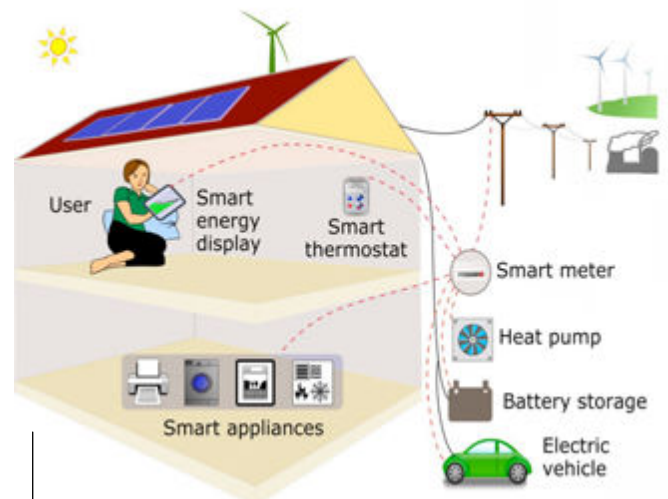


Auteur Prof.ir. W. (Wim) Zeiler, Building Services TU/e

Gebruiker centraal bij elektrisch verwarmen van woningen

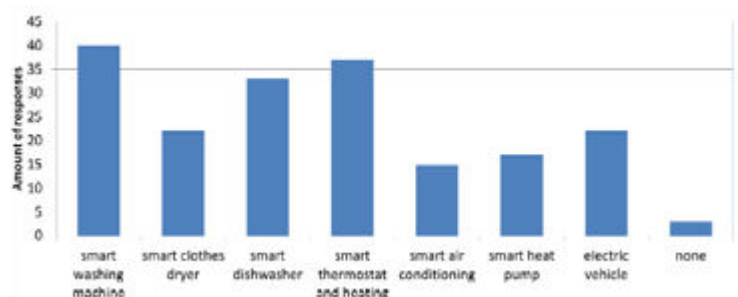
De eisen en verwachtingen die de mens stelt aan zijn gebouwde omgeving, zijn de afgelopen decennia gestegen vooral aan zijn thermische comfort-omstandigheden. Hierdoor wordt de problematiek rondom energie steeds groter. De optimalisatie van thermisch comfort en energieduurzaamheid zijn daarom speerpunten van een comfortstelsel, dat bestendig is voor de toekomst. Elektriciteit speelt hierbij een sleutelrol, omdat elektriciteit in de toekomst de meest belangrijke energiedrager zal zijn. Elektriciteit heeft een aantal voordelen ten opzichte van andere manieren van energietransport. Zo kan duurzaam opgewekte elektriciteit relatief gemakkelijk getransporteerd worden en gemakkelijk in andere vormen van energie worden omgezet, zonder afgifte van CO₂ ter plaatse van het afnamepunt zoals bijvoorbeeld bij gasverwarming. Ook is elektrische verwarming sneller en biedt daardoor meer energieflexibiliteit dan tragere systemen.

Elektrische verwarming beleeft een nieuwe revolutie, dit zowel bij industriële toepassingen als bij toepassing voor verwarming in de gebouwde omgeving [Wilson & McGranaghan 2014]. Uit het onderzoek van Anastaselos e.a. [2012], bleek dat elektrische stralingsverwarming een positieve bijdrage kan leveren op het gebied van comfort, duurzaamheid en economie. Dat maakt het interessant om te kijken naar verhoging van de energie-efficiency van deze systemen [Brown e.a. 2016], Toch is er nog zeer weinig literatuur over dit onderwerp te vinden. Zodat verwacht mag worden dat er vanuit het onderzoek een belangrijke bijdrage aan de productontwikkeling en het kennisniveau kan worden gedaan. Gezien het belang van de perceptie en motivatie van gebruikers ten aanzien van bepaalde



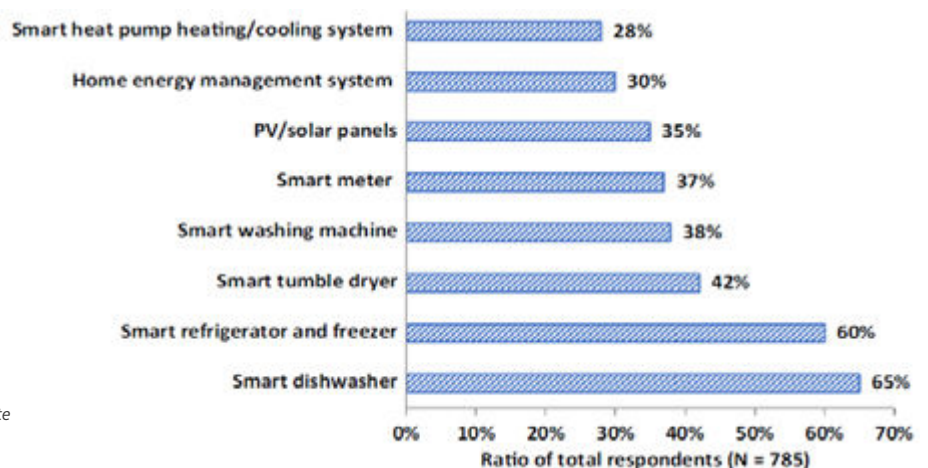
Figuur 1: Het smart grid als een communicatie grid [Moonen 2016]

aspecten van de energietransities is er door de TU/e vooronderzoek gedaan naar de perceptie en motivatie van gebruikers ten aanzien van Smart Grids. In die situatie vindt alle communicatie en energieoverdracht plaats via het elektriciteitsnetwerk, zie afbeelding 1 [Moonen 2016]. Hierbij bleek dat 37% van de mensen bereid is om een slimme thermostaat en verwarming te gebruiken, zie figuur 2 [Moonen 2017]. Een dergelijke veranderingsbereidheid wordt alleen overtroffen door de slimme wasmachine.



Figuur 2: Welke slimme apparaten mensen bereid zijn om te gebruiken [Moonen 2016]

In een ander onderzoek door de TU/e is nagegaan in hoeverre de gebruikers voorbereid zijn voor energie-flexibele gebouwen



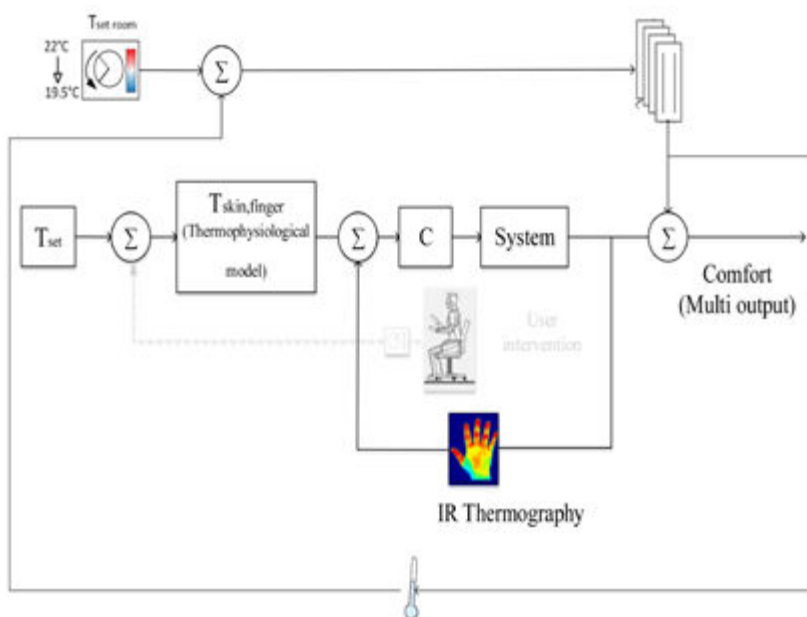
Figuur 3: Welke slimme apparaten mensen bereid zijn om te gebruiken [Li et al. 2017]

en het Smart Grid, dit op basis van 785 relevante reacties op de vragenlijsten [Li et al. 2017]. Hiermee is een referentiebasis gelegd voor verschillende nulmetingen en enquêtes. In dit onderzoek geeft 28% van de ondervraagden aan bereid te zijn om een slim verwarmings-/koelsysteem te gaan gebruiken, zie figuur 3. Duidelijk is dat dit dus toch nog steeds een minderheid is en dat er nog veel werk is om dit in de gewenste duurzaamheidsrichting om te buigen.

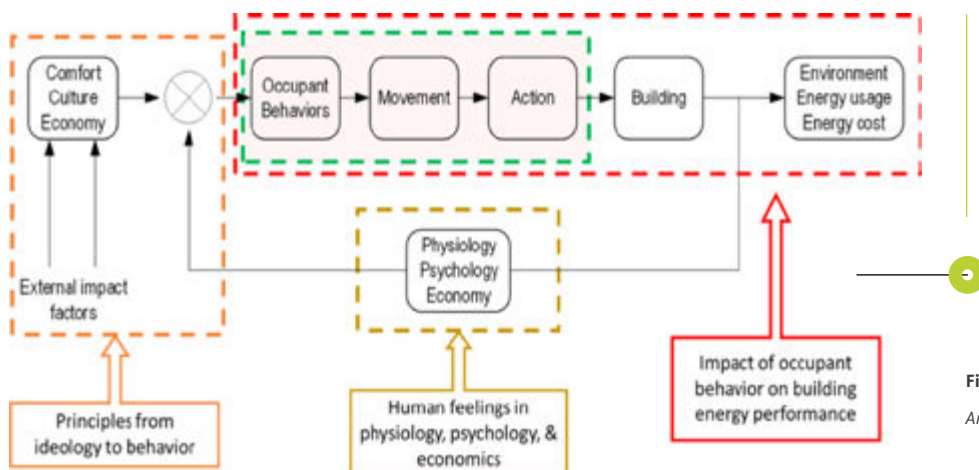
Traditioneel denken mensen bij elektrische verwarming aan het stralingskachelkje in de badkamer. Dat beeld roept geen positieve associaties op met goed regelbaar comfort, energiebesparing en duurzaamheid. Deze negatieve associaties moeten worden doorbroken. Om voorbereid te zijn op de 'all electric' toekomst dienen er nieuwe vormen van elektrische verwarming te komen met optimale afstemming daarvan met de gebruikers. Hierbij dient niet de traditionele aanpak van een verwarmingselement als uitgangspunt te worden genomen, maar de behoefte dient onderzocht te

worden, vertaald naar eisen waaraan een dergelijk nieuw comfortstelsel moet voldoen. Dit sluit goed aan bij het onderzoek dat verricht is aan de TU/e in het kader van het NWO Smart Energy project [Vezely et al 2017]. Dit project was erop gericht om de effectiviteit van persoonlijke verwarmingssystemen te verhogen, evenals het TKI UCER project waarin ook onderzoek is verricht op de persoonlijke conditionering en de effecten daarvan op het energiegebruik en de regelingsmogelijkheden [Verhaart et al 2017]. Verder is er ook onderzoek gedaan naar de psychologische aspecten van het binnenmilieu die van belang zijn voor het welzijn van gebouwgebruikers [van den Ouweland et al. 2014].

Belangrijk is daadwerkelijk de mens te betrekken bij enerzijds het ontwerp en afstemmingsproces en anderzijds ook op te nemen in de regeling van de systemen: de mens in de regelkring. Hiervoor is op het de TU/e het concept van de human-in-the-loop bedacht dat in verschillende promotie onderzoeken leidend is [Vezely et al, 2017, Verhaart et al, 2017, Katic et al 2017], zie figuur 4.



Figuur 4: Human-in-the-loop proces sturing op basis van feedback gebaseerd op de huidtemperatuur



Figuur 5: Relatie tussen gebruiker en gebouw conform Annex 66 [Yan and Hong 2013]

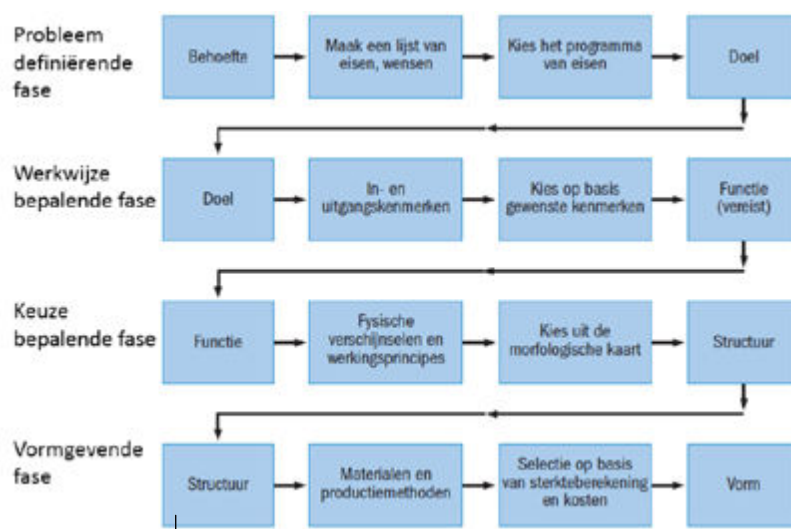
Dat is belangrijk omdat gebleken is dat, ondanks de geweldige ontwikkeling van de simulatieprogrammatuur, het niet mogelijk is gebleken voldoende betrouwbare voorspellingen te kunnen doen van het gedrag van de interactie tussen mens, installatie, gebouw en omgeving. Dit wordt onder meer in Internationaal verband onderzocht in de IEA (Internationale Energy Agency) Annex 66, zie figuur 5.

Dat geeft het belang aan om de mens daadwerkelijk mee te nemen zowel bij het ontwerp van het product als ook in de regel- en bedieningsstrategie. Ook de psychologische en sociale factoren worden in toenemende mate erkend als belangrijke factoren van de diepere structuren om het menselijk gedrag te verklaren. Dit heeft geleid tot de keuze voor actie-onderzoek [Eelderink 2017] in combinatie met een ontwerp gerichte benadering met behulp van de integraal ontwerpen methodiek [Zeiler 2015]. Bij het integraal ontwerpen vindt er een systematische vertaling plaats van een behoefte naar een vorm/product, die in die behoefte voorziet. In figuur 6 is dit te zien in een aantal fasen en processtappen.

In de probleem-definiërende fase ligt daarbij de nadruk op: het vaststellen van de behoefte; in de werkwijze bepalende fase op het generen van mogelijkheden; in de keuze bepalende fase op het vaststellen van het functionele concept, en in vormgevende fase op het uitwerken van het concept. Dit proces verloopt iteratief waarbij steeds teruggegaan kan worden naar een eerdere fase of stap in het proces, in het geval het resultaat als

onvoldoende wordt beoordeeld. Deze aanpak past goed bij actie-onderzoek, omdat dit ook een cyclisch iteratief proces is van actie/stappen en reflectie/evaluatie. Actie-onderzoek zorgt voor het betrekken van de verschillende belanghebbende in het vormgeven van de interventies met prototypen [Eelderink 2017], simulatie om mogelijke effecten te voorspellen, die de basis vormen voor de concepten die zullen worden getoetst in de praktijk.

De uiteindelijke, exacte vorm van 'de oplossing' wordt hierdoor aangepast aan de lokale context. De gemeenschap bepaalt welke oplossing, in welke vorm het



Figuur 6: Structuur Integraal Ontwerpen: fasen en stappen om te komen van behoefte tot vorm [Zeiler 2015]

beste bij hen past, waardoor eigenaarschap ontstaat en mensen vanuit intrinsieke motivatie deelnemen aan het project. Specifiek zullen de opgedane inzichten vanuit het actie-onderzoek gebruikt worden om de probleemdefinitie en de keuzebepaling binnen het ontwerpproces beter afgestemd te krijgen op de werkelijke behoeftes en problematiek van de gebruikers. De uiteindelijke exacte vorm van 'de oplossing' wordt zo aangepast aan de lokale context.

Het voorzien in thermische behaaglijkheid in een woning

Een verwarmingsinstallatie heeft in principe als doel: het voorzien in de thermische behoefte van de bewoners in de koude dagen van het jaar. Traditioneel wordt het huis verwarmd met de mensen erin. De insteek van het nieuw te ontwerpen elektrisch verwarmingssysteem is om individuele thermische behaaglijkheid te creëren. Niet het huis te verwarmen maar meer de mens zelf. Niet de ruimtetemperatuur binnen de woning is het doel maar het comfortabel verwarmen van de mensen zelf.

Een van de speerpunten bij het ontwikkelen van de innovatieve elektrische verwarmingssystemen is om de gebruiker centraal te nemen en niet de technologie leidend te laten zijn. De centrale vraag is daarom: wat wil de gebruiker? De gebruiker wil zich prettig voelen op thermisch gebied, ongeacht de hoeveelheid kleren die hij aanheeft, de locatie binnen in het huis waar hij zich bevindt, de activiteit die hij aan het uitvoeren is en de hoeveelheid personen waarmee hij zich in de woning bevindt op dat moment. Daarnaast moet het systeem dat dit thermisch comfort moet leveren geen overlast veroorzaken. Het mag onder andere niet teveel ruimte in beslag nemen; het mag niet in de weg staan; het mag geen lawaai maken; het moet op een eenvoudige wijze regelbaar zijn en het mag geen hoge gebruikerskosten met zich meebrengen. De traditionele elektrische verwarmingssystemen zijn verre van comfortabel en niet makkelijk te regelen. Daarom is er bij gebruikers geen goed beeld van de mogelijkheden van nieuwe systemen. De hierdoor ontstane weerstand tegen innovatie op dit gebied moet nader geanalyseerd worden:

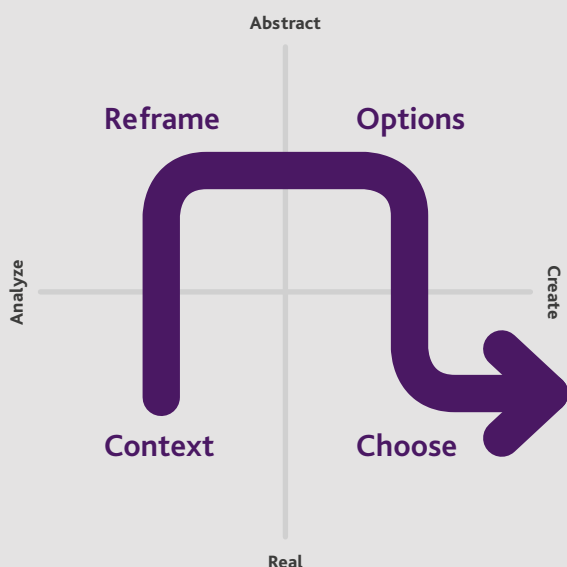
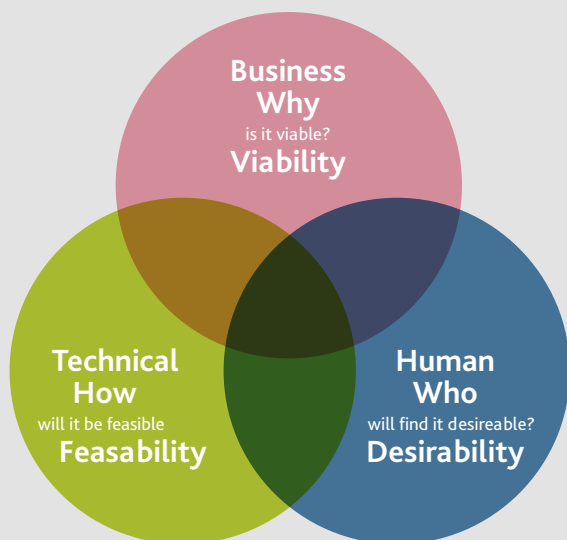
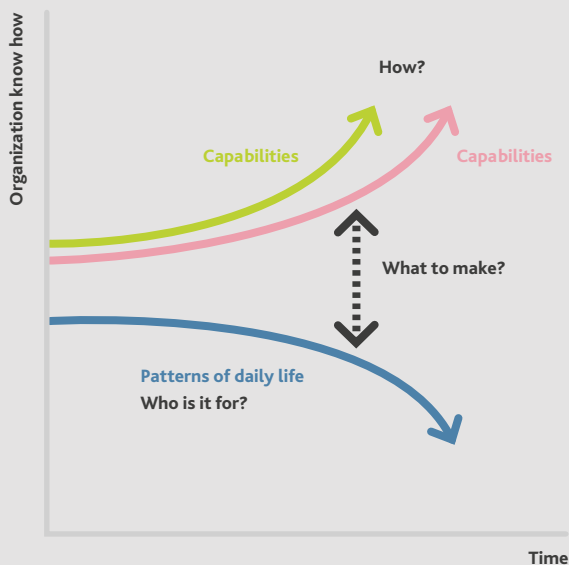
- Er moet in kaart worden gebracht werkelijke behoeftes gebruikers hebben op het gebied van verwarming met behulp van actieonderzoek. Op deze manier kan met lokale stakeholders en organisaties die autoriteit in relatie met de vraagstelling, mogelijk weerstanden tegen vernieuwing worden onderkend,
- Een overzicht is nodig van bestaande en mogelijk nieuwe ontwikkelingen op het gebied van elektrische verwarming,
- Nieuwe producten en diensten moeten worden ontwikkeld vanuit de welzijnsbenadering (gezondheid en comfort) voor energievermindering en voornamelijk energieflexibiliteit door toepassing van elektrische verwarmingssystemen,
- Inzicht is nodig in de acceptatie en effectiviteit van nieuwe regelstrategieën voor elektrische verwarming
- Het effect van demonstratie van nieuwe technologie moet geanalyseerd worden dicht bij de mensen in hun eigen leefomgeving, hun buurthuis, op hun kennis en attitude ten opzichte van nieuwe duurzame ontwikkelingen.

Doelstellingen bij de innovatie:

- De toegevoegde waarde van comfort als motivator bij de duurzame energietransitie naar een all electric gebouwde omgeving, zonder gas.
- Vliegwielen voor de ontwikkeling van nieuwe producten op het gebied van elektrische verwarming en energiemangement te creëren en initiëren door inspiratie- en innovatietafels.
- Het effect van actieonderzoek gericht op innovatieve technologische ontwikkeling binnen een leefomgeving en de beleving daarvan binnen de lokale gemeenschap
- Nieuwe functionele softwaremodules waarin innovatieve regelstrategieën voor elektrische verwarming zijn geïntegreerd, optimaal afgestemd op de comfortbehoefte en gewenste bedieningsmogelijkheden door de gebruikers.

Strategie voor elektrische verwarming

Door de problemen met het aardgas moet Nederland versneld van het gas los. *The future is all electric* is het credo. Dat heeft zeker implicaties voor de manier waarop wij onze huizen verwarmen en er is dan ook dringend behoefte op dat gebied. Er is een voorstudie gedaan naar verschillende innovatiemethoden, waarbij de gebalanceerde innovatiemethode van de IIT Institute of Design Chicago [IIT 2017] naar voren is gekomen als een geschikte methode.



Figuur 7: De gebalanceerde innovatie methode van de IIT Institute of Design Chicago [2017]

Op basis van de gebruikspatronen worden de potentiële mogelijkheden voor businessmodellen en technische mogelijkheden in kaart gebracht. Hierbij moet er steeds balans zijn tussen de impliciete behoefte (desirability), de waarde (viability) en de technologie (feasibility), zie figuur 7. De context van de klanten (What is in it for me?, het programma van eisen voor het nieuwe product) wordt gebruikt als raamwerk voor het opzetten van nieuwe opties, , waaruit gekozen wordt voor het ontwikkelen van nieuwe producten. Het probleem is dat, ondanks subsidie, veel innovaties niet verder komen dan de academische tekentafel [Poirot & Gerris 2016]. Slechts 21% van de innovaties bereikt de markt na afloop van het project. Daarom is het instellen van een bemiddelaar die focust vanuit de businesskant op zowel onderzoeksresultaten als de menselijke factor vanuit het actieonderzoek. Daardoor kunnen de huidige innovatie barrières aanzienlijk verminderd worden. De universiteiten kunnen daarin in samenwerken met het bedrijfsleven en een belangrijke rol spelen



Prof.ir. W (Wim) Zeiler,
Building Services TU/e

Referenties

- Anastaselos D., Theodoridou I., Papadopoulos A.M., Hegger M., 2011, Integrated evaluation of radiative heating systems for residential buildings, *Energy* 36: 4207-4215
- Brown K.J., Farrelly R., O'Shaughnessy S.M., Robinson A.J., 2016, *Applied Energy* 162: 581-588
- IIT, 2017, <https://www.id.iit.edu/artifacts/balanced-innovation/>
- Katić K. Li R., Zeiler W., 2016, Thermophysiological models and their applications: A review, *Building and Environment* 106: 286-300
- Lewin K., 1958, *Group Decision and Social Change*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Li R., Dane G., Finck C., Zeiler W., 2017, Are building users prepared for energy flexible buildings? - A large-scale survey in the Netherlands, *Applied Energy* 203: 623-634
- Moonen I., 2016, The perception and motivation of building end-users on smart grids, Master 2 BPS project TU/e
- Ouweland E. van den, Zeiler W., Kort Y.A.W de, Boxem G., Nierman G., Maassen W.H., 2014, Psychologische aspecten (onder)belicht, *TVVL magazine* 1/2014
- Poirot M., Gerris L., 2016, Menselijke factor essentieel bij wegnemen kloof wetenschap en markt, <http://www.pnoconsultants.nl/news/menselijke-factor-essentieel-bij-wegnemen-kloof-wetenschap-en-markt>
- Sagor R., 2000, *Guiding School Improvement with Action Research*, ASCD, Alexandria, US <http://www.ascd.org/publications/books/100047/chapters/What-Is-Action-Research%C2%A2.aspx>
- Verhaert J., Li R., Zeiler, W., 2017, User interaction patterns of a personal cooling system: A measurement study, *Science and Technology for the Built Environment*: 1-16
- Vesely M., Molenaar P., Vos M., Li R. Zeiler W., 2017, Personalized heating – Comparison of heaters and control modes, *Building and Environment*. 112; 223-232.
- Wilson C., McGranaghan G., 2014, Infrared heating comes of age, *Reinforced plastics* 58(2): 43-47
- Yan D., Hong T., 2013, Definition and Simulation of Occupant Behaviour in Buildings, Presentation EBC Annex 66, Nov.14, Dublin
- Zeiler W., 2015, *Basisboek Ontwerpen*, Noordhoff, Groningen