

**Building, Infrastructures &
Maritime**

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00
F +31 88 866 06 30

TNO-rapport

TNO2018-R10948

**Onderzoeksplannen 2019
Thema Leefomgeving**

Datum	20 september 2018
Auteur(s)	Dr. H.M.E. Miedema, Drs. G.M. Bouma, Ir. M.H. Wijngaard
Autorisatie	Dr. M.G.M. de Kroon
Aantal pagina's	26 (incl. bijlagen)
Regievoerend departement	Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2018 TNO

Inhoudsopgave

1	VP Duurzaam Bouwen (P502)	3
1.1	Samenvatting.....	3
1.2	Korte omschrijving	4
1.3	Resultaten 2019.....	5
1.4	Dynamiek.....	10
2	VP Smart Cities (P509)	11
2.1	Samenvatting.....	11
2.2	Korte omschrijving	12
2.3	Resultaten 2019.....	13
2.4	Dynamiek.....	15
3	VP Milieu en Duurzaamheid (P510)	16
3.1	Samenvatting.....	16
3.2	Korte omschrijving	17
3.3	Resultaten 2019.....	18
3.4	Dynamiek.....	20
4	VP Circulaire Economie (P515)	22
4.1	Samenvatting.....	22
4.2	Korte beschrijving	23
4.3	Resultaten 2019.....	23
4.4	Dynamiek.....	24
5	Ondertekening	26

1 VP Duurzaam Bouwen (P502)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	VP Duurzaam Bouwen (P502)
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Duurzame Leefomgeving
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Peter Paul van 't Veen, Henk Miedema
Contactpersoon overheid of topsector	Rob Hofman (RWS), Bart Dunsbergen (BZK), David van de Woude (BZK)

1.1 Samenvatting

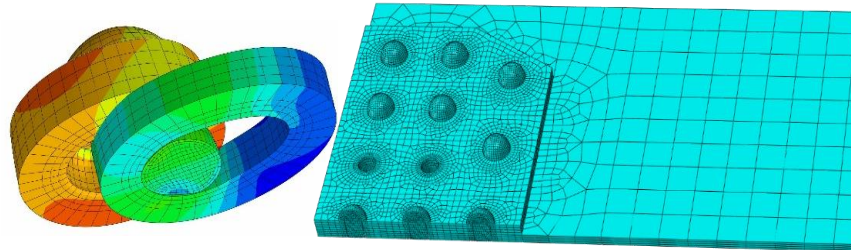
Het VP Duurzaam Bouwen bestaat uit de drie deelprogramma's Infrastructuur, Bouwkwiteit en Energie in de gebouwde omgeving. Doel van de programmalijn Infrastructuur is voor de verouderende infrastructuur reductie van risico's, hogere beschikbaarheid en reductie van (stijging in) kosten, bij verhoging van de duurzaamheid (reductie CO2 uitstoot, hergebruik van materialen). Doel van de programmalijn Bouwkwiteit is beter inzicht in prestaties van nieuwe of aangepaste gebouwen en bestaande bouwvoorraad, met name op het gebied van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en duurzaamheid. Doel van de programmalijn Energie in gebouwde omgeving is de transitie naar een energie neutrale gebouwde omgeving te versnellen en de maatschappelijke kosten van de transitie te verlagen. De belangrijkste beoogde resultaten voor 2019 zijn:

Infrastructuur: In voorgaande periode zijn modellen ontwikkeld die geschikt zijn om meetdata te gebruiken voor het bepalen van de ontwerpbelasting en -sterkte van bestaande kunstwerken. Hierbij is met name aandacht besteed aan het voorspellen van het gedrag in de staart van de verdeling (kleine over- of onderschrijdingskans). De modellen worden in de praktijk gevalideerd en geïllustreerd met een field-lab (betonnen brug). Daarnaast wordt gewerkt aan het verbeteren van inzicht in de rol van materiaaldegradatie bij de constructieve veiligheid, aan betrouwbaarder vaststelling van verkeersbelastingen en aan methoden voor management van data- en informatie voor infrastructuur beheer. De ontwikkelde kennis wordt ingebracht in normen en richtlijnen met het oog op verbetering van ontwerp van nieuwe en beoordeling van bestaande kunstwerken. Dit gebeurt via nationale en internationale gremia als NEN, CEN, *fib*, JCSS.

Bouwkwiteit: Deze programmalijn richt zich op een aantal onderwerpen die bijdragen aan het verhogen van de bouwkwiteit. Een model waarmee toekomstige behoefte aan (zorg)bouw beter te voorspellen is, wordt toegepast voor het stellen van beoordelingskaders en beslissingsondersteuning. Een testmethode wordt ontwikkeld waarmee oplossingen voor het versterken van woningen in het aardbevingsgebied van Groningen kunnen worden beoordeeld evenals een automatische detectiemethode om op basis van camerabeelden (groei van) scheuren in metselwerk na een aardbeving vast te stellen. De beoordeling van brandveiligheid van gebouwen op basis van een volledig risico gebaseerde methodiek die moet leiden tot veiliger gebouwen tegen acceptabele kosten wordt verder uitgewerkt. Een bijdrage aan digitalisering is het automatisch toetsen van een woning aan de eisen uit het Bouwbesluit op basis van een 3D BIM model van het gebouw als stap naar een nieuwe digitale infrastructuur op basis van BIM (Ro)Bots technologie.

Energie in gebouwde omgeving: Dit onderdeel is voornamelijk gericht op innovaties voor aardgasvrije wijken. Belangrijk daarvoor is digitalisering en robotisering van het renovatieproces waarbij wij ons richten op een drietal onderwerpen: BIM, robotisering aanbrenge bouwdeelen, 3D printen voor inpassing prefab standaard elementen. Voor modelontwikkeling ligt de focus op betrouwbaarder uitkomsten door koppeling

met monitoringsdata, en op koppeling van modellen voor energieprestatie met modellering van binnenmilieukwaliteit inclusief geluid. In aanvulling op het industrialiseren van de aanpak van naoorlogse woningen zal een nadere analyse voor een aanpak van vooroorlogse woningen en monumenten gemaakt worden. Voor utiliteitsbouw zullen, in eerste instantie voor enkele gebouwtypen, prestatie indicatoren ontwikkeld worden die de beheerders helpen om ambities te formuleren. Voor kantoren zal een model ontwikkeld worden om vast te stellen welke flexibiliteit in energievraag er is om bij te dragen aan netstabiliteit.



Voorspelling van het gedrag van klinknagelverbindingen in bestaande constructies met behulp van fysisch niet-lineaire eindige elementenmodellen

1.2 Korte omschrijving

Infrastructuur

De programmalijn infrastructuur heeft als doel het beheer en onderhoud van (verouderende) kunstwerken zo optimaal mogelijk te laten plaatsvinden. De focus hierbij ligt op het, tegen acceptabele kosten, beperken van de veiligheidsrisico's bij bruggen en viaducten waarvoor hoge beschikbaarheid- en duurzaamheidseisen gelden. Daarnaast is het doel om voor te sorteren op een circulaire infrastructuur door het hergebruik van constructies en materialen (reductie CO2 uitstoot, hergebruik van materialen). De TNO kennis/technologie wordt ontwikkeld voor een 'condition based' aanpak, dus asset management op basis van valide informatie over huidige en verwachte belastingen en toestand van infrastructurale werken. Om dit te realiseren wordt ingezet op:

- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning: Om nieuwe modellen toegankelijk te maken worden deze ingebracht bij de ontwikkeling van beoordelingsnormen en -richtlijnen.
- Modellering van constructieve veiligheid bij toegenomen (verkeers)belasting op verouderende infrastructuur met als specifieke onderwerpen: belastingmodellen, materiaaldegradatiemodellen en niet-lineaire probabilistische modellen met input uit data van (semi-)continue metingen (inspectie en monitoring).
- Risicogestuurde, op data gebaseerde asset management tools voor infrastructuur in relatie tot opkomende trends binnen het mobiliteitsdomein en op het gebied van circulariteit, gebruik makend van nieuwe technologieën op het gebied van sensing en data- en informatiemanagement.

Bouwkwaliteit

Doel van de programmalijn Bouwkwaliteit is beter inzicht in prestaties van nieuwe of gerenoveerde en bestaande gebouwen, met name op het gebied van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en duurzaamheid. Kennisinvestering wordt gericht op:

- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning. Inzet van methodieken om op basis van demografische, sociale en economische modellen toekomstige behoefte aan zorgbouw beter te voorspellen op basis waarvan investeringsbeslissingen voor de toekomst kunnen worden gebaseerd.

- Modelling van veiligheid. Beoordelen van de aardbevingsbestendigheid (Groningen) van bestaande constructies en aardbevingsbestendige reparatietechnieken, ontwikkeling van automatische inspectiemethoden vaststelling van scheurvorming in ongewapend metselwerk, vaststellen brandveiligheid (zorgbouw) op basis van risico-gebaseerde methodiek en beoordeling van fundering met aangetaste houten palen bij typisch Nederlandse bouwwijze (ongewapend metselwerk).
- Data- en informatiemanagement. Ontwikkeling van flexibele infrastructuur voor delen van data, verrijken met modellen en ondersteunen van samenwerking. Voorbeelden zijn de BIM Bots technologie voor ondersteuning bij automatisch toetsing aan het Bouwbesluit op basis van data uit BIM en het Monument Diagnose en Conservering Systeem (MDCS).

Energie in gebouwde omgeving

Doel van de programmalijn Energie in gebouwde omgeving is de transitie naar een energie neutrale gebouwde omgeving, met als mijlpaal aardgasvrije wijken, te versnellen en de maatschappelijke kosten van de transitie te verlagen. Hiervoor wordt ingezet op:

- Innovatie in de renovatieketen met als onderwerpen concept ontwikkeling/ evaluatie voor uiteenlopende gebouwtypen, vraagstukken over levensduur en hergebruik van (gecombineerde) materialen daarbij, automatisering/ industrialisering en kwaliteitsborging met technieken om prestaties voor en na renovatie eenvoudig vast te stellen
- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning: ontwikkeling van referentiekaders op basis van modellering en monitoring van bestaande gebouwen, om prestatie eisen te kunnen formuleren
- Vraagbeperking: monitoring en control technologie om energiegebruik te minimaliseren bij verhoging van comfort en gezondheid. Belangrijk is gebouwen zelflerend te maken door zelf-diagnostiek van energiegebruik en de binnenmilieu, en op basis hiervan besparingsmogelijkheden te laten signaleren, bijvoorbeeld door tijdig aan te geven welk onderhoud nodig is (predictive maintenance).
- Binnenmilieukwaliteit en geluid: methoden en technieken voor adequate ventilatie in sterk geïsoleerde gebouwen zodat alleen dan en daar geventileerd wordt waar nodig en in een mate die afgestemd is op de behoefte. Met de toenemende toepassing van mechanische ventilatie en warmtepompen is het geluid belangrijk aandachtspunt.

1.3 Resultaten 2019

Infrastructuur

Voor de onderscheiden onderzoekslijnen zijn de volgende resultaten en deliverables voor 2019 beoogd:

- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning;
 - De ontwikkelde kennis wordt ontsloten via internationale commissie's op het gebied van constructieve veiligheid (Joint Committee on Structural Safety - JCSS) waarbij de nadruk ligt op het probabilistische modelleren en de betekenis daarvan voor het valideren van high level state-of-the art benaderingen met partiele factoren. Via de internationale commissie voor betonconstructies (fédération Internationale de Béton - fib) wordt kennis ingebracht voor de constructieve beoordeling van bestaande betonconstructies die nu nog vaak beoordeeld worden op basis van ontwerpregels. Daarnaast wordt kennis ingebracht in de Eurocodes via Comité Européen de Normalisation (CEN) een NEN normen.
- Modelling van constructieve veiligheid;

- Methoden voor de bepaling van levensduurverwachting voor civiele constructies op basis van probabilistische analyses met niet-lineaire modellen die worden gevoed door gegevens zoals die bekend zijn uit het ontwerp en van data uit metingen gedurende het gebruik van de constructie. Belangrijk onderwerp zal zijn het vergroten van de efficiëntie van algoritmen voor het bepalen van de bandbreedtes. In 2019 zal een internationale vergelijking worden uitgevoerd tussen state-of-the-art aanpakken daarvoor. TNO is hiervoor de initiatiefnemer en heeft de benchmark ontwikkeld en zal de toepassing leiden.
- Onzekerheid in verkeersbelastingen is een zeer belangrijke factor die bijdraagt aan onzekerheid ten aanzien van betrouwbaarheid en levensduurverwachting van kunstwerken in het wegennet. Om de onzekerheid in verkeersbelasting te reduceren, zal langs twee lijnen gewerkt worden. De eerste is de uitbreiding van weigh-in-motion (WIM) systemen met ook de zogenaamde Bridge WIM waarbij de response van de constructie vertaald wordt naar de belasting ter plekke. WIM dat is een van de type data die gebruikt kunnen worden bij het schatten van verkeersbelastingen voor individuele kunstwerken. De tweede lijn is gericht op benutting van ook andere typen data en integratie met WIM data. Dit zal resulteren in een gedifferentieerd verkeersbelastingmodel voor verschillende wegtypen (van gemeentelijk tot Rijkswegen) waarbij bestaande belasting modellen op basis van WIM data verbeterd zijn en geïntegreerd met bijvoorbeeld informatie uit Bridge WIM, andere monitoring (bijvoorbeeld camera's), vergunningverlening voor zware transporten en logistieke modellen waarmee vrachtverkeer op wegen kan worden ingeschat. Uiteindelijk resultaat zal zijn een sterk verbeterde methode voor het vaststellen van de belastingen waaraan kunstwerken in het wegennet worden blootgesteld. Het onderzoek zal gebeuren in internationale samenwerking (Ifsttar). Voor het Bridge WIM wordt aangesloten bij het fundamentele onderzoek op dit gebied in ERP Structural Integrity. Voor 2019 zijn de belangrijkste resultaten een eerste bridge-WIM dat belastingsparameters bepaalt aan de hand van de gemeten respons van een stalen brug, en een integratie van WIM data met modellen voor het vrachtverkeer op het Nederlandse wegennet,.
- Voor staalconstructies worden de modellen voor groei van vermoeiingsscheuren verder ontwikkeld met de focus op de hoofd draagconstructie. Aansluitend bij fundamenteel werk op dit gebied in het ERP Structural Integrity zullen modellen in het bijzonder op het volgende punt verbeterd worden. Huidige voorspellende modellen voor vermoeidheidslevens zijn gebaseerd op de aanname van een abrupte overgang tussen eindig en oneindig leven. Er is toenemend bewijs dat deze voorstelling onjuist is: een meer vloeiende overgang lijkt meer aangewezen. In 2019 zal een eerste versie van een accurater model voor vermoeidheidslevensduur gerealiseerd worden. Het onderzoek met betrekking tot betonnen constructies wordt afgestemd met het onderzoek in VP Deltatechnologie. Een belangrijk onderwerp zal ook zijn het identificeren welke informatie over materiaal parameters het meest zal bijdragen aan verbeterde vaststelling van betrouwbaarheid van de constructie. Dit zal richting geven aan sensoriek ontwikkeling in het ERP Structural Integrity.
- Veldlocatie Brug 705 in Amsterdam. Voor validatie en demonstratie van sensor- en modelontwikkelingen met betrekking tot betonconstructies is in 2018 een veldlocatie geïnitieerd. De nadruk ligt op de beoordeling van de huidige betrouwbaarheid en toepassing van probabilistische, niet-lineaire modellen gevoed door data uit sensoren op de brug. In 2019 wordt dit uitgebreid met evaluatie van alternatieve scenario's voor de brug. Het belangrijkste resultaat is illustratie van ondersteuning voor de eigenaar van de brug en andere infrastructuur beheerders van de meerwaarde van de geavanceerde aanpak.
- Data- en informatiemanagement;

- Afgelopen jaren is veel geleerd van het meetsysteem op de tweede Van Brienoordbrug. De in 2018 gestarte aanpak om bij voorspelling monitoringsdata van de brug te combineren met beschikbare andere data, zoals temperatuur data van een weersstation, zal resulteren in een eerste opzet voor benutting van gerichte monitoringsdata gecombineerd met big data voor verbetering van voorspelling van scheurgroei. Deze aanpak zal in vervolgjaren verder worden uitgebreid. De uitbreiding betreft generalisatie naar andere stalen bruggen, andere degradatiemechanismen ook in andere materialen, en benutting van nog andere data bronnen.
- Smart en Sustainable Mobility and Infrastructure. Trends en nieuwe technologische ontwikkelingen op het gebied van mobiliteit en infrastructuur (platooning, Smart Mobility, nieuwe brandstoffen en aandacht voor circulariteit) stellen andere eisen aan onze infrastructuur. In de tweede helft van 2018 is gestart met een onderzoek waarin wordt voorgesorteerd op de effecten van deze toekomstige ontwikkelingen op het ontwerp van kunstwerken als ook het beheer en onderhoud van ons wegennet. In 2019 ligt de focus op het vormgeven van het beoogde asset management raamwerk hiervoor en de daarvoor benodigde tools (data, modellen) en de wijze waarop deze in samenhang meerwaarde kunnen bieden.

Dit deelprogramma is op punten nauw aangesloten bij het ERP Structural Integrity, VP Deltatechnologie (P508) en VP HTSM Bouwinnovatie (P513). Veel onderzoek wordt in nauwe samenwerking uitgevoerd met de belangrijke beheerders van civiele werken (Rijkswaterstaat, ProRail, Havenbedrijven en lokale overheden zoals gemeentes en provincies). Van bijzonder belang daarbij is samenwerkingsverband InfraQuest (RWS, TNO en TU Delft). Daarnaast met marktpartijen, bijvoorbeeld op het gebied van monitoren.

Bouwkwaliteit

Voor de onderscheiden onderzoeklijnen zijn de volgende resultaten en deliverables voor 2019 beoogd:

- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning zorgbouw;
 - De in 2017/2018 ontwikkelde methodiek gericht op het voorspellen van toekomstige behoefte aan zorgbouw zal voor een aantal praktijksituaties voor renovatie van ziekenhuizen worden toegepast en gevalideerd. Deze resultaten zullen zichtbaar maken in hoeverre het mogelijk is om op basis van demografische, sociale en economische modellen toekomstige behoefte aan (zorg)bouw beter te voorspellen dan nu mogelijk is. In het onderzoek wordt samengewerkt en het Noorse Sykehusbygg en een aantal Nederlandse ziekenhuizen en UMC's.
 - Bestemming is een belangrijk risico in ziekenhuizen. Door de wens om minder antibiotica te gebruiken moet de besmettingscontrole (contamination control) worden verhoogd door een betere beheersing van de bouwkundige opzet/inrichting en gebruikte materialen en luchthuishouding enerzijds en toegepaste kledingsystemen. Schoonmaak en inventaris anderzijds. TNO stel een risicogebaseerde aanpak voor waarbij al deze aspecten in samenhang kunnen worden afgewogen. In 2019 wordt deze aanpak uitgewerkt voor praktijksituaties van operatiekamers, isolatiekamers en IC's (de Hotfloor) in ziekenhuizen. Dit zal resulteren in voorstellen voor oplossingen voor ontwerp, beheer en onderhoud. Daartoe wordt samengewerkt met een aantal ziekenhuizen en UMC's, en de Vereniging Contamination Control Nederland (VCCN),.
- Modelleren van veiligheid;
 - Via de samenwerking in BuildinG op het gebied van aardbevingsbestendig bouwen zijn in 2018 de eerste constructieve oplossingen voor "aardbevingsbestendig" metselwerk getest. Met de ontwikkelde testopstelling is het mogelijk alternatieve oplossingen te vergelijken. Voor het beoordelen van de complete woning met een oplossing wordt een koppeling

gemaakt tussen de testuitkomsten en eindige elementenberekeningen van een complete woning. Het resultaat is een gevalideerde methode waarin de testmethode en de berekeningsmethode zijn gekoppeld. Betrokken bedrijven die bijdragen aan de oplossingen zijn: Straw Blocks, Daas Baksteen, Fischer, FeNB2, Strating en Remix. Voor het uitvoeren van eindige elementenberekeningen zullen ingenieursbureaus aan het onderzoek deelnemen.

- Voor het beoordelen van de schade die aan woningen in Groningen ten gevolge van de aardbevingen optreedt, is het van belang om een objectief beeld van de schade aan het metselwerk te krijgen. TNO heeft een methode in ontwikkeling om scheuren automatisch vast te stellen. In 2019 zal deze techniek om scheuren te detecteren met behulp van beeldbewerkingssoftware zover ontwikkeld zijn, dat detectie van scheuren > 1 mm automatisch mogelijk is. Tevens zal een koppeling van deze diagnose van scheurdetectie data met een woningenbeheersmodel worden opgestart. Voor de ontwikkeling van de software wordt samengewerkt met twee bedrijven.
- In 2019 wordt een rekenmethode neergezet waarmee op basis van gemeten zakking aan woningen teruggerekend kan worden hoe omvangrijk de aantasting van de houten funderingspalen is en welke bijkomende zakking in de komende jaren te verwachten zijn. Betrokken partij is het Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF).
- Als resultaat van 2019 is de kwantitatieve risicogebaseerde beoordeling van de brandveiligheid uitgewerkt voor praktijksituaties (woningen voor senioren en zorggebouwen) en is een internationaal samenwerkingsverband opgezet. Daarbij wordt samen gewerkt met zorginstellingen, woningcorporaties en internationaal met Lund University.
- Data- en informatiemanagement;
 - In 2018 is een aanzet gegeven voor een architectuur om autonoom opererende digitale (Ro)Bots te laten communiceren met 3D BIM-model van een gebouw. Met deze BIM Bots technologie is het mogelijk om automatisch te toetsen of het gebouw voldoet aan een eis. In 2019 zal de eerste proof-of-concept element worden opgeleverd voor de Milieu Prestatie van Gebouwen berekening. Ook wordt een roadmap opgesteld van prestatie-eisen uit het Bouwbesluit die vervolgens zal worden uitgerold voor early adapters. Doel is om eind 2019 een tool beschikbaar te hebben waarmee woningen aan de meest relevante eisen uit Bouwbesluit kunnen worden getoetst. De volgende partijen zijn betrokken bij de ontwikkeling van de tool: BNA, VNConstructeurs, Bouwend Nederland, Uneto-VNI, MetaalUnie, NVTB, FME, SBK, Neprom, Aedes, Gemeente Den Haag en Rotterdam, VBWTN, Brandweer Nederland, NEN, BIM Locket, Kadaster en ministerie BZK.
 - Programma van MonumentenKennis. In de periode 2015-2018 is de eerste periode van het programma succesvol afgesloten. In 2019 zullen Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed (RCE), TU-Delft en TNO het programma continueren voor een periode van 4 jaar. Dit zal voor 2019 resulteren in een overzicht van de mate van intensivering van schadeprocessen metselwerk ten gevolge van klimaatverandering en aardebevingen, een verkenning van degradatiemechanismen en optionele reparatiemethoden voor betonconstructies uit de naoorlogse periode en het uitwerken van een opzet van een beslisproces waarbij technische aspecten gekoppeld worden aan de gevolgen van schadeprocessen op de erfgoedwaarde. Naast de reeds genoemde partijen, zal naar verwachting ook de Raad voor het Rijksoverheidvastgoed (RvR) vanaf 2019 aan het programma deelnemen. Hierin participeren het Rijksvastgoedbedrijf, Staatsbosbeheer, RWS en COA.

Dit deel van het vraaggestuurd programma is verankerd in de volgende roadmaps van de Bouwagenda: Roadmap 6: vervanging en nieuwbouw, Roadmap 9: wonen en zorg en Roadmap 11: aardbevingen. Dit invulling zal verder vorm worden gegeven

in het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) waarin de technische universiteiten en hogescholen met TNO samenwerken, in samenspraak met overheid en bedrijfsleven.

Energie in gebouwde omgeving

- Innovatie in de renovatieketen
 - Om tot versnellingen van de energie-renovatie gericht op aardgasvrije wijken te komen, is digitalisering en robotisering van het bouwproces belangrijk. Dit vergt een analyse van het bouwproces met als onderdelen onder meer opmeten, ontwerp, planning, realisatie en oplevering. Naast een analyse van dit proces zal op drie specifieke onderdelen worden ingezet. De eerste is BIM bots technologie voor twee doeleinden: het koppelen van BIM aan modules (bots) die de prestatie van ontwerp bepalen en het koppelen van BIM ontwerp aan databestanden van producten bij leveranciers waarmee een ontwerp gerealiseerd kan worden. De meest kansrijke inzet zal worden vastgesteld en in ontwikkeling genomen. De tweede is robotisering van het aanbrengen van bouwdelen. Hierbij wordt voortgebouwd op de eerste ervaring opgedaan met het robotiseren van het aanbrengen van PV op schuren. Dit onderdeel wordt in samenhang met VP Urban Energy-Energio uitgevoerd. De derde is de verkenning van de mogelijkheden van 3D printen voor het faciliteren van werken met standaard prefab elementen. De rol van 3D printen is dan het op maat realiseren van de stukken waarmee het standaardelement ingepast kan worden.
 - Zowel onder het Europese Horizon 2020, EeB, programma als in het nationale TKI Urban Energy programma zullen projecten rond BIM gebaseerde renovatie en nieuwbouw worden opgestart. Focus ligt hierbij op het digitaliseren en vergaand automatiseren van het bouwproces (kostenreductie en versnelling) en toolontwikkeling.
 - Voor aardgasvrije wijken is verbetering van de state-of-the-art concepten nodig. In verband daarmee wordt een detailanalyse gemaakt van een aantal energie-renovatie oplossingen voor uiteenlopende gebouwtypen (c.q. clusters van gebouwen/woningen) en verkent waar de mogelijkheden voor verdere prestatieverbetering zitten. Ook wordt daarbij nagegaan wat de potentie is van innovaties die nu in ontwikkeling zijn en welke sturing inzet in deze concepten geeft aan de verdere ontwikkeling van de innovaties.
- Beoordelingskader en beslissingsondersteuning
 - De betrouwbaarheid van uitkomsten van modellen betreffende de prestatie (energie, binnenmilieu, geluid) van renovatieoplossingen zal op twee manieren verbeterd worden door deze te koppelen met inspectie- en monitoringsdata. De eerste is de koppeling met meetgegevens die onzekerheid over input parameters van de modellen reduceert. De tweede is een vorm van data-assimilatie ingezet voor het updaten van het model zelf door het te tunen aan de gemeten prestaties. Inzichten die hiermee verworven worden, zullen ook ingebracht worden ten behoeve van toekomstige EPBD regelgeving en NEN normen.
 - Voor utiliteitsbouw staan beheerders voor de vraag welke ambitie met betrekking tot energieprestatie en comfort zij tegen welke kosten kunnen realiseren. Om hen te ondersteunen zal een stelsel van realistische KPIs ontwikkeld worden, eerst voor enkele specifieke typen utiliteitsgebouwen. Dit zal gedaan worden in internationale samenwerking onder Mission Innovation.
 - Op grote schaal is eerst de meeste winst te halen door aanpak van naoorlogse woningen. Oudere woningtypen en in het bijzonder monumenten vormen een nog grotere uitdaging. Ten behoeve van de aanpak van deze categorie zal verkend worden waar de belangrijkste beperkingen liggen en zal nagegaan worden welke doorontwikkeling van innovaties dit vergt. De verkenning zal concreet worden door enkele casus te analyseren. Hierbij zal aansluiting gezocht worden bij het samenwerkingsverband van TNO, TU

Delft en RCE dat zich richt op instandhouding van monumenten (MonumentenKennis)

- Vraagbeperking;
 - Voor diepe renovatie van een aantal woning typologiën worden modelberekeningen gemaakt om maatregelen met verregaande vraagbeperking door te rekenen. Dit wordt gekoppeld met modellen ten aanzien van ventilatie en de binnenmilieu kwaliteit om de instrumenten te hebben waarmee er voor gezorgd kan worden dat verregaande vraagbeperking niet ten koste gaat van comfort en gezondheid.
 - Een energiemodel voor kantoren om de mogelijke bijdrage aan demand-response van het gebouw aan de netstabiliteit te kunnen bepalen. Een opzet om sensordata te interpreteren aan de hand van dit model en een koppeling met gebouwinformatie uit BIM is voorbereid.
- Binnenmilieukwaliteit en geluid
 - Onder meer voor koppeling aan modellen om vraagbeperking te evalueren wordt een eerste versie ontwikkeld van een modellen suite voor beschrijving van het binnenklimaat (fijnstof, vocht, tocht, geluid) rekening houdend met factoren als type verwarmingsbron (warmtepomp), ventilatievoorzieningen, luchtdichtheid, bronafzuiging/kookafzuiging en filtering. Deze modelmatige beschrijving zal zowel gebruik worden voor het opzetten van beoordelingsmethodieken als voor de ontwikkeling van nieuwe ventilatiesystemen.

Door middel van enkele kennisuitwisselingsdagen bij BZK zal de stand van de innovatie overgebracht worden en gedachtewisseling plaatsvinden over de verdere strategie.

1.4 Dynamiek

Ten opzichte van het plan van 2018-2021 ligt in het plan van 2019-2022 meer nadruk op systeemintegratie. Er wordt toegewerkt naar einddoelen waarbij ontwikkelingen uit afzonderlijke deelgebieden worden geïntegreerd. Dit gebeurt in samenhang met een, over de hele linie, grotere inzet op automatisering- en informatiemanagement. Een belangrijke ontwikkeling is verder de oprichting van het BTIC in het kader van de Bouwagenda. De verwachting is dat een substantieel deel van dit onderzoeksprogramma in dat kader geplaatst en doorontwikkeld zal worden.

Infrastructuur

Belangrijk is de aansluiting op de departementale agenda van I&W en de kennisagenda's van RWS, ProRail en andere beheerders van constructies. Dit is een continue proces en levert geen grote verschuivingen ten opzichte van 2018. Ten opzichte van 2018 zal in 2019 meer aandacht worden gegeven aan de onderwerpen circulariteit van beton-, staal en wegbouwkundige constructies, als ook de wijze waarop meetgegevens en andere data kunnen bijdragen aan het beheren (assetmanagement) van onze infrastructuur.

Bouwkwaliteit

Het ministerie van BZK heeft ingezet op het verbeteren van de bouwkwaliteit. De ingezette onderzoekslijnen gericht op beoordelingskaders en beslissingsondersteuning, veiligheid en digitale technieken dragen daaraan bij.

Energie in gebouwde omgeving

In samenhang met integratie met het BTIC programma zal zorg gedragen worden voor de aansluiting bij het TKI Urban Energy programma, in het bijzonder het VP Urban Energy-Energo-P505 (decentrale opwekking, efficiënte conversie en decentrale (warmte)opslag) en het te starten onderzoek in het kader van de meerjarige maatschappelijke innovatie programma's MMIPs.

2 VP Smart Cities (P509)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	VP Smart Cities
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Duurzame Leefomgeving
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Geiske Bouma (VP-manager) Jeroen Borst (Programma manager) Paul van de Avoort (Director Market Traffic and Transport)
Contactpersoon overheid of topsector	Kees de Jong (BZK-DGBRW, DRO, contactpersoon kennis) Hans Tijl (BZK-DGBRW, DRO, directeur)

2.1 Samenvatting

Het programma Digitalization for accessibility and livability onder de Unit Traffic and Transport van TNO zet met haar innovaties in op het vergroten van de economische aantrekkelijkheid van steden en tegelijkertijd op het leefbaarder maken van steden, in Nederland en het buitenland, op een manier die aansluit bij belangen van de bewoners en bedrijven. Leefbaarder is in eerste instantie vooral minder congestie, betere luchtkwaliteit, behalen van CO2 doelstellingen en een gezonde leefomgeving. Dit in de context dat steden blijven groeien, aantrekkelijk willen blijven voor burgers en bedrijven, burgers en bedrijven steeds meer vanuit een individueel belang resultaten willen zien, regelgeving op zaken als CO2 en luchtkwaliteit steeds strenger wordt en dat er steeds sneller nieuwe technologieën met grote impact (kansen maar ook beperkingen) beschikbaar komen.

Veel uitdagingen in de steden zijn alleen op te lossen in samenwerking met de stakeholders in de steden en met state-of-the-art kennis. Om het juiste beleid te kunnen inrichten en draagvlak te creëren bij burgers en stakeholders voor de te nemen besluiten is inzicht nodig in de knelpunten in de stad en mogelijke effecten van toekomstige scenario's. In de praktijk gaan sommige ontwikkelingen sneller dan voorspeld en beïnvloeden ontwikkelingen elkaar. Ook kunnen de doelstellingen van de steden veelal onmogelijk in één keer bereikt worden, bijvoorbeeld op het gebied van CO2- of energiereductie. Instrumentarium voor knelpuntenanalyses, scenarioplanning, het monitoren van de daadwerkelijke effecten 'op straat' en het inrichten van een leercyclus voor adaptief programmeren is in de visie van TNO onontbeerlijk om de gewenste doelen te bereiken.

Voor objectieve (fact-based) en integrale besluitvorming, handelingsperspectief en participatie van de steden en hun stakeholders zullen deze instrumenten toegang moeten hebben tot digitale, eenduidige data en modellen (gekoppeld aan de betreffende stad). Dit sluit aan op de transformatie voor 'het nieuwe werken' die centrale en decentrale overheden aan het inrichten zijn onder druk van verdergaande digitalisering en ontwikkelingen als 'Internet of Things', waardoor data in grote hoeveelheden en realtime beschikbaar komt via sensoren en snelle communicatienetwerken.

Het vraaggestuurde programma Smart Cities (VP Smart Cities) richt zich op het ondersteunen van complexe besluitvorming in steden, vanuit draagvlak, een haalbare visie en ondersteuning bij de implementatie. De kennisontwikkeling vertaalt zich naar visievorming en handelingsperspectief, Urban Learning Cycle inclusief implementatie-ondersteunende tooling en Urban Strategy, data-integratie en modellen, met een focus op de thema's mobiliteit en gebiedsontwikkeling. Te realiseren resultaten in 2019 zijn:

- 2 Visiepapers in het domein van integrale gebiedsontwikkeling en mobiliteit gericht op innovatieve disrupties (o.a. Autonoom Rijden, Mobiliteitsdiensten (o.a. MaaS), elektrificatie en nieuwe brandstoffen) in het stedelijke gebied;
- Een data en kennis gedreven instrumentarium en kennisbackbone waarmee effecten van een combinatie van “decarbonisatie” maatregelen kan worden gemonitord en geëvalueerd en daarmee handelingsperspectief kan geven voor besluitvormingsprocessen in steden rond “zero CO2 mobility”.
- Methodische doorontwikkeling van concept ‘Policy by Simulation’ vanuit een Urban Learning Cycle perspectief gekoppeld aan het Smart Urban Data Platform.
- Vervolgstep in werken met realtime data / big data en de (on)mogelijkheden van Artificial Intelligence voor stedelijke vraagstukken.

Samenwerking met partners: BZK DGBRW (regievoerder vraagsturing), IenW DGM, G5 & Nederlandse Antillen (Curaçao), Metropoolregio's (MRA, MRDH, B5), PTV, Arcadis en kennispartners als IMEC en UvA-IAS.

2.2 Korte omschrijving

Focus Programma

Het Programma *Digitalization for accessibility and livability* van TNO concentreert zich primair op twee fundamentele en grote vraagstukken die op systeemniveau van de stedelijke ontwikkeling spelen: mobiliteit en gebiedsontwikkeling. Het aanpakken van deze vraagstukken betekent tegelijkertijd ook een boost geven aan twee van de grootste aanjagers voor de stedelijke economie. Mobiliteit en bereikbaarheid spelen een sleutelrol in de stedelijke en regionale economie. Echter, een continue toename van het aantal voertuigbewegingen komt steeds meer op gespannen voet te staan met strenger wordende milieu- en duurzaamheidsdoelstellingen zoals bereikbaarheid, ruimtegebruik, luchtkwaliteit, geluid en klimaatdoelstellingen. Gebiedsontwikkeling kijkt juist vanuit het geïntegreerde perspectief naar stedelijke ontwikkeling, vertrekkend vanuit de uitdagingen in een gebied wordt bezien welke domeinen hierin samen moeten komen.

Focus VP Smart Cities

Focus van het VP Smart Cities van TNO is gericht op het doorontwikkelen van het instrumentarium en bijbehorende methodologie voor het collectief leren samen met centrale en decentrale overheden en hun stakeholders voor nieuwe (mobiliteits)concepten en use cases voor integrale gebiedsontwikkeling voor steden, interstedelijke regio's en metropolen.

In het VP Smart Cities ontwikkelt TNO, samen met partners bij overheid en bedrijfsleven, tools en methodologieën die steden ondersteunen om draagvlak te krijgen bij complexe besluiten door aan te geven wat een haalbare visie is en zekerheid te geven bij implementatie.

Dit vraagt kennis en technologie gekoppeld aan drie componenten:

1. Visievorming en handelingsperspectief
Thought Leadership – vanuit integrale visie en aanpak – uitwerken van issues die spelen voor de stad en innovaties die op een stad afkomen (disruptieve ontwikkelingen). Vertaalslag naar Stedelijk Handelingsperspectief Methodologie gericht op stapsgewijze aanpak op strategisch niveau.
2. Urban Learning Cycle en implementatie-ondersteunende tooling
Versnellen van de leercyclus in steden en ondersteuning van het besluitvormingsproces met tooling die bestuurlijke keuzes inzichtelijk maakt.
3. Urban Strategy, data-integratie en modellen
Smart Urban Data Platform: modulair platform als basis voor het visualiseren van knelpunten en selecteren van kansrijke gebieden op basis van gewenste doelstellingen en key performance indicatoren (m.b.v. dashboarding), voor het verkrijgen van inzicht in kansrijke maatregelen en scenario's (m.b.v. een cockpit) als het doorrekenen en simuleren van potentiële scenario's in hoeverre deze effect sorteren op de gestelde doelen en key performance indicatoren voor planning & analyse toepassingen (simulatieomgeving). Gekoppeld aan kennisontwikkeling rond nieuwe ontwikkelingen als IoT, Artificial Intelligence en sensornetwerken.

2.3 Resultaten 2019

In onderstaande tabel is per ontwikkellijn in de kennisprogrammering een overzicht gegeven van deliverables:

Resultaten / Producten	Focus Onderzoek	Partners
<i>Visievorming en handelingsperspectief</i>		
Visieontwikkeling	Door middel van 'White papers' of 'Position papers' de innovaties uitdiepen en de impact op de stad verkennen (circa 2/jaar). Focus op verbreding, innovaties op het gebied van disruptieve innovaties en ICT-ontwikkeling. Duiding impact van innovaties rond Mobility as a Service en Elektrificatie in steden.	BZK, steden (o.a. G5 en Curaçao)
Handelingsperspectief	Stedelijk Handelingsperspectief Methodologie (MEO systematiek) toepassen op personen- en economische bereikbaarheid. Inzoomen op MEO CO2 deelgebieden en deze verder ontwikkelen en nauwkeuriger kunnen duiden.	IenM, BZK, steden (o.a. G5)
<i>Urban Learning Cycle inclusief implementatie-ondersteunende tooling</i>		
Urban Learning Cycle	Methodiek urban learning cycle gekoppeld aan implementatie-ondersteunende tooling die in meerdere use cases uitgewerkt is. Methodische doorontwikkeling van concept 'Policy by Simulation'.	BZK, steden (o.a. G5)
Tool ontwikkeling voor beter inzicht en voorspellend vermogen	Relevantiefilter: tool gericht op adaptief vermogen, voor het inzichtelijk maken van de effecten van maatregelen t.o.v. al het andere wat gebeurt in de stad. Van realtime naar voorspellend vermogen. Vervolgstep in	BZK, steden (o.a. G5)

Resultaten / Producten	Focus Onderzoek	Partners
	werken met realtime data / big data en de (on)mogelijkheden van Artificial Intelligence.	
<i>Urban Strategy, data-integratie en modellen</i>		
Data-integratie en Urban Strategy architectuur	Data-integratie: data-inwinning, data-ontsluiting, analytics, modellen Smart Urban Data Platform: modulair platform dat als basis gebruikt kan worden voor zowel dashboarding als planning & analyse toepassingen.	BZK, PTV, Arcadis, steden (o.a. G5)
Modellen en indicatoren	Indicatoren voor gezonde én duurzame verstedelijking: doorontwikkeling type KPI's (o.a. voor nieuwe doelgroepen), meetwijze en opschaling (modellen vs. sensoren).	BZK, PTV, IMEC, steden (o.a. G5)

Samenwerking met partners

Vanuit het VP Smart Cities wordt publiek-private samenwerking nagestreefd met overheden, bedrijven en kennispartners.

Overheden:

- BZK-DGBRW, Directie Ruimtelijke Ordening en Programmadirectie DG Omgevingswet
- de G5 (Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Eindhoven), de metropoolregio's / interstedelijke samenwerkingsverbanden als SmartwayZ.NL, MRA en MRDH en de Nederlandse Antillen (Curaçao)

Bedrijfsleven:

Lopende samenwerking

- PTV: modelontwikkeling (Urban Strategy) en internationale vermarkting
- Arcadis: aansluiting bij vraagstukken rond gebiedsontwikkeling en internationale vermarkting

Samenwerking in verkenning

- Goudappel Coffeng: platformontwikkeling (Urban Strategy) in nationale context
- Posad, toepassing in nationale en internationale context

Kennispartners:

- Inzet sensoren en koppeling naar verwerken data en modellen – IMEC
- Bestuurskunde en transitie management – Erasmus Universiteit Rotterdam
- Ruimtelijke ordening en gebiedsontwikkeling – Radboud Universiteit Nijmegen
- Regionale vervoersplanning – TU Delft
- Institute for Advanced Studies (IAS) – Universiteit van Amsterdam

Externe aansluiting

De regievoering vanuit het Thema Duurzame Leefomgeving is belegd bij het ministerie van IenW (primair) en bij het ministerie van BZK (secundair). De inhoudelijke regievoering op het VP Smart Cities is belegd bij het ministerie van BZK, DG Bestuur, Ruimte en Wonen, Directie Ruimtelijke Ordening. Met het VP Smart Cities wil TNO graag bijdragen aan de visie van de Directie Ruimtelijke Ordening, zoals gepresenteerd in de publicatie 'Ruimtelijke Activering' (maart 2018). Er is tevens een verbinding in kennisontwikkeling met de Programma DG Omgevingswet, deze wordt via koppelgesprekken nader afgestemd.

Het VP Smart Cities heeft naast de aansluiting bij het ministerie de volgende externe aansluiting:

- NWA-routes:
 - Smart, livable cities
 - Logistiek en transport in een energieke, innovatieve en duurzame samenleving
 - Kwaliteit van de omgeving
 - Op weg naar veerkrachtige samenlevingen
- Sleutel-technologieën: ICT
- EIP Smart Cities (EU)

2.4 Dynamiek

In belangrijke mate wordt het VP Smart Cities voortgezet zoals geprogrammeerd in het Kennisprogramma 2018-2021. Daarbij zal in 2019 binnen de bestaande kennislijnen specifiek aandacht zijn voor:

- Een aantal specifieke innovatieve disrupties relevant voor stedelijke ontwikkeling en mobiliteit zijn: Autonoom Rijden, Mobiliteitsdiensten (o.a. MaaS), elektrificatie en nieuwe brandstoffen. De aandacht zal in de vorm van visieontwikkeling en methodiekontwikkeling gekoppeld aan use cases tot uitdrukking worden gebracht.
- Verkenning van een Joint Innovation Centre rond Urban Strategy met nationale en internationale partners. Ook het ministerie van BZK zal in deze verkenning betrokken worden, evenals Nederlandse partners als Goudappel Coffeng.
- Opstarten nieuwe samenwerkingen, reeds voorzien is de samenwerking met de Nederlandse Antillen (Curaçao) waar TNO een MoU mee heeft afgesloten. Voor het VP Smart Cities liggen er kansen voor use cases op het vlak van kennisontwikkeling rond Mobility as a Service en Elektrificatie.

In organisatorische zin kende 2018 dynamiek aan de kant van TNO en de regievoerder, BZK-DGBRW Directie Ruimtelijke Ordening die doorwerkt in 2019. De regievoering van het VP Smart Cities is per 1 januari 2018 overgegaan van IenM-DGRW naar BZK-DGBRW. In dat proces zijn dezelfde contactpersonen behouden aan de kant van de regievoerder. In de overgangperiode die Q1-Q2 2018 plaatsvond is met name met de regievoerder via kwartaal overleggen afgestemd. De nieuwe visie van de Directie Ruimtelijke Ordening, zoals gepubliceerd maart 2018, is in Q2 gedeeld met TNO. In 2019 zal er aandacht zijn voor aansluiting hierop vanuit kennisprogrammering.

3 VP Milieu en Duurzaamheid (P510)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	VP P510 Milieu en Duurzaamheid
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Marinke Wijngaard
Contactpersoon overheid of topsector	Murk de Roos Ministerie I&W

3.1 Samenvatting

De wereldbevolking neemt in aantal toe, productie en consumptie blijven groeien. Dit leidt tot klimaatverandering, verslechtering van de kwaliteit van de leefomgeving (gezondheid, veiligheid en ecosystemen) en vermindering van grondstoffenvoorraden.

In Parijs zijn wereldwijde afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met meer dan 80% te verminderen ten opzichte van 1990. Dat vraagt een energietransitie naar een CO₂ neutrale samenleving die alle sectoren raakt. Ondanks de verbeterde luchtkwaliteit in Europa zijn er jaarlijks nog steeds ongeveer 400.000 vervroegde sterfgevallen aan luchtkwaliteit te wijten en wordt de ziektelast in Nederland gemiddeld meer dan 5% veroorzaakt door een slechte kwaliteit van de leefomgeving; een kostenpost van 5-7 miljard Euro per jaar. Beheersing van milieurisico's en omgevingsveiligheid staat voor een transitie van saneren en beheersen naar het voorkomen van milieurisico's en gevaren.

Aanvullend heeft Nederland de ambitie om in 2050 een circulaire economie te realiseren: duurzame circulaire ketens waarin grondstoffen volledig worden hergebruikt, geen afval wordt geproduceerd en alle gebruikte energie duurzaam is opgewekt. Met als (tussen)doelstelling om in 2030 50% minder primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) te gebruiken. Eerder toonde TNO aan dat het bevorderen van circulaire productketens kan leiden tot een extra toegevoegde waarde van 7 miljard Euro in 2025 en 54.000 extra banen in de komende 5 jaar.

TNO draagt bij aan de oplossing van bovenstaande ambities door enerzijds het inzicht in de milieuproblemen te verbeteren en daarnaast oplossingen te ontwikkelen. Zo werken we in dit vraaggestuurd programma aan: *beter meten* (van het ontwikkelen van sensoren tot het ontsluiten van satellietdata en het gebruik van big data), *beter modelleren* (onder andere koppeling van grootschalige aan lokale modellen om beter inzicht in de blootstelling van individuen te krijgen) en *verbeterde decision support tools*. Daarnaast *ontwerpen we circulaire ketens* en *ranken we nieuwe technologieën en ketenoplossingen op duurzaamheid*. Bovendien ontwikkelen we *technologieën voor recycling* van in eerste instantie kunststoffen en bouwmaterialen die een duurzame bijdrage leveren aan de circulaire economie.

Het onderzoeksprogramma kent zes speerpunten: Klimaat en Emissies; Milieu en Gezondheid; Risico's en Veiligheid; Circulaire Modellen; Circulaire Kunststofketens; Circulair Bouwen en Infra. De belangrijkste resultaten die wij in 2019 beogen te behalen zijn: een gedetailleerd emissie- en luchtkwaliteitsmodel; meetmethoden voor identificatie van microplastics; een nieuwe structuur voor risicomodellen en een verkenningen van circulaire modellen, ketens en technieken.

Dit programma is nauw afgestemd en interacteert met de programma's P512 Environmental Technology en P515 Circulaire Economie.

3.2 Korte omschrijving

De doelstellingen voor 2022 voor het speerpunt **Klimaat en Emissies** zijn:

- Koppeling van de grootschalige klimaat- en luchtmodellen aan lokale milieumodellen.
- Ontwikkeling van een emissie-verificatiesysteem voor broeikasgassen ter verificatie van de klimaatafspraken van Parijs.
- Doorontwikkeling van de grootschalige luchtkwaliteitsmodellen naar een hoge resolutie luchtkwaliteitsassessment tool voor de vaststelling van persoonlijke blootstelling.
- Het verkleinen van de onzekerheden in de emissies en depositie van stikstof naar kwetsbare natuur.

De doelstellingen voor het speerpunt **Milieu en Gezondheid** voor 2022 zijn:

- Het adequaat (snel en kwantitatief) kunnen meten van specifieke bestaande en opkomende probleemstoffen.
- Het bepalen van blootstelling aan complexe mengsels.
- Het integraal kunnen meten van blootstelling zodat uiteindelijk blootstellingsrisico's in specifieke situaties kunnen worden vastgesteld (=transitie van minder stofgericht naar meer situatiegericht meten van blootstelling).

De doelstellingen voor het speerpunt **Risico's en Veiligheid** voor 2022 zijn:

- Ontwikkelen van een nieuw (voorspellend) risicoanalyse model voor het ontwerpen c.q. moderniseren van (nieuwe, chemische, CO₂-neutrale) installaties (Safe by Design).
- Ontwikkelen van een nieuw (voorspellend) risicoanalyse model voor het beheersen en bijsturen van de (proces)veiligheid cq. 'Asset Health'. Ons doel is om in 2022 kennis te hebben toegepast in het Brightlands Sustainable Technology Centre (BSTC) programma voor "Digitalization (Asset Health)" en/of "Process Safety (Nieuwe processen die inherente veiligheid vanuit het ontwerp vragen)".
- Ontwikkelen van een nieuw instrument voor Vergunningverlening, Toezicht, Handhaving (wetgeving en governance).

De doelstellingen voor de 3 speerpunten rond Circulaire Economie ontleen zich vooral aan de ambities van het Rijksbrede programma "NL Circulair in 2050".

- Het speerpunt **Circulaire modellen** richt zich op het verbeteren van de bestaande modellen en databases ten behoeve van milieukundige of materiaalstroomanalyses (zoals LCA, EXIOBASE en het daarop geënte economisch model EXIOMOD) om in de toekomst nieuwe ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld op het gebied van energietransitie, ICT en business modellen adequaat mee te nemen. Ook zal gewerkt worden aan het geografisch specifiek maken van LCA modellen.
- De grote uitdaging in het speerpunt **Circulaire kunststofketens** is om een gesloten kringloop te ontwikkelen zoals verwoord in de Toekomst Agenda Kunststoffen. We zullen zowel maatschappelijke en economische

veranderingen initiëren als technologische. Meeste kunststoffen worden nu nog verbrand of gerecycled tot laagwaardige plastics (downcycling). Kunststoffen zijn een zeer diverse en gevarieerde groep van soms complexe materialen. Voor hoogwaardig hergebruik zijn scheiding van de verschillende types kunststoffen en verwijdering van additieven noodzakelijk. Daartoe worden (1) nieuwe technologieën ontwikkeld voor het sluiten van de kringloop en (2) worden nieuwe circulaire modellen opgesteld om de circulariteit en de economische haalbaarheid te voorspellen waarin toekomstige nieuwe, mogelijk disruptieve, ontwikkelingen worden meegenomen.

- Met de kennisontwikkeling in het speerpunt **Circulair bouwen en infra** dragen we bij aan de Toekomst Agenda Bouw en het behalen van duurzaamheidsdoelen door ontwikkeling van geconsolideerde impact assessment methodologie, beslissingsondersteunend te benutten voor/ door assetmanagers, beleidsmakers en bij innovatie van bouwproducten/ materialen.

3.3 Resultaten 2019

Voor **Klimaat en Emissies** zijn de resultaten en deliverables voor 2019:

- Inversie van de emissies van CO₂, CH₄ en reactief stikstof vanuit de Rijnmond aan de hand van in-situ metingen van het Ruisdael initiatief.
- Een hoge resolutie kaart (2x2 km) van oxidatief potentieel van fijnstof over Nederland op basis van bron-specifieke berekeningen. Voor vier grote steden worden deze kaarten verfijnd naar 25x25m.
- Emissiemodel voor de generatie van uurlijkse 1x1 km kaarten van emissies naar lucht van CO₂, NO_x en PM waarbij meteorologische invloeden worden meegenomen.
- Een kosten-baten analyse van een gecoördineerde aanpak van de milieumodellering binnen TNO, teneinde grootschalige klimaat- en luchtmodellen aan lokale milieumodellen te koppelen.

In het kader van dit kennisdomein wordt nationaal en internationaal samengewerkt met o.a. RIVM, WUR, VU, KNMI, TUD, Freie Universität Berlin, UBA, CNRS, ECMWF, DLR, etc. Internationale samenwerking vindt deels plaats binnen EU-Verify project.

Het kennisdomein Klimaat & Emissies sluit aan op de routes "Kwaliteit van de omgeving: de waarden van natuur, landschap, bodem, klimaat, water en milieu (15)" van de Nationale Wetenschapsagenda.

Voor **Milieu en Gezondheid** zijn de resultaten en deliverables voor 2019:

- Opzetten van bemonstering en meetmethodieken in het lab voor nieuwe probleemstoffen (bestaand en opkomend).
- Benchmark meten en detecteren met doel het up to date houden van de analytische faciliteiten met betrekking tot de laatste technologieën (kennis en apparatuur).
- Opzetten van kwantitatieve meetmethoden voor identificatie van verschillende type microplastic.
- Next steps in fijnstof problematiek: o.a. opzetten van alternatieve parameters om fijnstof te karakteriseren, doorontwikkeling mobiele luchtkwaliteitsmetingen ten behoeve van de koppeling met klimaatmodellen.
- Uitbreiding van dynamische geluidskaarten zoals ontwikkeld in een use case stedelijk gebied in 2018.

In het kader van dit kennisdomein wordt samengewerkt met verschillende partners, o.a. RIVM, steden, gemeenten, IRAS, en Universiteit Utrecht. Het kennisdomein

Milieu & Gezondheid sluit aan op de NWA routes “Meten en detecteren: altijd, alles en overal”, “Kwaliteit van de omgeving: Leefomgeving en gezondheid: het exposoom”, “Sport en Bewegen: gezond bewegen”, “Smart, livable cities: Safe Big Data Cities” van de Nationale Wetenschapsagenda.

Voor **Risico's en Veiligheid** zijn de resultaten en deliverables voor 2019:

- Inzicht in diverse technologische ontwikkelingen, die gepaard gaan met onzekere risico's, om te ontdekken of er een eenduidige (beleids)aanpak mogelijk is wat betreft intrinsiek veilig ontwerpen, gebruiken, onderhouden en moderniseren van chemische installaties (Safe by design in brede context).
- Opzet/structuur voor een nieuw (voorspellend) risicoanalyse model voor het beheersen en bijsturen van 'Asset Health' van (nieuwe) chemische installaties (real-time system optimization). Dit kan bijvoorbeeld door participatie in het BSTC programma v.w.b. “Digitalization (Asset Health)”.
- Opzet/structuur voor een nieuw instrument voor vergunningverlening, toezicht en handhaving (wetgeving en governance) voor risico's en veiligheid in een circulaire economie.

TNO kan veiligheid van meet af aan in een innovatie meenemen, omdat zij van oudsher unieke kennis en positie heeft op gebied van innovatie, ontwerpen, procesveiligheid en risicoanalyse, en omdat TNO (vanaf het begin, dd. 2017) actief is in het I&W programma “Duurzame Veiligheid 2030”.

Voor de **Circulaire modellen** zijn de verwachte resultaten voor 2019:

- Aan het begin van 2019 wordt een visiedocument gepubliceerd rond de ontwikkelingen op het gebied van energietransitie, materiaalstromen en circulair perspectief gebaseerd op de ontwikkelingen in 2018. In de loop van 2019 wordt deze analyse verrijkt met analyses met betrekking tot de impact van ICT en business modellen op materiaalgebruik en circulaire economie.

Voor de **Circulaire kunststofketens** zijn de verwachte resultaten voor 2019:

- Doorontwikkeling van IMPACT model, i.e. Integrated Method of Product Assessment for Circular Transitions, verzamelen van data en afleiden van kentallen specifiek voor de verschillende stappen in de kunststofketens.
- Verkenning circulair ketenontwerp voor verschillende type complexe kunststoffen (bijv. meerlaags kunststoffen, kunststoffen in elektronische apparatuur). Hierbij wordt gebruik gemaakt van het IMPACT model hetgeen zal leiden tot een circulair ontwerp van complexe kunststofketens (in samenwerking met de Topsectoren Chemie en HTSM rond composieten).
- Eerste opzet van een field lab circulaire plastics samen met een industriële en kennispartners.

In 2018 is de samenwerking in dit domein met diverse partners opgestart. Dit is gebeurd in het kader van de NWA, Topsector Chemie als ook van diverse H2020 projecten. We zien dat er veel dynamiek is als het gaat om Circulaire Kunststoffen. Diverse netwerken zijn aan het ontstaan en diverse initiatieven vinden plaats. In 2019 blijven we in navolging van 2018 anticiperen op al deze ontwikkeling en continueren we onze actieve verkenning naar welke mogelijkheden er zijn voor samenwerking met andere partijen in de circulaire kunststofketen en prioriteren onze deelname aan de veelheid aan initiatieven.

Voor **Circulaire bouw en infra** zijn de verwachte resultaten voor 2019:

1. Doorontwikkelen BOB-model (BOUwmateriaal in Beeld) door:
 - a. Forecasting van vraag en aanbod in BOB-model

- b. Technische innovatie in het BOB-model zetten
 - c. Validatie van gebouwprofielen door koppeling met Madaster.
2. Methodiek om bedrijfseconomisch de haalbaarheid vast te stellen van de waardering van bouwelementen (in termen als constructieve presentatie, economisch en CO₂) ten opzichte van de benchmark grondstof recycling en matching met kwaliteitseisen van nieuwe toepassingen.

We zien dat er veel dynamiek is in onze omgeving als het gaat om circulair bouwen; zo volgt uit de Bouwagenda de oprichting van het Bouw en Technologie Innovatie Centrum (BTIC) van TNO en de 4TU Bouw en andere kennisinstellingen waar circulaire economie van de relevante onderwerpen voor samenwerking zijn. CB23 is een initiatief van de bouwcampus, NEN en RWS, en is gericht op netwerkvorming om o.a. Circulaire Economie eenduidig te waarderen. Ook in asfalt-impuls ontstaat een netwerk dat gericht is op het eenduidig waarderen van circulaire economie in duurzaamheid. In 2019 blijven we anticiperen op al deze ontwikkeling en verkennen actief welke mogelijkheden er zijn voor samenwerking met andere kennisinstellingen, overheid, assetmanagers en de bouwkolom.

Circular seeds:

Omdat de dynamiek in het circulaire veld zo groot is, vinden wij het van belang om actief te kijken, scouten, naar nieuwe onderwerpen die de komende jaren relevant worden in dit domein. Hiertoe zal in 2019 een analyse plaatsvinden voor nieuwe kansen binnen de circulaire economie.

3.4 Dynamiek

De vorming van de TNO unit Circular Economy and Environment (CEE) heeft een extra impuls gegeven aan het onderzoeksveld circulaire economie binnen TNO. In de loop van 2018 is ook een nieuw programma P 515 Circulaire Economie van start gegaan. Dit programma is nog volop in ontwikkeling en de afbakening met VP 510 zal de komende tijd verder vorm krijgen.

Ten opzichte van het opgestelde meerjarenplan 2018-2021 is ervoor gekozen om vanaf 2019 **Risico's en Veiligheid** als apart speerpunt te benoemen. In 2018 vielen deze werkzaamheden nog onder het speerpunt Milieu en Gezondheid.

Bij het speerpunt **Milieu en Gezondheid** stond voor 2018 een pilot "Industrial worker" gepland, waarbij er real-time data analytics software voor het koppelen van sensor data zal worden ingepast binnen een user interface van een partner binnen de industrie. Hoewel gesprekken gaande zijn, neemt het vinden van een partner meer tijd in beslag dan vooraf voorzien. In 2019 zetten we de ingezette koers voort en zullen we blijven zoeken naar een partner om onze proof-of-concept, die inmiddels wel ontwikkeld is, toe te passen.

De dynamiek binnen **Circulaire Economie** is zeer groot. Er zijn veel spelers, die nog geen heldere positionering in het speelveld hebben. Bovendien zijn er vele initiatieven op vele niveaus, waarvan nog niet helder is of en hoe deze initiatieven ook daadwerkelijk starten, waaronder:

- Vervolg op de transitietafels
- Versnellingshuis
- Vervolg op de klimaattafels
- NWA routes als Circulaire economie

- NWO cross over
- Regiodeals
- Regio initiatieven, zoals TKI's (tenders) en opzet BTIC (bouw)
- Europese projecten en voorbereiding FP9

Om goed voorbereid te zijn in dit nog niet mature veld kiest TNO er voor om op een aantal consortia en samenwerkingen in te zetten en gezamenlijk te bepalen bij welke initiatieven wordt aangehaakt.

4 VP Circulaire Economie (P515)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	VP Circulaire Economie VP P515
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Marinke Wijngaard
Contactpersoon overheid of topsector	Murk de Roos Ministerie IenW / Oscar van den Brink (topsector Chemie)

4.1 Samenvatting

De wereldbevolking neemt in aantal toe, productie en consumptie blijven groeien. Dit leidt tot klimaatverandering, verslechtering van de kwaliteit van de leefomgeving (gezondheid, veiligheid en ecosystemen) en vermindering van grondstoffenvoorraden.

Nederland heeft de ambitie om in 2050 een circulaire economie te realiseren: duurzame circulaire ketens waarin grondstoffen volledig worden hergebruikt, geen afval wordt geproduceerd en alle gebruikte energie duurzaam is opgewekt. Met als (tussen)doelstelling om in 2030 50% primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) te gebruiken. Met deze doelstelling op grondstoffengebruik sluit Nederland aan bij het ambitieniveau in vergelijkbare landen. Eerder TNO onderzoek toonde aan dat het bevorderen van circulaire productketens kan leiden tot een extra toegevoegde waarde van 7 miljard Euro in 2025 en 54.000 extra banen in de komende 5 jaar.

TNO draagt bij aan de oplossing van dit vraagstuk door enerzijds verbeteren van het inzicht in de milieuproblemen en anderzijds het ontwikkelen van oplossingen. Veel goedkope en relatief eenvoudige maatregelen zijn inmiddels al doorgevoerd, wat resteert zijn de veel ingrijpender en complexere opties. We ontwikkelen verbeterde decision support tools, ontwerpen circulaire ketens en ranken nieuwe technologieën en ketenoplossingen op duurzaamheid. Bovendien ontwikkelen we technologieën voor recycling van in eerste instantie kunststoffen en bouwmaterialen die een duurzame bijdrage leveren aan de circulaire economie.

Dit programma is nauw afgestemd en interacteert met de programma's P510 Milieu en Duurzaamheid en P512 Environmental Technology.

Dit VP is nieuw en gedefinieerd in Q2 2018 en volop in ontwikkeling. Op basis van de eerste verkenningen die de komende tijd plaatsvinden bij de ontwikkeling van macro-economische modellen en life-cycle-analysis; naar nieuwe ontwerp- en productiemethodes voor kunststoffen; en naar vervanging en hergebruik van grondstoffen in de bouw zullen in overleg met de regievoerder de doelstellingen in de loop van het jaar bijgesteld en aangescherpt worden.

4.2 Korte beschrijving

Dit programma beoogt de volgende drie doelstellingen te bereiken:

1. *Methodologische vernieuwing van macro-economische modellen en life-cycle-analysis*
Ontwikkeling van modellen om complexe innoverende lineaire ketens te analyseren (en deze modellen te valideren), met name de invloed van technologieontwikkeling, gedrag- en gedragsveranderingen, waarde- en verdienmodellen en beleidsmaatregelen.
Onderwerpen die hieronder vallen, zijn: complexiteitsanalyse grondstoffen, impact van ICT en energietransitie op materiaalgebruik en circulaire economie, planetary boundaries, kwetsbaarheidsanalyse biotische grondstoffen voor vervanging van fossiel gebaseerde koolstofbronnen.
2. *Nieuwe ontwerp- en productiemethodes voor de Transitie Agenda Kunststoffen*
Ontwikkeling van methodologie en validatie ervan voor circulair materiaalontwerp en gebruik, mede op basis van ketenanalyses voor specifieke kunststoffen. Effectievere en veilige winning van materialen uit complexe samengestelde stromen voor hergebruik (lagere footprint, kosten, meervoudig recyclebaar) en voorkomen van onnodig materiaalgebruik en lekkage van afvalstoffen. Onderwerpen waar in ieder geval op gefocust zal worden zijn design for circularity (incl. safe-by-design en disassembly) via o.a. groene, veilige en slimme (nano)materialen, economische en ecologische impact, robotica en karakteriseringstechnologie voor sortering en herkenning, procestechnologie, -sensoriek en -modellen voor recycling van gelamineerde en/of gevulde kunststoffen en lichtgewicht (thermoplastische) composieten.
3. *Vervanging en hergebruik van grondstoffen in Transitie Agenda Bouw, gericht op Infra*
Ontwikkeling van methodologie en validatie ervan voor circulair ontwerp en gebruik van grondstoffen (focus op beton en asfalt), mede op basis van ketenanalyses, leidend tot een lagere CO₂/milieu footprint, kosten, meervoudig recyclebaar. Onderwerpen waar in elk geval op gefocust zal worden zijn methodieken voor waarden van milieu-impact en economische impact, inzet van alternatieve (secundaire, biobased of self healing) materialen, modelmatig voorspellen van (rest)levensduur op basis van metingen (mechanische en fysisch chemische (omgevings-)belasting), strategieën voor circulair ontwerp (incl safe-by-design, constructieve veiligheid en sloop/recycling mogelijkheden).

4.3 Resultaten 2019

De resultaten voor 2019 zijn als volgt geformuleerd. Gezien de korte looptijd van het huidig VP P515, zullen de onderstaande resultaten in Q3 nog verder worden uitgewerkt.

1. *Methodologische vernieuwing van macro-economische modellen en life-cycle-analysis*: Impact van nieuwe ICT en business modellen op materiaalstromen is in kaart gebracht, leidend tot een vernieuwing van TNO's macro-economische en LCA modellen; white paper gepubliceerd.

Samenwerking met: PBL en CBS.

Aansluiting op: (monitoringsprogramma voor) Rijksbrede programma Nederland Circulair 2050.

2. *Nieuwe ontwerp- en productiemethodes voor de TA Kunststoffen* Vervolg verkenning circulair ketenontwerp voor meerlaagse kunststoffen en/of composieten (afhankelijk van de strategie van de Topsectoren Chemie en HTSM) leidend tot een ontwerp en routes voor implementatie met als essentieel onderdeel een eerste verkenning van de opschaling van een chemische recycling technologie binnen het nieuw op te zetten Brightlands Sustainable Technology Center (BSTC).

Samenwerking met: Sitech, Universiteit Maastricht, Brightlands Chemelot Campus. Aansluiting op KIA Topsector Chemie en Transitieagenda Kunststoffen (onderdeel van Rijksbrede programma Nederland Circulair in 2050), NWA routes Circulaire Economie en Meten en Detecteren met vele partners, met name ook WUR/FBR, RIVM en TI Coast.

3. *Vervanging en hergebruik van grondstoffen in TA Bouw, gericht op Infra:* Methodiek om bedrijfseconomisch de haalbaarheid vast te stellen van de waardering van bouwelementen (in termen als constructieve prestatie, economisch en CO2) t.o.v. de benchmark grondstof recycling en matching met kwaliteitseisen van nieuwe toepassingen.

Samenwerking met: Rijkswaterstaat, Bouw Techniek en InnovatieCentrum (BTIC). Aansluiting op Bouwagenda / BTIC, Transitieagenda Bouw (onderdeel van Rijksbrede programma Nederland Circulair in 2050).

Gezien bovenstaande doelen en de grote dynamiek wordt met een aanzienlijk groter aantal partijen samengewerkt op (deel)gebieden, bijvoorbeeld platforms als Biorizon en Brightlands Materials Center, Wecycle, MVO Nederland, ECCM (incl. Voltachem), SAM, EBS, HT2FTW, TI COAST, ISPT, RIVM, WUR, CPB, PBL, IAS, CML, Rijkswaterstaat, RKI, 4TUBouw, de Bouwagenda, de Bouwcampus, Platform31, BouwendNL, nieuwe platforms zoals 3-D Makerszone of Polymer Science Park, Hierbij zal uitdrukkelijk ook samenwerking worden gezocht met bedrijfsleven (inclusief MKB), andere kennisinstellingen, universiteiten en hoge scholen en bestaande living labs.

4.4 Dynamiek

De vorming van de TNO unit Circular Economy and Environment (CEE) heeft een extra impuls gegeven aan het onderzoeksveld circulaire economie binnen TNO. Dit programma is in de loop van 2018 van start gegaan en is nog volop in ontwikkeling. De afbakening tussen dit programma en het VP Milieu en Duurzaamheid en het VP Milieutechnologie zal de komende tijd verder vorm krijgen.

De dynamiek binnen **Circulaire Economie** is zeer groot. Er zijn veel spelers, die nog geen heldere positionering in het speelveld hebben. Bovendien zijn er vele initiatieven op vele niveaus, waarvan nog niet helder is of en hoe deze initiatieven ook daadwerkelijk starten, waaronder:

- Vervolg op de transitietafels

- Versnellingshuis
- Vervolg op de klimaattafels
- NWA
- NWO cross over
- Regiodeals
- Regio initiatieven, zoals TKI's (tenders) en opzet BTIC (bouw)
- Europese projecten en voorbereiding FP9

Om goed voorbereid te zijn in dit nog niet mature veld kiest TNO er voor om op een aantal consortia en samenwerkingen in te zetten en gezamenlijk te bepalen bij welke initiatieven wordt aangehaakt (zie hiervoor).

Onze focus blijft daarbij in 2019 op: kunststoffen en bouw.

Gezien deze focus zijn we aangesloten bij resp. BTIC (Bouw Techniek en Innovatiecentrum) en het nieuw op te richten BSTC (Brightlands Sustainable Technology Center) in oprichting voor kunststoffen. Deze consortia omvatten een breed scala aan partijen binnen de sectoren.

5 Ondertekening

Delft, 20 september 2018

Dr.ir. M.G.M. de Kroon
Managing Director Buildings, Infrastructure & Maritime