

Potentiële stimulerende digitale technologieën voor circulaire installatietechniek

Nederland heeft het ambitieuze doel om een volledig circulaire economie te bereiken in 2050 [1]. Hoe gaat de gebouwde omgeving dit als meest grondstof intensieve [2] en grote CO₂ uitstoter [3] realiseren? Wat betekent dit voor de installatietechniek? En wat is de rol van digitale technologieën in deze transitie? In dit artikel kijken we naar deze vragen door te laten zien hoe digitale innovaties zich verhouden ten aanzien van de vier basisprincipes van circulaire economie: regenereren, vernauwen, vertragen en sluiten. We lichten kort toe wat deze principes betekenen. Vervolgens laten we vanuit deze circulaire economie-principes zien hoe digitale technologieën, van blockchain tot kunstmatige intelligentie (AI), inzetbaar zijn in de installatietechniek.

De circulaire economie is het afgelopen decennia steeds populairder geworden, met name door de sterke belangenbehartiging vanuit de Ellen MacArthur Foundation en haar wereldwijde partners, zoals Unilever, Philips en Google. Het concept raakt ook steeds verder ingebed in (inter)nationaal beleid. Zo heeft bijvoorbeeld China haar circulaire economie promotie wet en wij het Nederlandse regeringsbeleid op dit gebied. De precieze betekenis van circulaire economie is nog onbekend, aangezien een generieke wereldwijde definitie ontbreekt. Verschillende organisaties hanteren hun eigen definities. Het concept is niet nieuw, maar is uit meerdere denkrichtingen gebouwd, denk hierbij aan een prestatie economie, biomimicry of cradle-to-cradle. Daarom wordt ook gesproken van "oude wijn in nieuwe zakken" [4]. De meest simpele definitie van een circulaire economie is dat we duurzame ontwikkelingen ondersteunen om hulpbronnen zeker te stellen voor huidige en toekomstige generaties. Specifiek maken we hier graag gebruik van de volgende vier circulaire economie-principes [5, 6]:

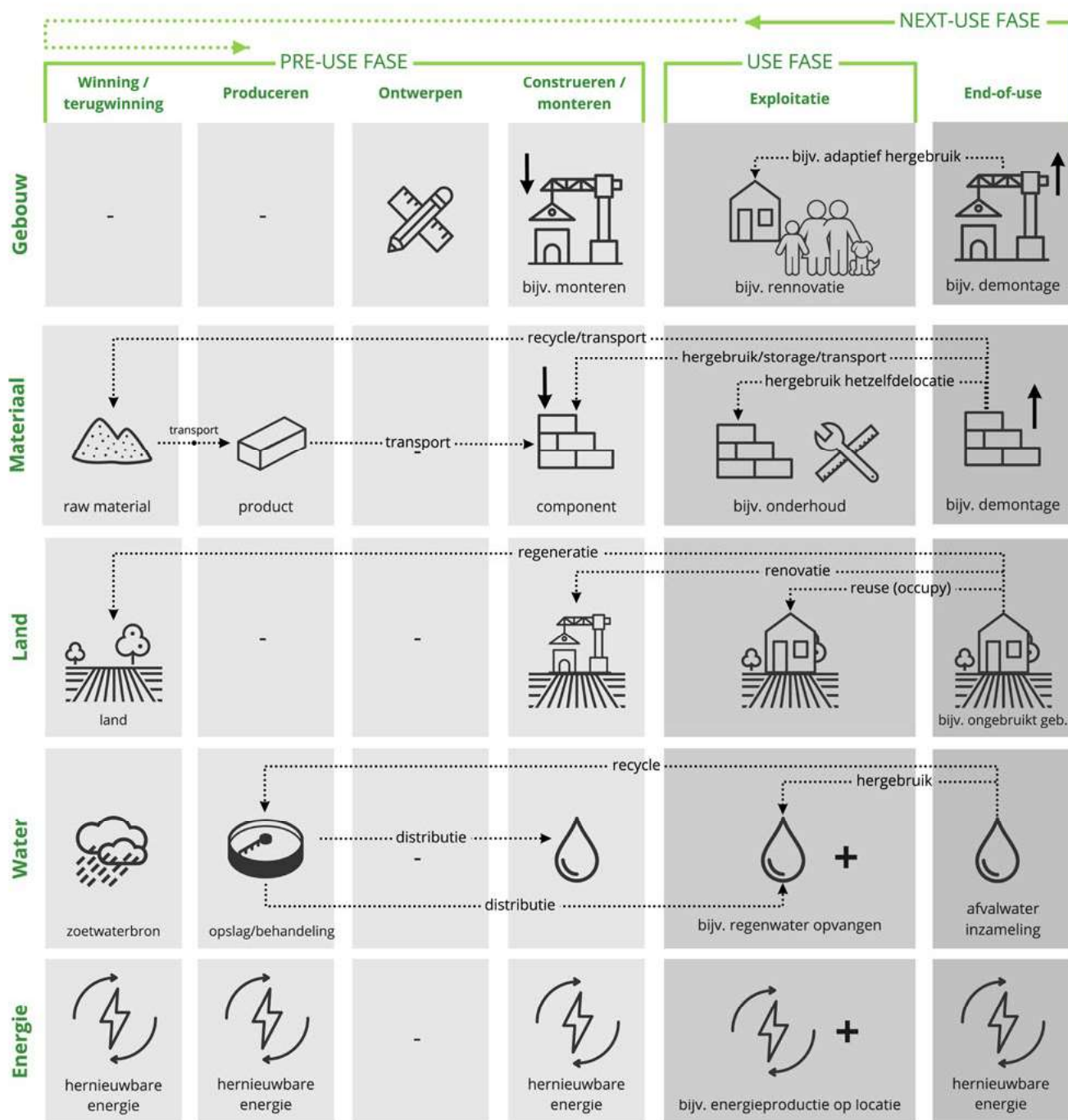
1. **Regenereren van de cyclus;** het verbeteren van het binnen en buitenmilieu ten opzichte van voorheen.
2. **Vernauwen van de cyclus;** minder hulpbronnen gebruiken via efficiëntere productie, ontwerp en gebruik.
3. **Vertragen van de cyclus;** de levensduur van producten/materialen verlengen.
4. **Sluiten van de cyclus;** hergebruik, of recyclen wanneer hulpbronnen eind van gebruik (end-of-use) bereiken.

De rol van digitale technologieën

Om deze principes te hanteren, alsmede bedrijfsmodellen te ontwikkelen, hebben we data nodig over hulpbronnen, ten aanzien van staat, locatie, kwaliteit, hoeveelheid en eigenaarschap. De installatietechniek staat bekend om haar gefragmenteerde ketenbeheer en complexe structuren. Hierdoor is het moeilijk om deze data te verzamelen, beheren en communiceren. Digitale technologieën vormen hierin een essentiële rol. Het stelt ons in staat om deze waardevolle data te verzamelen om zo een cyclus van een hulpbron te beheren. Daarnaast stimuleren digitale technologieën efficiënte samenwerkingen tussen belanghebbende.

Kijkend naar het academisch onderzoek rondom deze intersectie tussen circulaire economie en digitale technologieën, staat deze nog in de kinderschoenen. In veel gevallen is pionieren in de praktijk dus nog niet mogelijk. Sinds halverwege de jaren 2010 zien we een toename in publicaties [7]. Studies richten zich voornamelijk op de potentiële use cases in de "Industrie 4.0", met technologieën zoals additieve fabricage, cyber-fysische systemen, het internet der dingen (IoT), Big Data en data-analyse in de productie-industrie. Dergelijke technologieën ondersteunen verschillende circulaire strategieën, bijvoorbeeld verbetering van productontwerp, duurzaam operationeel beheer, efficiënt gebruik van hulpbronnen, optimalisatie van materiaalstromen en het volgen en traceren van producten na gebruik.

In vergelijking tot andere industrieën zijn digitale innovaties binnen de bouwomgeving trager [5]. Al zijn er de laatste tijd aanzienlijke verbeteringen doorgevoerd op het gebied van AI, Building Information Modeling (BIM), IoT en vele andere technologieën. In de volgende paragrafen duiken we dieper in de vier principes voor een circulaire economie en delen we inzichten en praktijkvoorbeelden over hoe deze digitale technologieën de circulaire installatietechniek mogelijk maken.



Figuur 1: Circulaire levensloop van gebouwen en hulpbronnen (aangepast vanuit [5]).

Richting een digitale circulaire economie voor gebouwinstallaties

Laten we bij de basis beginnen. Wat bedoelen we nu echt met hulpmiddelen? Waarschijnlijk dacht u dat circulariteit alleen over materialen ging. Circulariteit gaat echter verder dan alleen materialen en omvat ook water, energie en land (zie figuur 1). Daarnaast is een circulaire economie gericht op de totale levenscyclus van hulpbronnen. Deze levenscyclus is grofweg op te delen in drie fase: pre-use (voorbereidend), use (gebruik) en next-use (volgend gebruik) fase. Deze drie fases zijn vervolgens als volgt op te delen:

- Winning of terugwinning (pre-use);
- Ontwerpen (pre-use);
- Produceren (pre-use);
- Construeren (pre-use);
- Transport (pre-use & next-use);
- Exploitatie (use);
- Hergebruik of recyclen (next-use);

Er bestaan al veel verschillende digitale oplossingen die circulaire

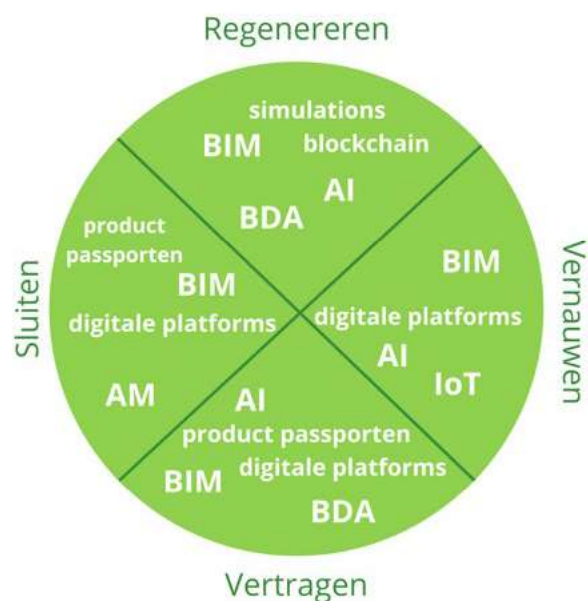
gebouwstrategieën mogelijk maken en ook van toepassing zijn in de installatietechniek. Deze technologieën bevorderen met name effectiever beheer van hulpbronnen en vormen geen circulair systeem op zichzelf. Gebaseerd op onze voorgaande onderzoeksresultaten, over een circulaire digitale gebouwde omgeving [5], zullen wij een aantal inspiratieve projecten voor de installatietechniek delen om te tonen hoe digitale innovatie ook deze sector kan veranderen naar een circulaire sector. In figuur 2 laten we zien hoe digitale technologieën vanuit de vier circulaire economie principes, verspreid over de verschillende hulpbronnen en fases (zoals getoond in Figuur 1), circulariteit en circulaire bedrijfsmodellen in de installatietechniek mogelijk maken. De digitale technologieën die we verder in het artikel behandelen, zijn samengevat in Figuur 2. In Figuur 2 kan in een oogopslag gezien worden dat een digitale technologie veelal vanuit meerdere circulaire principes ingezet kan worden.

Regenereren van de cyclus

Met regenereren bedoelen we dat gebouwen en gebouwssystemen ontworpen worden ten behoeve van een positieve bijdrage aan de leefomgeving. Dit kan via meerdere strategieën verwezenlijkt worden, bijvoorbeeld door in te zetten op:

- ✓ **Vergroenen:** middels groene daken of gevels t.b.v. de biodiversiteit;
- ✓ **Hernieuwbare energie genereren:** middels opwekkers bestaande uit biomaterialen t.b.v. productie, gebruik en beheer;
- ✓ **Binnen- en buitenmilieu verbeteren:** middels (installatie) technieken t.b.v. een gezondere leefomgeving (licht, lucht, geluid, ruimteorganisatie, etc.) in de vorm van slimme gebouwen;
- ✓ **Positieve gebouwssystemen ontwerpen:** middels technieken voor energie-uitwisseling zoals smart grids t.b.v. uitwisseling van overtollige hulpbronnen tussen prosumenten (gebruikers die ook hulpbronnen genereren en verkopen).

Een praktisch voorbeeld van de rol van digitale technologieën om te regenereren is het project Resilio in Amsterdam. In dit project worden groen/blauw daken gecreëerd met behulp van het Decision Support System [8]. Deze techniek combineert weersvoorspellingen met realtime data over het waterpeil op het dak. Wanneer er een stortbui wordt verwacht, zal het dak het resterende water in de waterbuffer afvoeren om de enorme hoeveelheid water volledig op te vangen en hierdoor het riool te ontlasten. Echter, wanneer er droogte wordt verwacht, zal het water zoveel mogelijk gebufferd blijven.



Figuur 2: De inzetbaarheid van digitale technologieën vanuit de circulaire economie-principes.

Andere digitale technologieën die een regeneratieve strategie mogelijk maken zijn:

- **BIM en simulatieprogramma's** zijn cruciaal om een beter binnenklimaat en duurzame energiesystemen in gebouwen te ontwerpen. Zoals in Park 20/20 in Hoofddorp gebeurt [9]: hier is vanaf het begin een circulair masterplan gevormd, dat zich richt op bereikbaarheid, mobiliteit, connectiviteit, passief ontwerpen en geïntegreerde energie-, water- en afvalmanagement;
- **Big Data en data-analyses** helpen om netten te balanceren, wat middels bi-directioneel laden mogelijk wordt gemaakt zoals een slimme laadpaal [10]. Vandebroon zet bijvoorbeeld in op 100% groen laden [11] zodat er enkel geladen wordt als er hernieuwbare energie beschikbaar is;
- **AI, zoals machine learning**, verbetert systeem ontwerpen, met name in combinatie met Big Data en data-analyse [5], bijvoorbeeld door het voorspellen van gebruik, energie of binnenklimaat en hier op te anticiperen. Ook wordt AI gebruikt bij gridoptimalisatie met systemen als Ecovat Grid Balance System [12], en in slimme gebouwen met beheersystemen zoals Strukton PULSE [13].

Vernauwen van de cyclus

Met vernauwen bedoelen we dat het gebruik van primaire hulpbronnen zo ver mogelijk gedurende alle levensfasen wordt gereduceerd (pre-use, use, next-use). Ingenieurs moeten voorzichtig zijn met de hulpbronnen



die in hun systeem gebruikt worden. Zo zal naar verwachting het materiaaltekort (staal, koper, zink, lood, etc.) [14] op korte termijn verder toenemen. Deze materialen zijn cruciaal in de installatietechniek. Middels de bekende R-ladder kan tijdens de ontwerpfase veel worden gereduceerd [15]. Veel toegepaste ontwerpstrategieën zijn:

- ✓ **Refuse** (afwijzen), bijvoorbeeld door geen bouwkundige afwerkmaterialen (omkastingen, plaatmateriaal, etc.) te gebruiken en de installatie in het zicht te houden;
- ✓ **Rethink** (heroverwegen), bijvoorbeeld door installaties niet over te dimensioneren en multifunctioneel te ontwerpen;
- ✓ **Reduce** (verminderen), bijvoorbeeld door lokale en hernieuwbare hulpbronnen te prefereren en een hoge energieprestatie in de gebruikersfase als criteria op te nemen in het systeemontwerp.
- ✓ **Re-use** (hergebruiken), bijvoorbeeld door niet te kiezen voor nieuw technische materialen, maar voor hergebruik van producten of componenten.

Een aantal voorbeelden van de rol van digitale technologieën bij vernauwen zijn:

- **BIM:** maakt het mogelijk om informatie te ontsluiten over de gebouwinstallatie, waardoor het makkelijker is om installaties te hergebruiken en de hulpbronnen zo veel mogelijk hun waarde vast te laten houden;

Foto 1 en 2: Een praktisch voorbeeld van de rol van digitale technologieën om te regenereren is het project Resilio in Amsterdam. In dit project worden groen/blauw daken gecreëerd met behulp van het Decision Support System [8].



- **Digitale marktplaats:** zorgt ervoor dat ingenieurs toegang krijgen tot tweedehands installaties of elementen, zoals mogelijk gemaakt door platforms zoals Werflink (BE) [16] en Depot 4 (NL) [17];
- **BIM met IoT en AI:** biedt real-time inzicht middels monitoring van het systeem en maakt het mogelijk om de energieprestatie tijdens de gebruikersfase te verbeteren.
 - **IoT:** helpt bijvoorbeeld bij het detecteren van een bezettingsgraad en maakt het mogelijk om doelgericht het binnenklimaat te sturen op basis van gebouwgebruik;
 - **AI:** middels machine learning algoritmes kunnen steeds slimmere gebouwssystemen ontwikkeld worden, bijvoorbeeld door de regeltechniek aan weersvoorspellingen te koppelen.
- **AI:** verbetert ontwerp cyclussen, bijvoorbeeld door middel van machine learning kunnen computersimulaties worden versneld.

Vertragen van de cyclus

Met vertragen bedoelen we het verlengen van de levensduur van installatie (componenten). Hiervoor is de eerste belangrijke ontwerpstrategie "design for reversibility". Wat ook wel betekent dat installaties voor meerdere levenscycli ontworpen worden door deconstructie mogelijk te maken en modulair te ontwerpen. Zo dient er aan de voorkant nagedacht te worden over onderhoud. Dit kan door onderhoudspunten in het ontwerp mee te nemen, zoals onderhoudskamers en toegangsdeuren. Maar ook herindeelbaarheid, aanpasbaarheid, verbindingsmethodiek, vervangbaarheid en losmaakbaarheid dienen meegenomen te worden in het ontwerp om zodoende tot een flexibele oplossing te komen. Dit sluit naadloos aan waar we gebleven waren in de R-ladder [15]:



Foto 3 en 4: Het circulaire gebouw NOW Building op Park 20/20 in Hoofddorp was een van de eerste kantoren waar Mitsubishi M-Use liften heeft geplaatst. Hier wordt afgerekend op het gebruik van de lift in plaats van door middel van verkoop van de liften. Foto's: Mitsubishi Liften.

- ✓ **Repair** (repareren): bijvoorbeeld door periodiek onderhoud. Hierdoor wordt voorkomen dat producten vroegtijdig stuk gaan.
- ✓ **Refurbish** (opknappen): bijvoorbeeld door een afgedankte installatie uit een ander gebouw nieuw leven in te blazen door deze te herstellen en in een ander gebouw te zetten.
- ✓ **Remanufacture** (reviseren): bijvoorbeeld door installaties, zoals luchtbehandelingskasten, te moderniseren zodat deze weer up-to-date zijn met de huidige technische normen.
- ✓ **Repurpose** (hergebruiken): bijvoorbeeld door componenten uit afgedankte installaties te gebruiken om een nieuwe installatie een nieuwe functies te creëren.

Een aantal voorbeelden van de rol van digitale technologieën om te vertragen zijn:

- **BIM:** maakt het mogelijk om zo circulair mogelijk te ontwerpen ("design for reversibility"), doordat ontwerpers en ingenieurs vanuit hetzelfde platform kunnen werken. BIM stimuleert tevens het uitwisselen van data in de verschillende fases (pre-use, use en next-use), zodat gebouwen beter uitgelezen kunnen worden en installaties zo veel mogelijk hun waarde blijven houden. Denk hierbij aan bouwspaspoorten, zoals door Kuijpers[18] en BAM [19] actief opgepakt worden.
- **BIM, Big Data, IoT en AI:** zijn goede hulpmiddelen om de exploitatie (operatie en onderhoud) te optimaliseren.
 - **AI:** recentelijke ontwikkelingen maken het mogelijk dat facilitair managers vroegtijdig systeemafwijkingen kunnen ontdekken en herstellen. Waarbij zo veel

mogelijk gebruik wordt gemaakt van bestaande sensors, die al ingebed zijn in de installatie. Dit wordt bijvoorbeeld ook opgepakt door de Hogeschool van Amsterdam vanuit het Smart Asset Management Lab [20].

- **Product-as-a-Service:** stimuleert een circulair bedrijfsmodel door het eigenaarschap van installaties niet bij de gebouweigenaar te leggen maar bij de producent te houden. In plaats daarvan koopt de gebouweigenaar een (gebouw) prestatie. Reeds bestaande voorbeelden hiervan zijn: "light as a service" [21], "lift-as-a-service" [22] en "comfort-as-a-service" [23]. Big Data, IoT en AI zijn cruciaal voor de inpassing van dit bedrijfsmodel. Deze digitale technologieën stellen partijen in staat om installaties te monitoren en te controleren. Niet alleen leidt dit tot een groter gevoel van verantwoordelijkheid om de levensduur van de installatie te verlengen. Ook geeft dit indirect energie- en kostenreductie [2] (vernauwen van de cyclus) en verbetering van de leefbaarheid in en om een gebouw (regenereren van de cyclus).
- **Digitale platforms:** via dergelijke platforms is het mogelijk om informatie over de staat, hoeveelheid, locatie en eigenaarschap van producten en componenten uit te wisselen.

Sluiten van de cyclus

Met sluiten bedoelen we de laatste stap om ook daadwerkelijk een grondstofcyclus te rond te maken. Ook hier is losmaakbaarheid (demonteren) een cruciale stap, waarmee al rekening moet worden gehouden in het ontwerp. Zodat we ten alle tijden een systeem zo ver mogelijk kunnen demonteren, als het einde van zijn levensduur wordt bereikt. Kortom, een aantal R's uit de R-ladder komen hier weer terug:

- ✓ **Rethink** (heroverwegen): hier wordt bedoeld dat het belangrijk is om in de ontwerp- en productiefase rekening te houden met het sluiten van de cyclus door de installatie van begin af aan modulair te ontwikkelen.
- ✓ **Reuse** (hergebruiken): hier wordt gericht op de next-use fase, waarin er bij demonteren zorg wordt gedragen om bruikbare producten of componenten een nieuw leven te geven door het beschikbaar te stellen op de markt, bijvoorbeeld middels het Urban Mining principe [24].
- ✓ **Recycle** (materialen terugwinnen): wanneer een product of component niet meer is te hergebruiken, dan pas gaan we ruwe grondstoffen extraheren, met een zo hoog mogelijke kwaliteit.

Een aantal voorbeelden van de rol van digitale technologieën om te vertragen zijn:

- ✓ **BIM:** maakt het mogelijk om informatie te verzamelen op gebouwniveau over: samenstelling, conditie en hoeveelheid. Via plug-ins kan de mate van hergebruik ingeschat worden in de end-use fase.
- ✓ **Digitale platforms:** zijn bedoeld om informatie die vanuit gebouwniveau ingewonnen wordt, uit te wisselen zodat grondstoffen zo goed mogelijk hun waarde behouden.
- ✓ **Demontage analysesysteem:** helpt in het ontwerpproces om losmaakbaarheid ingebed wordt om tot een modulaire installatie te komen, waarbij er schadevrij gedemonteerd kan worden om grondstoffen zo goed mogelijk intact te houden [25].
- ✓ **Additieve en robotproductie:** is een middel om modulaire installaties in de productiefase te realiseren, denk hier bijvoorbeeld aan 3D printen van onderdelen.

Conclusie

In dit artikel hebben we een overzicht gegeven vanuit de vier circulaire economie-principes over hoe digitale technologieën een belangrijke rol vervullen om de circulaire transitie in de installatietechniek te realiseren. We kozen deze vier principes omdat deze veelvuldig in belangrijke academische studies terugkomen [26]. Deze principes stellen ons in staat om te communiceren over de ontwikkelingen onafhankelijk van de sector of kennisgebied. Digitale technologieën vormen een hulpmiddel om het binnen- en buitenmilieu te verbeteren (regenereren), de efficiëntie van een systeem te verhogen (vernauwen), de levensduur te verlengen (vertragen) en uiteindelijk grondstoffen aan het eind van de gebruiksfase met zo veel mogelijk waarde te behouden voor de next-use fase (sluiten).

We hebben gezien dat er veel goede ontwikkelingen rondom digitale technologieën plaatsvinden in de installatietechniek. Deze ontwikkelingen staan nog wel in de kinderschoenen en er zal nog veel geëxperimenteerd moeten worden. Zo dienen er nieuwe verdienmodellen te worden ontwikkeld om tot een passend ecosysteem te komen. Een modulaire installatie is een noodzakelijk goed in een circulaire economie. Hierin speelt de samenwerking tussen verschillende procesonderdelen een cruciale rol, van begin tot eind in de productcyclus en in de toekomstige cycli.

De kracht van digitale technologieën om dit te bewerkstelligen zit hem in het informatie verzamelen (digitale platforms, BIM, materialen paspoorten en big data), informatie interpreteren (data-analyse, IoT en AI) en informatie uitwisselen (digitale platforms, BIM, blockchain). Daarnaast maken dergelijke technologieën prestatie gedreven exploitatie mogelijk tijdens de gebruikersfase. Maar bovenal stellen digitale technologieën ons in staat tot samenwerking onderling (cruciale uitwisseling van hulpbronnen) en stimuleren ze circulaire bedrijfsmodellen (zoals product-as-a-service).

Referenties

1. Rijksoverheid. Nederland circulair in 2050. Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>.
2. Herczeg, M., et al., Resource efficiency in the building sector. 2014, Ecorys & DG Environment Rotterdam.
3. World Green Building Council. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. 2019; Available from: <https://www.worldgbc.org/news-media/2019-global-status-report-buildings-and-construction>.
4. Potting, J. and C. Kroeze, Cradle to cradle: Old wine or new spirits? Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal, 2010. 6: p. 315-317.
5. Çetin, S., C. De Wolf, and N. Bocken, Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework. Sustainability, 2021. 13(11).
6. Bocken, N., et al., Circularity as the new normal. Future fitting Swiss business strategies. 2021.
7. Okorie, O., et al., Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends. Energies, 2018. 11(11).
8. Resilio. Available from: <https://resilio.amsterdam/>.
9. McDonough and Partners. Available from: <https://mcdonoughpartners.com/projects/park-2020-master-plan/>.
10. Laadpalen Thuis. Available from: <https://www.laadpalen-thuis.nl/thuisladen/slimme-laadpaal/>.
11. van de Bron. Available from: <https://vandebron.nl/>.
12. Ecovat. Available from: <https://www.ecovat.eu/ecovat/ecovat-grid-balance-system/?lang=en>.
13. Strukton Pulse. Available from: <https://www.struktonpulse.nl/>.
14. BouwKennis. Available from: <https://bouwkennis.nl/problemen-met-de-bevoorrading-van-grondstoffen-wat-is-het-verhaal/>.
15. RVO. R-ladder - strategieën van circulariteit Available from: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/r-ladder>.
16. Parksharing Werflink. Available from: <https://www.parksharing.nl/werflink.html>.
17. depot4. Available from: <https://depot4.eu/>.
18. Kuipers. Available from: <https://www.kuipers.nl/specialisme/gebouwpaspoort>.
19. BAM. Available from: <https://www.bam.com/nl/pers/persberichten/2020/4/am-bam-bouw-en-techniek-en-bam-wonen-bundelen-krachten-met-madaster-in>.
20. Hogeschool van Amsterdam. Available from: <https://www.hva.nl/appliedai/labs/smart-asset-management-lab/smart-asset-management-lab.html>.
21. Signify. Available from: <https://www.signify.com/nl-nl/lighting-services/managed-services/circular-lighting>.
22. Mitsubishi Electric. Available from: <https://www.mitsubishi-liften.nl/m-use/>.
23. Vlaanderen Circulair.
24. New Horizon. Available from: <https://newhorizon.nl/urban-mining/>.
25. Akanbi, I.A., et al., Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. Journal of Cleaner Production, 2019. 223: p. 386-396.
26. Bocken, N.M.P., et al., Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, 2016. 33(5): p. 308-320.