, 37(3), 279–293. <https://doi.org/10.1080/08111146.2018.1556633>
- Grodach, C., & Martin, D. (2021). Zoning in on urban manufacturing: industry location and change among low-tech, high-touch industries in Melbourne, Australia. *Urban Geography*, 42(4), 458–480.

<https://doi.org/10.1080/02723638.2020.1723329>

- Groeneveld, D. (2016). Lege Haven Decor Nieuwe Maakindustrie. *Bouw En Uitvoering*, 48(6), 36–43.
- Hausleitner, B., Hill, A., Domenech, T., & Muñoz Sanz, V. (2022). Urban Manufacturing for Circularity: Three Pathways to Move from Linear to Circular Cities. In *GeoJournal Library* (Vol. 128, pp. 89–103). Springer Science and Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78536-9_5
- Hill, A. (2020). *Foundries of the future : a guide for 21st century cities of making*. TU Delft Open.
- Hill, A. V., Warden, J., Hausleitner, B., Sanz, V. M., Meyer, H., Croxford, B., & Rebreanu, L. (2018). *Cities of Making: CityReport*. www.citiesofmaking.com
- Ikiz Kaya, D. I., Pintossi, N., & Dane, G. (2021). An empirical analysis of driving factors and policy enablers of heritage adaptive reuse within the circular economy framework. *Sustainability* (Switzerland), 13(5), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su13052479>
- Prins, A. (2021). Stedelijke maakbedrijven: Een opstap naar creatieve en circulaire steden? stimuleringsfonds.nl/dossiers/voucherregeling-ruimtelijk-ontwerp
- Spalanzani, A., Ageron, B., & Zouaghi, I. (2016). Manufacturing operations location decision: What are the main criteria? *Supply Chain Forum*, 17(4), 205–217. <https://doi.org/10.1080/16258312.2016.1240227>
- Tsui, T., Furlan, C., Wandl, A., & van Timmeren, A. (2024). Spatial parameters for circular construction hubs: location criteria for a circular built environment. *Circular economy and sustainability*, 4(1), 317–338. <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00285-y>
- Tsui, T., Peck, D., Geldermans, B., & van Timmeren, A. (2021). The role of urban manufacturing for a circular economy in cities. In *Sustainability* (Switzerland) (Vol. 13, Issue 1, pp. 1–22). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su13010023>
- Van den Berghe, K., & Vos, M. (2019). Circular area design or circular area functioning? A discourse-institutional analysis of circular area developments in Amsterdam and Utrecht, The Netherlands. *Sustainability* (Switzerland), 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11184875>
- Vellecco, I., & Martone, A. (2021). Deliverable 4.4 Case Studies of Cultural Heritage Adaptive Reuse in the View of Circular Economy.

Deze uitgave wordt mede mogelijk gemaakt door:

AlterA



α.s.r. real estate



Rabo Real Estate Finance

AMVEST

