

## DE TOEKOMST WORDT GEBOUWD

**Nederland is het resultaat van een eeuwenlang bouwproces, Nederland is het resultaat van maatwerk gedurende vele eeuwen. Er is land gewonnen, er is land verdedigd tegen het water, er zijn steden en dorpen gebouwd, er is infrastructuur gebouwd: van wegen en dijken, van polders en luchthavens. Mensen beleven het land, de ruimte, het (binnen) klimaat van gebouwen, en hebben verbinding met anderen via fietspad, spoor, snelweg, digital highway, water uit de kraan, vuil naar het stort en waterzuivering, elektriciteit voor levensbehoeften en luxe, droge voeten, veilige havens - een greep uit vanzelfsprekendheden die mede mogelijk gemaakt zijn door de bouw en civiele techniek.**

De ontwikkeling van de samenleving en de technologie vragen voortdurend aanpassing van de fysieke leefomgeving. Voorspellingen over de gevolgen van klimaatverandering zoals zeespiegelstijging, de noodzakelijke transitie naar decentrale, duurzame energieproductie en de noodzaak tot een gesloten kringloop voor grondstoffen, maakt een versnelde ontwikkeling en toepassing van innovaties in de gebouwde omgeving van groot belang, voor de huidige generaties, en alle die volgen.

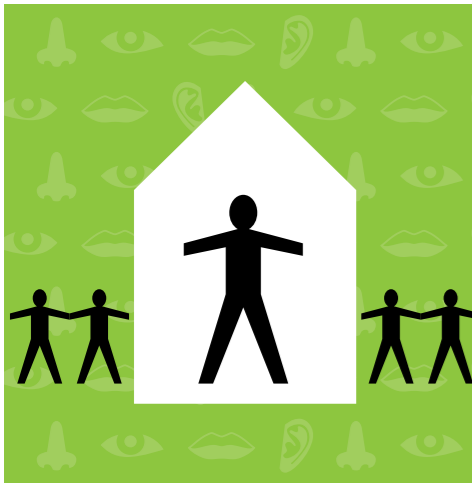
Desondanks kampt de bouw met het imago conservatief en versnipperd te zijn. Echter, de constructieve zekerheid van producten van de bouwsector zijn formidabel (voor infrastructurele objecten als waterkeringen is 100 jaar een absoluut minimum), de ontwikkelingen in de afgelopen decennia ten aanzien van

energiecomfort en – zuinigheid, nieuwe, slimme bouwmaterialen zijn spectaculair te noemen. De bouwsector is bij uitstek de omgeving waarin de innovaties uit talrijke vakgebieden in geïntegreerde vorm hun uiteindelijke toepassing vinden. Zo heeft bijvoorbeeld geen enkele innovatie zoveel kwaliteitsjaren aan het leven van de mens toegevoegd als adequate sanitatie in zijn leefomgeving. Publieke sanitatie is een goed voorbeeld van een historisch, en ‘ongoing’, project dat alleen tot stand kon komen door effectieve werking van de gouden driehoek tussen normstellende en faciliterende overheden, voortschrijdende inzichten vanuit onderwijs en wetenschappen, en voortvarende uitvoering door de private sector.

Daarom heeft het samenwerkingsverband van bouw-faculteiten van de drie Technische

Universiteiten in Nederland, 3TU.Bouw, in nauwe afstemming met de bouwsector en de hele bouw gerelateerde onderwijsketen, een 8-tal thema’s geagendeerd die richtinggevend zullen zijn voor toekomstig wetenschappelijk en onderzoek. Op basis van deze thema’s zijn vragen geformuleerd voor de Nationale Wetenschapsagenda, welke in de volgende pagina’s gepresenteerd worden. De toekomst wordt gebouwd!

## PERCEPTIE & ACCEPTATIE: DE MENSELIJKE MAAT



**Bouwen gaat in de eerste plaats over mensen van alle leeftijden, met verschillende culturele achtergronden en sterk uiteenlopende behoeften. Ze hebben behoefte aan beschutting, ontmoeting en samenzijn, maar ook aan vrijheid, herkenning, concentratie en rust; dit alles in een veilige en gezonde leefomgeving. Tegelijkertijd wordt hun leefomgeving steeds complexer. De wereld digitaliseert, de mens individualiseert en wordt ouder dan voorheen. Er worden hogere eisen aan burgerschap en persoonlijk initiatief gesteld. Daarnaast worden stedelijke gemeenschappen pluriformer en is opleiding een voorwaarde om mee te doen. Hoe kunnen ingrepen in de gebouwde omgeving bijdragen aan het leven van de mens als individu en als onderdeel van een gemeenschap?**

Alle ontwikkelingen in Nederland vinden plaats in een volledig door de mens gecreëerde omgeving die identiteit en herkenning verschaft, of juist gevoelens van onbehagen en achterstand doet ontstaan. Nederland blijkt een redelijk gelukkig land te zijn, maar toch wordt er steeds meer hinder ervaren van medeburgers, van bouwactiviteiten en van verkeer; fijnstof, stank, lichtvervuiling en geluidshinder. Hinderbeperking en flexibel bouwen worden belangrijker.

Door maatschappelijke trends zoals vergrijzing en veranderingen met betrekking tot wonen, zorg, pensioenen en multi-culturaliteit neemt de aandacht voor de wensen en behoeften van eindgebruikers en de vraag naar comfort, gemak en maatwerk toe.

De focus op techniek verandert naar een focus op de mens: de techniek socialiseert. De gebouwde omgeving moet niet alleen praktische en esthetische, maar ook ecologische en sociaal-maatschappelijk doelen dienen. Gebruikers moeten meer betrokken worden in processen in de bouw, co-creatie, om daarmee tegelijkertijd legitimiteit en acceptatie te borgen.

Daarnaast is het zaak dat de eindgebruiker professionaliseert, eventueel met digitale ondersteuning, om optimaal gebruik ten aanzien van de levenscyclus te bereiken. Er ontstaan nieuwe vraagstukken wat betreft privacy, de gebruiker mede-verantwoordelijk maken voor de openbare ruimte en het optimaliseren van de voordelen van dicht op elkaar wonen. Onderzoek is nodig naar passende ruimtelijke oplossingen en nieuwe voorzieningen, met een focus op de mens.

**civil society participierend  
burgerschap  
digitalisering  
gezonde leefomgeving  
individualisering  
netwerk samenleving  
vergrijzing en vergroening**

### science for science

Hoe gaan we om met de bestaande voorraad aan gebouwen die leeg staan of onderbenut zijn?

Hoe verhoudt de mens als individu zich tot een geautomatiseerde samenleving? En wat betekent de voortgaande sensor-dichtheid voor zijn privacy?

Hoe ziet het energie-landschap eruit bij decentrale productie na de energie transitie?

Hoe kunnen waarden, zoals comfort en esthetische kwaliteit, gedefinieerd, gemeten en beoordeeld worden als input voor sturing?

### science for society

Hoe kunnen we gebouwgebruikers professionaliseren en stimuleren dat zij het gebouw zo energiezuinig mogelijk gebruiken, zonder dat hun gezondheid in het gedrang komt?

Hoe kunnen we gebouwen ontwerpen die gezond zijn (optimaal binnenmilieu) of zelfs mensen kunnen genezen?

Hoe kun je de mens zich eigenaar laten voelen van de collectieve goederen in de bebouwde omgeving?

Hoe kunnen we door middel van architectuur en interactief ontwerpen de mens zo veel mogelijk stimuleren en ondersteunen in zijn dagelijkse bezigheden?

### science for competitiveness

Welke financiële arrangementen zijn nodig om meerdere functionaliteiten in de gebouwde omgeving te integreren?

Hoe ziet de economie van het flexibel gebruiken van gebouwen op de lange termijn er uit?

Hoe kunnen we de bebouwde omgeving hindervrij construeren en gebruiken met dezelfde kosten en kwaliteitsverhoudingen?

Hoe zorgen we dat energie en de bio-based economy niet ten koste gaan van voedselproductie?

Hoe zorgen we ervoor dat arme landen meeprofiteren van hun eigen grondstoffen?



## LEEFBAAR & EFFICIENT: SMART CITIES

**Over de hele wereld en ook in Nederland trekken steeds meer mensen vanuit landelijk gebieden naar de stad, er ontstaan nieuwe metropolen en mega cities. Daarnaast hebben demografische trends, zoals vergrijzing en kleinere huishoudens, een grote invloed op de stedelijke omgeving en haar samenstelling. Om steden leefbaar en toekomstbestendig te houden is een transitie van de stad noodzakelijk. Maar, de stad is een complex systeem dat niet met louter korte termijn maatregelen te veranderen is. Hoe ziet de stad van 2050 er uit en hoe kunnen wij hier naartoe werken?**

De stad is een samenspel van sociale, economische en ecologische factoren, die met elkaar in balans dienen te zijn. Problemen die momenteel urgent worden voor steden zijn een ongezond stedelijk klimaat, onveiligheid, wateroverlast en overlast door verkeer. In steden is ruimte nodig voor verduurzaming en vergroening, maar ruimte is schaars in Nederland. Anderzijds komen er steeds meer kantoor- en fabrieksgebouwen leeg te staan. Welke nieuwe technologieën zijn beschikbaar om hier een oplossing aan te bieden? Het smart city concept biedt hier vele mogelijkheden.

Smart cities zijn gebaseerd op nieuwe technologieën, zoals elektrisch vervoer, straatverlichting met sensoren en mobiele netwerken. Er is echter nog veel onderzoek nodig naar de toepassingsmogelijkheden

van deze nieuwe technologieën in de gebouwde omgeving. Dit onderzoek vraagt een samenwerking tussen stadsbewoners, stadsbestuur, onderzoeksinstituten en de bedrijfsleven. Daarnaast dient nieuwe kennis ontwikkeld te worden met betrekking tot stedenbouw en bestuurlijke instrumenten om zowel voor de lokale als globale schaal tot nieuwe oplossingen te komen.

Het is belangrijk dat zoveel mogelijk belanghebbende partijen betrokken hierbij worden en dat de resultaten van het onderzoek zichtbaar en tastbaar worden gemaakt. Zonder gericht onderzoek loopt Nederland als één van de dichtstbevolkte landen ter wereld het risico om aan leefbaarheid in te boeten, zolang problemen als toenemende verdichting, onveiligheid en een ongezond leefmilieu niet aangepakt worden.

**data**  
**erfgoed**  
**krimp en groei**  
**leefbaar**  
**openbaar**  
**privacy**  
**ruimtelijke ordening**  
**sensing**  
**smart city**  
**stedelijke omgeving**

### science for science

Hoe kan alle door sensors vergaarde data gefilterd en positief gebruikt worden?

Welke vereisten stelt de energietransitie aan de stedelijke omgeving?

Hoe kunnen we onze steden klimaatneutraal en klimaat-robust maken?

Wat is erfgoed en hoe kan bepaald worden wat de toekomstige waarde ervan is en welk type gebruik erbij past? Hoe kan techniek ingezet worden om het erfgoed te bewaren?

Kan door middel van toepassing van meer groen in de stad, eventueel aangevuld met andere technieken, de stedelijke omgeving CO<sub>2</sub> neutraal gemaakt worden?

### science for society

Hoe kan door middel van het 'smart city' concept de leefbaarheid in steden geoptimaliseerd worden?

Hoe kan een balans gevonden worden tussen privacy belangen en verregaande data vergaring?

Hoe kan door beleid op het gebied van ruimtelijke ordening steden beter bereikbaar worden?

Hoe kan toepassing van ontwerp en technologie leiden tot behoud en verbetering van een duurzame en open publieke ruimte?

### science for competitiveness

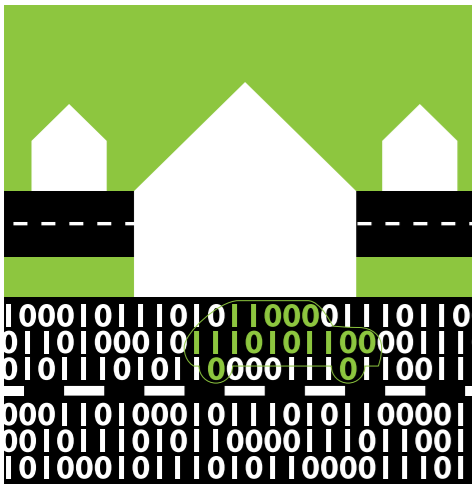
Hoe kunnen de best practices opgedaan in Nederlandse steden verpakken en vermarkten aan het buitenland?

Hoe kunnen we reeds toegepaste smart technologieën mee laten evolueren in de tijd?

Wie is eigenaar van door sensors vergaarde informatie? Hoe kan enkel relevante data naar organisaties gecommuniceerd worden?

Op welke wijze kan het zelf-producerend vermogen van stedelijke omgevingen worden gemaximaliseerd?

Hoe optimaliseer je op een respectvolle manier de opbrengsten van erfgoed?



## INFRASTRUCTUUR & VERVOER: SMART MOBILITY

De logistiek van grondstoffen, producten en personen is het belangrijkste fundament onder de economische ontwikkeling van een samenleving: Nederland heeft zijn huidige welvaart er grotendeels aan te danken. Kenmerkend voor mobiliteit en logistiek zijn twee verschillende aspecten: enerzijds de modaliteit, zoals auto, trein, schip, vliegtuig of pijp- of kabelleidingen, en anderzijds de onderliggende infrastructuur, zoals wegen, bruggen en tunnels, spoor, waterwegen en havens en luchthavens.

Modaliteit en infrastructuur dragen heel verschillende kenmerken, qua investering, levensduur en innovatiesnelheid. In het afstemmen van ontwikkelingen en beperkingen van beiden schuilt een grote maatschappelijke opgave.

Infrastructuur aanleggen vergt veel planning, grote investeringen en anticiperen op ontwikke-

lingen voor lange tijdsperiodes, soms langer dan 100 jaar. De structurele eigenschappen van deze infrastructuur zullen door gebruik en externe omstandigheden verouderen, terwijl veilig gebruik gewaarborgd moet worden. Hierdoor is er behoefte aan nieuwe monitoringstechnieken die op elk moment de gezondheidstoestand van een object kunnen weergeven en onderhoud- en vervangingscycli kunnen aansturen. Door de dichtheid van de netwerken zal aanleg, onderhoud en vervanging steeds complexer en duurder worden, terwijl de acceptabele last en barrièrewerking voor de omgeving geringer zal moeten worden.

Dit vraagt om nieuwe processen, contractvormen, tot multifunctioneel ontwerp en nieuwe in-place recycling en upgrading strategieën. Daarnaast veranderen de kenmerken en infrastructurele behoeften van vervoersmodaliteiten snel, terwijl de

eisen met betrekking tot veiligheid, geluidshinder en uitstoot vervuiling steeds strenger worden. De interface tussen de modaliteiten en hun infrastructuur wordt ook belangrijker: de uitdaging om goed functionerende multimodale knooppunten te verwezenlijken. Verder zal de rol van de bestuurder door voortgaande ontwikkelingen op het gebied van sensing en ICT steeds kleiner worden. Vervoersmiddelen digitaliseren snel, en zullen gaan interacteren met de omgeving.

Duurzame bereikbaarheid in snel verdichtende en qua vervoer dichtslibbende urbane regio's blijft een constante uitdaging. Hierin kunnen nieuwe geavanceerde verkeerssystemen een rol spelen om een optimale reistijd te laten samengaan met maximale veiligheid en geringste hinder. Tenslotte is het noodzaak te streven naar 100% emissieloos transport, ook wat betreft geluid en stank.

**asset management**  
**automatisch rijden**  
**collectief versus individueel**  
**hindervrije logistiek**  
**inpassing**  
**multi-modaliteit**  
**multifunctioneel**

### science for science

Welke nieuwe vervoersmiddelen en nieuwe infrastructuur kunnen de groter wordende verkeersstromen in goede banen leiden en hoe ziet het vliegtuig (auto, fiets, snelweg, etc.) van de toekomst er uit?

Wat is de invloed van toenemende virtuele infrastructuur op de behoefte aan fysieke infrastructuur?

Hoe kunnen vervoer en leefomgeving met elkaar geïntegreerd worden?

Leidt de ontwikkeling van zelfrijdende auto's uiteindelijk tot versmelting van openbaar en privaat vervoer?

### science for society

Wat is de rol van de mens in het vervoer in 2050; als actieve bestuurder of passieve passagier?

Hoe kunnen we verschillende vervoerssystemen met elkaar verbinden (multimodale knooppunten)?

In hoeverre kan infrastructuur hindervrij, en zonder barrièrewerking, in de gebouwde omgeving ingevlochten worden?

Hoe kunnen de paradoxale eisen aan infrastructuur, robuustheid en flexibiliteit, met elkaar gecombineerd worden.

### science for competitiveness

Welke investeringen in infrastructuur/leidingen/vaarwegen zijn nodig om Nederland de vervoerder van Europa te laten blijven?

Hoe kunnen we de zee gebruiken om energie op te wekken, zonder visueel of fysieke vervuiling te veroorzaken?

Hoe vermijden we parkeerproblemen op drukke locaties?

Hoe kunnen we files voorkomen, of tenminste reduceren?

Zijn luchthavens hindervrij en duurzaam te integreren in dichtbevolkte gebieden?

# INFORMATIE & INTERACTIE: INTELLIGENTIE IN DE BOUW

**De bebouwde omgeving bepaalt in belangrijke mate ons gevoel van welzijn. In een wereld van toenemende automatisering neemt het gebruik van robotica en ICT ook in de bouw toe. Dit leidt tot een virtuele infrastructuur die verschillende partijen en processen met elkaar verbindt, en bovenal een enorme hoeveelheid data en informatie produceert. Dit zal de manier van bouwen, de bouwplaats en daaraan gekoppelde processen ingrijpend gaan veranderen.**

De digitalisering van de bouw staat nog in de kinderschoenen. Met technologische innovaties en het beschikbaar komen van steeds meer informatie, zal op het gebied van het bouwproces, ketensamenwerking en –integratie nog veel winst te behalen zijn.

Ontwikkelingen zoals BIM, 3D-printing, sensors en drones zullen talrijke mogelijkheden bieden voor constructie en duurzaam beheer van onze leefomgeving. De integratie van verschillende informatie systemen en real-time data communicatie leidt momenteel echter nog tot veel problemen.

Daarnaast ontstaan nieuwe vraagstukken over de balans tussen openbaar en privé. De beschikbare hoeveelheid data gerelateerd aan de bouw is al enorm, en zal naar verwachting blijven groeien? Welke informatie hebben we nodig, en hoe wordt die informatie gedestilleerd uit data-sets? Welke data zijn er in de toekomst nodig, en kunnen we daar nu al op anticiperen? Hoe gaan we de informatie delen, binnen bouw- en beheerprocessen, met beleidsmakers en eindgebruikers?

Data science is daarom bij uitstek een kennisgebied dat de toekomst van de bouw en het beheer van de (openbare) ruimte gaat bepalen.

Momenteel ontbreekt het nog aan informatie en inzicht over de kansen en toepassingen van ICT ten behoeve van bijvoorbeeld het klimaat in gebouwen, comfort, gezondheid, welzijn en bovenal de menselijke interactie met technische systemen in gebouwen. Een sterke kennispositie over de inpassing van systeem innovaties in de gebouwde omgeving en effectieve toepassing van ICT in de bouw, zal de concurrentiepositie van Nederland blijvend kunnen versterken.

**3D printen**  
**BIM**  
**automatisering**  
**informatie**  
**virtuele infrastructuur**  
**monitoring**  
**prefabricage**  
**robotica**  
**sensing**

## science for science

Hoe zullen robotica en 3D printen het bouwen gaan beïnvloeden?

Kunnen constructies door een combinatie van slim monitoren en tijdige onderhouds-ingrepen, in de toekomst eeuwig meegaan? Welke informatie is hiervoor nodig?

Hoe ziet een toekomstbestendige virtuele infrastructuur er uit?

Waartoe leidt verdergaande automatisering van bouwprocessen (o.a. prefabricage)?

Hoe kunnen stamcel-materialen ontwikkeld worden, dwz materialen die zich aanpassen aan de omgevingseisen?

## science for society

Hoe kunnen verschillende systemen en installaties duurzaam en aanpasbaar geïntegreerd worden in gebouwen en infrastructuur?

Hoe kan door monitoring en reporting de veiligheid van de (bestaande en toekomstige) gebouwde omgeving verbeterd worden?

Hoe kunnen big data analyses gebruikt worden om sociale en culturele processen in de gebouwde omgeving te ondersteunen?

Hoe kan door middel van slim gebruik van data de hoeveelheid afval in een bouwproces verminderen?

## science for competitiveness

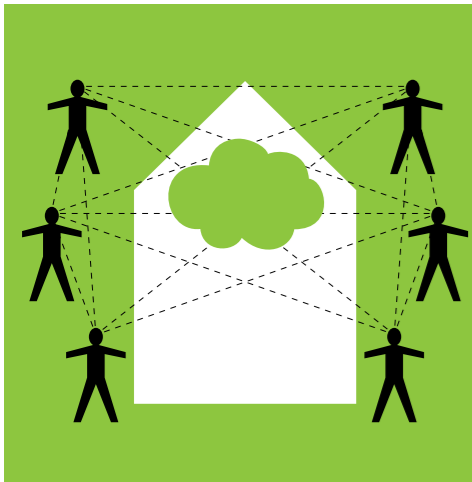
Hoe kan door middel van serious gaming en andere virtual reality technieken het bouw-, beheer- en gebruiksproces worden verbeterd?

Welke financieringsarrangementen zijn nodig voor het toepassen van innovatieve technologische toepassingen?

Welke nieuwe beleidsvormen (juridisch en regelgeving) zijn nodig om de automatisering van bouwprocessen te ondersteunen?

Hoe kan voorkomen worden dat bij het uitvallen van de elektriciteitsvoorziening de volledige virtuele infrastructuur plat komt te liggen?

# INTEGRATIE & ORGANISATIE: SMART CONSTRUCTION



**Opdrachtgeverschap en projectmanagement in de bouw worden in toenemende mate complex. In alle projectfasen, vanaf initiatief en ontwikkeling tot aan realisatie en beheer, zijn multi-disciplinaire, multi-stakeholder en multifunctionele processen geen uitzondering meer. Voor de 'license to operate' zal de bouwsector haar opdrachtgevers, omgeving en ketenpartners meer betrouwbaar en reëler tegemoet moeten treden. Verder is er een beweging richting meer zelfbouw en meer bouw op kleine schaal. Daarnaast wordt de bouwsector meer bipolair, met enkele grote spelers, en vele kleintjes.**

Door de economische crisis is een ontwikkeling in gang gezet richting een veel kleinschaligere bouw. Economische groei moet nu gezocht

worden in iets anders dan enkel het bouwvolume. Hiervoor zullen onder andere nieuwe marktpartijen en financieringsarrangementen nodig zijn. Er kan gedacht worden aan andere business modellen zoals huren in plaats van kopen, of financiering door middel van crowd funding. Daarnaast wordt transparantie van beleid en besluitvorming steeds belangrijker en wordt in toenemende mate waarde gehecht aan creativiteit en waarde creatie.

De toegenomen complexiteit van het bouwproces leidt tot nieuwe onzekerheden op het gebied van planning, kosten, tijdige voltooiing en uiteindelijke kwaliteit van het bouwwerk. Opdrachtgeverschap en de relatie met opdrachtnemers verandert en risico's verschuiven. Aan de ene kant worden opdrachtgevers en gebruikers ontzorgd ; aan de andere kant krijgen

stakeholders juist steeds meer zeggenschap in bouwprocessen. Zo ontstaan nieuwe werkvormen, zoals ketensamenwerking en integrale werkwijzen, met een heel scala aan nieuwe management uitdagingen van dien.

Een andere trend is de netwerk benadering ten aanzien van infrastructuur; er worden immer hogere eisen gesteld aan betrouwbaarheid van netwerken en voorzieningen. Verder liggen er grote uitdagingen met betrekking tot onderhoud en beheer. Voortgaand wetenschappelijk onderzoek is nodig naar nieuwe aanbestedings- en contractvormen, regelgeving, juridische kaders en financieringsmodellen. Hoe kan Nederland een gidsland worden op het gebied van lange termijn samenwerking en waarde creatie?

**aanbesteding**  
**contractvormen**  
**financiering**  
**integraliteit**  
**ketensamenwerking**  
**regelgeving**  
**smart construction**

## science for science

Hoe ontwikkelen we inclusieve (multi-stakeholder), coöperatieve werkwijzen voor stedelijke ontwikkeling?

Hoe kunnen methodes zoals Life Cycle management toegepast worden op processen die de duur van een mensenleven ver overstijgen?

Hoe kunnen moeilijk kwantificeerbare kwaliteitsaspecten van de gebouwde omgeving gebruikt worden in aanbestedingsprocedures (best value procurement)?

Hoe moet de bouwlogistiek georganiseerd worden zodat nergens in de keten meer voorraden nodig zijn?

## science for society

Wat is de toekomstige rol van verschillende (interne en externe) stakeholders in bouwprocessen, en hoe kan hier het best mee worden omgegaan?

Hoe kan binnen ketensamenwerking 'data op maat' met elke ketenpartner gedeeld en teruggekoppeld worden?

Ketensamenwerking: hoe is duidelijk waar verantwoordelijkheden en risico's liggen bij steeds dichtere samenwerking?

Wat voor opleidingseisen en expertise heeft de bouwer, projectmanager, architect en eindgebruiker in de toekomst nodig?

## science for competitiveness

Hoe kan het investeren in lange termijn oplossingen aantrekkelijker gemaakt worden en welke financiële constructies zijn hiervoor nodig (o.a. wanneer terugverdientijd > 100 jaar is)?

Welke nieuwe contractvormen zijn nodig als we overstappen naar huur van materialen en services in plaats van kopen, of naar financiering middels crowd sourcing?

Hoe kan kleinschaligheid kosteneffectief worden?

Is een aanvullend juridisch kader nodig voor ketensamenwerking en hoe moet deze ingericht worden?

# ENERGIE & GRONDSTOFFEN: CIRCULAR ECONOMY



**Onze huidige leefwijze legt een onevenredig groot beslag op schaarser wordende grondstoffen, water, ruimte en energie. Deze levenswijze gaat gepaard met belasting van de leefomgeving: CO2 en andere afvalgassen in de lucht, vervuiling van oppervlakte- en grondwater, contaminatie van de bodem door storten van afval.**

**klimaatverandering. Een groot deel van deze milieubelasting wordt veroorzaakt door de bouw. Het realiseren van een toekomst gebaseerd op duurzaam materiaal- en energiegebruik in de bouw is daarom van groot belang voor toekomstige generaties.**

De mens legt een steeds groter beslag op eindige hulpbronnen: fossiele energie en grondstoffen. Dit heeft grote impact op zijn leefomgeving. De

bouw legt een groot beslag op grondstoffen en energie; zo leidt de productie van cement alleen al tot 5% van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot. De bouw werkt met gefragmenteerde processen die geen rekening houden met de lange termijn milieubelasting en levensduur en hergebruik van materialen. De implementatie van een circulaire economie zou hier oplossingen kunnen bieden.

In een circulaire economie worden de belasting op het milieu en de kosten van beheer van de gehele levensduur van producten meegenomen en wordt gekeken hoe materialen en energie (eeuwig) hergebruikt kunnen worden met hetzelfde kwaliteitsniveau. Deze circulaire aanpak verschuift de focus van nieuwbouw naar hergebruik en richt zich op een omschakeling naar een bouwsector die geen afval meer produceert. De uitdaging is om voor zeer lange

gebruiksperiodes te ontwerpen, met inherent functionele flexibiliteit van de bouwwerken. De implementatie van nieuwe, circulaire processen als de basis voor een duurzame bouw is echter uitermate ingewikkeld.

De mogelijkheden voor het produceren van hernieuwbare energie en duurzame materialen zijn nog maar ten dele bekend. Daarnaast is er ook veel onderzoek nodig op procesniveau: nieuwe werkvormen, aanbestedingsprocedures, business modellen voor levensduur benadering of building with nature. Tenslotte zal het energielandschap veranderen van grootschalige installaties, naar decentrale productie. Kortom, de noodzakelijke energietransitie zal vergaande consequenties hebben voor de bebouwde omgeving

**bouw**  
**circulaire economie**  
**duurzaamheid**  
**energietransitie**  
**grondstoffen**  
**materialen**  
**recycling**  
**sloop**

## science for science

Hoe kunnen gebouwen, constructies en materialen flexibel hergebruikt worden?

Hoe ontwikkelen we materialen, voor veiligere en meer duurzame constructies, die niet verouderen, en liefst beter en sterker worden in de tijd?

Hoe kunnen de huidige afvalbergen gerecycled of hergebruikt worden als grondstof voor nieuwe materialen, ofwel: hoe maken we de stap van "duur slopen" naar "urban mining"?

Hoe kan 3D printen ingezet worden zodat minder materiaal en energie gebruikt wordt tijdens de bouwproductie?

## science for society

Hoe kan het gebruik van materialen en energie verminderd worden zonder op functionaliteit of comfort te hoeven inleveren?

Hoe motiveer je blijvend zoveel mogelijk mensen om mee te doen aan de 'circular economy'?

Hoe kan het circulair ontwerpen van producten de standaard worden?

Hoe kunnen robotica en automatisering materiaal- en energie-efficiëntie vergroten?

Hoe moeten bestaande gebouwen en stedelijke gebieden aangepakt worden om energetische prestatie radicaal te veranderen?

## science for competitiveness

Welke incentives en subsidies nodig om de circulaire economie mogelijk te maken?

Hoe kan het energienetwerk voorbereid worden op een sterk fluctuerende vraag en aanbod van duurzaam opgewekte energie?

Hoe kunnen de laatste restjes fossiele brandstoffen gebruikt worden om volledig over te stappen op duurzame brandstoffen?

Hoe kan het duurzame gebruik van de ondergrond gemonitord en gemanaged worden?

Hoe kan windenergie in de bebouwde omgeving rendabel worden?



## ANTICIPATIE & ADAPTATIE: KLIMAAT

**Vooral vanwege economische redenen trekken mensen steeds meer naar steden toe, steden die om dezelfde reden vaak in deltagebieden of aan grote rivieren liggen. Deze gebieden zijn extra kwetsbaar voor extreme weersomstandigheden. Klimaatverandering leidt vooral tot toename van deze extremen: wateroverlast, stormen en tornado's, extreme koude die het openbare leven verlamt, extreme droogtes die sanitatie, watervoorziening en stabiliteit van de ondergrond bedreigen, en periodes van extreme hitte die industriële productieprocessen stilleggen en tot verhoogde sterfte onder ouderen leiden.**

Door klimaatverandering zal de frequentie van extreme weersomstandigheden blijven toenemen. Retentie en nuttig gebruik van regenwater

wordt steeds relevanter en vraagt om een goede waterplanning van stedelijke gebieden als onderdeel van integraal watermanagement, welke wellicht te koppelen is aan een duurzame energievoorziening. Verder is het de vraag hoe de met wateroverlast gepaard gaande risico's verzekerd gaan worden. Kunnen cruciale installaties of woningen en infrastructuur in zeer overstromingsgevoelige gebieden niet beter worden uitgerust met intrinsiek 'drijfvermogen'?

Hier en daar zou het wellicht zelfs profijtelijk kunnen zijn het land, of alleen de infrastructuur en gebouwen te verhogen. Als Nederlandse steden niets doen aan hun klimaatrobustheid zullen ze binnen enkele decennia 's zomers een klimaat vergelijkbaar met dat rond de Middellandse Zee hebben, hetgeen grote gevolgen voor de volksgezondheid met zich meebrengt. Het in stedelijk

gebieden temperen van temperatuurextremen is van groot belang, en biedt tevens een mogelijkheid om buffers (warmte accu's) te implementeren, waarmee de gevolgen van temperatuurschommelingen over langere periodes uitgesmeerd kunnen worden en eventueel benut.

Extreme omstandigheden vragen ook om nieuwe ontwerpstrategieën en materialen voor wegen, bruggen en tunnels. Deze dienen robuust en betrouwbaar te blijven functioneren. Dit alles vraagt niet alleen om het vergroten van de voorspelbaarheid van het gedrag van materialen, constructies en systemen, maar ook van het weer en andere natuurfenomenen, zoals aardbevingen en vulkaanuitbarstingen. Zelfs als de vermeende oorzaken van klimaatverandering in de komende decennia volledig kunnen worden weggenomen, dan nog zullen de gevolgen zich lang merkbaar zijn.

**aanpassingsvermogen  
klimaatverandering  
natuurrampen  
robuustheid  
veilige delta-gebieden  
veiligheid  
voorspelbaarheid**

### science for science

Hoe kunnen steden voorbereid worden tegen extreme omgevingsomstandigheden (wateroverlast, hitte, maar ook aardbevingen)?

Hoe kunnen extreme weersomstandigheden (en andere natuurlijke fenomenen) en de effecten daarvan, nauwkeurig voorspeld worden?

Hoe kan het klimaat in Nederlandse steden op een dusdanige manier worden beheerst dat tegelijkertijd een duurzamer energiesysteem wordt gerealiseerd?

Hoe ontwikkelen we klimaatrobuste materialen en constructies (vorst en hitte bestendig)?

### science for society

Hoe kan de Nederlandse gebouwde omgeving waterveilig worden gemaakt, onderwijl bijdragend aan een effectievere inzet van water in het dagelijkse gebruik?

Hoe maken we doeltreffende en precieze voorspellende modellen voor waterveiligheid?

Hoe te anticiperen op grote hitte en extreme koude?

Hoe kan door bufferen het effect van droge/natte periodes gemitigeerd worden?

Hoe kunnen lokale overschotten, bijvoorbeeld van water of 'hitte', op plekken waar hieraan schaarste is worden ingezet?

### science for competitiveness

Wat is de relatie tussen water en stedelijke vernieuwing en ontwikkeling (watersteden, bereikbaarheid etc.)?

Kan biological engineering van materialen en 'bouwen met de natuur' leiden tot oplossingen die kunnen concurreren met traditionele technieken (bijvoorbeeld bacteriën injecteren in dijken)?

Hoe kunnen we gebouwen en infrastructuur ontwerpen die meelevend/aanpassen aan het klimaat?

Zorgen dat Nederland niet onderstroomt: hoe gaat een nieuw Deltaplan er uitzien, en hoe kan deze kennis over waterbouw en waterveiligheid ook voor andere landen nuttig zijn?

# INTEGRATIE VAN INNOVATIE: THE FUTURE STARTS NOW

**De meeste innovaties uit diverse wetenschappelijke disciplines vinden hun toepassing uiteindelijk in de gebouwde omgeving: in woningen, kantoren, fabrieken, bruggen, wegen, vliegvelden en hun installaties. De hoeveelheid aan ontwikkelde innovaties is enorm. Tegelijkertijd is het mogelijk dat bestaande optimale situaties weg-geïnnoveerd zijn: vervangen door iets nieuws dat niet noodzakelijk beter is. Wie kan dit allemaal overzien? Hoe meet en weeg je het belang van een ontwikkeling alvorens deze grootschalig toegepast is en er langdurig ervaring mee is opgedaan?**

Ontwikkelingen die lange termijn voordelen bieden, die zich uitstrekken voorbij de sterfelijkheidshorizon van individuen, kunnen

grote impact op de mensheid hebben. Maar de economie van de vrije markt is (nog) niet ingericht op voordelen en cash flows in een verre toekomst. Hoe kun je in het hier en nu bepalen of een technologie of beleidskeuze op zo'n lange termijn voordelen biedt? Verder blijven er talrijke veelbelovende technologieën 'op de plank liggen'. Alleen grootschalige toepassing gedurende langere tijd kan aantonen of een nieuwe technologie echt werkt, wat vervolgens de mogelijkheid geeft tot door- en uitontwikkeling en tot optimalisering van voordelen.

Dit vraagt echter om partijen die grootschalige risico's willen en kunnen dragen, partijen die vooroplopen en sturen. Zijn dat de overheden, internationale verbanden, NGO's?

De uitdagingen van vandaag zijn te groot om alleen maar door technische oplossingen beslecht te kunnen worden. Er zal een zeer breed gedeeld gevoel van noodzaak moeten ontstaan, er zullen snelle resultaten nodig zijn om het momentum te houden en te vergroten.

Er zal sturing moeten plaatsvinden, naar kennisbehoefte, de 'fog of information' over de prestatie van diverse alternatieve innovaties zal moeten optrekken. Innovatie vraagt om toepassing, testen in de praktijk, verwerpen of evolutionair verbeteren. Het vraagt intense samenwerking om technieken en processen verdergaand te integreren en te versimpelen. Dit gebeurt allemaal door mensen: hoe bereid je mensen in onderwijs en inspiratie voor op zo'n gezamenlijke uitdaging?

**Dutch disease  
economy of scales  
kennis management  
multidisciplinair  
onderwijs behoefte  
risico nemen  
samenwerken  
uitrol**

## science for science

Welke beleidsmaatregelen of andere triggers zijn er nodig om snel tot een grootschalige gedragsverandering te komen en hoe kan de overheid hier een gidspositie innemen?

Hoe kan het ontwerpproces zo ingericht worden ten einde de optimale implementatie van energie- en materiaal-efficiënte technologieën te garanderen?

Hoe kan het 'internet-of-things' helpen de doelstellingen ten aanzien van energie efficiency van gebouwen en infrastructuur te verwezenlijken?

## science for society

Hoe kunnen eigenaren van objecten in de gebouwde omgeving gestimuleerd worden om de kwaliteit van het object, dwz. energieconsumptie, onderhoud, aanpasbaarheid, leefklimaat etc., up-to-date te houden?

Hoe kan van de stedelijke omgeving een ecologische hoofdstructuur gemaakt worden?

Hoe kan het cyclische karakter van de vastgoedmarkt, welke leidt tot verwaarloosde gebieden en leegstand en verpaupering in de stad, doorbroken worden?

Hoe kunnen gemeenschappen collectief rentmeesterschap ontwikkelen ten aanzien van duurzame kwaliteit van alle aspecten van hun omgeving?

## science for competitiveness

Hoe kunnen wetenschappelijke onderzoeksresultaten en toepassingen daarvan, sneller de markt bereiken?

Hoe kunnen we prestaties van klimaat-afhankelijke (gebouw)innovaties in een Europese landkaart weergeven, zodat het product op meest efficiënte locaties kan worden verkocht?

Hoe kunnen life cycle prestaties van materialen en constructies objectief worden gemeten, gedissemineerd en toegepast?

Hoe kan nu al verdiend worden aan lange termijn oplossingen die voor toekomstige generaties geïmplementeerd worden?

Scientific Director - **Ulrich Knaack**  
Executive Director- **Alexander Schmets**  
Curator - **Siebe Bakker**

Ambassadors:

Delft University of Technology - Architecture:

**Frank van der Hoeven**

Delft University of Technology - Civil Engineering  
and Geosciences: **Jan Rots**

Eindhoven University of Technology - Built  
Environment: **Bauke de Vries**

University of Twente - Engineering Technology:

**André Dorée**

contact: [info@3tubouw.nl](mailto:info@3tubouw.nl)

Samenstelling op basis van bijdragen  
medewerkers Technische Universiteit  
Delft - Architecture & Civil Engineering  
and Geosciences, Technische Universiteit  
Eindhoven - Built Environment en Universiteit  
Twente - Engineering Technology;  
ondersteund door Bouwend Nederland.

redactie:

**Alexander Schmets** met **Siebe Bakker**,  
**Ulrich Knaack** & **Lisa Kuijpers**

design:

**Siebe Bakker** - bureaubakker

**Anna Karina Janssen** - Studio &J

**Dré Kampfraath** & **Frans Schupp** - creative  
projects (pictogrammen)