



**MMIP CIRCULAIRE BOUW
EN INFRASTRUCTUUR**

Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma

Opgesteld: MMIP Programma Advies Raad
Eindredactie: H.L.J. Keizers
Datum: 3 april 2023
Versie: 1.0 - TKI Bouw en Techniek

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding	4
2. Innovatieopgave & Nederlandse innovatieinzet	7
2.1. Stand van zaken Nederland	7
2.2. Internationale positionering	8
2.3. Innovatie inzet	9
3. Circulaire bouwwerken en componenten	11
3.1 Ontwerp	11
3.1.1 Concepten voor circulaire bouwwerken en componenten	11
3.1.2 Waardering: prestatiemeting in ontwerpstadium	12
3.1.3 Keten: veranderingen in het ontwerpproces	14
3.2 Productie: industrieel, modulair bouwen en hergebruiken	15
3.2.1 Concepten voor industriële, modulaire bouwwerken en standaardisatie	15
3.2.2 Waardering: restkwaliteit voor hergebruik	16
3.2.3 Ketens voor hergebruik	17
4. Circulaire materialen	18
4.1 Biobased materialen	18
4.1.1 Concepten voor en met biobased toepassingen	19
4.1.2 Prestaties: (toepassingen met) biobased materialen	19
4.1.3 Ketenvorming: biobased materialen	20
4.2 Abiotische materialen: circulair beton	21
4.2.1 Concepten: nieuwe bindmiddelen	21
4.2.2 Waardering: prestaties van nieuwe betonsoorten	21
4.2.3 Ketens: levensduurverlenging beton & recycling	22
5. Circulariteits enablers	23
6. Nederlandse innovatie-activiteiten	25
7. Samenhang op hoofdlijnen	28
7.1 Samenhang met andere missies en (inter-)nationale innovatieprogramma's	28
7.2 Samenhang op cross-over thema's	28
8. Stakeholders/actoren – samenwerking op hoofdlijnen	30
8.1 Bedrijven	31
8.2 (Semi-)Overheden	31
8.3 Kennisinstellingen	31
8.4 Publieke omgeving	31
9. Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren op hoofdlijnen	32
10. Communicatie, leren en disseminatie	34
11. Samenvattende tabel	36
BIJLAGE A. Verantwoording	37

Samenvatting

Nationaal zijn de volgende topuitdagingen gesteld voor de gebouwde omgeving:

1. Verduurzaming van 7 miljoen gebouwen voor 2050
2. Nieuwbouw en transformatie van circa 1 miljoen gebouwen voor 2030
3. Vervangen en renoveren van tienduizenden bruggen, viaducten, tunnels en sluisen
4. Significant reduceren van emissies tijdens het bouwproces voor 2030
5. Klimaatbestendig maken van de gebouwde omgeving voor 2050
6. Sterke reductie gebruik van primaire (abiotische) grondstoffen en milieueffecten in 2030

Om te komen tot een betere structurele borging van innovatie en opschaling in de gebouwde omgeving (gebouwen en infrastructuur) in het nationale missiegedreven topsectoren en innovatiebeleid is een Topconsortium voor Kennis en Innovatie Bouw en Techniek, TKI Bouw en Techniek, ingericht die zich primair zal richten op de onderdelen 2, 3, 4, 5 en 6 voor zover het de integrale bouwpraktijk betreft. TKI Bouw en Techniek richt zich op de missie om in 2050 te komen tot een leefbare, schone en toekomstbestendige gebouwde omgeving als onderdeel van het Thema Energietransitie en Duurzaamheid. De topuitdagingen voor de gebouwde omgeving vragen specifieke innovatieoplossingen en deze krijgen via een drietal missiegedreven meerjarige innovatieprogramma's, MMIP's, gestalte.

Het voorliggende document betreft de MMIP Circulaire Bouw en Infrastructuur. Het bedrijfsleven, de overheden en de onderwijs/kennisinstellingen in de brede bouw- en infrasector delen met elkaar de ambitie om uiterlijk in 2050 een circulaire bouw- en infrasector te realiseren. Er wordt naar gestreefd om in de periode 2023 – 2030 50% van de deze einddoelstelling te realiseren. Dit MMIP draagt bij aan het circulair uitvoeren van de opgave van de realisatie van nieuwe woonruimte voor één miljoen huishoudens en kritische civiele infrastructuren voor de komende decennia. Daarvoor zijn nieuwe en innovatieve oplossingen nodig op het vlak van ontwikkeling, hergebruik en transformatie van (onderdelen van) gebouwen, civiele constructies, installaties, materialen en grondstoffen. We zetten hierbij in op het terugdringen van de broeikasgasemissies, minder milieuvervuiling, herstel van biodiversiteit en het borgen van leveringszekerheid.

Het MMIP is opgebouwd in 3 deelprogramma's: Circulaire bouwwerken en componenten (ontwerp en productie), Circulaire materialen (biobased, non-biobased, hybride en secundair) en Circulariteit enablers (context). Per deelprogramma zijn hierbij de noodzakelijke activiteiten geprioriteerd, onderverdeeld naar:

- Concept: innovaties voor de samenstelling van het product (bouwwerk, component, materiaal);
- Waardering: uitdagingen voor de meting en validatie van de prestaties van circulaire bouwwerken, componenten en materialen (economisch, ecologisch, functioneel,...);
- Keten: innovaties in ontwerp-, (ver)bouw- en demontageprocessen die de levering van de circulaire bouwwerken, componenten en materialen mogelijk maken.

1. Inleiding

TKI Bouw en Techniek heeft als doel om in 2050 te komen tot een toekomstbestendige gebouwde omgeving. Een leefomgeving waarin mensen duurzaam, plezierig, gezond en veilig kunnen wonen, werken, recreëren en bewegen is een primaire levensbehoefte én een enorme uitdaging. De Nederlandse ontwerp-, bouw- en technieksector ontwerpt, bouwt en onderhoudt woningen en andere gebouwen (kantoren, scholen, ziekenhuizen etc.), wegen, bruggen, tunnels, sluizen, rioleringen, dijken, etc. die daarvoor nodig zijn – en moet daarbij inspelen op continu en steeds sneller veranderende omstandigheden en wensen. De woonvraag blijft groeien en verandert, ruimte en grondstoffen zijn schaars, broeikasgas- en stikstofuitstoot moeten worden teruggedrongen, droge en hete perioden met watertekorten worden afgewisseld perioden met wateroverlast, bruggen en sluizen zijn verouderd, het elektriciteitsnet moet worden aangepast om meer schommelingen in elektriciteitsvraag- en aanbod mogelijk te maken en toenemende digitale communicatie en werkprocessen stellen nieuwe en andere eisen aan infrastructuur.

De missie is om in 2050 te komen tot een klimaatneutrale en toekomstbestendige gebouwde omgeving. Hiervoor zijn (inter)nationaal en regionaal politieke akkoorden gesloten, ambities geformuleerd en afspraken gemaakt. De inspanningen sluiten aan bij de ambities uit het Coalitieakkoord 2021¹: *"Goed klimaatbeleid biedt kansen om een duurzame en sterke economie op te bouwen en nieuwe banen te creëren. We maken Nederland klaar voor de toekomst – klimaatneutraal, fossielvrij en circulair – met een schone energievoorziening en groene industriepolitiek..... Dit kabinet wil huishoudens en gemeenschappen, bedrijven en coöperaties en dorpen en steden in staat stellen deze duurzame omslag te maken. In het bijzonder is daarbij aandacht voor infrastructuur: "...voor het inlopen van achterstanden bij beheer en onderhoud van onze wegen, spoor, bruggen, viaducten en vaarwegen en voor het onderhoud en renoveren en vervangen ervan in de toekomst, ook met het oog op de verkeersveiligheid.*

Tevens sluiten de inspanningen aan op de arrangementen in het Klimaatakkoord²: *"Kennisinstituten en het bedrijfsleven intensiveren hun samenwerking op het gebied van innovatie aan de hand van de Integrale Kennis en Innovatieagenda (IKIA) van het Klimaatakkoord gericht op de gebouwde omgeving. De Rijksoverheid draagt jaarlijks bij aan de financiering van de IKIA voor de gebouwde omgeving met voldoende middelen, minimaal rond het niveau van 2019. TKI Urban Energy en het Bouw en Techniek Innovatie Centrum (BTIC)³ hebben een belangrijke rol bij de uitvoering van het innovatieprogramma."*

Het is noodzakelijk om gezamenlijk de bestaande kennisgrens te verleggen door de obstakels die beheerders en bedrijven ervaren te identificeren, gezamenlijk te experimenteren hoe deze het beste kunnen worden verwijderd en nieuwe/onbekende concepten en technieken te omarmen en ervan te leren. Zodat dat wat er nu nog niet is, ontwikkeld wordt en gereed gemaakt voor grootschalige toepassing, procesaanpassingen en nieuwe businessmodellen en dienstenaanbod - gericht op het ontwikkelen en testen van wat essentieel wordt geacht om maatschappelijke doelen steeds slimmer, efficiënter en met zowel bedrijfsmatig als maatschappelijk rendement te behalen.

Om binnen de missie in 2050 een toekomstbestendige gebouwde omgeving te behalen moet worden ingezet op verbreding van het innovatiebeleid naar opgaven die ook nadrukkelijk de (nieuw en ver)bouw- en infrastructuuropgaven betreffen en tevens boost geven aan (het benutten van de mogelijkheden van) digitalisering, industrialisatie en nieuwe vaardigheden in de gehele bouwketen.

¹ Coalitieakkoord 2021, pagina 10 en 18

² Klimaatakkoord, pagina 19, onder f

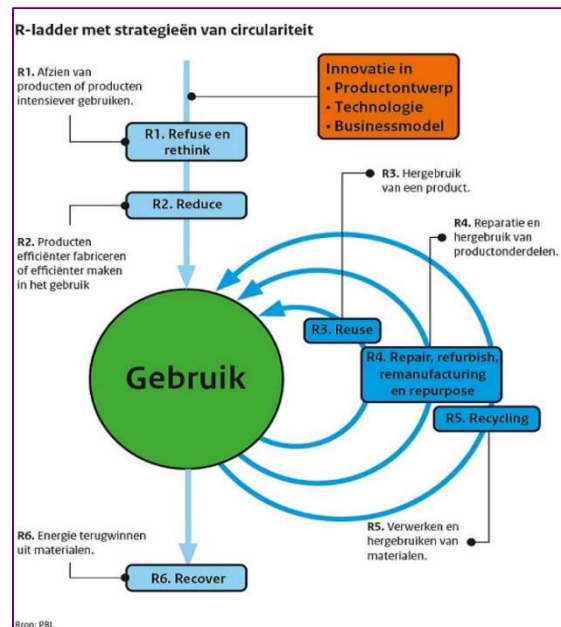
³ Het BTIC is de voorloper van de TKI Bouw en Techniek

Hiervoor wordt ingezet op de volgende meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's):

1 Circulaire bouw en infrastructuur

Bedrijfsleven, overheden en onderwijs/kennisinstellingen in de bouw- en infrasector delen met elkaar de ambitie om uiterlijk in 2050 een circulaire bouw- en infrasector te realiseren. Er wordt naar gestreefd om in de periode 2023 – 2030 50% van de deze einddoelstelling te realiseren. Dit MMIP draagt bij aan circulaire realisatie van extra woonruimte voor één miljoen huishoudens en kritische civiele infrastructures voor de komende decennia. Nieuwe en innovatieve oplossingen voor hoogwaardig hergebruik van (onderdelen van) gebouwen, civiele constructies, installaties, (biobased) materialen en grondstoffen. Dit programma zet in op innovatie in nieuwe concepten, strategieën en -processen voor circulair onderhoud, reparatie, levensduurverlenging, modulariteit, aanpasbaarheid, en demonteerbaarheid op verschillende schaalniveaus; van materiaal-, product-, component-, en gebouwniveau tot stedenbouwkundige inbedding, inclusief de biobased productieketen. Speciale aandacht gaat uit naar de kansen die digitalisering en industrialisatie bieden.

Er zijn verschillende circulariteitsstrategieën. In essentie worden in een circulaire economie zo min mogelijk grondstoffen gebruikt en wordt zo min mogelijk afval gegenereerd. Het doel is een optimaal (her)gebruik van grondstoffen, materialen en (half) producten, dat wil zeggen: deze inzetten met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu⁴. Een aanzienlijk efficiëntere omgang met grondstoffen is te bereiken door de inzet van verschillende circulariteitsstrategieën. Denk hierbij aan het afzien van producten of deze intensiever gebruiken door ze met anderen te delen, het gebruik van hernieuwbare grondstoffen (R1, refuse, rethink, substitute), het efficiënter fabriceren van producten (R2, reduce), het hergebruiken (R3, reuse) en repareren van producten (R4, repair en remanufacturing) zodat ze langer meegaan, het hergebruiken van materialen (R5, recycle) zodat er minder afval ontstaat én minder nieuwe grondstoffen nodig zijn en het terugwinnen van energie uit materialen (R6, recover). Ook te beschrijven als 'narrowing the loop, slowing the loop, closing the loop en substitute'. Vanuit beleid wordt hierbij 'zo hoog mogelijk op de R-ladder' als de wenselijke strategie geacht.



2 Levensduurverlenging gebouwde omgeving

Dit MMIP sluit aan op de ambitie om richting 2050 te komen tot een veilige, robuuste en duurzame Gebouwde Omgeving. Belangrijk onderdeel voor het bereiken van die ambitie is het optimaal instandhouden, aanpassen en benutten van de bestaande gebouwen en civiele infrastructuur. De komende decennia zullen 85.000 civiele kunstwerken moeten worden aangepast, vervangen, onderhouden of moet de levensduur worden verlengd. Voor woningen en utiliteitsgebouwen geldt dat levensduurverlenging een essentieel onderdeel van een toekomstgerichte nieuwbouw, renovatie en onderhoudsstrategie. Zowel qua (her)ontwerp,

⁴ Rood & Hanemaaijer 2017

materiaal als qua (installatie-)techniek. Dit MMIP zet in op innovatietrajecten gericht op onder andere vaststellen van betrouwbare reststerkte- en voorspellingsmodellen en geautomatiseerde data- en inspectietechnieken, digital twins, toepassing van nieuwe materialen, scholing en opleiding, etc, zodat bestaande gebouwen en civiele kunstwerken veilig en duurzaam gebruikt kunnen blijven worden met een langere levensduur. De innovatieve aanpak in dit MMIP anticipeert op de ontwikkelingen zoals industrialisatie, digitalisering en human capital (leren, vaardigheden en kennisdeling).

3 Klimaatadaptief, natuurinclusief en omgevingsbewust bouwen

Doel van dit MMIP is ervoor te zorgen dat de gebouwde omgeving in 2050 klimaatbestendig en natuurinclusief is ingericht en dat bouwactiviteiten voor 2030 met minimale belasting voor de omgeving tot stand komen. Klimaatadaptatie is nodig om de gebouwde omgeving en inwoners van Nederland te beschermen tegen weerextremen als wateroverlast, overstroming, hittestress, droogte en stormen. Daarnaast kan het bijdragen aan voorkomen van bodemdaling en funderingsproblematiek. Natuurinclusief bouwen is nodig voor een gezonde leefomgeving en bescherming en versterking van de biodiversiteit en kan bijdragen aan het verbeteren van de waterhuishouding, vermindering van hittestress en luchtvervuiling. (Lokale) klimaatadaptatie maatregelen en natuurinclusieve maatregelen dienen zoveel mogelijk te worden gecombineerd met andere transitieopgaven en vereisen forse bouwactiviteiten in de gebouwde omgeving. Dit geldt zowel ondergronds als bovengronds. Tegelijkertijd worden de doelstellingen voor het reduceren van emissies en overlast in de omgeving en voor de natuur als het gevolg van bouwactiviteiten steeds strenger en complexer. Emissies van stikstof, fijnstof en broeikasgassen, geluid, trillingen en watergebruik moeten worden teruggedrongen en de mogelijkheden om meer natuurinclusief te bouwen beter benut.

Deze MMIP's worden opgezet en uitgevoerd vanuit de samenwerking tussen het bedrijfsleven, overheden, kennisinstellingen en gebruikers. TKI Bouw en Techniek werkt daarbij onder het Thema Energie en Duurzaamheid nauw samen met TKI Urban Energy, dat zich vooral richt op verduurzaming van bestaande bouw en zonne-energie, en met andere TKI's en gerelateerde instanties op het gebied van de doorsnijdende thema's digitalisering, industrialisering en human capital.

2. Innovatieopgave & Nederlandse innovatieinzet

2.1. Stand van zaken Nederland

Nederland heeft de ambitie om per 2030 50% van de bouw- en infraopgave circulair uit te voeren en volledig in 2050. Nederland is een van de koplopers op het gebied van circulariteit⁵ en recyclet meer dan 80 procent van het afval. De kanttekening daarbij is dat dit vaak laagwaardige recycling betreft en er voor de bouw- en infrasector vooral sprake is van downcycling; waardevol bouwafval wordt vooral laagwaardig gebruikt als funderingsmateriaal voor wegen. Slechts 8% van het materiaalgebruik in de bouwsector is circulair en krijgt op dit moment een gelijkwaardige of verbeterde toepassing in het bouwproces⁶.

In een circulaire economie staat het efficiënt benutten en het daardoor verminderen van het gebruik van primaire (abiotische) grondstoffen centraal. Daarvoor is meer nodig dan alleen recycling van grondstoffen; producten moeten bijvoorbeeld zo worden ontworpen dat ze langer meegaan. Als gekeken wordt naar de bouw en infrasector zien we dat hier een groot effect te bereiken valt. Het grootste deel van het ruwe materiaalgebruik in Nederland is ten behoeve van de bouw- en infraopgave, nieuwbouw, renovatie, beheer en onderhoud. In 2019 werd een totaal van 44 miljard kg aan materialen gebruikt in de bouw en infra⁷.

Materiaal (kton), 2019	GWW*	B&U	totaal
Beton	4460	17085	21545
Recycling granulaat	7610		7610
Bitumen (asfalt, dakbedekking)	7190	60	7250
Baksteen, Steen	1340	1335	2675
Metaal (Staal, Aluminium, overig)	225	980	1205
Biobased (hout, overig)	< 1	440	440
Kunststof (PVC, overig)	27	65	92
Overig	748	2815	3563
Totaal	21600	22780	44380
<i>* exclusief massa ophoogzand, grond en klei</i>			

Tabel 2.1. Overzicht materiaal gebruik ten behoeve van bouw en infra (2019)

Voor de GWW-sector kan in theorie een groot deel van de grondstoffen uit gerecycled materiaal komen. Het theoretische gat tussen vraag en aanbod in de GWW-sector bedraagt 35%, het verschil in de praktijk is groter. Uit de verhouding tussen de vraag (ingående materiaalstromen) en het aanbod (uitgaande materiaalstromen) voor verschillende typen materiaalstromen blijkt dat voor de op één na grootste stroom, asfalt, theoretische vraag en aanbod relatief dicht bij elkaar liggen: in theorie kon in 2019 bijna 80% procent van de vraag worden voorzien door secundair materiaal. Dit hangt samen met de relatief grote vervangingssopgave van asfaltwegen ten opzichte van de uitbreidingsopgave. Voor beton en staal is deze verhouding anders, respectievelijk bijna 60% en 50% van de materiaalvraag kan hier theoretisch secundair worden ingevuld. Dit hangt samen met de relatief grotere vraag naar deze materialen als gevolg van uitbreiding. Met name bij kunststoffen is het verschil tussen vraag en aanbod groot: maximaal 15% van het gevraagde volume kon theoretisch door secundaire materialen worden ingevuld in 2019.

⁵ Circulaire economie rapportage 2021, PBL

⁶ The circularity gap report, juni 2022

⁷ Materiaalstromen in de bouw en infra, Materiaalstromen, milieu-impact en CO₂-emissies in 2019, 2030 en 2050, april 2022

Voor gebouwen ligt dit anders. Het theoretische gat tussen vraag en aanbod in B&U bedraagt bijna 80%. Gebouwen bevatten vooral grote hoeveelheden beton, staal en hout. In de gebouwen en infrastructurele werken zitten de grondstoffen voor lange tijd opgeslagen. De vraag naar grondstoffen en het aanbod van secundair materiaal in de bouw kent hierdoor een eigen dynamiek. Voor de woningbouwopgave tot 2030 komen er de komende tijd niet genoeg secundaire materialen vrij om daarmee de benodigde woningen te bouwen (Arnoldussen et al. 2020). Andere oplossingen zullen ook nodig zijn, zoals meer hernieuwbare biobased grondstoffen, het gebruik van reststromen uit andere sectoren en een ander ontwerp van woningen en gebouwen dat significant minder grondstoffen vergt.

Het streven naar een circulaire economie staat hoog op de maatschappelijke agenda. Voor het Transitieteam Circulaire Bouweconomie is het einddoel in 2050 een bouweconomie die volledig circulair is, wat "betekent dat we er dan in slagen om te voorzien in de sociaaleconomische behoeften aan huisvesting en infrastructuur zonder daarbij de draagkracht van de aarde te overschrijden in de vorm van uitputting, CO₂- uitstoot, vervuiling, biodiversiteitsverlies en andere milieuschade. Hierbij is er geen sprake van afwenteling in de tijd, naar andere landen of verlies van andere sociaaleconomische waarden, zoals leveringsrisico's, ten gevolge van de circulaire bouweconomie. Kort gezegd betekent dit dat de milieu-impact van een circulaire bouweconomie niet groter mag zijn dan de natuurlijke draagkracht van de aarde". In de door het Transitieteam CBE gepubliceerde advies routekaart is dit vertaald naar doelstellingen voor 2030 in termen van te behalen reducties in milieukosten (MKI) en CO₂ equivalenten voor verschillende typen bouwwerken⁸.

2.2. Internationale positionering

Nederland staat goed gepositioneerd op het gebied van circulair bouwen. Het kabinet heeft duidelijke ambities voor het normeren en stimuleren van circulair bouwen⁹. Nederland is internationaal gezien een van de koplopers op het gebied van circulariteit, zo blijkt uit het Circularity Gap report van 2022. Nederland heeft een Circularity Metric van 24,5%, hoog in vergelijking met het internationale gemiddelde van 8,6%. Oostenrijk heeft een score van 9,7% en Zweden van 3,4%¹⁰. Kanttekening hierbij is dat deze ranking primair is gebaseerd op recycling van materialen. Het feit dat Nederland veel materiaal recycleert zou het ook lastiger kunnen maken om te komen tot hoogwaardig hergebruik van producten en componenten. Een goede vertaling is nodig om tot hoogwaardig hergebruik te komen. Nederland is voorloper op het gebied van materialenpaspoorten. Om materialen te kunnen hergebruiken is kennis nodig van materialen in gebouwen en hun eigenschappen. Nederland is een van de voorlopers op dit vlak met de introductie van het concept van het materialenpaspoort in 2014 door de in Nederland wonende Thomas Rau. Inmiddels zijn niet alleen (bijna) alle grote Nederlandse bouwers aangesloten, maar wordt dit platform ook in andere landen (Duitsland, Noorwegen, Zwitserland, België, Oostenrijk) gebruikt¹¹. Nederland in top-3 wetenschappelijk onderzoek. Op onderzoeksvlak staat Nederland in de top 3 (na het VK en Denemarken) als het gaat om onderzoek rondom circulair bouwen en het

⁸ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/07/15/bijlage-5-adviesroute-naar-een-circulaire-economie-voor-de-bouw

⁹ zie www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2022Z26259&did=2022D56564 en

www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/06/15/bijlage-1-strategie-naar-klimateutraliteits-en-circulaire-rijksinfraprojecten.

¹⁰ <https://www.circularity-gap.world/netherlands>

¹¹ <https://madaster.nl/>

materialenpaspoort. Veel onderzoek is gericht op recycling, maar nog relatief weinig op levensduurverlenging (reuse) en verspilling (reduce)¹².

2.3. Innovatie inzet

Het creëren van een circulaire ontwerp-, bouw- en technieksector is echter weerbarstig. Het veranderen van de manier van bouwen, renoveren en onderhouden vergt veel investeringen in de ontwikkeling en toepassing van nieuwe bouwmaterialen, methoden en processen, veranderingen in de regelgeving en nieuwe financieringsmodellen, die niet van de ene op de andere dag te realiseren zijn. Ontwikkelingen zijn nodig op verschillende schaalniveaus (van materiaal-, product-, component- en gebouwniveau tot stedenbouwkundige inbedding).

Verschillende bedrijven in de ontwerp-, bouw- en technieksector zijn bezig met het ontwikkelen van circulaire concepten en er is toenemende aandacht voor verduurzaming van bouwmaterialen. Ook is er een groeiend aantal netwerken dat werkt aan kennisuitwisseling over een circulaire bouw en infrastructuur. Tegelijkertijd zien we dat de nadruk in de grootschalige verduurzamingsprogramma's nog op de energietransitie ligt. Dit is uiteraard van groot belang om de CO₂-uitstoot te verminderen, maar niet voldoende om een volledig circulaire bouw- en infrasector tot stand te brengen. Waar er specifiek aan circulaire bouw en infrastructuur wordt gewerkt, ligt de nadruk veelal op de materialenkant (bijvoorbeeld het Betonakkoord van oktober 2018, het Bouwakkoord Staal van maart 2022, het Houtakkoord in ontwikkeling en de toenemende aandacht voor bouwen met biobased materialen). Ook is er veel aandacht voor recycling, wat goed is, maar in een circulaire economie ligt de prioriteit bij een lange levensduur en hoogwaardig hergebruik van bouwwerken en -elementen (upcycling), zodat grondstoffenuitputting en waardeverlies voorkomen wordt.

Ondanks alle aandacht die er is voor circulariteit, staan we nog maar aan het begin van het handelen op basis van circulaire principes en grootschalige toepassing ervan in de ontwerp-, bouw- en technieksector. Voor versnelling en opschaling hebben we concepten nodig die effectief het vermijden van grondstoffenuitputting, afval en uitstoot van giftige stoffen aanjagen. Concepten die tegelijkertijd economisch en technisch steeds succesvoller en sociaal geaccepteerd worden. Dit prille stadium van ontwikkeling vraagt om innovatie waarbij partijen van binnen en buiten de ontwerp-, bouw- en technieksector samen werken aan circulaire oplossingen die ook gerepliceerd en doorontwikkeld kunnen worden.

Het MMIP-programma heeft primair de focus op het niveau van bouwwerken, componenten en materialen, rekening houdend met de inbedding in de (stedenbouwkundige) infrastructuur (toekomstbestendige aansluiting op energiesystemen, infrastructuur, etc.). Met betrekking tot de circulaire uitdagingen zijn er relevante verschillen voor verschillende bouwwerken naar aard en sector. Het programma steekt in vanuit de generieke uitdagingen, die bij de uitvoering nader gespecificeerd moeten worden naar deelsector en waar bij de prioritering aangesloten wordt bij de prioritaire productgroepen zoals die door het Transitieteam Circulaire Bouweconomie zijn vastgesteld en bij initiatieven voor verschillende materiaalstromen.

Het MMIP is opgebouwd in 3 deelprogramma's

- Circulaire bouwwerken en componenten (ontwerp en productie);
- Circulaire materialen (biobased, non-biobased, hybride en secundair);
- Circulariteit enablers (context).

¹² Benachio, G. L. F., Freitas, M. d. C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*

Daarbij is per deelprogramma een nadere verdeling gemaakt in:

- Concept: innovaties voor de samenstelling van het product (bouwwerk, component, materiaal);
- Waardering: uitdagingen voor de meting en validatie van de prestaties van circulaire bouwwerken, componenten en materialen (economisch, ecologisch, functioneel,...);
- Keten: innovaties in ontwerp-, (ver)bouw- en demontageprocessen die de levering van de circulaire bouwwerken, componenten en materialen mogelijk maken.

MISSIE					
CO ₂ -vrije en Toekomstbestendige Gebouwde Omgeving					
DEELPROGRAMMA	Circulaire bouwwerken en componenten		Circulaire materialen		Circulariteitsenablers (context)
ONDERWERPEN	Ontwerp	Productie en hergebruik	Biobased (en hybride)	Non-biobased (en hybride)	Sociaal, juridisch, economisch
Concept (product)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerp-concepten 	<ul style="list-style-type: none"> • IFD en modulair bouwen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nieuwe materialen en toepassingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton (staal, asfalt), biobased additieven en nieuwe generatie bindmiddelen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beleid en normering • Inkoopproces • Ketensamenwerking • Circulaire businessmodellen
Waardering (prestaties)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerp-criteria en evaluatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie rest-capaciteit/kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie levensduur en kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie levensduur en kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Sociale aspecten van een circulaire gebouwde omgeving
Keten (proces)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerpproces 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale technologieën 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketenontwikkeling en ketenoptimalisatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Levensduur-verlenging en recycling 	<ul style="list-style-type: none"> • Levenslang leren • Internationale samenwerking

Tabel. 2.2 Programmaopzet MMIP Circulaire bouw en infrastructuur

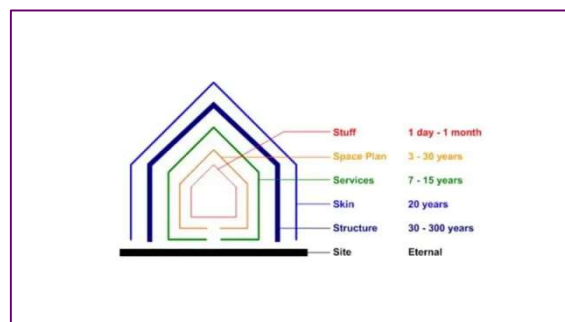
3. Circulaire bouwwerken en componenten

3.1 Ontwerp

3.1.1 Concepten voor circulaire bouwwerken en componenten

Een ontwerp is een plan en/of specificatie voor het (ver)bouwen van bouwwerken. Het gaat bij het ontwerp dus om hoe het product er in tastbare zin uiteindelijk uit zal zien. Voor circulaire gebouwen en infrastructuur is het doel om concepten te ontwikkelen voor bouwwerken die door hun esthetische, functionele en technische eigenschappen kunnen functioneren in een circulaire bouweconomie. Een concept wordt hierbij gezien als een generieke specificatie voor een (type) bouwwerk, waarbij de specificatie volgt uit keuzes die gemaakt worden ten aanzien de vorm, uitvoering, materialisatie etc.

In het verleden zijn al veel concepten ontwikkeld voor bijvoorbeeld aanpasbare gebouwen, waarbij een lange levensduur wordt beoogd door slimme combinaties van structurele en flexibele elementen te integreren. Bouwwerken kunnen daarbij worden gezien als 'systemen' met verschillende 'lagen': site (locatie), structure (draagstructuur), skin (gevel, dak), services (installaties), space (ruimtes) en 'stuff' (inrichting)¹³. Aan de



verschillende lagen worden verschillende levens- en/of gebruiksduren toegekend en voor verschillende lagen kunnen verschillende strategieën worden toegepast om aanpassing, renovatie en hergebruik te bevorderen. In technische zin worden deze concepten ook vaak gerelateerd aan het zogenaamde Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) Bouwen. Hoewel de in het verleden ontwikkelde concepten goede aanknopingspunten bieden voor circulair ontwerpen, zijn er nog belangrijke tekortkomingen om volledig circulaire bouwwerken tot stand te brengen.

Een eerste tekortkoming is dat veel concepten voor aanpasbaar bouwen uitsluitend de technische cycli uit het vlindermodel van de Ellen MacArthur Foundation benadrukken. Bouwen met biobased (hernieuwbare) materialen kan een goed alternatief zijn om circulaire bouwwerken te genereren, en onder bepaalde omstandigheden zelfs beter, zeker als de biobased materialen en componenten ook zo worden toegepast dat ze ook goed herbruikbaar zijn op lange termijn, danwel zonder schade aan het milieu kunnen worden afgebroken ('biodegradable') en ook binnen afzienbare termijn weer kunnen aangroeien zonder schade aan de biodiversiteit.

Een tweede tekortkoming van in het verleden ontwikkelde concepten is dat zij zich vooral richten op 'ontwerp voor toekomstig hergebruik', in die zin dat zij faciliteren dat delen van het gebouw gebruikt kunnen blijven worden, terwijl onderdelen hun nut verloren hebben. Minder tot geen aandacht is er voor het sluiten van de cycli door ook 'ontwerp met secundaire producten, componenten en materialen mee te nemen, zowel bij het 'nu' vervangen van onderdelen als bij het 'straks' herbestemmen van onderdelen. Complicerende factor hierbij is dat het 'straks' afhankelijk van het type product, component of bouwwerk tussen de 5 en 50 jaar of langer kan liggen.

Hiermee samenhangend worden niet alle mogelijkheden om circulariteit tot stand te brengen meegenomen. Als we bijvoorbeeld kijken naar het R-model worden belangrijke principes als

¹³ Brand, S. (1994). *How buildings learn : what happens after they're built*. New York, NY ; London: Viking.

'Refuse', 'Reduce' en 'Remanufacture' niet of heel impliciet toegepast bij de in het verleden ontwikkelde concepten.

Het is van belang om te onderzoeken op welke wijze de 'R' strategieën slim gecombineerd kunnen worden in generieke ontwerpconcepten. Daarbij moet verder worden gekeken dan circulariteit alleen, maar naar duurzaamheid in brede zin. Kan de energietransitie worden benut als gelegenheid om gebouwen ook circulair te maken? Hoe kan circulariteit samengaan met een gezonde en klimaatbestendige leefomgeving? Circulaire ontwerpen zullen idealiter niet inboeten aan andere duurzaamheidswaarden maar juist synergie opleveren. Zo kan bijvoorbeeld 'ontwerpen voor hechting of dierbaarheid' ook onderdeel zijn van concepten voor circulaire bouwwerken, vanuit de gedachte dat des te langer bouwwerken waarde en functie behouden, des te minder druk er is op nieuwbouw en risico op sloopafval. En bij het streven naar circulaire ontwerpconcepten is het ook belangrijk om in het oog te houden onder welke condities de te gebruiken grondstoffen worden geproduceerd.

Voor installaties als warmtepompen, ventilatiesystemen, zonnepanelen, batterijen, warmteopslag en slimme regelingen gaan de ontwikkelingen hierbij snel. Ontwikkelingen als compactere systemen, hogere prestaties en toelaatbare koelmiddelen maken dat de technische levensduur hierbij geregeld onder de operationele levensduur komt te liggen. Ontwikkelingen rond modulair plaatsen en vervangen, hergebruik van kritische materialen, mogelijke nieuwe rolverdelingen tussen de opdrachtgever, opdrachtnemer en toeleverancier, financieringsvormen en vormen van eigenaarschap maken dat kennis over circulariteit hier een grotere rol zal gaan spelen.

Het MMIP richt zich op de volgende resultaten voor ontwerpconcepten:

- Ontwikkeling van innovatieve concepten die door slimme combinaties van circulaire ontwerpprincipes de beste economische en ecologische prestaties leveren, zowel voor nieuwbouw als voor renovatie en transformatie van bouwwerken;
- Validatie van concepten die kansrijk zijn voor grootschalige toepassing.

3.1.2 Waardering: prestatiemeting in ontwerpstadium

Er zijn een aantal meetmethoden en -instrumenten die bepaalde circulaire aspecten meetbaar maken¹⁴. Denk daarbij aan:

- de Milieuprestatie Gebouwen (MPG) en Milieukostenindicator (MKI), die op basis van levenscyclusanalyses de milieu-impact van een bouwwerk inzichtelijk maken;
- de Methode Adaptief Vermogen, die de mate van adaptiviteit van een gebouw bepaald;
- de Losmaakbaarheidsindex, die inzicht geeft in de losmaakbaarheid.

Daarbij zijn er diverse rekeninstrumenten, die meerdere circulaire prestaties met elkaar proberen te combineren. Denk aan de Building Circularity Index (BCI) of de Circulariteitsprestatie Gebouwen (CPG) en Het Nieuwe Normaal van Cirkelstad waarmee een eenduidige taal en beoordelingskader wordt ontwikkeld en getest in de praktijk, gebruik makende van bestaande meetmethoden¹⁵. Ook zijn er initiatieven om gebouwinformatie te ontsluiten, waarbij Madaster het meest bekende platform is dat deze 'materiaalpaspoorten' genereert.

Er bestaan evengoed nog flinke uitdagingen om deze modellen door te ontwikkelen en vooral om ze opschaalbaar toe te passen in verschillende stadia van het ontwerpproces. In verschillende fasen van het ontwerpproces zijn verschillende methoden gewenst. Naast methoden die geschikt zijn om relatief nauwkeurig de impact van prestaties van vergevorderde, uitgedetailleerde

¹⁴ Zie voor een uitgebreider overzicht bijvoorbeeld de *Toolbox van Cirkelstad, 2020*

¹⁵ *Het Nieuwe Normaal (HNN) - Cirkelstad*

ontwerpen te kunnen inschatten, is het van nog groter belang om in een vroeg stadium van het ontwerpproces keuzes tussen alternatieve mogelijkheden te kunnen onderbouwen die naar verwachting het meeste effect zullen hebben en in die fase ook bruikbaar zijn voor de verschillende betrokken actoren in het ontwerpproces, waarbij een goede aansluiting van de ontwerpcyclus en de materialencyclus is essentieel aandachtspunt is¹⁶. Ontwerpers geven met name aan dat ze behoefte hebben aan handzame modellen waarmee ze in een vroeg stadium de milieukosten van ontwerpvarianten kunnen inschatten, bijvoorbeeld door BIM-modellen en Digital Twins te verbinden aan een MKI / MPG-database.

Naast de impact op het milieu is de economische prestatie van belang bij de afwegingen omtrent circulaire bouwwerken. Om kostenefficiëntie te behalen met betrekking tot CO₂-reductie en vermindering van primair materiaalgebruik, is het belangrijk om te begrijpen hoe de waarde van secundaire producten kan worden gemaximaliseerd door het product te hergebruiken in dezelfde of een andere toepassing. Het is dan essentieel om te kunnen bepalen welke restkwaliteit het product heeft (zoals reststerkte en draagkracht, restlevensduur etc.). Het standaardkader voor bijvoorbeeld structurele berekeningen is echter ontwikkeld voor nieuwe basismaterialen en ontbeert functionele beoordelingsmethoden. Naast de restwaarde van het product/materiaal, moet ook gekeken worden naar de prijsontwikkeling van materialen en producten die gemaakt worden met primaire grondstoffen, omdat daar in financieel-economisch opzicht mee moet worden geconcurrereerd. Verder is het van belang om te kijken hoe TCO/LCC benaderingen en 'value engineering' oplossingen kunnen bieden voor de potentiële hogere initiële bouwkosten.

Ten slotte is het voor de finale 'waardering' van groot belang in ogenschouw te blijven houden dat ontwerpen altijd breed getoetst moeten worden op verschillende criteria, waaronder (brand)veiligheid, gezondheid, levensduur, bruikbaarheid, klimaatbestendigheid, energiezuinigheid en esthetiek. De opgave is hierbij de laatste jaren sterk verbreed. Niet alleen verbreed als gevolg van de toename van schaderisico's door de klimaatverandering (piekbuien, verdroging, overstromingsrisico's, hittestress), maar ook doordat we in het kader van de trade-off ten aanzien van andere zaken in onze leefomgeving (brede welvaart) meer en meer voelen en steeds minder accepteren. Inmiddels krijgen wetgeving en richtlijnen die onze leefomgeving beschermen meer en meer inhoud. Aspecten zoals stikstof, CO₂, fijnstof, Zero Net Landtake, bescherming landschap, behoud biodiversiteit, normering ten aanzien van geluid waar omgevingspartijen zich op beroepen wanneer je een stuk infra of gebouw wil bouwen of renoveren. 'Circulariteit' is in die zin één van de criteria die idealiter synergie oplevert met andere waarderingscriteria. Hiervoor is extra aandacht nodig op de (door)ontwikkeling van (parametrische) tools zodat ook in een vroeg stadium in het ontwerpproces inzicht kan ontstaan in de gevolgen van verschillende ontwerpkeuzes en ontwerpoptimalisatie tot de mogelijkheden behoort.

Het MMIP streeft naar validatie van:

- methoden voor inbedding van circulaire LCA en LCC methoden in parametrische ontwerptools die kunnen worden gebruikt voor het onderbouwen van beslissingen in verschillende fasen van het ontwerpproces van circulaire gebouwen en infrastructuur, waarbij verschillende 'R' strategieën worden toegepast, resulterend in praktisch implementeerbare tooling om al in de vroege ontwerpfase inzicht te krijgen in en een optimale integrale afweging te kunnen maken voor meerdere prestatiecriteria (bijv. duurzaamheid, kosten, constructief);
- methoden voor de vaststelling van de residuele technische en economische waarde van circulaire gebouwen, elementen, bouwcomponenten en materialen, ter ondersteuning van de circulaire LCC;

¹⁶ *Circular Design in Architecture. Paper presented at the ARISE GIN Symposium 2020 "Towards Circular Regions", University of Twente, Schröder, T. (2020).*

- de wenselijkheid van integratie van het energiegebruik van bouwwerken in de bepalingsmethode (deze worden momenteel via de MPG en BENG eisen gescheiden beoordeeld).

Hieruit volgen ook aanbevelingen voor (internationale) harmonisatie en openbaarheid van waarderingmethoden en –data voor circulaire gebouwen en infrastructuur die het ontwerpen voor circulaire bouwwerken kunnen ondersteunen.

3.1.3 Keten: veranderingen in het ontwerpproces

Tijdens ontwerpprocessen veranderen de rollen en verantwoordelijkheden in het bouwteam continu en de rollen zijn soms niet goed gedefinieerd¹⁷. Bij circulair ontwerp verschuiven traditionele rollen en ontstaan nieuwe rollen die samenhangen met de nieuwe doelstellingen. Dit betreft enerzijds het ontwerpen en bouwen met biologisch afbreekbare materialen en hergebruikte elementen, en anderzijds nieuwe opgaven die na de voltooiing van het gebouw naar voren komen: bijvoorbeeld vragen over onderhoud, reparatie en demontage. Zo komt bijvoorbeeld de rol van de sloopexpert naar voren als nieuwe actor in ontwerpprocessen (zie o.a. 'Leidraad Circulair Ontwerpen' van Platform CB'23). Nieuwe taken en rollen vormen een uitdaging voor de organisatie van het ontwerpproces. Parametrisch ontwerp en industriële fabricage bieden ook kansen voor het ontwerpproces. Parametrische modellerings- en simulatietools kunnen onderdelen (bijvoorbeeld muren of platen) helpen te maken met minder materiaal, zonder de bouwtechnische kwaliteit in gevaar te brengen. Digitale fabricage (bijvoorbeeld CNC, robots) maakt het mogelijk de afvalproductie binnen het fabricageproces te verminderen.

Bij ontwerpen voor een circulaire gebouwde omgeving is het van belang dat de mindset van alle betrokken verandert, zodat ze niet vast blijven zitten in traditionele oplossingen die vanuit gesloten, lineaire technische systemen zijn ontwikkeld. In wezen moeten het proces bijdragen aan ontwerpgedreven input en betrokkenheid van relevante belanghebbenden en daarmee ook bijdragen aan het verleggen van grenzen die bouwwerken inkaderen vanuit een lineaire economie. Dit kan onder meer door processtrategieën te ontwikkelen die zich al vanaf de prille initiatieffase en uitvraag richten op:

- het (co)creëren van (een) circulaire ontwerp(en) voor bouwwerk(en);
- het mede betrekken van 'non usual suspects' in het ontwerpproces (financiers, accountants, onderhoudsbedrijven, sloopbedrijven, ...), om de kans te vergroten dat de integrale eindoplossingen op basis van ontwikkelde concepten ook haalbaar zijn en daadwerkelijk kunnen functioneren in een circulaire bouweconomie;
- het niet alleen ontwikkelen van een 'bouwplan' maar ook een 'remontageplan' en/of 'reconfiguratieplan';
- het vroegtijdig meenemen van opdrachtgevers, eindgebruikers en procespartners in het ontwerpproces om hun circulaire ambities te vergroten;
- het inzetten van afwegingskaders en evaluatiemethoden om tijdens verschillende stappen in het ontwerpproces onderbouwde keuzes te maken.

Het MMIP richt zich op de processen voor het ontwerpen van circulaire bouwwerken en componenten op de volgende resultaten:

- Strategieën voor samenwerking om inbreng en steun van relevante actoren bij het ontwerpen van circulaire gebouwen en infrastructuur te organiseren, zodat dit leidt tot wenselijke en haalbare oplossingen;

¹⁷ Samuel, F. (2018). *Why architects matter : evidencing and communicating the value of architects (1st ed.)*. London and New York: Routledge

- Identificatie en verspreiding van kennis en vaardigheden die actoren in het ontwerpproces voor circulaire bouwwerken zich eigen moeten maken om hier effectief aan bij te kunnen dragen.

3.2 Productie: industrieel, modulair bouwen en hergebruiken

3.2.1 Concepten voor industriële, modulaire bouwwerken en standaardisatie

Industrieel, Flexibel, Demontabel (IFD) en modulair bouwen kan een sterke stimulans worden voor de herbruikbaarheid van bouwdelen en tevens de uitstoot van emissies bij productie, transport en bouw (zie tevens MMIP Klimaatadaptatie, natuurinclusiviteit en omgevingsbewust bouwen). Voorwaarde is dat activiteiten goed geïntegreerd zijn met het logistieke proces, geoptimaliseerd zijn vanuit de totale levenscyclus en gebruik gemaakt wordt van het industrieel/grootschalig geproduceerde biobased materialen en/of circulaire materialen. Daarnaast is vanuit een modulair bouwconcept, gebaseerd op een productplatform, met een set van gestandaardiseerde subsystemen (e.g. bouwblokken en modules, inclusief de technische installatie) en gebruikmakend van nieuwe industrialiseerbare en gerobotiseerde productiemethodes, een grote en efficiënte bouwstroom mogelijk. Hiermee invulling worden gegeven aan de vereiste opschaling van betaalbare nieuwbouwwoningen en tevens aan het gestandaardiseerd aanbieden van bouwstenen voor grote infrastructurele projecten en utiliteitsbouw (versnellend en kostenreducerend).

Een product platform filosofie gaat uit van gestandaardiseerde producten, gestandaardiseerde (/gedigitaliseerde) processen en gestandaardiseerde toeleveringsketens. Digitalisering speelt hierbij een cruciale rol. Door vanaf het moment van idee-initiatie (opdrachtgever en/of projectontwikkelaar) tot oplevering van het bouwwerk, tijdens de operationele gebruiksfase en eventueel ook sloop en hergebruik van componenten en materialen, van één digitale representatie uit te gaan (digital twin), is een datagedreven optimalisatie over de gehele levensduur van een bouwwerk mogelijk en kan geleerd worden van het functioneren van een bouwwerk. Door te werken met modulaire bouwconcepten, gebaseerd op een product platform aanpak, kunnen basisonderdelen (modulaire ontwerp oplossingen, productie- en uitvoeringsmethoden, etc.) ook projectonafhankelijk worden ontwikkeld en gedigitaliseerd in bibliotheken. Tegelijkertijd biedt digitalisering ook perspectief om makkelijker te werken met niet-standaardoplossingen en bijvoorbeeld te ontwerpen en construeren met vrijkomende elementen uit andere bouwwerken.

Een volgende stap is het industrieel produceren van de modulaire bouwdelen. Een ontwerp- en productieproces dat geoptimaliseerd is naar minimaal materiaalgebruik, of alternatief (biobased) materiaalgebruik. Dit betreft nieuwe manieren van (gerobotiseerd) produceren van prefab bouwdelen. Door het introduceren van zelflerende algoritmen (AI) die productie-, leverings- en assemblageprocessen volgen, kan betere analyse en optimalisatie van processen plaatsvinden en kan geleerd worden voor nieuwe projecten. De focus met betrekking tot kennisontwikkeling en innovatie ligt hierbij o.a. op nieuwe digitale methoden die de processen rond circulair ontwerp, werkvoorbereiding, robotisering (productie), levering en assemblage van componenten stroomlijnen en automatiseren.

Het ontwikkelen van een typologie van (standaard) product platforms voor de bouwsector, inclusief toegevoegde waarde en haalbaarheid, en de ontwikkeling van een *proof of concept* productconfigurator waarmee ontwerpen kunnen worden geconfigureerd en geoptimaliseerd voor verschillende cases in de B&U en GWW is hierbij gewenst. Daarnaast is het van belang om de gestandaardiseerde componenten en modules (en hun functioneren) te volgen tijdens de gehele levenscyclus (die uit verschillende bouwwerken kan beslaan). Door deze monitoring kunnen onderdelen beter hergebruikt worden. Ook kunnen we leren over het functioneren van deze onderdelen in praktijk, zodat leerervaringen meegenomen kunnen worden in de verbetering van de gestandaardiseerde subsystemen. Hierbij spelen nadrukkelijk niet alleen technische aspecten een

rol, maar zeker ook organisatorische aspecten zoals organisatie van processen en informatiestromen, gedrag van partijen, drijfveren, barrières en (nieuwe) businessmodellen ten aanzien van product platforms en circulair bouwen.

Een bijzondere uitdaging bij de 'sourcing' van circulaire bouwwerken ligt op het terrein van de installaties. De bouw- en technieksector is hier nog meer dan bij andere bouwcomponenten afhankelijk van de producenten. Het circulair maken van installaties kent specifieke uitdagingen rondom toepassing van ontwerpen voor hergebruik, met hergebruik en met biobased materialen. Bovendien kennen installaties een snellere technologische en economische veroudering, waardoor bij vernieuwing de afweging gemaakt moet worden tussen nieuwe installaties met hogere prestaties en energetische efficiëntie en hergebruik van het bestaande.

Het nieuwe, sterk gedigitaliseerde en industrieel modulaire bouw kan tot een substantieel verhoogde arbeidsproductiviteit leiden en daarmee bijdragen aan de toekomstbestendigheid van de sector. In het kader van dit MMIP zullen arbeidsbesparende innovaties worden ontwikkeld gericht op het industrieel, circulair en biobased productie. Innovaties die alleen breed voor 2030 geïmplementeerd kunnen worden als ook tijdig voldoende (nieuwe) medewerkers geschoold worden. Het gaat hierbij zowel over scholing als bij-, omscholing, gericht op het verkrijgen van de vereiste vaardigheden, skills, voor het gebruik van digitale tools voor o.a. ontwerp, planning en het gebruik en robots zowel in de fabriek als ter ondersteuning bij montage en installatie op de bouwplaats.

In het MMIP vindt validatie van industriële productiewijzen van bouwwerken en componenten plaats, in het bijzonder van:

- digitale en industriële technieken die kunnen worden ingezet om het ontwerp en de productie van bouwwerken, componenten en installaties te realiseren met optimaal gebruik van circulaire strategieën;
- standaarden die nodig, haalbaar en implementeerbaar voor zijn voor grootschalige toepassing van industriële productiewijzen 'nu en straks';
- een productconfigurator die de implementatie van deze standaarden kan ondersteunen.

3.2.2 Waardering: restkwaliteit voor hergebruik

Industrieel en modulair bouwen wordt alleen circulair als de potentie daarvan ook wordt benut. De in theorie makkelijk her te gebruiken bouwwerken en bouwdelen, moeten in de praktijk ook hoogwaardig worden hergebruikt. Een belangrijke uitdaging hierbij is de bepaling en validering van de kwaliteit van bouwdelen aan het einde van een gebruikscyclus.

Voor hergebruik zal de actuele conditie moeten worden vastgelegd door middel van inspectie- en monitoring. Welke data leg je vast, kwaliteit van de data, eigenaarschap/wie kan muteren, veiligheid etc. Tevens zullen modellen ontwikkeld moeten worden op de restkwaliteit van een product, eventueel op basis van versnelde verouderingstechnieken en computersimulaties, betrouwbaar vast te stellen. Voor een succesvolle inzet in een nieuwe functie van een component, zullen ook gestandaardiseerde kwaliteitseisen voor de opnieuw in te zetten componenten dienen te worden ontwikkeld en gespecificeerd. Er zullen methoden en oplossingen ontwikkeld worden om kwaliteit op basis van functionele of performance indicatoren (plaatselijk) aan te passen.

Beoogd wordt:

- de ontwikkeling van industriële en digitale technieken voor het efficiënt waarderen en verbeteren van de restkwaliteit van vrijkomende bouwdelen;
- validatie van het opschaalbaar toepassen van deze methoden ten behoeve van ontwerp, taxatie, (her)certificering en verzekering ten behoeve van herbesteding van vrijkomende bouwdelen.

3.2.3 Ketens voor hergebruik

Wanneer er wordt gekozen voor het demonteren/ontmantelen van een bouwwerk, is het streven om de onderdelen waaruit het bouwwerk is samengesteld zo hoogwaardig mogelijk in te zetten in een nieuwe toepassing. De eerste stap om dit succesvol te kunnen doen bestaat uit het inventariseren van de (toekomstig) beschikbare componentenvoorraad en het vaststellen van de kwaliteit van de componenten in de bestaande situatie. De componenten zullen moeten worden gedocumenteerd, bij voorbeeld aan de hand van een materialenpaspoort, en de specificaties dienen in een database te worden vastgelegd. Die database moet zo worden ingericht dat verschillende actoren in het demontage- en hergebruiksproces er makkelijk mee kunnen werken. Milieu-impact van transport van (zware) bouwdelen zal hierbij meegewogen moeten worden.

Dit leidt tot de volgende beoogde resultaten over ketens voor hergebruik van bouwdelen en -elementen:

- Het vaststellen van welke informatie ontwerpers en bouwers nodig hebben over vrijkomende componenten, om daarmee beslissingen te kunnen maken over herbestemming;
- Het valideren van methoden die deze informatieverzameling op een voor de professionals gebruiksvriendelijke en opschaalbare manier faciliteren¹⁸;
- Het nader uitwerken, opschalen en normeren van methoden voor optimalisatie van hergebruikmogelijkheden bij demontage, onder meer voortbouwend op de Best Beschikbare Werkwijze Circulair Slopen

¹⁸ Hier kan bijvoorbeeld worden voortgebouwd op de 'Beslisboom Hoogwaardig Hergebruik' (zie <https://www.cirkelstad.nl/wp3/wp-content/uploads/2021/06/De-beslisboom.pdf>);

4. Circulaire materialen

Dit MMIP richt zich op de beschikbaarheid en toegankelijkheid van materialen en elementen voor circulaire bouwwerken en de organisatie van de toeleveringsketen voor deze materialen. Hier ligt zowel een uitdaging bij de specificerende en ontwerpende kant (opdrachtgever, ontwerper) als bij de toeleverende industrie.

Om circulaire bouwwerken te kunnen realiseren, moeten materialen beschikbaar zijn die 'ontwerpen met hergebruik', 'ontwerpen voor hergebruik' en 'ontwerpen met niet-giftige biologisch afbreekbare stoffen' mogelijk maken. Voor ontwerp met hergebruik moeten teruggewonnen elementen worden geïdentificeerd en 'gereserveerd' tot het moment van constructie ('sourcing'). Met ontwerp voor hergebruik moeten ontwerpers kunnen signaleren dat sommige elementen in de (nabije) toekomst klaar zullen zijn voor hergebruik. Ontwerp- en sloopfasen worden echter meestal gezien als het begin en het einde van de levenscyclus van een bouwwerk - en daarom is er traditioneel weinig interactie tussen deze fasen. Het uitgangspunt van circulaire bouw en infrastructuur impliceert dat de verbinding tussen die fasen moet worden versterkt (van den Berg 2019). Voor het ontwerp met niet-giftige, biologisch afbreekbare stoffen moet het niet-giftig afval van biologisch afbreekbare stoffen terug in de biologische cyclus worden gebracht. De hiervoor benodigde toeleveringsketens zijn echter nog een onvoldoende uitontwikkeld.

Het MMIP richt zich op de volgende materialen:

- 1 Steenachtige materialen (beton, metselwerk, etc.)
- 2 Hout en andere biobased materialen
- 3 Bitumen (asfalt, dakbedekking)
- 4 Metalen (staal, aluminium, zeldzame metalen)
- 5 Kunststoffen (PVC, overig)

Gezien het overgrote aandeel van beton in het materiaalgebruik voor de bouw en infra en de rol die biobased materialen kunnen gaan vervullen als hernieuwbare bron, wordt de focus rond materiaalontwikkeling vanuit het MMIP de komende jaren op deze materialen gelegd. Voor biobased materialen is dit inclusief opschaling van de biobased toeleveringsketen. Op basis van onze goede agrarische sector en bijbehorende kennisinfrastructuur zou Nederland met een gerichte en meerjarige aanpak op het gebied van biobased materialen in Europa een voortrekkersrol kunnen gaan vervullen. Voor de overige materialen wordt ingezet op een nationale evaluatie van bouwmaterialen, voldoende specifiek voor de verschillende onderdelen van de bouwnijverheid (bouwmaterialen, installaties) en innovaties rond de herinrichting van de toeleveringsketen.

4.1 Biobased materialen

De bouwketen is vooralsnog sterk gefocust op conventionele materialen als beton en staal en het aandeel van biobased materialen in de bouw in Nederland is momenteel laag. Op basis van gewicht is het aandeel van hout 2% en van overige biobased materialen 0,1%¹⁹. Van het hout gaat het grootste deel naar de utiliteits- en woningbouw, 92%, en 8% naar de GWW. Overige biobased materialen zoals o.a. stro, vlas, hennep en riet vinden hun toepassing met name in niches of dienen als grondstof voor chemicaliën in kunststoffen en coatings (verven, lakken en lijmen).

Het aandeel gebruik van biobased bouwmaterialen zoals duurzaam geproduceerd hout en vezels uit teelten en reststromen van de landbouw heeft significante impact. Enerzijds omdat ze het gebruik van CO₂-intensieve materialen verdringen en anderzijds omdat er CO₂ aan de atmosfeer wordt onttrokken en als koolstof wordt opgeslagen in bouwwerken. Het ultieme doel is om in de bouw en

¹⁹ *Potentie van biobased materialen in de bouw, Nibe2019*

infrastructuur grotendeels met hernieuwbare materialen te werken, zonder dat de betrouwbaarheid, veiligheid of beschikbaarheid van bouwmaterialen afneemt. Mits Nederlandse en/of Europese bronnen worden gebruikt, zal het tevens helpen om de geopolitieke afhankelijkheid te verlagen (ketens en grondstoffengebruik). We willen het gebruik van primaire abiotische grondstoffen verminderen om bij te dragen aan:

4.1.1 Concepten voor en met biobased toepassingen

Voor ontwerpers is het gebruik van (nieuwe) biobased materialen een uitdaging vanwege structurele implicaties voor bouwconstructies (bijvoorbeeld kiezen voor houtconstructies in plaats van beton, met name hoogbouw en laterale stabiliteit), brand- en andere voorschriften (bijvoorbeeld toepassen van stro of cellulose), veranderingen in de akoestiek en het fysieke binnenklimaat door toepassing van biobased in plaats van minerale materialen, de levenscycluskosten en implicaties voor onderhoud en beheer. Voor houtbouw kan veel kennis opgehaald worden vanuit andere landen (bv. Zweden, Finland, Oostenrijk, etc.) en wordt er in Nederland in de recente jaren ook een flinke inhaalslag gemaakt²⁰. Veel andere biobased materialen worden echter nog niet zo lang toegepast en is er veel onbekend. Bovendien zijn biobased alternatieven vaak nog niet formeel en wettelijk gecertificeerd op hetzelfde niveau als traditionele en bekende materialen²¹. Momenteel is de basis innovatie infrastructuur nauwelijks aanwezig, bij zowel private als publieke partijen in Nederland, om biobased toepassingen te ontwikkelen en te valideren.

Beoogde resultaten binnen het MMIP zijn:

- Identificatie van opschaalbare toepassingen voor biobased materialen bij het realiseren en verduurzamen van bouwwerken;
- Valideren van de wijze waarop deze biobased materialen versneld kunnen worden gecertificeerd;
- Het opzetten van nieuwe maak -en testfaciliteiten om de ontwikkeling van biobased materialen, producten en bouwelementen in alle TRL-fases te ondersteunen. Dit betreft zowel onderzoeksfaciliteiten, als maak -en testfaciliteiten en proeftuinen voor demonstraties.

4.1.2 Prestaties: (toepassingen met) biobased materialen

Houtbouw biedt verschillende voordelen ten opzichte van traditionele bouw. Hout slaat CO₂ op en is eenvoudiger in hergebruik (negatieve emissies). Ook is het uitermate geschikt voor de industrialisatie van het bouwproces doordat het lichter is en daardoor makkelijker te transporteren. Daardoor zijn lagere *upfront* investeringen en meer robots mogelijk. Wel vraagt het om nieuwe investeringen, zijn houtprijzen volatieler dan betonprijzen en is houtbouw momenteel (nog) 5 tot 10% duurder²². Andere biobased materialen zoals stro, vlas en hennep vinden toepassing als isolatiemateriaal of als vezels voor biocomposieten. Dit is echter nog veelal gebaseerd op handwerk en gebeurt op relatief kleine schaal. Opschaling, enerzijds door bestaande landbouw- en veeteeltketen te verbinden met de bouwketen en anderzijds door het verlagen van de kosten en het garanderen van een constante kwaliteit door robotisering en industrialisatie, is noodzakelijk om de potentiële impact waar te maken.

²⁰ zie bijvoorbeeld www.circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2021/06/Rapportage-Woningbouw_in_hout-210607.pdf

²¹ Jones, D., & Brischke, C. (2017). *Performance of bio-based building materials [1 online resource (xiv, pages) : illustrations (some colour)]* (First edition. ed.).

²² www.ing.nl/media/ING_Research-Houtbouw_duurzamer_%20lichter_en_ideaal_voor_industrialisatie_bouwproces-Juli-2022_tcm162-246194.pdf

Voor de milieueffecten op lange termijn onontbeerlijk dat ook biobased materialen duurzaam worden geproduceerd (denk aan gevolgen voor de biodiversiteit), hoogwaardig worden hergebruikt (dus ook in de 'technische cyclus van het vlindermodel van de Ellen MacArthur Foundation mee kunnen draaien) en op een milieuvriendelijke manier (zonder uitstoot van schadelijke stoffen) in de natuur kunnen worden teruggebracht (de biologische cyclus uit het vlindermodel).

Resultaten zijn:

- Waarderen van de prestaties die biobased materialen leveren bij de toepassing in bouwwerken en bouwcomponenten, tijdens meerdere gebruikscycli;
- Vaststellen van de milieueffecten die deze materialen met deze toepassingen naar verwachting hebben, zowel bij de productie, toepassing als aan het einde van de levensduur en voeding van de Nationale Milieu Database met de onderliggende LCA's.

4.1.3 Ketenvorming: biobased materialen

De beschikbaarheid van secundaire of biobased grondstoffen is een aandachtspunt, zeker wanneer andere sectoren gebruik maken van dezelfde grondstoffen (zoals bijvoorbeeld lignine). De introductie van nieuwe (biobased) materialen geeft noodzaak tot de opbouw van fundamentele kennis over het gedrag van deze materialen t.a.v. levensduur. Voor asfalt bijvoorbeeld is één van de doelen om asfaltdeklagen met nieuwe materialen te kunnen ontwerpen op de gewenste levensduur in specifieke toepassingen. Voor isolatie materialen is naast de isolatiewaarde en verwerkbaarheid met name ook het lange termijn gedrag relevant. Is het resistent tegen externe invloeden, vocht, ongedierte, etc., zonder de toevoeging van schadelijke en/of toxische stoffen. Uitgangspunt is dat het nieuwe materiaal ook weer tot meervoudig hergebruik leidt, zonder dat dit de mechanische prestaties vermindert of ecologisch impact vergroot.

Om versneld tot introductie van (nieuw) biobased materialen te komen zijn de volgende resultaten voorzien:

- Een roadmap voor biobased materialen, op basis van een (internationale) verkenning naar nieuwe (biobased) materialen met minder/geen primaire (abiotische) grondstoffen op minimaal TRL4. Per kansrijk materiaal zal een ontwikkelpad worden bepaald, waarmee deze materialen tijdig kunnen worden toegepast in de bouwsector om de reductiedoelstellingen van 2030 te halen.
- Doorontwikkeling van biobased constructie en isolatie materialen, producten, de toeleveringsketen (reststromen, specifieke teelt), productie en opschaling en validatie hiervan door toepassing in proeftuinen in de praktijk (TRL 6 – 9).
- Ontwikkeling van versnelde testprocedures en adaptatie certificering om het (lange termijn) gedrag van nieuwe biobased materialen (TRL 6-8) aan te tonen.

In deze trajecten zullen obstakels om op te schalen worden geïnventariseerd (bv. bouwkundige, juridische of financiële aspecten), waarvoor oplossingsrichtingen worden ontwikkeld. De ontwikkelingspaden zullen in brede coalities van bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen worden gerealiseerd.

Het resultaat is versnelde beschikbaarheid en inzage in de verwachte techno-economische haalbaarheid van alternatieve en biobased materialen ter reductie van het primair grondstoffenverbruik en versnelde introductie van nieuwe biobased en/of hybride samengestelde materialen. Bij hybride materiaal is het ook noodzakelijk dat deze tot monomateriaal zijn te scheiden en/of dat ze biologisch afbreekbaar zijn.

4.2 Abiotische materialen: circulair beton

Beton vertegenwoordigt in Nederland met ongeveer 46% het grootste aandeel van het materiaalgebruik in de bouw- en infrasector in (2019: B&U 70%, GWW 21%) en het circulair maken van beton dan wel het vinden van adequate en duurzamere vervangingsmiddelen zal een grote impact hebben op de duurzaamheid van de bouw, zowel in termen van circulariteit als CO₂-uitstoot²³.

Beton bestaat in de basis uit zand, grind, water en cement. Cement is dé component die voor een hoge CO₂-belasting zorgt. De belasting komt voornamelijk door het calcineren van calciumcarbonaat en de energie die nodig is voor het calcineren (samen verantwoordelijk voor ongeveer 86% van de gerelateerde CO₂ uitstoot). In de periode 2019-2021 is in samenwerking tussen het BTIC en het Betonakkoord gewerkt aan een ontwikkelprogramma rond drie ontwikkelsporen²⁴. Hier wordt vanuit dit MMIP op doorgebouwd.

4.2.1 Concepten: nieuwe bindmiddelen

Om de aan beton gerelateerde CO₂ productie te verminderen en het primair materiaalgebruik te reduceren is het nodig in te zetten op het recyclen van cement. Cement recyclen kan via thermische processen. Dit levert echter geen of slechts een beperkte CO₂-reductie op. In plaats van deze processen is het beter te kiezen voor een combinatie van chemische processen om cement te reactiveren en het optimaliseren van de betonsamenstelling, zodat er minder bindmiddel (cement) nodig is. Voor de chemische processen worden nu additieven gebruikt, zoals polyacrylaten, die hun oorsprong vinden in fossiele grondstoffen. Om tot circulariteit te komen is het nodig om nieuwe, reactieve (elektrisch geladen) en op biobased grondstoffen gebaseerde additieven te ontwikkelen gebruikte polyacrylaten.

Beoogde resultaten binnen het MMIP zijn:

- Ontwikkeling van nieuwe bindmiddelen en/of (secundaire) toeslagmaterialen;
- Toepassing biobased activeringsmaterialen. Door hierbij gebruik te maken van technologie uit andere sectoren kan hierbij op TRL6 worden gestart;
- Nieuwe generatie bindmiddelen, zoals de ontwikkeling van bindmiddel op basis van AEC-bodemas en de ontwikkeling van bindmiddelen met een negatieve CO₂ footprint (CO₂ opslag in het beton).

4.2.2 Waardering: prestaties van nieuwe betonsoorten

Om versneld tot de (brede) introductie van nieuwe betonsoorten te komen zal ingezet worden op onderzoek naar en de ontwikkeling van het instrumentarium, waarmee de impact van de verschillende oplossingsrichtingen te bepalen is.

Beoogde resultaten binnen het MMIP zijn:

- Conditiemetingen, monitoringtechnieken en versnelde verouderingstechnieken van nieuwe betonsoorten waarmee de levensduur van betoninnovaties te voorspellen is;
- Experimenteerruimten, om ervaring op te doen met nieuwe betonsoorten en nieuwe toepassingstechnieken zodat minder beton nodig is, en deze in de praktijk te testen en monitoren;

²³ De Bouwsector stoot jaarlijks zo'n 9,5 Mt CO₂ uit, waarvan 3,5 Mt per jaar is toe te schrijven aan het gebruik van beton. Dat is bijna 40% van de totale CO₂-uitstoot in de bouw, CE Delft, *Met en weten in de Nederlandse Bouw, 2015*, en wereldwijd verantwoordelijk voor ongeveer 6% van alle CO₂-emissies, *World Economic Forum*.

²⁴ www.tki-bouwenteknik.nl/wp-content/uploads/BTIC-innovatieprogramma-circulair-beton.pdf

- Tooling voor het modelleren en voorspellen van de integrale prestaties van betonconstructies in de vroege ontwerpfase o.b.v. alternatieve bindmiddelen en/of beschikbare secundaire grondstoffen.

4.2.3 Ketens: levensduurverlenging beton & recycling

Levensduurverlenging van bestaande constructies moet leiden tot een efficiënter gebruik van betonconstructies en daarmee een verlaging van CO₂-uitstoot en primair materiaalgebruik (zie tevens MMIP levensduurverlenging gebouwen en infrastructuren). Dit spoor wordt in samenhang met de MMIP Levensduurverlenging gebouwen en infrastructuren ingevuld. Mocht de levensduur niet verlengd kunnen worden, dan is het essentieel de sloopresten zo efficiënt en hoogwaardig mogelijk terug te brengen in de materiaalketen.

Resultaten zijn:

- Condiëtiemetingen en monitoringstechnieken van bestaande betonconstructies. Daarmee kan de restlevensduur worden voorspeld en bestaande betonconstructies ook eenvoudiger worden hergebruikt;
- Reparatie- en versterkingstechnieken van bestaande betonconstructies voor langer dan twintig jaar;
- Faciliteren van grootschalige inzet van secundaire grondstofstromen (uit bijv. bouw -en sloop afval) in betonconstructies mede door toepassing van de ontwikkelde methoden en technieken om kwaliteit en kwantiteit van secundaire grondstofstromen snel te kunnen valideren en de beschikbaarheid daarvan te delen (bijv. via digitaal platform).

5. Circulariteits enablers

Dat circulaire gebouwen en infrastructuur wenselijk zijn, wordt breed gedragen. Dat hiervoor veel verandering binnen de ontwerp-, bouw- en technieksector zelf nodig is, staat ook niet ter discussie. De ontwerp-, bouw- en technieksector zelf kan dat echter niet alleen, maar is afhankelijk van ontwikkelingen in de bredere maatschappelijke context om strategieën die nu al wenselijk lijken ook op grotere schaal mogelijk te maken.

Bouwregelgeving wordt vaak genoemd als bepalende factor voor de juridische haalbaarheid van oplossingen en kan zowel beperkend als stimulerend werken. Een groot probleem bij circulair bouwen zijn garanties, regelgeving en kennis over nieuwe en hergebruikte materialen. Nieuwe toepassingen moeten getoetst worden, er is veel onzekerheid over de prestaties en niet iedereen is bereid het risico van slecht presterende materialen en componenten te nemen. De wijze waarop de energietransitie plaatsvindt heeft een directe relatie met de bouwtechnische en –fysische eisen aan onze bouwwerken. Er ligt hier een belangrijke relatie met de vergunningverlener en controlerende toezichthouder. Dit domein is immers nog in ontwikkeling. Welke uitvoeringsruimte komt er om al iets te proberen met een ongewisse uitkomst en is er ruimte voor het maken van fouten? Kunnen we komen tot een significante versnelling van het komen tot uniforme normen en voorschriften, zoals in NEN of aangewezen normen in de regelgeving, door processen parallel te laten lopen in plaats van de traditionele seriële aanpak? Hoe anders kunnen we tegen 2030 al een flink deel van de doelstellingen bereikt hebben?

Naast aanbevelingen voor regelgeving, normering, certificering en creëren en benutten van economische kansen moet ook gekeken worden naar de rol van de grotere professionele opdrachtgevers in de bouw- en technieksector, die innovatie en opschaling daarvan kunnen helpen te versnellen. Ook de sociale acceptatie is van belang. Wat hebben we er uiteindelijk allemaal aan, niet alleen als investeerder maar ook als eindgebruikers van bouwwerken? Gaat het verder dan het verder inperken van milieuschade of draagt het ook bij aan grotere welvaart en welzijn. En hoe kan de sociale acceptatie vergoet worden? Bij de overgang naar een circulaire bouwconomie is het ook goed lering te trekken uit transitietheorieën, relevante bestaande concepten uit IFD en biobased bouwen, en eerdere ervaringen (of pogingen) om grootschalige vernieuwing in de bouw te realiseren.

Invoering van een CO₂-belasting zal ook effect hebben. Dit zal mede afhangen van de mate waarin rekening gehouden wordt met de 'embedded CO₂' en de aanscherping hiervan op Europees niveau. Voor de financiële haalbaarheid wordt vaak gesproken over nieuwe business- en financieringsmodellen, maar die financieringsmodellen moeten wel passen binnen waarderingskaders van accountants, taxateurs, investeerders en financiers. Dergelijke partijen zullen dus ook deelgenoot moeten worden gemaakt van de transitie in de bouw- en technieksector.

Binnen het MMIP wordt daarom ook gekeken naar de randvoorwaarden die nodig zijn om de ontwikkeling breed te laten landen en die zich specifiek richt op de context waarin circulaire gebouwen en infrastructuur ontworpen, gerealiseerd en opgeschaald worden. Het MMIP richt zich hierbij op de volgende kennis- en innovatievragen:

- Hoe wordt de ontwikkeling en implementatie van circulaire ontwerpen voor gebouwen en infrastructuur belemmerd en bevorderd door contextuele factoren op technisch, institutioneel, economisch en cultureel vlak?
- Welke aanpassingen in de context van circulaire ontwerpen voor gebouwen en infrastructuur kunnen worden aanbevolen om de implementatie ervan te bevorderen door het wegnemen of omzeilen van belemmeringen en het versterken van bevorderende factoren? Welke impact heeft dit op het vertrouwen tussen (keten)partners en de relatie keten t.o.v. gebruikers?

- Welke circulaire businessmodellen kunnen de transitie versnellen (collectieve en ketens)? Politieke en financiële instrumenten worden onderzocht die helpen en transitie naar circulaire businessmodellen met lange termijn denken te bewerkstelligen. Met name het in kaart brengen van onzekerheden, het delen van risico's, formuleren van garanties en nieuwe vormen van 'financial engineering'.
- Hoe kunnen aanbestedingsprocessen en -kaders veranderd worden om de in het MMIP ontwikkelde oplossingen versneld grootschalig te implementeren?

De complexiteit en schaalgrootte van de transitie naar een circulaire economie vraagt verder dat productie- en beleidsmedewerkers mee kunnen komen in de snellopende ontwikkelingen (bij-/omscholing) en dat consumenten in staat worden gesteld bewust te kiezen voor circulaire voorzieningen, producten en diensten. Het is daarom belangrijk dat onderwijs vanaf basisschool tot aan universiteiten hierop wordt aangepast, om daarmee via bestaande maatschappelijke netwerken en structuren het circulair denken en doen goed in te bedden in onderwijs en kennisvorming. Het is hiertoe tevens noodzakelijk om over te gaan tot een 'leven lang leren' concept. Essentieel is daarin ook het aansluiten bij bestaande initiatieven, waarin praktijkervaringen met kennisontwikkeling wordt gecombineerd door gebruik te maken van living labs, prototypes en verschillende onderwijsfaciliteiten.

6. Nederlandse innovatie-activiteiten

De Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) en daaruit voortvloeiende innovaties zijn een middel om de opgaven uit het Klimaatakkoord en de geformuleerde missies op termijn te realiseren. Missiegedreven innovatiebeleid richt zich op het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen en het benutten van de economische kansen die deze met zich meebrengen. In dit programma worden kennis- en innovatievraagstukken benoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen ontwikkeling in drie verschillende fases, die corresponderen met verschillende Technology Readiness Levels (TRL's):

- 1 Onderzoek (TRL 1-4)
- 2 Ontwikkeling (TRL 4-7)
- 3 Demonstratie en implementatie (TRL 7-9)

Om de (tussen)doelen uit het Klimaatakkoord voor 2030 te realiseren, moeten de innovaties vooral voortborduren op oplossingen die al voorbij de laagste TRL's zijn. De verschillende kennis- en innovatievraagstukken zijn gekozen vanwege hun beoogde impact op het bereiken van de missie. Het programma laat ook ruimte voor disruptieve ontwikkelingen en onderzoek naar het potentiële effect van nieuwe ontwikkelingen waarvan de impact nog onbekend is. Daarnaast is er een aantal niet-technologische thema's waar ontwikkeling nodig is (o.a. onderwijs en training). Deze doorsnijdende thema's zijn niet in TRL's te vatten.

Doel is om vanuit dit MMIP in 2026 een palet aan oplossingen te ontwikkeld te hebben, waarmee het primaire (abiotische) grondstoffenverbruik en de milieukosten, inclusief CO₂ uitstoot met minimaal 50% is te reduceren in 2030 en tegelijkertijd de leveringszekerheid verbetert. De werking van deze oplossingen moeten zich dan minimaal in een proefproject hebben bewezen (TRL 7-8). Parallel zal gewerkt worden aan prestatiegerichte normering, standaarden en (bij-/om)scholing, zodat in de resterende jaren tot 2030 de ontwikkelingen breed in de sector toegepast kunnen gaan worden. Daarnaast zullen ontwikkelingen op lagere TRL niveaus nodig zijn om toekomstige doorontwikkeling naar een 100 % circulaire bouw en infra mogelijk te maken. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende TRL-fases om de missie te realiseren zijn hierna in tabelvorm weergegeven.

Circulaire Bouwwerken (ontwerp en productie)			
ONDERZOEK (TRL 1 T/M 3)	ONTWIKKELING (TRL 4 T/M 6)	DEMONSTRATIE (TRL 7 T/M 8)	IMPLEMENTATIE (TRL 9)
Resource based engineering principes	Opschaalbare ontwerpconcepten met slimme combinaties van circulaire principes (herbruikbaar, hernieuwbaar, hergebruik) voor (her)ontwikkeling van bouwwerken Concepten voor industriële, modulaire en biobased productie.	Validatie van de ontwerpmethoden die het mogelijk maken om economische en ecologische prestaties van) mee te wegen in het ontwerpstadium Validatie Proof of Concept productgenerator voor bouwwerken en componenten	Ontwerprichtlijnen voor circulaire bouwwerken, componenten en installaties Open source PoC generator
Inzicht in sociale acceptatie van de toepassing van circulaire bouwwerken en materialen onder investeerders en gebruikers	LCA- en LCC- modellen die prestaties van circulaire varianten inzichtelijk maken in verschillende fasen (van opdracht tot ingebruikname, hergebruik en teruggave)	Validatie van gebruik van parametrische modellen in multi-actor ontwerpprocessen voor (her)ontwikkeling van bouwwerken. Validatie informatiemodel voor uitwisseling van te hergebruiken componenten in test cases van ontwerpen en bouwen met hergebruikte materialen	Inbedding van LCA en LCC modellen in (internationale) waarderingsmethodieken Open source parametrisch ontwerpmodel Inbedding informatiemodel in (inter)nationale standaarden voor materiaalpaspoort, productplatforms en bouwcontracten

	Bepalingsmethode restkwaliteit (o.b.v. functionele prestatie indicatoren)	Validatie van opschaalbare industriële en digitale technieken voor bepaling en verbetering van restkwaliteit van her te gebruiken componenten.	Opname gevalideerde restkwaliteit in materialen paspoort, bouwvergunningen, aanbestedingsrichtlijnen en richtlijnen verzekeringmaatschappijen
--	---	--	---

Circulaire materialen (Biobased, non-biobased, hybride)

ONDERZOEK (TRL 1 T/M 3)	ONTWIKKELING (TRL 4 T/M 6)	DEMONSTRATIE (TRL 7 T/M 8)	IMPLEMENTATIE (TRL 9)
Roadmap biobased materialen (incl. ontwikkelpad voor kansrijke materialen met implementatie-horizon < 2030 en > 2030 Inzage in /verkenning naar materialen bouw/installatie obsolescence 2030	Biobased constructieve en isolatie materialen (reststromen, specifieke teelt, inclusief ketenontwikkeling en industriële verwerking- en productiemethodes) Nieuwe biobased of toeslagmaterialen gebaseerde bindmiddelen voor beton (Biobased) reparatietechnieken betonconstructies (>20jaar) Ontwikkeling Proof of Concepts voor verschillende productfamilies Database ontwikkeling 'critical materials' voor HVAC-installaties	Versnelde testprocedure (lange termijn) gedrag nieuwe constructie materialen Validatie testen in living labs/ experimenteeruimtes (in de werkelijke wereld), inclusief hybride oplossingen	Grote schaal pilots in de praktijk (met vrijstelling bouwbesluit voor vervangbare elementen) Inbedding circulaire materiaaleisen eisen bij publieke verwervingstrajecten en programma's zoals de woondeals en vervangingsopgave GWW Opnemen mogelijkheden biobased en hybride materialen en training- en opleidingsmodules
Inzicht in milieueffecten van productie, toepassing en einde levensduur van biobased en hybride materialen	Evaluatiemethodes herbruikbaarheid biobased/hybride materialen, constructies en systemen (incl. installaties) Ontwikkeling prestatietesten, testfaciliteiten en gelijkwaardigheidsbepalingen voor circulaire en biobased ontwerpen en materialen Conditiemeting en monitoring-technieken voor betonconstructies (levensduur-verlenging, restkwaliteit)	Validatie testen in living labs/ experimenteeruimtes (in de werkelijke wereld), inclusief hybride oplossingen	Inbedding gelijkwaardigheidsbepalingen bij publieke verwervingstrajecten en programma's als bv. de woondeals en vervangingsopgave GWW
	Ontwikkeling 'shared ownership' modellen (incl. gedeelde aansprakelijkheid) Ontwikkeling prestatiegedreven normen en (industriële) standaardisering	Pilots rond publiek- private 'shared ownership' op materiaal- en productniveau	Training- en opleidingsmodules circulariteit op MBO, HBO, WO niveau voor aanbieders/ bedrijven en opdrachtgevers/ beleidsmakers Inbedding prestatiegedreven circulariteitsnormen en -standaarden bij publieke verwervingstrajecten en programma's zoals de woondeals en grootschalige vervangingsopgave GWW.

Circulariteit enablers (context)			
ONDERZOEK (TRL 1 T/M 3)	ONTWIKKELING (TRL 4 T/M 6)	DEMONSTRATIE (TRL 7 T/M 8)	IMPLEMENTATIE (TRL 9)
Inzicht in de institutionele kansen en belemmeringen voor opschaling van de in het MMIP ontwikkelde innovaties			Gerichte adviezen aan overheid en bedrijfsleven over voorwaardelijke systeemveranderingen Een 'leven lang leren' concept voor (bij/om)scholing, uitgewerkt in een regionale aanpak voor VMBO, MBO, HBO, WO en onderwijs voor professionals
	Diagnostische simulatiemethode voor samenspel technische, sociale, economische, politieke en ecologische factoren in een circulaire bouweconomie	Validatie van businessmodellen voor circulaire concepten in pilots van (grootschalige) verwervingstrajecten	Richtlijnen voor beoordeling restwaarde door taxateurs, accountants en financiers Verankering in normen voor aanbesteding en contracten
	Taxonomie van circulaire aanbestedingsvormen, contracten en ketensamenwerking voor gebouwen en infrastructuur		

7. Samenhang op hoofdlijnen

7.1 Samenhang met andere missies en (inter-)nationale innovatieprogramma's

De innovatieopgaven in het MMIP hebben een sterke complementariteit met missies zoals die zijn geformuleerd in het (inter-)nationale innovatiebeleid, private initiatieven in het (verenigde) bedrijfsleven en onderwijsinitiatieven. Hieronder is in een matrix op hoofdlijnen weergegeven waar het MMIP complementair is en met welke innovatiekansen zij een aanvullende bijdrage levert, bovenop het behalen van de eigen doelstellingen.

MMIP Circulaire Bouw en Infrastructuren	Missie: Een duurzame en volledig circulaire economie in 2050, in 2030 halvering grondstoffengebruik (KIA-CE)	Missies: Kringloopland- bouw & Klimaat- neutrale landbouw en voedselproductie (KIA-BBE)	Missie: In 2040 is de ziektelast door een ongezonde leefstijl en - omgeving 30% afgenomen	NGF: Toekomst- bestendige Leefomgeving* NGF: Beton reinvented	Meerjaren programma's ontwerp-, bouw- en technieksector (NL Ingenieurs, Bouwend NI, Techniek NI)	Horizon Europe 2021 -2027: Circular economy, Built4People, ondersteuning innovatief MKB
Circulaire Bouwwerken (ontwerp en productie)	✓			✓	✓	✓
Circulaire materialen (Biobased, non- biobased, hybr.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Circulariteits enablers	✓			✓	✓	✓

* Andere NGF-voorstellen in ontwikkeling in de 3^e ronde met relatie tot dit MMIP: Health, Creative Industries Immersive Impact Coalition, Biobased Chemicals. In 2024 is voorzien dat een NGF initiatief rond circulair asfalt (bitumen) wordt opgestart.

7.2 Samenhang op cross-over thema's

Digitalisering

Hierbij wordt ingezet op ontwikkelingen rondom Parametrisch ontwerpen, Model Based Systems Engineering (MBSE), kunststmatige intelligentie (AI). bouw informatiemodellen (multidimensionale BIM) en Digital Twins. Deze technologieën (zoals bijvoorbeeld automatisering, robotisering) zijn data-gedreven en de waardeketen is gefragmenteerd. Hiervoor zijn IT-architecturen en uitwisselingsprotocollen als enabling-technologies nodig en wordt naast de ontwikkelingen vanuit gerelateerde Topsectoren aangesloten bij de ontwikkelingen van het Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving, DSGO.

Industrialisatie

Hierbij wordt ingezet op ontwikkelingen rond on-site en off-site robotisering, mass-customization, smart logistics en het gebruik van nieuwe (biobased) materialen en dit sluit aan bij de Steulteltechnologie Industry 4.0. Door industrialisatie en met vaste standaarden bouwen, worden bouwbedrijven meer afhankelijk van specifieke toeleveranciers. Om leveringszekerheid te bewerkstelligen gaan bouwbedrijven achterwaarts integreren. Hierbij zal ook ontwerp vaker in-house gebeuren, omdat daar de kennis van de industriële mogelijkheden beschikbaar is. Modulair bouwen (ook wel legalisering) is onderdeel van industrialisering. Standaard elementen (modules of concepten) worden op de bouwplaats in elkaar gezet tot één gebouw, vaak in een fabriek (offsite) geprefabriceerd al dan niet met robots.

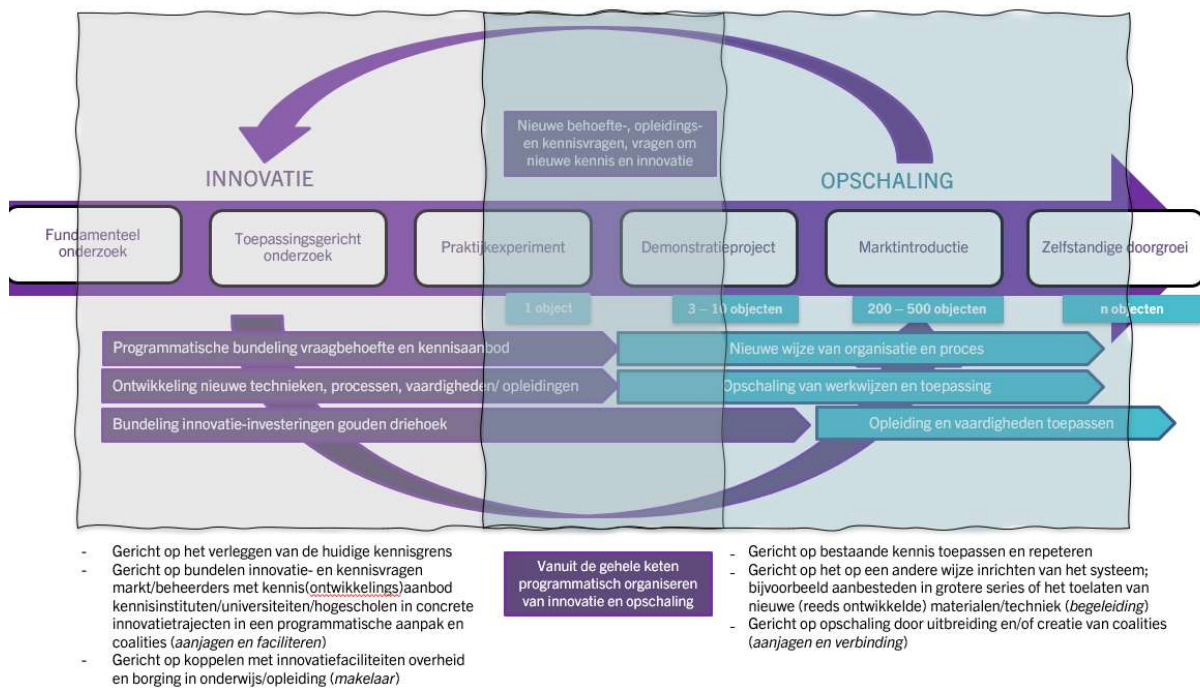
Human Capital

Ingezet wordt op een skills-based en regionale aanpak, gericht op scholing, bij- en omscholing. Een aanpak waarbij leven lang leren en de combinatie werken-leren-innoveren centraal staat en

waarbij de focus ligt op de vereiste skills om de transitie in de bouwopgave mogelijk te maken (zoals circulariteit, digitalisering, industrialisatie, emissieloos bouwen, biobased en circulair bouwen, social skills, nieuwe vormen van samenwerking en cultuuraspecten).

Naast meer mensen en arbeidsbesparende technologie, is het cruciaal dat huidige vakmensen de kennis en vaardigheden opdoen om de beschikbare innovaties snel toe te passen in de praktijk. Dit betreft meer dan alleen het opdoen van (technologische) kennis. Het laten landen van technische en organisatorische innovaties vereist juist ook soft skills waaronder een houding gericht op leren, samenwerken en verbeteren van processen en diensten, reflectieve vaardigheden, en daadwerkelijk lerend en innovatief gedrag. Voor het realiseren van een circulaire en toekomstgerichte gebouwde omgeving zijn wendbare en innovatieve vakmensen die open staan om met en van elkaar te leren cruciaal. Dit vereist een krachtige leer- en innovatieomgeving die hen hierbij ondersteunt. Kortom lerende organisaties op topmanagement (CEO), middelmanagement en werkvloerniveau.

8. Stakeholders/actoren – samenwerking op hoofdlijnen



Figuur 8.1. Innovatie en opschaling is een cyclisch proces waarin alle partijen een rol spelen.

Uitgangspunt bij programma's opgestart vanuit TKI Bouw en Techniek is open kennisdeling. Om de transitie naar een circulaire bouweconomie te versnellen wordt samengewerkt met een breed scala van partijen.

Rond innovatie betreft dit onder andere: TKI UE (biobased isolatiematerialen en circulaire renovatieoplossingen), TKI HTSM (industrialisatie van het bouwproces), TKI Chemie²⁵ (circulaire materialen en toevoegingen), TKI BBE²⁴ (biobased materialen en grondstoffen), TKI Health (effect duurzame (biobased) gebouwen op woon/werkomstandigheden), NL AI Coalitie (toepassing van artificial intelligence voor het "oogsten" van circulaire bouwelementen uit gebouwen en infrastructuur).

Rond opschaling betreft dit onder andere: Bouwcampus, digiGO/DSGO (digitaal stelselontwikkeling), Transitieteam CBE, CB'23, Cirkelstad (Het Nieuwe Normaal), Groene Huisvesters, Lenteakkoord 2.0, Stichting NMD, Buyer Groups op het gebied van circulair bouwen, Strategie Naar klimaatneutrale en circulaire rijksinfrastructuurprojecten. Enerzijds worden hierbij schaalbare innovaties ingebracht en de koppeling rond scholing en opleiding gelegd, anderzijds worden vragen vanuit de toepassingen teruggekoppeld naar het meerjaren programma om zo tot verdere (door)ontwikkeling te komen. Vanuit flankerend beleid en een actieve rol van publieke opdrachtgevers als launching customer kunnen hierbij ontwikkelingen op de hogere TRL niveaus versneld tot opschaling worden gebracht.

²⁵ Vanaf 2023 samenwerkend onder TKI Duurzame Chemie en Circulariteit

8.1 Bedrijven

Brede samenwerking met bedrijven in de ontwerp-, bouw- en technieksector, inclusief de toeleveringsketen. Voor innovaties zijn hierbij veelal investeringen nodig. De mate waarin deze kunnen worden terugverdiend, is bepalend voor partijen om deze investeringen te doen. Bedrijven sturen hierbij vooral op winstgevendheid op de kortere termijn en continuïteit van het bedrijf op de langere termijn. Innovaties moeten ofwel op individuele projecten kunnen worden terugverdiend, dan wel kunnen worden ingezet op toekomstige projecten. Met innovaties kan ook een goede reputatie worden opgebouwd en onderhouden. Marktperspectief en het belang van imago en reputatie zijn hiermee dominante drivers.

8.2 (Semi-)Overheden

Brede samenwerking met de ministeries van BZK, IenW, LNV, EZK, RWS, RVB, provincies, gemeentes, infrastructuurbeheerders, vastgoedbeheerders en woningcorporaties. Dit heeft twee doelen, enerzijds zorgen dat flankerend beleid versnellende werkt op de adoptie en grootschalige toepassing van nieuwe en innovatieve technologieën en processen en anderzijds om ervoor te zorgen dat zij de kennis in huis hebben om aanbestedingen te doen die – gegeven de nieuwe technologie – een hoger kennisniveau vergen. Prikkel voor verbetering liggen bij deze partners bijvoorbeeld in de maatschappelijke doelstellingen van het beleid en de mate waarin deze kunnen worden bereikt. Opdrachtgevers en bestuurders bij de overheid worden vaak afgerekend op maatschappelijke doelstellingen als bereikbaarheid, duurzaamheid, sociale veiligheid en welzijn. Een programmatische aanpak vereist visie, onderzoek en coördinatie en de overheid kan hier een belangrijke rol in spelen. Niet in de laatste plaats is consistent overheidsbeleid een belangrijke succesfactor voor een programmatische aanpak. De overheid kan een grote rol spelen als facilitator en in het integreren van publieke en private belangen. Soms kan hiervoor naast privaat ondernemerschap ook publiek ondernemerschap nodig zijn.

8.3 Kennisinstellingen

Het is belangrijk om het onderwijs en marktpartijen te betrekken bij de uitvoering van het MMIP, omdat het beroepsonderwijs onmisbaar is in de innovatieverspreiding. Dit kan door learning communities te ontwikkelen rondom innovatieprojecten, bijvoorbeeld door praktijkgericht onderzoek of door prototyping- en demonstratiefaciliteiten. Er kan ook worden samengewerkt met infrastructuurbeheerders, vastgoedbeheerders, overheden en woningcorporaties om ervoor te zorgen dat zij de kennis in huis hebben om aanbestedingen te doen die – gegeven de nieuwe technologie – een hoger kennisniveau vergen. Gezien de opgave voor het realiseren van de doelstellingen in 2030, zien we een centrale rol voor toepassingsgericht onderzoek aan zowel hogescholen, TO2-instituten als Technische Universiteiten.

8.4 Publieke omgeving

Verder zijn de bouw hubs (zoals SPARK, BuildinG, Green Village, Pioneering, Bouwlab R&Do, etc.) en de Bouwcampus integraal onderdeel van het innovatie-ecosysteem, onder andere door ze te betrekken bij bijeenkomsten, kennisuitwisselingen en communicatie. Ze zijn integraal onderdeel van de missie en met deze partijen is de kans op (door-)ontwikkeling en verspreiding van de benodigde kennis en kunde groter. Vanuit de hubs en Bouwcampus komt bovendien ook voeding over de nieuwe innovatievragen-/behoeften. Idealiter is er gekoppeld aan de MMIP's een monitoringssysteem om de hubs te volgen, innovatievragen te registreren en competentieontwikkeling en kennisverspreiding aan te jagen.

9. Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren op hoofdlijnen

De Nederlandse bouwsector is goed voor 10% van het Bruto Binnenlands Product en meer dan 340.000 directe banen. Er wordt veel geïnnoveerd, maar innovaties vinden veelal lokaal en op projectniveau plaats in een complexe keten van steeds wisselende partijen. Daardoor is te weinig structurele uitwisseling van kennis en nieuwe inzichten, vindt de kennisopbouw sterk versnipperd plaats en komen nieuwe ontwikkelingen slecht langzaam tot brede adoptie en toepassing. Ook wordt er relatief weinig gestandaardiseerd en geoptimaliseerd in kwaliteit en kosten. Nederland laat zo economische kansen liggen en is onvoldoende geëquipeerd voor de oplossing van maatschappelijke en sociaal-economische uitdagingen.

De bouwsector in Nederland, maar ook internationaal, staat tegelijkertijd voor een enorme opgave met uitdagingen als de klimaatcrisis, materiaaltekorten, prijsstijgingen en arbeidstekorten. Om deze uitdagingen aan te kunnen gaan zal de sector een hele verandering ondergaan waarin 100 % circulair zal worden gebouwd, industrialisatie en digitalisering mainstream worden, alsook nieuwe spelers zullen toetreden. Consolidatie en internationalisering zullen zorgen voor de schaal die nodig is om de vereiste investeringen te kunnen doen.

Impact van het MMIP op de omgeving

Dit MMIP bundelt meerjarig de innovatie inspanningen van de betrokken partijen. Het werkt daarmee de versnippering tegen en draagt bij aan het circulair uitvoeren van de opgave van de realisatie van nieuwe woonruimte voor één miljoen huishoudens en kritische civiele infrastructuur voor de komende decennia. Nieuwe en innovatieve oplossingen worden ontwikkeld op het vlak van hergebruik en transformatie van (onderdelen van) gebouwen, civiele constructies en installaties, materialen en grondstoffen. Hierbij wordt ingezet op het terugdringen van de broeikasgasemissies en milieuvervuiling, het herstel van biodiversiteit en het borgen van leveringszekerheid. Dit programma richt zich op innovatie in nieuwe concepten, ontwerp- en productiestrategieën voor circulair onderhoud, reparatie, levensduurverlenging, modulariteit, aanpasbaarheid, hernieuwbaarheid en demonteerbaarheid op verschillende schaalniveaus; van materiaal-, product-, component-, en gebouwniveau tot stedenbouwkundige inbedding. Dit gebeurt nadrukkelijk in het belang van en met de directe betrokkenheid van de bewoners en gebruikers van gebouwen en infrastructuur.

Omgevingsinclusieve innovatie

Het zoeken naar oplossingen voor een circulaire bouw en infra betekent innovatie van zowel in techniek, governance en gedrag, terwijl rekening wordt gehouden met de omgeving. Bij circulaire concepten is het van belang dat externe factoren (gebruiks- en omgevingscondities, inclusief weersextremen,) en de fysieke omgeving over de levensloop van de constructies meegenomen worden. Eventuele nadelige effecten op omgeving en milieu moeten hierbij zoveel voorkomen worden.

Innovatiesysteem

Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's van het gezamenlijke Ontwerp-, Bouw en Technieksector vereisen vanwege de complexiteit van zowel de maatschappelijke opgaven, alsook van de sector zelf, een gedragen gemeenschappelijk ontwikkelaanpak waarbij bundeling van stakeholders tot gerichte transformatie van hun kennis leidt, een versnelde opschaling via variaties in innovaties teweegbrengt, en een vergroting van regionaal economisch impact als resultaat heeft. De MMIP's spelen in op de behoeftes van een groot aantal partijen met uiteenlopende belangen en tijdshorizonten. Om deze behoeftes op elkaar af te stemmen en te voorkomen dat er spanningen ontstaan tussen partijen stellen we een gelaagde processtructuur voor.

Het vertrekpunt is dat nieuwe kennis en innovaties zo snel mogelijk toegepast worden in concrete lokale praktijkprojecten. Deze projecten worden zodanig opgezet dat er ook nieuwe kennis kan ontstaan, welke direct gedeeld en gebruikt kan worden om verder te innoveren: projecten als ontwikkelomgeving en living labs. In dialoog met het project wordt een vorm ontwikkeld die aansluit bij het onderwerp, de ervaring, opleiding en taalbeheersing van de betrokkenen. Een interregionale opzet van open kennis en innovatie uitwisseling tussen actuele praktijkprojecten is daarom een noodzakelijke voorwaarde voor het succesvol aanjagen van de MMIP.

Om te komen tot de gewenste verandering naar een circulaire gebouwde omgeving is een actieve mee-ontwikkelrol van overheid en opdrachtgevers nodig. Innovatie in de zogeheten quadruple helix, burgers-overheid-markt-kennisinstellingen, waarbij middels co-creatie gelijktijdige ontwikkeling van 'vraag en aanbod' plaatsvindt en aan gemeenschappelijke begripsvorming en bijpassend ondersteunend beleid wordt gewerkt.

10. Communicatie, leren en disseminatie

Circulaire bouw en infrastructuur omgeving is een veelomvattende opgave. Het is multidisciplinair, kennis en investeringen vanuit verschillende domeinen is nodig om tot de noodzakelijke veranderingen te komen. Het is multi-actor, een samenwerking tussen publieke, semi-publieke en private actoren is nodig. Het is multilevel, hoewel dit MMIP vertrekt vanuit de Nederlandse bouw en infrastructuur, vraagt het om perspectieven en betrokkenheid vanuit verschillende schalen; van lokaal tot internationaal. Naast nieuwe kennis zijn ook nieuwe (samenwerkings)verbanden nodig. Cocreatie en participatie zijn daarmee kernelementen en niet slechts onderdelen in het kader van communicatie en disseminatie.

Kennis(co) productie vraagt om de inzet, combinatie en inbedding van verschillende soorten kennis. Kenniscoproductie vooronderstelt dat alle deelnemende partijen kennis produceren, waarbij het accent al naar gelang de TRL en specifieke vraag verschuift van ontwerpend onderzoek naar toetsend onderzoek en implementatie. Kennis die wordt geproduceerd door niet-wetenschappers vormt een onmisbaar onderdeel van de kennissamenleving. Het kennissysteem bestaat dus niet alleen uit wetenschappelijk onderzoek. Kenniscoproductie betekent dat kennis uit verschillende bronnen bij elkaar wordt gebracht; daarmee vervaagt het onderscheid tussen kennisaanbieders en kennisgebruikers. Deze kennis moet vervolgens landen in de praktijk. Zonder inbedding is de kennis niets waard²⁶. Kenniscoproductie moet worden bestendig door actief onderzoeksresultaten te vertalen *naar* andere contexten, te vertalen *uit* die contexten en zelf structureel te maken.

Doel

- 1 Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis/methoden/tools voor circulaire bouw en infra;
- 2 Het creëren van een duurzame kennisinfrastructuur om bouwwerken, componenten en materialen duurzamer te kunnen produceren en (her)gebruiken;
- 3 Het initiëren van nieuwe coalities en inzichten die op innovatieve wijzen werken aan circulaire bouw en infrastructuur;
- 4 Koppeling met scholing, bij- en omscholing op MBO, HBO en WO niveau.

Kennis communicatie/disseminatie/lernen:

De vormen waarin in dit MMIP inhoud wordt gegeven aan communicatie, leren en disseminatie moeten passen bij de notie van coproductie. Centraal staan:

- Living labs (demo/urban) en pilot projecten waar een actieve co-productie/co-design met lokale gemeenschap/stakeholders is geïntegreerd;
- Community of practice (quadruple Helix) leergemeenschappen en koppeling van de ontwerp-praktijk met onderzoek en innovatieuitdagingen;
- Workshops en werkbezoeken;
- Kennis Hubs/platforms/hotspots/portals/café (digitaal/sociaal/fysiek) (impact op lange termijn, levende kennis – Kennisontwikkeling stopt niet aan het einde van het project);
- (interactieve) Digital tools (virtual tours/kennis klips (general/thematic-specialized);
- Open kennisdeling

Uiteraard wordt daarnaast gewerkt aan publicaties (papers/posters...etc), presentaties (workshops/seminars, events, festivals, etc) en ook: onderwijsontwikkelingen (nieuwe minoren/modules/studentenwerk), challenge based learning. waarbij zoveel mogelijk wordt aangesloten bij en gebruik gemaakt wordt van (de reeds vele) bestaande gremia en bijeenkomsten.

²⁶ Boon, W. Horlings, E. (ed.) (2013) Kenniscoproductie voor de grote maatschappelijke vraagstukken, Publisher: Rathenau Instituut

In een aanzienlijk aantal projecten zal er behoefte bestaan aan kennis en inzichten die elders in vergelijkbare situaties reeds zijn opgedaan buiten het 'gezichtsveld' van het lokale project. In een dergelijke situatie is geen nieuwe inhoudelijk kennis nodig. Gelet op de aard van de stakeholders in het project kan er wel behoefte bestaan aan specifieke wijzen waarop die kennis overgebracht kan worden:

- Workshops
- Communities of practice
- Werkbezoeken
- Documentatie voorbeeld projecten
- Webinars
- (Tijdelijke) uitwisseling van projectmedewerkers
- 'Teach the teacher' leergangen, ...etc.

In dialoog worden vormen ontwikkeld die aansluiten bij het onderwerp, de ervaring, opleiding en taalbeheersing van de betrokkenen. Dit geeft inzicht in de manier waarop de opgedane kennis/resultaten worden verspreid. Tevens wordt ingegaan op de manier waarop wordt geleerd binnen het deelprogramma.

11. Samenvattende tabel

MISSIE	CO ₂ -vrije en Toekomstbestendige Gebouwde Omgeving				
DEELPROGRAMMA	Circulaire bouwwerken en componenten		Circulaire materialen		Circulariteitsenablers (context)
ONDERWERPEN	Ontwerp	Productie en hergebruik	Biobased (en hybride)	Non-biobased (en hybride)	Sociaal, juridisch, economisch
Concept (product)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerp-concepten 	<ul style="list-style-type: none"> • IFD en modulair bouwen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nieuwe materialen en toepassingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton (staal, asfalt), biobased additieven en nieuwe generatie bindmiddelen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beleid en normering • Inkoopproces • Ketensamenwerking
Waardering (prestaties)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerp-criteria en evaluatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie rest-capaciteit/kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie levensduur en kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Validatie levensduur en kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Circulaire businessmodellen • Sociale aspecten van een circulaire gebouwde omgeving
Keten (proces)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerpprocesses 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale technologieën 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketenontwikkeling en ketenoptimalisatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Levensduur-verlenging en recycling 	<ul style="list-style-type: none"> • Levenslang leren • Internationale samenwerking

BIJLAGE A. Verantwoording

Aan de totstandkoming van dit MMIP (en de voorlopende BTIC Kennis en Innovatieprogramma's Circulair Beton, Circulaire Bouweconomie en Circulair Ontwerpen van Gebouwen en Infrastructuur Civiele Kunstwerken) hebben een breed scala aan personen bijgedragen. Verder dank aan G. Mulder (TKI Urban Energy) en N. Tavakolly (KIA CE) voor het kritisch meelesen van voorgaande versies van dit document.

Programma Advies Raad Circulaire Bouw en Infrastructuur:

V. Gruis (TU Delft, Transitieteam CBE), L. Declercq (SPIE), C. van Hemel (RWS), R. Dirksen (Dura Vermeer), S. Bosch (Copper8), N. Abujidi (Zuyd Hogeschool), N. Westerlaken (TNO), H.J. Weggeman (Emergo), J. Bekkering (Bekkering Architects, TU Eindhoven), T. Luiten.

Kennis en Innovatieprogramma Circulair Ontwerpen voor Gebouwen en Infrastructuur Civiele Kunstwerken, BTIC, februari 2021:

V. Gruis (TU Delft), T. Schröder (TU Eindhoven), M. van den Berg (Universiteit Twente), S. Bhochhibhoya (Universiteit Twente), S. Dannel (TNO), S. Lamerichs (Witteveen+Bos, Koninklijke NLingenieurs), P. Savanović (Avans), R. Vrijhoef (TU Delft), H. Visscher (BTIC), M. Rubbens (Cepezed), D. te Brinke (BAM), M. Donkers (Rabo Real Estate Finance), C. Ririassa (RVB), M. Schaffner (Witteveen+Bos), H. Scherpenzeel (RVO), P. Terwisscha (Volksbelang Helmond), L. de Vrijer (Techniek Nederland), H. Wamelink (TUD, CB'23), E. van de Wel (RWS), T. Wellink (RVO), G. van der Zanden (Smart Building Design), NL-GO Nationaal Lectorenplatform Gebouwde Omgeving.

Kennis en Innovatieprogramma Circulaire Bouweconomie, BTIC, mei 2020:

J. Kruithof (TNO), N. Westerlaken (TNO), E. Keijzer (TNO), M. van Ommen (TNO), S. de Vos (TNO), H. Jonkers (TU Delft), T. Klein (TU Delft), T. Schröder (TU Eindhoven), H. ter Huerne (Universiteit Twente), S. Bhochhibhoya (Universiteit Twente), P. Savanović (Avans), E. Quanjel (Avans), E. Neslissen (Transitieteam CBE, TUE), H. Scherpenzeel (Transitieteam CBE, RVO), E. 't Hoen (BZK), J. Verlinden (BZK), T. Beuker (BZK), M. van Dreumel (IenW), M. de Roos (I&W), H. Visser (Bouwend NL), L. de Vrijer (Techniek NL), J. Eijer (Koninklijke NLingenieurs), H. Visscher (BTIC), H. Keizers (BTIC), R. Mulder (BTIC).

Kennis en innovatieprogramma Circulair beton, BTIC februari 2020:

J. Kruithof (TNO), C. Bolck (WFBR), E. Keijzer (TNO), H. Jonkers (TUD), H. ter Huerne (UT); H. Heinemann (TNO), J. Brouwers (TU Eindhoven), K. Schollbach (TU Eindhoven), M. van den Berg (Universiteit Twente), Martijn Arnoldussen (Avans), P. Savanović (Avans), Q. Yu (TU Eindhoven) • R. Gosselink (WFBR), S. Bhochhibhoya (Universiteit Twente), T. Slaghek (WFBR), T. Coenen (Universiteit Twente), M. van Dreumel (I&W), E. van der Wel (RWS), M. van der Vliet (Betonakkoord).

