

› SAMEN WERKEN AAN EEN ENERGIE PRODUCERENDE GEBOUWDE OMGEVING

KENNISAGENDA ENERGIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING

TNO innovation
for life



KENNISAGENDA ENERGIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING

SAMEN WERKEN AAN EEN ENERGIE PRODUCERENDE GEBOUWDE OMGEVING

SAMEN WERKEN AAN EEN ENERGIE PRODUCERENDE GEBOUWDE OMGEVING

Energie staat hoog op de agenda van politiek, bedrijfsleven en kennisinstellingen. Vanuit de topsector Energie en het SER Energieakkoord worden ambities uitgesproken en acties in gang gezet. Het energiegebruik van onze gebouwde omgeving is hierin een belangrijke pijler. Tegelijkertijd baren de resultaten waar het energiebesparing betreft juist hier zorgen.

TNO is er van overtuigd dat, wanneer wij het innovatiepotentieel in de bouwsector en de partijen daaromheen weten te ontsluiten, de gebouwde omgeving een netto energieoverschot kan creëren dat kan worden ingezet om het energiegebruik in andere gebieden (zoals de industrie) te verduurzamen. Met daarbij een positief effect op werkgelegenheid en internationale concurrentiepositie van Nederland.

Om dat te bereiken is een focus nodig op een beperkt aantal sleutelonderwerpen. In de innovatieagenda die voor u ligt schetsen wij deze onderwerpen en de vragen die we in de komende jaren met elkaar zullen moeten beantwoorden.

Hiervoor zullen innovatieprogramma's moeten worden ingericht, waarin partijen met relevante expertise op het gebied van techniek, organisatie en gedrag de oplossingen van morgen ontwikkelen en deze vanaf een vroeg stadium in de praktijk te testen. Leren door te doen: technologie afstemmen op de context waarin ze gebruikt gaat worden en de context beïnvloeden zodat er plaats is voor innovatie.

In dit speelveld heeft TNO een centrale rol. Wij verbinden de relevantie partijen, ontsluiten de benodigde expertise en stellen bedrijven, overheden en kennisinstellingen in staat samen innovaties in de praktijk te realiseren en op te schalen tot wezenlijke oplossingen.

Wij kunnen dit niet alleen. Daarom nodigen wij u van harte uit om samen met ons invulling te geven aan de uitdagingen waarvoor wij gesteld staan.

Wij spreken elkaar gauw.

PETER PAUL VAN 'T VEEN
DIRECTOR BUILDINGS & INFRASTRUCTURES

HUUB KEIZERS
PROGRAM MANAGER ENERGY BUILT ENVIRONMENT

INHOUD

VISIE EN ROL **6**

DE KLIMAATDOELSTELLING IS HAALBAAR
DOOR INNOVATIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING **6**

TNO DRAAGT ACTIEF BIJ AAN HET MOGELIJK MAKEN
VAN DE BENODIGDE INNOVATIE **12**

ONDERZOEKSTHEMA'S **14**

EEN SAMENHANGEND PALET VAN INNOVATIES **14**

DEELONDERWERPEN PER THEMA **20**

VISIE EN ROL

› DE KLIMAATDOELSTELLING IS HAALBAAR DOOR INNOVATIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING

Er zijn krachtige doelstellingen geformuleerd voor de reductie van CO₂-uitstoot, maar de vraag is of we in staat zijn die doelstellingen te halen. Op Europees niveau is een reductie van 40% CO₂ (ten opzichte van 1990) en 27% hernieuwbare energie in 2030 afgesproken. Naar Nederland vertaald is dit een besparingsdoel van 1,5% per jaar en een aandeel van hernieuwbare energie van 14% in 2020. De Nederlandse doelstellingen zijn vastgesteld in het Energieakkoord: 100 PJ besparing in 2020 en een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050 [Borgingscommissie 2015]. Dit moet worden gerealiseerd door een combinatie van energiebesparing en duurzame opwekking.

De gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor 40% van de energieconsumptie en CO₂-productie van Nederland en speelt een essentiële rol met betrekking tot de oplossing van de milieuproblematiek. De realisatie van de doelstelling blijft op dit gebied echter achter. Hieraan liggen verschillende oorzaken ten grondslag. Naast technologische oplossingen vraagt dit ander gedrag van betrokkenen, andere werkwijzen, andere structuren. Technisch is al veel mogelijk. Toch blijken de huidige oplossingen nog niet het antwoord op het klimaatprobleem te leveren. Op dit moment zijn veel oplossingen nog niet rendabel, gebruikers voelen nog niet de urgentie om andere keuzes te gaan maken, initiatieven lijken succesvol, maar opschaling blijft uit, etc. Dit vraagt om gezamenlijke innovatie aan zowel de technische als aan de sociale kant.

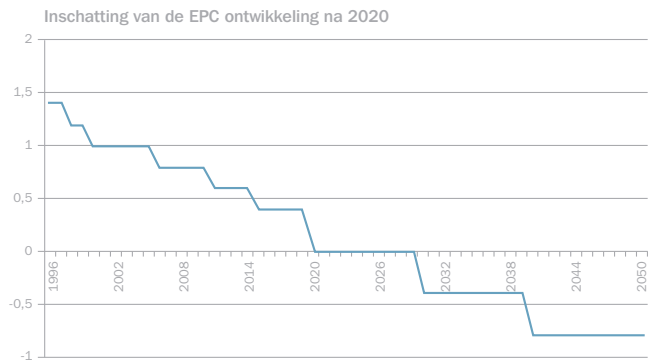
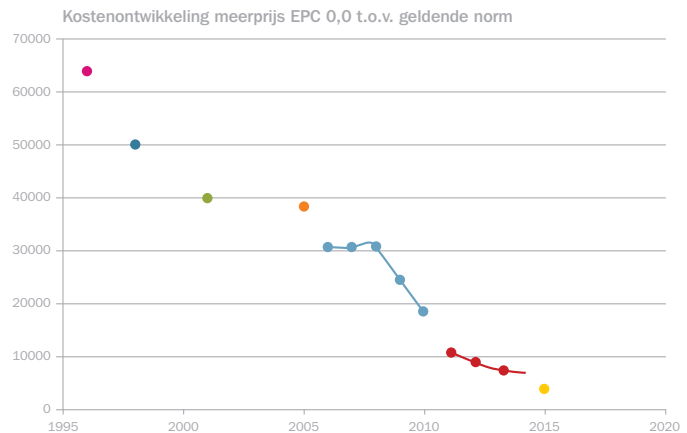
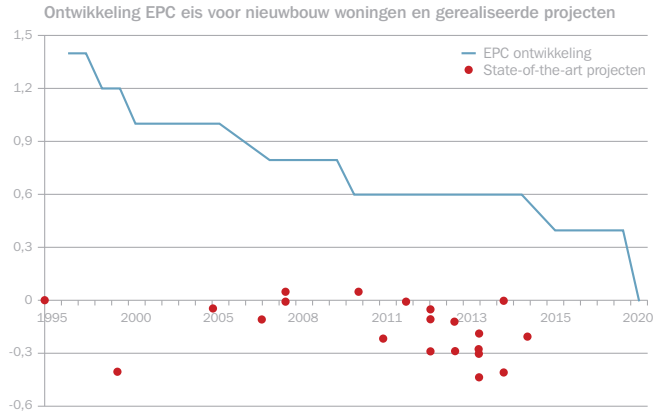
DOOR INNOVATIE ZIJN BESTAANDE DOELSTELLINGEN TE OVERTREFFEN

Met gerichte inspanning op het realiseren en toepassen van innovaties voor energiebesparing en duurzame opwek is de CO₂-doelstelling te halen. Sterker nog, TNO verwacht dat door innovatie de gebouwde omgeving meer energie kan produceren dan zij gebruikt.

Een belangrijke aanwijzing hiervoor is de technologische ontwikkeling altijd vooruit heeft gelopen op de geldende norm voor energiezuinig bouwen, de EPC-norm. De EPC-norm is sinds 1996 van kracht voor nieuwbouwwoningen. De gerealiseerde bouwprojecten hebben de norm altijd kunnen halen. Sinds die tijd zijn steeds nieuwe afspraken gemaakt over verlaging van de norm op een toekomstige datum. In 2020 zal de EPC-norm worden verlaagd naar 0,0*, wat betekent dat elke nieuw te bouwen woning vanaf 2020 evenveel energie produceert als dat zij gebruikt. Het gebruik-gebonden energiegebruik (bijv. wasmachine en televisie) is hierin niet meegenomen. Sinds 1995 is al in meerdere voorbeeldprojecten aangetoond dat een EPC van 0,0 haalbaar is. De meerkosten voor de realisatie van dergelijke ambitieuze projecten ten opzichte van de geldende norm nemen steeds verder af.

- * Dit betekent overigens niet dat nieuwbouwwoningen vanaf dat moment netto geen energie meer gebruiken. Met netto bedoelen we hier dat de energie die de woning levert aan het net gelijk is aan de energie die de woning van het net afneemt.

Door technologische ontwikkelingen lijkt het waarschijnlijk dat de norm ook na 2020 verder afgebouwd kan worden. Op basis van expertopinie is een conservatieve inschatting gemaakt van deze afbouw: naar verwachting zal rond 2030 de norm liggen op nul-op-de-meter, de woning wekt nu voldoende energie op om naast de energie benodigd voor verwarming en verlichting ook voldoende energie op te wekken om een gemiddeld huishouden van energie te voorzien. In 2040 wordt voorzien dat de norm ligt op 2x het eigeengebruik. Dit wil zeggen dat naast de energie die de bewoners van de nieuwbouwwoning gebruiken, voldoende



energie wordt opgewekt om ook in het eigengebruik van een ander huishouden te voorzien*. In het streven naar een energieneutrale omgeving is dit van belang omdat er ook woningen zullen blijven die netto energie gebruiken. Dit gebruik zal moeten worden gecompenseerd door woningen die netto energie leveren. Dit verloop van de aanscherping van de EPC-norm is een conservatieve inschatting. Naar verwachting zal de afbouw sneller gaan.

- *Er is geen directe relatie tussen de EPC-norm en het energiegebruik, om hier toch wat gevoel voor te krijgen is een inschatting gemaakt van een corresponderend EPC-normering, deze ligt voor eenmaal het eigengebruik op -0,4 en voor twee maal het eigengebruik op -0,8. Indien m.b.v. en lineaire trendlijn de historische ontwikkeling van de EPC wordt doorgetrokken tot 2050 wordt een EPC van ruim -1,2 bereikt.*

Het Planbureau voor de Leefomgeving becijferde eerder dat de CO₂-uitstoot met 80% afneemt wanneer woningen meer ingrijpend met diepgaander energiebesparing worden gerenoveerd [PBL, 2014]. Door daarnaast lokaal gebruik te maken van duurzame warmte, groen gas, wind en/of extra PV wordt een 100% klimaatneutraal gebouwde omgeving mogelijk. Hierbij is uitgegaan van bestaande technieken.

Ook TNO onderschrijft deze conclusie, met de kanttekening dat bestaande technieken nog vaak duur zijn, niet comfortabel zijn in gebruik of andere belemmeringen hebben waardoor er nog een grote afstand is tussen 'technisch mogelijk' en 'grootschalig toegepast'. Er zal dus een substantiële inspanning nodig zijn om wat technisch mogelijk is, ook in de praktijk toe te passen.

In de recente TNO rapportage over Vervangende Nieuwbouw [TNO, 2015], wordt een scenario uitgerekend waarin tot 2050 jaarlijks 168.000 woningen een labelstaprenovatie doorvoeren en 45.000 woningen per jaar worden vervangen. Deze vervanging betekent dat tot 2050 alle woningen* met een energielabel slechter dan D zijn vervangen door woningen van EPC O en lager. Wanneer deze renovatie en vervanging zou worden gerealiseerd

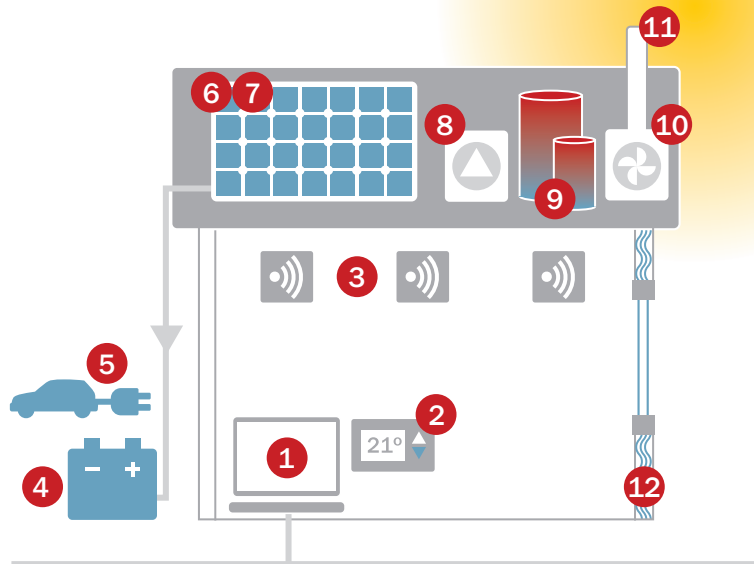
- *M.u.v. monumenten en (voorgenomen) beschermd stadsgezicht.*

wordt voor het woningbestand een besparing gerealiseerd van 47,1%. Om de resterende energievraag duurzaam in te vullen zal overal waar dat kan restwarmte moeten worden uitgewisseld, groen gas worden gebruikt en zonnepanelen op daken worden geplaatst. Dan blijft er nog een resterende energievraag over van 6,3 GW die bijvoorbeeld kan worden ingevuld door windenergie. Dit vraagt een oppervlak van 1,3 keer de provincie Utrecht. In deze berekening is echter alleen gekeken naar een combinatie van labelstaprenovaties en vervanging. Door ook een gedeelte van de woningen Nul-op-de-meter te renoveren kan naar verwachting een hoger besparingspercentage worden gehaald. Daarnaast is uitgegaan van de prestaties van de huidige technologie.

Om gevoel te krijgen van de mogelijkheden en uitdagingen om woningen energie-producerend te maken is een voorbeeldwoning, zoals die in 2050 zou kunnen bestaan, uitgewerkt. De woning levert energie aan het net, maar gebruikt deze niet als opslag. Wanneer er een energieoverschot is, wordt deze energie in de woning opgeslagen, zodat deze kan worden gebruikt op momenten dat de productie niet aan de vraag kan voldoen. Pas als deze voldoende zijn gevuld wordt energie geleverd aan het net. Om dit te bereiken is de woning uitgerust met buffers voor warmte met verschillende tijdschalen. Voor warmtapwater is een dagbuffer beschikbaar waardoor de warmtepomp gedurende een langere periode kan laden. Voor de periodes dat er onvoldoende zanaanbod is, is de woning uitgerust met een thermochemische seizoensopslag (9 gigajoule). Voor elektriciteit is een dagopvang beschikbaar (5 kWatt). Deze worden gevoed door dak- en eventueel gevel-geïntegreerde pv-panelen en zonthermische panelen.

De woning is voorzien van slimme bouwdelen waarin installatie componenten op een dusdanige manier zijn geïntegreerd dat er eenvoudig onderhoud kan worden gepleegd en de woning flexibel kan worden aangepast op veranderende vraagpatronen. De slimme bouwdelen, bijvoorbeeld in de vorm van klimaatadaptieve geveldelen, spelen op een actieve wijze in op het aanbod van

Energieproducerende woning op basis van 'demand response'



- 1 huishoudelijk energiecontrolesysteem & koppeling Smart Grid
- 2 slimme monitoring en controle
- 3 binnenmilieu sensoren
- 4 kortcyclische elektriciteitsopslag
- 5 mobiele elektriciteitsopslag
- 6 zonthermische panelen
- 7 dakgeïntegreerd PV
- 8 warmtepomp
- 9 dag- en seizoensopslag warmte
- 10 slim ventilatiesysteem
- 11 sensor buitenklimaat
- 12 slimme geveldelen

zonaanbod en aanbod van warme of koude buitenlucht. Zodat warmte op een effectieve manier wordt ingevangen, opgeslagen en afgegeven. Deze slimme bouwdelen zorgen er ook voor dat de blootstelling aan personen van schadelijke stoffen zoals fijnstof tot een minimum wordt beperkt.

Met behulp van een "huishoudelijk energiecontrolesysteem" wordt de optimale keuze gemaakt voor de inzet van beschikbare energiebronnen. Dit kan de energie zijn die op dat moment in de woning wordt geproduceerd of is opgeslagen, maar kan ook een overschot zijn van een lokale duurzame bron, of elektrische voertuigen die aan een laadpaal gekoppeld zijn. Door

› VISIE EN ROL

bijvoorbeeld ventilatie uit te stellen of door eerder of later te verwarmen door gebruik te maken van de gebouwmassa kan de energievraag worden vervroegd of vertraagd zodat het aansluit op de beschikbaarheid van duurzame energie. Door een slimme aansturing van de ventilatie kan daarbij comfort en een gezond binnenmilieu worden gehandhaafd. Door middel van verschillende sensoren in vertrekken en gericht op gebruikers wordt gezorgd dat in die ruimte waar personen aanwezig zijn het binnenmilieu comfortabel en gezond is. Daarnaast wordt de data uit deze sensoren en sensoren van installatiecomponenten via vereenvoudigde fysische modellen geanalyseerd om vroegtijdig onderhoud te signalen en de prestaties te borgen.

Een grote uitdaging voor de komende periode is om de verschillende componenten te dimensioneren en met elkaar te laten samenwerken. Bij wijzigingen in de gezinssamenstelling dient de woning daaraan te kunnen worden aangepast.

Niet alle gebouwen zullen energieproducerend zijn, bijvoorbeeld hoogbouw appartementen hebben boven een aantal verdiepingen verhoudingsgewijs te weinig dak of geveloppervlak, dit ondanks de stijgende efficiency van PV panelen. Hetzelfde geldt voor monumenten en meerlaagse kantoren en gebouwen met een hoog energiegebruik zoals supermarkten. Deze woningen gebruiken de surplus aan energie van gebouwen die netto produceren, daarnaast zal ter compensatie op gebiedsniveau duurzame opwekking worden gerealiseerd.

Eerste voorzichtige inschattingen laten zien dat netto productie mogelijk is, maar voor een energie producerende gebouwde omgeving zal vrijwel de gehele woningvoorraad moeten worden opgewaardeerd. Voor verschillende bouwtypes zullen oplossingen moeten worden gevonden en gebouw eigenaren zullen deze ook toe moeten passen. Om dit te realiseren staan wij voor een niet te onderschatten opgave. Echter, door vol voor een duurzame toekomst te kiezen en in te zetten op innovatie op het gebied van product, proces, gedrag en beleid wordt de realisatie van een dergelijk scenario mogelijk en kan zo een energieproducerende gebouwde omgeving worden bereikt. Mèt een positief effect op werkgelegenheid en internationale concurrentiepositie van Nederland.

DIT VRAAGT OM GOED OP ELKAAR AFGESTEMDE OPLOSSINGEN DIE DE GEBRUIKER CENTRAAL STELT

Om deze ambitie te realiseren moeten bestaande technologieën beter worden afgestemd op de wensen van gebruikers en geïntegreerd in concepten voor nieuwbouw en renovatie. De technologie moet worden doorontwikkeld om bijvoorbeeld de efficiëntie te verhogen. Maar ook innovatie is nodig om bijvoorbeeld de beschikbaarheid en gebruik van energie lokaal op elkaar op af te stemmen. Het is immers van belang dat energieproductie rondom gebouwen geen problemen geeft op de lokale en nationale energienetten.

Het is van belang dat het aanbod van duurzame-energie-opwekking en energiebesparingsmaatregelen beter gaat aansluiten op de vraag van gebruikers in de woning- en utiliteitsbouw. Dit zou moeten leiden tot gebouwen met de benodigde technologie, die tegelijkertijd de menselijke maat behouden, zodat gebruikers/bewoners een prettige woon-/werkomgeving hebben en deze eenvoudig aan hun behoeftes kunnen aanpassen. Energiemaatregelen zouden hierin optimaal moeten zijn afgestemd op gezondheid en comfort. Installaties en bouwkundige facetten van gebouwen zouden integraal met elkaar samen moeten werken, terwijl het mogelijk blijft onderdelen te vervangen door nieuwe technologie. De energieprestaties van gebouwen zouden (nog voor zij gerealiseerd zijn) gegarandeerd moeten kunnen worden en er zouden transparante en flexibele oplossingen moeten zijn gevonden om de invloed van gebruikersgedrag hierin mee te nemen.

Hiervoor is een industrie nodig van aanbiedende partijen die klantgericht en efficiënt is ingericht en zodoende aan de individuele wensen van hun klanten kan voldoen. Door het bieden van een totaalpakket van techniek, proces, financiering en verleiding wordt het voor klanten interessant energiemaatregelen te nemen. Tevens zullen de randvoorwaarden moeten worden gecreëerd waarin lokale partijen initiatieven kunnen ontplooiën om voor hun specifieke situatie collectief de kansen te benutten. En zijn regelgeving en stimuleringsmaatregelen nodig die de randvoorwaarden schept waarbinnen de noodzakelijke verandering plaats kan vinden.

› TNO DRAAGT ACTIEF BIJ AAN HET MOGELIJK MAKEN VAN DE BENODIGDE INNOVATIE

Dit vraagt om samenwerking. Om dit mogelijk te maken investeert TNO in innovatieprogramma's waarin relevante publieke en private partijen samenwerken om gezamenlijk de benodigde innovaties te verwezenlijken. Hierbij is het vroegtijdig testen van innovaties in de praktijk een belangrijke succesfactor. Daarnaast doen wij contractonderzoek om (groepen van) bedrijven en overheden te ondersteunen bij het realiseren van innovatie.

INNOVATIEPROGRAMMA'S

Met bedrijven creëren wij innovatieprogramma's waarin we niet alleen gezamenlijk kennis versneld kunnen ontwikkelen, maar ook de hoge risico's van deze ontwikkeling kunnen delen. Hierbij brengen we onze multidisciplinaire kennis samen met producenten, (toekomstige) gebruikers, bedrijven, overheden, financiers en professionals.

PROEFTUINEN

In proeftuinen wordt ervaring opgedaan met de ontwikkeling en inzet van slimme aanpakken om nieuwe energie-innovaties te testen en de ervaring op te doen die nodig is om deze succesvol op grote schaal gerealiseerd te krijgen. TNO brengt de relevante partijen bij elkaar en zorgt voor de beschikbaarheid van de benodigde expertkennis en de verspreiding van opgedane leerervaringen.

CONTRACTONDERZOEK

Daarnaast versterken wij de innovatiekracht van private en publieke partijen met op maat gesneden contractonderzoek. Dit betreft onderzoek, ontwikkeling en validatie van innovatieve concepten. Zo brengen we kennis snel naar de markt, omdat deze direct bruikbaar is. We beschouwen daarom contractonderzoek als een belangrijke pijler voor valorisatie.

VOORBEELDEN VAN INNOVATIEPROGRAMMA'S EN PROEFTUINEN WAARIN TNO ACTIEF IS

TNO is onder meer betrokken bij de volgende innovatieprogramma's:

BOUWCAMPUS

De Bouwcampus is zowel een fysieke plek in Delft met sociale faciliteiten waar partners elkaar ontmoeten, als een virtueel netwerk. De Bouwcampus nodigt uit tot interactie, vernieuwing en verbinding. Het wordt een broedplaats waar partijen in de bouwsector hun vernieuwingsopgaven in een co-creatie laboratorium kunnen neerleggen, én gezamenlijk werken aan innovatieve bouwpraktijken.

SOLLIANCE

Solliance is een samenwerking tussen TNO, TU Eindhoven, Holst Centrum, ECN, Imec, het Forschungszentrum Jülich, de TU Delft en de Universiteit van Hasselt en richt zich op onderzoek en ontwikkeling van dunne film fotovoltaïsche zonne-energie (PV).

SEAC

SEAC is een onafhankelijke kennisinstelling, opgericht in 2012 op initiatief van ECN, TNO en Holland Solar. SEAC werkt op het gebied van zonne-energie systemen en applicaties, waaronder zowel fotovoltaïsche (PV) als zonnewarmte systemen.

OPEN INNOVATION CENTRE

TNO, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en Energy Academy Europe (EAE) starten een unieke samenwerking om de grote energievraagstukken voor de toekomst te gaan beantwoorden. In het nieuw op te richten

“Open Innovation Centre” bundelen zij hun krachten om met interdisciplinaire onderzoeksprogramma's de overgang naar een duurzame energiehuishouding in Nederland en Europa een grote stap vooruit te brengen.

ENTRANCE / HESI

Bij EnTranCe – het Centre of Expertise Energie van de Hanzehogeschool Groningen en Energy Academy Europe – bouwen studenten, onderzoekers, ondernemers, bedrijfsleven, publiek en TNO gezamenlijk aan de duurzame samenleving van morgen. Op deze locatie zal TNO met de HESI facility zich richten op de systeemintegratie aspecten van de energietransitie, waarin elektriciteit, warmte en gas in relatie tot elkaar onderzocht worden.

AEDES

TNO en de vereniging van woningcorporaties Aedes geven het stappenplan “Op weg naar regisserend opdrachtgeverschap” vorm door een programma waarbij een vijftal kernpartners; Woonconcept, SSHN, ZOwonen, Tablis wonen en Groenwest een hoofdrol vervullen. Het programma met de kernpartners bestaat uit een visiebijeenkomst, per partner een audit om de managementprocessen in beeld te brengen en een confrontatiebijeenkomst om de organisatieontwikkeling in beeld te brengen. Tenslotte wordt in een breder verband tooling ontwikkeld en een gezamenlijke slotbijeenkomst gehouden.

TNO zet in op de versterking van de inzet in dergelijke innovatieprogramma's, proeftuinen en contractonderzoek om samen met relevante publieke en private partijen de benodigde innovatie voor een energieproducerende gebouwde omgeving mogelijk te maken.

ONDERZOEKSTHEMA'S

Om de Europese en Nationale doelstellingen te behalen op het gebied van energie in de gebouwde omgeving, zullen niet alleen bestaande methoden en technieken moeten worden toegepast en doorontwikkeld, ook zal een aantal sleuteltechnologieën van lab en veldexperimenten naar grootschalige toepassingen moeten worden getild. Hiervoor is ook nodig dat de bouwindustrie zich klantgericht en efficiënt organiseert en zullen de randvoorwaarden moeten worden gecreëerd waarbinnen de noodzakelijke verandering plaats kan vinden.

› EEN SAMENHANGEND PALET VAN INNOVATIES

TNO ziet hierin zeven onderzoeksthema's waarbinnen kennis zal moeten worden ontwikkeld:

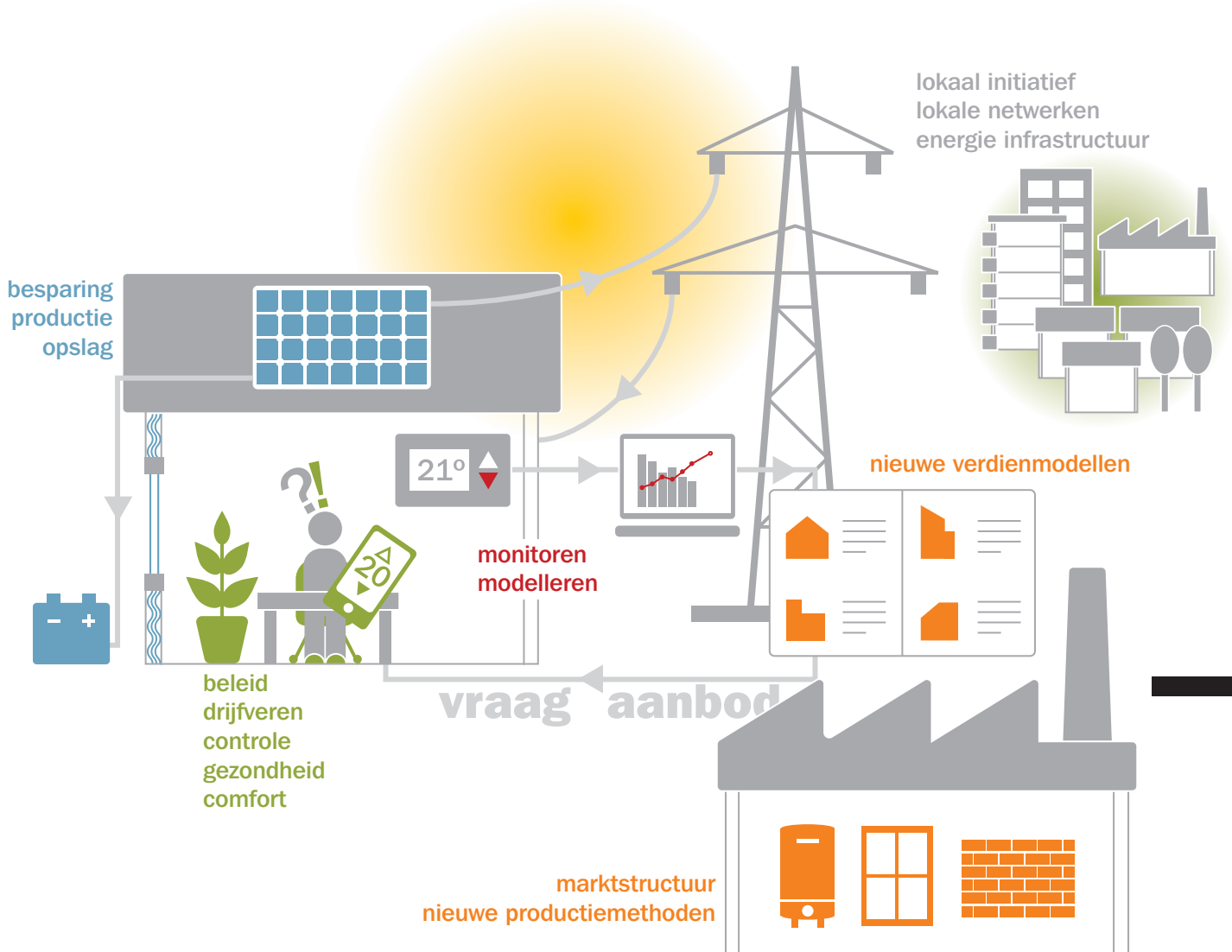
- 1 STIMULEREN VAN DE VRAAG**
- 2 ORGANISEREN VAN HET AANBOD**
- 3 INZICHT IN FEITELIJKE ENERGIEPRESTATIES**
- 4 BESPARINGSMAATREGELEN**
- 5 DUURZAME ENERGIEPRODUCTIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING**
- 6 ENERGIEOPSLAG**
- 7 SAMENSPEL MET OMGEVING EN ENERGIENETWERK**

De onderzoeksthema's zijn grofweg in twee groepen te verdelen: technologische en sociale thema's. Naast technologische innovatie is innovatie in het sociale domein nodig om de realisatie van de potentie van technologische vernieuwing in de praktijk zo groot mogelijk te maken. De onderzoeksthema's zijn dus enerzijds gericht op het zo groot mogelijk maken van de technische potentie (door bijvoorbeeld zonnepanelen nog efficiënter te maken) en

anderzijds om de toepasbaarheid in de praktijk te vergroten (door beter af te stemmen op wensen van gebruikers, door technologie zo te ontwikkelen dat het goedkoper wordt, etc.). In alle onderzoeksthema's is een samenspel van technologische en sociale innovatie nodig om de benodigde doorbraken te bereiken.

De samenhang tussen de onderzoeksthema's wordt duidelijk in onderstaande figuur.

De onderzoeksthema's worden op de volgende pagina's verder uitgewerkt.



1 STIMULEREN VAN DE VRAAG

Marktpartijen, overheden en belangenorganisaties zijn op zoek naar manieren waarop consumenten en bedrijven kunnen worden aangezet daadwerkelijk in actie te komen. Daarvoor is inzicht nodig in de *drijfveren* en barrières van eindgebruikers ten aanzien van de gedragingen die de transitie van ze vraagt. Energiebesparing alleen is in veel gevallen onvoldoende aanleiding om tot actie te komen, hiervoor zijn vaak ook andere motiverende redenen nodig zoals comfort of verlenging van de exploitatietermijn.



De gebruiker is zich vaak niet bewust hoe zijn handelen het energiegebruik beïnvloedt. Als de gebruiker zich er al van bewust is, is de gebruiker vaak niet in staat de werking van installaties of haar eigen gedrag aan te passen, terwijl de energiebesparende maatregelen die worden toegepast daar in toenemende mate om vragen. De vraag is dus hoe de *gebruiker meer controle* over het energiegebruik kan krijgen.

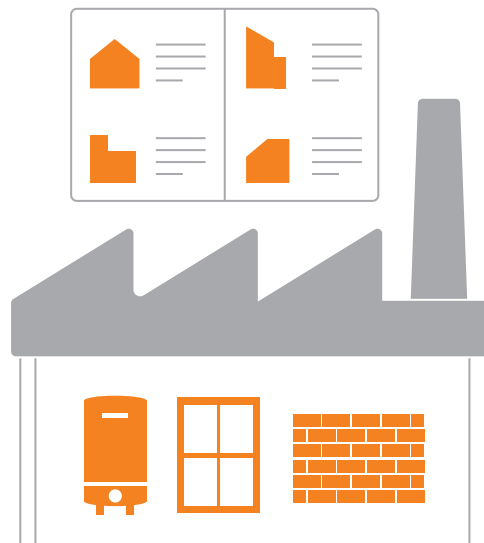
Daarbij leidt een eenzijdige focus op energie tot ongewenste effecten op *gezondheid en comfort*. Door deze aspecten integraal mee te nemen worden betere concepten ontwikkeld, waarbij comfort en gezondheid als extra argument kan worden gebruikt voor het nemen van energiebesparende maatregelen.

Overheden staan voor de vraag hoe zij vanuit hun rol een samenhangend palet van *beleid, regelgeving, stimulerende maatregelen* en lobbyactiviteiten de randvoorwaarden kunnen creëren waarbinnen bedrijven en burgers invulling kunnen geven aan de opgave.

2 ORGANISEREN VAN HET AANBOD

De markt voor energiebesparende maatregelen in de bouw bestaat uit een klein aantal grote spelers die met name werken voor de zakelijke markt (inclusief woningcorporaties) en een groot aantal kleinere spelers die naast de zakelijke markt ook de particuliere markt bedienen. Voor kleinere partijen blijkt het lastig om bij te blijven met alle innovaties op energiegebied, waardoor deze minder vaak worden toegepast dan gewenst. Door de *markt* op een andere manier te organiseren en oplossingen te bieden voor kleinere partijen om hun kennis up-to-date te houden kan beter worden voldaan aan de, soms latente, vraag.

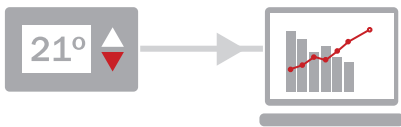
De bouwindustrie maakt steeds vaker *geïntegreerde concepten* voor renovatie, vervanging en nieuwbouw. In plaats van een projectgebaseerde organisatie waar vanuit een bestek wordt gebouwd op de bouwplaats wordt de bouw steeds meer product georiënteerd, waarbij variaties van een standaard ontwerp worden gebouwd. Deze gestandaardiseerde concepten worden steeds vaker in een *geïndustrialiseerd* proces in de fabriek vervaardigd en op de bouwplaats geassembleerd. BIM en automatiseren van opname en productie speelt hierin een grote rol.



Rond energiebesparing in de gebouwde omgeving is regelmatig sprake van 'split incentives' omdat de kosten en baten bij verschillende partijen liggen. Er ontstaan *nieuwe verdienmodellen* zoals DBFMO (design, build, finance, maintain en operate) en ESCO's (energy service companies) die hier oplossingen voor bieden, prestatiecontracten zoals bij de Stroomversnelling Huur van NOM woningen zijn daar een voorbeeld van. Om de potentie van deze verdienmodellen te benutten zullen deze meer algemeen toepasbaar moeten worden gemaakt.

3 INZICHT IN FEITELIJKE ENERGIEPRESTATIES

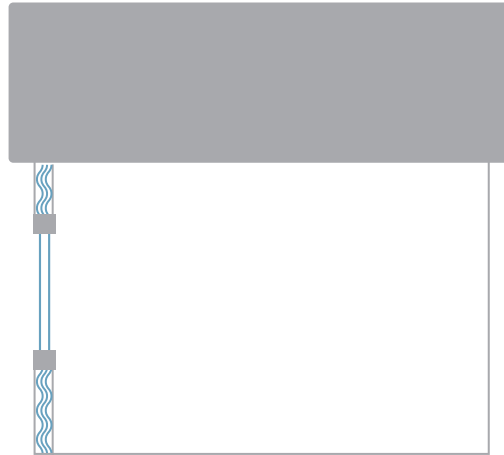
Wat draagt werkelijk bij aan -besparing en wat 'lijkt een goed idee' maar blijkt in de praktijk anders uit te pakken? Waar oudere gebouwen beter lijken te presteren dan voorspeld, lijken zuinige gebouwen gemiddeld genomen minder goed te presteren dan verwacht. Om te kunnen sturen op het behalen van de klimaatdoelstellingen moet zicht zijn op feitelijke energieprestaties. Gebouwen en installatie worden steeds complexer, onder meer omdat de optimalisatie in de interactie tussen gebouw, installatie, weersomstandigheden en gebruiker steeds crucialer wordt. Daarmee wordt het ook steeds lastiger om te zien of energetische prestaties worden gehaald.



Tegelijkertijd vraagt de markt steeds vaker om gegarandeerde energieprestaties. Voor veel nieuwe verdienmodellen is deze garantie zelfs een voorwaarde om te kunnen bestaan. Meten van en inzicht in de invloed van gebouwprestatie en gebruiksgedrag op de energieprestatie en hun interactie maakt het mogelijk betere concepten te maken, betere prestaties te behalen tijdens de gebruiksfase en de energieprestatie te beoordelen en te garanderen.

4 BESPARINGSMAATREGELEN

Sinds de jaren '80 zijn er flinke stappen gemaakt in het reduceren van de warmtevraag van gebouwen. Er is veel kennis opgedaan over verschillende materialen en bijvoorbeeld het voorkomen van koudebruggen. Daarnaast staat de ontwikkeling van klimaat adaptieve gebouwdelen nu in de kinderschoenen. Waarbij bijvoorbeeld de gevel een actieve rol gaat spelen in het reguleren van het binnenklimaat door als buffer te fungeren.



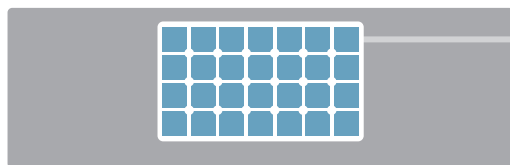
Door de verbeterde isolatie en luchtdichtheid van de gebouwschil speelt het ventilatiesysteem een steeds belangrijkere rol. Ook is hierdoor oververhitting in toenemende mate een punt van aandacht. Om deze reden is het aandeel van koelenergie in het totale energiegebruik in gebouwen de afgelopen jaren toegenomen. In de komende jaren zal de koelbehoefte verder toenemen. Het reduceren van de koude-vraag en verbetering van comfort kan bereikt worden door het verder verbeteren van de combinatie en (onderlinge) regeling van diverse klimatiseringssystemen. Ook robuustheid van klimaatsystemen is een belangrijk aandachtspunt om beoogde kwaliteit te kunnen behalen en garanderen.

5 DUURZAME ENERGIEPRODUCTIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING

Op het gebied van *duurzame energieproductie* in gebouwen ligt de nadruk op de ontwikkeling van warmtepomp technologie en zonnecollectoren voor de productie van elektriciteit en warmte.

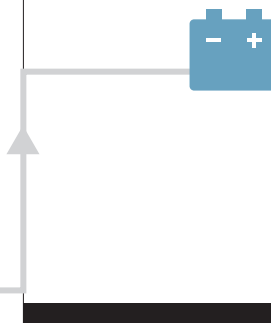
De laatste jaren is er veel aandacht voor *warmtepomptechnologie*. Technologieontwikkeling richt zicht met name op de toepassing van regelbare DC-compressoren voor betere integratie met decentrale PV opwekking en het integreren van warmtepompen in smart grids. Als gevolg van het uitfasen van verschillende koudemiddelen neemt de aandacht voor alternatieve warmtepomptechnologie toe.

De technologie voor *zonthermische systemen*, zoals zonneboilers is op zichzelf is volwassen. Complicatie is dat de technologie wordt geïmplementeerd door installateurs voor wie dit geen dagelijkse praktijk is, waardoor de technologie op systeemniveau soms niet de prestaties haalt die mogelijk zijn. Daarnaast zorgt de toenemende toepassing van douchewater warmteterugwinning voor een minder goede terugverdientijd. Hierdoor verliest de technologie terrein ten opzichte van PV. *Zon-PV* wordt steeds meer toegepast, doordat de technologie een hoge mate van volwassenheid heeft bereikt en daarnaast de economische haalbaarheid voor particulieren op een acceptabel niveau is gekomen.



6 ENERGIEOPSLAG

Een aspect waar nog weinig aandacht voor is, is de ongelijktijdigheid van duurzame energieopwekking en de energiebehoefte. De huidige concepten maken meestal gebruik van het elektriciteitsnet voor het afgeven van opgewekte energie (salderen) en het afnemen van energie wanneer onvoldoende wordt geproduceerd. Elektriciteit van zonnepanelen wordt overdag geproduceerd en aan het net geleverd terwijl de elektriciteit die 's avonds wordt gebruikt aan het net wordt onttrokken. Dit stelt zware eisen aan het net. Hetzelfde geldt in steeds sterkere mate voor warmte. Systemen zoals passiefhuis en warmte- koude opslag (WKO) laten zien dat kort cyclische (dag/nacht) en lang cyclische (zomer/winter) opslag van warmte interessant is. De huidige technieken voldoen echter niet in voldoende mate. Verbeterde *conversie en opslag* op gebouw, wijk en regionaal niveau voor warmte en elektriciteit kunnen hierin een oplossing bieden.

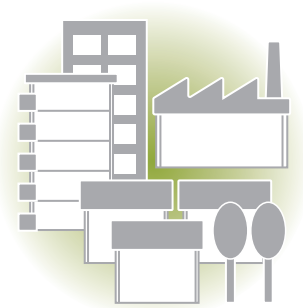
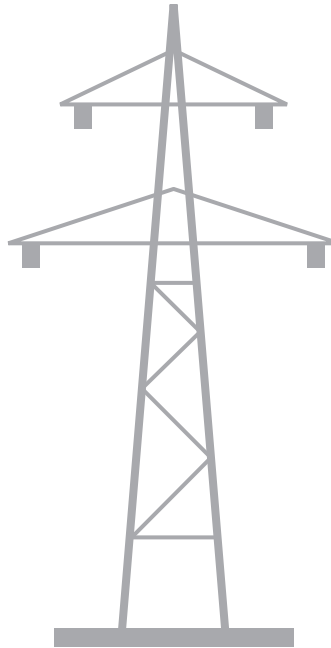


7 SAMENSPEL MET OMGEVING EN ENERGIENETWERKEN

Een energieneutrale gebouwde omgeving bestaat uit een optelling van het energiegebruik van alle gebouwen die zich daarbinnen bevinden. Voor het bereiken van de doelstellingen is het niet zinvol de gebouwen afzonderlijk van elkaar te beschouwen. Natuurlijk zal per gebouw moeten worden gekeken hoe deze zo energiezuinig mogelijk kan worden gemaakt. Maar in veel gevallen kunnen efficiënte oplossingen worden gevonden als er wordt gekeken naar de *omgeving*. Door het energiegebruik van gebouwen slim te koppelen en te sturen kan lokaal vraag en aanbod op elkaar worden afgestemd. Ook kunnen *collectieve oplossingen*, zoals een warmtenet efficiënter zijn dan individuele oplossingen.

Bij het tot stand komen van energieneutrale wijken zijn een groot aantal – en zeer diverse – actoren betrokken. Voor een groot deel zijn dit lokale actoren, zoals bewoners en gebruikers van gebouwen en openbare ruimte, eigenaren van woningen en gebouwen, lokale en regionale overheden (bijv. met regelgeving en fondsen van de verkoop van energiebedrijven), maar ook minder lokale actoren zoals technologiebedrijven, netbeheerders, energieleveranciers, investeerders zoals pensioenfondsen en banken etc. Ieder van deze actoren beschikt over slechts een deel van de benodigde middelen (zoals financiën, eigendom, draagvlak, technologie, kennis, informatie, wettelijke kaders etc.) om de energieneutraliteit van wijken en gebieden te realiseren.

Tot slot is in Nederland een robuust *nationaal energienet* beschikbaar, die gekoppeld is met diverse Europese landen. Dit net is oorspronkelijk ingericht op centrale productie en decentraal gebruik. Dit netwerk is in zekere mate geschikt voor de toevoeging van lokale productie, maar zal robuust moeten worden gemaakt zodat het flexibel om kan gaan met fluctuaties in energiegebruik en energievraag.



› DEELONDERWERPEN PER THEMA

Voor de realisatie van de vraagstukken die in de onderzoeksthema's zijn geschetst is kennis- en technologieontwikkeling nodig. Per thema zijn deelonderwerpen benoemd die op korte-, middel- en lange termijn dienen te worden ontwikkeld om de gestelde doelstellingen te realiseren:

Thema's en deelonderwerpen

Stimuleren van de vraag

- Beleid voor een energieproducerende Gebouwde Omgeving
- Drijfveren en barrières van eindgebruikers
- De gebruiker in control
- Comfort en een gezond binnenmilieu

Organiseren van het aanbod

- Klantgerichte marktstructuur
- Nieuwe verdienmodellen
- Nieuwe productiemethoden

Inzicht in feitelijke energieprestaties

- Energieprestaties modelleren
- Energieprestaties monitoren

Besparingsmaatregelen

- Persoonlijke en gezonde warmtevraag en koelvraag
- Klimaat adaptieve gebouwdelen
- Vraagsturing ventilatie
- Energiezuinige en slimme verlichting

Duurzame energie productie in de gebouwde omgeving

- Warmtepompen
- Zonthermische systemen
- Zon PV systemen

Energieopslag

- Opslag van elektriciteit
- Warmte en koude opslag (WKO)
- Compacte Thermochemische Opslag (CTO)

Omgeving en energienetwerk

- Energiemanagement op gebouw en wijkniveau (warmte, elektriciteit)
- Warmtenetwerken en restwarmtebenutting
- Optimale benutting bestaande energie infrastructuur

In de omslag wordt weergegeven welke rol TNO wil spelen in de verschillende deelonderwerpen.



WILT U MEER INFORMATIE OVER DE DEELONDERWERPEN?

ER IS EEN UITGEBREIDE KENNISAGENDA BESCHIKBAAR. DEZE IS TE VINDEN VIA ONZE WEBSITE: WWW.TNO.NL. IN DEZE KENNISAGENDA IS PER DEELONDERWERP INFORMATIE BESCHIKBAAR OVER DE STAND DER TECHNIEK, RELEVANTE TRENDS, OPENSTAANDE KENNISVRAGEN EN DE ROL DIE TNO WIL SPELEN IN DE REALISATIE VAN DE BENODIGDE INNOVATIES.

REFERENTIES

- Actieteam Innovatie, Geraedts, Rob (red.): 'Routekaart Innovatieakkoord Bouw'; Actieagenda Bouw – eindverslag Actieteam Innovatie; TUD/CPI; Delft, juli 2014
- Agentschap NL, Voorbeeldwoningen 2011; Bestaande bouw, Agentschap NL, Sittard, 2011
- Aquion Energy, "Large Format Aqueous Electrolyte Polyionic Devices for Low Cost, Multi-Hour Energy Storage", Aquion Energy, 2014
- BZK, Nationaal Plan voor het bevorderen van bijna-energie neutrale gebouwen in Nederland, Ministerie voor Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties, september 2012
- BZK, Cijfers over Wonen en Bouwen 2013, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Den Haag, 11 april 2013
- Boer, B.J. de, et al. Openbare eindrapportage FACET - Façade als Adaptief Comfort verhogend en Energiebesparend Toekomstconcept. Projectnummer EOSLT08016, december 2013.
- Borgingscommissie Energieakkoord, Uitvoeringsagenda Energieakkoord 2015, SER, 10 februari 2015
- Dijkmans, T.J.A., Donkervoort, D.R., Phaff, J.C., Valcke, S.L.A. Design challenges for a climate adaptive multi-functional lightweight prefab panel for energy-efficient retrofitting of residential building based on one-room model simulations, ICBEST 2014, June 9-12, 2014, Aachen, Germany.
- Dijkstra, L.P.J., An environmental and economic impact comparison of renovation concepts for Dutch residential buildings, UU, Utrecht, 2013
- ECN, Hekkenberg, M., Verdonk, M., Nationale Energieverkenning 2014, ECN-O-14-036., Petten, 2014
- EIB, Hoek, T. van, Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2014, EIB, Amsterdam, 29 januari 2015
- EIB, Koning, M.A., Schep, E., De bouw in 2020 - Vier kwantitatieve scenario's, EIB, Amsterdam, juni 2012
- EZ, Jaarbericht Topsectoren, 2015
- Gitis und Sauer, "Tendenzen in modernen Speichersysteme", Siemens workshop, 2014
- LBL, Technote Ventilation and Health AIVC 2015, 2013
- McKinsey, "A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis", McKinsey, 2010
- NRC, "Nevada wint slag om Tesla", NRC Handelsblad, 2014-09-09
- Nykvist, B. en M.Nilsson, "rapidly falling costs of battery packs" Nature climate change, 5, 329-332, 2015
- PBL, Wijngaart, R. van den, Folkert, R., Middelkoop, M., Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050 Achtergronden en uitgebreide resultaten. PBL, Den Haag 13 februari 2014
- PBL, Londo, M., Boot, P., et. al., Het Energieakkoord: wat gaat het betekenen?, ECN / PBL, september 2013
- Rotmans, J., Verandering van tijdperk: Nederland kantelt, 2014
- RVO, Monitor energiebesparing gebouwde omgeving 2012, RVO, Utrecht, 2014
- TNO, Klein Woolthuis, R., Snoeck, S., et. al., Samenwerking en duurzame innovatie in de bouw, TNO, Delft, april 2012
- TNO, Vlies, R., Keus, D., Bouma, P., Leidraad Resultaatgericht Samenwerken bij Onderhoud, Renovatie en Nieuwbouw, TNO, Delft, 2012
- TNO, Rijken, M., De Energietransitie van onderaf, STEM, TNO, Delft, 2013
- TNO, Suurs, R., Mulder, G., et. al., Rapport Reflectieve Doelbereikmonitor van de Innovatie Agenda Gebouwde Omgeving, TNO, Delft, 1 april 2014
- TNO, Mulder, G.G.C., et. al., Vervangende Nieuwbouw, TNO, Delft, 2015
- TNO Value Case Methodology- White Paper, TNO, Delft, 2015

COLOFON

AUTEURS

Guus Mulder
Helma Luiten
Marleen Spiekman

MET DANK AAN

DE MEDEAUTEURS

Huub Keizers, Wouter Borsboom, Linda Hoes-van Oeffelen,
Henk Polinder, Arie Kalkman, Remy van der Vlies,
Nicole de Koning, Geerte Paradies, Mario Willems,
Mark Bolech, Nienke Maas, Richard Westerga,
Jasper Donker, Jan Willem Marck, Jeroen Brouwer,
Frans Koene, Bart de Boer, Anita Bouman-Eijs

DE KLANKBORDGROEP

Ferdi Licher, Gerben Roest, David van der Woude,
Anneke van Kempen, Jan-Coen Kruit, Co Westerweel,
Willem Relou, Ronald Schillemans, Leo Brouwer (allen
Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties),
Jacqueline Hooischaar (Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland) en Ivo Opstelten (Platform 31).

Druk: MediaCenter Rotterdam
Vormgeving: mariëtte jongen vormgeving

Thema's en deelonderwerpen

Stimuleren van de vraag

- Beleid voor een energieproducerende Gebouwde Omgeving
- Drijfveren en barrières van eindgebruikers
- De gebruiker in control
- Comfort en een gezond binnenmilieu

Organiseren van het aanbod

- Klantgerichte marktstructuur
- Nieuwe verdienmodellen
- Nieuwe productiemethoden

Inzicht in feitelijke energieprestaties

- Energieprestaties modelleren
- Energieprestaties monitoren

Besparingsmaatregelen

- Persoonlijke en gezonde warmtevraag en koelvraag
- Klimaat adaptieve gebouwdelen
- Vraagsturing ventilatie
- Energiezuinige en slimme verlichting

Duurzame energie productie in de gebouwde omgeving

- Warmtepompen
- Zonthermische systemen
- Zon PV systemen

Energieopslag

- Opslag van elektriciteit
- Warmte en koude opslag (WKO)
- Compacte Thermochemische Opslag (CTO)

Omgeving en energienetwerk

- Energiemanagement op gebouw en wijkniveau (warmte, elektriciteit)
- Warmtenetwerken en restwarmtebenutting
- Optimale benutting bestaande energie infrastructuur

-  Basis betrokkenheid
-  Substantiële inzet
-  Strategisch onderwerp
-  Stabiele ontwikkeling
-  Groei

Kennisleverancier: toepassing beschikbare TNO kennis

Kennispartner: ontwikkeling additionele kennis met partners en verbinder van partijen

Ontwikkelpartner: ontwikkeling producten en systemen met partners

Inzet	Rol	Bijdrage
	Kennisleverancier Kennispartner Ontwikkelpartner Ontwikkelpartner	<ul style="list-style-type: none"> • Identificeren kansen en knelpunten, ontsluiting praktijkkennis • Experimenteel onderzoek • Samenbrengen expertises • Ontwikkelen meetsystemen en technologie
	Kennispartner Ontwikkelpartner Kennisleverancier	<ul style="list-style-type: none"> • Vormgeving ketensamenwerking • Ontwerpen waardenetwerken en verdienmodellen • Integratie oplossingen en slimme aansturing
	Kennispartner Kennispartner	<ul style="list-style-type: none"> • Praktijkexperimenten en multidisciplinair onderzoek • Ontwikkeling sensor en meetsystemen en dataconsistentie, opzetten en begeleiden demonstratieprojecten
	Ontwikkelpartner Ontwikkelpartner Ontwikkelpartner Kennispartner	<ul style="list-style-type: none"> • Integratie oplossingen en slimme aansturing • Ontwikkeling materialen, producten en systemen • Ontwikkelen, modelleren en testen systemen • Ontwikkelen slimme aansturing en sensoriek
	Ontwikkelpartner Kennisleverancier Ontwikkelpartner	<ul style="list-style-type: none"> • Componentontwikkeling en koppeling smart-grids • Ontwikkeling niche-toepassingen • Ontwikkeling materialen en productieprocessen
	Kennispartner Kennisleverancier Ontwikkelpartner	<ul style="list-style-type: none"> • Regeltechniek en integratie in energiesysteem • Registratie en informatie ondergrond • Ontwikkeling materialen, componenten en systemen
	Kennispartner Ontwikkelpartner Ontwikkelpartner	<ul style="list-style-type: none"> • Ontsluiten (geo)data en vormgeving multi-actorprojecten • Simulatiemodellen, netwerkontwerp en inpassen bronnen • Ontwikkelen meet- en controle techniek smart grids



**OVERZICHTSTABEL
ROL TNO
PER DEELONDERWERP**





TNO.NL

› TNO VERBINDT MENSEN EN KENNIS OM INNOVATIES TE CREËREN DIE DE CONCURRENTIEKRACHT VAN BEDRIJVEN EN HET WELZIJN VAN DE SAMENLEVING DUURZAAM VERSTERKEN. DAT DOEN WE DOOR BINNEN EXPERTISEGEBIEDEN UITEENLOPENDE DISCIPLINES SAMEN TE BRENGEN, OM ZO INVULLING TE GEVEN AAN MAATSCHAPPELIJKE VRAAGSTUKKEN.