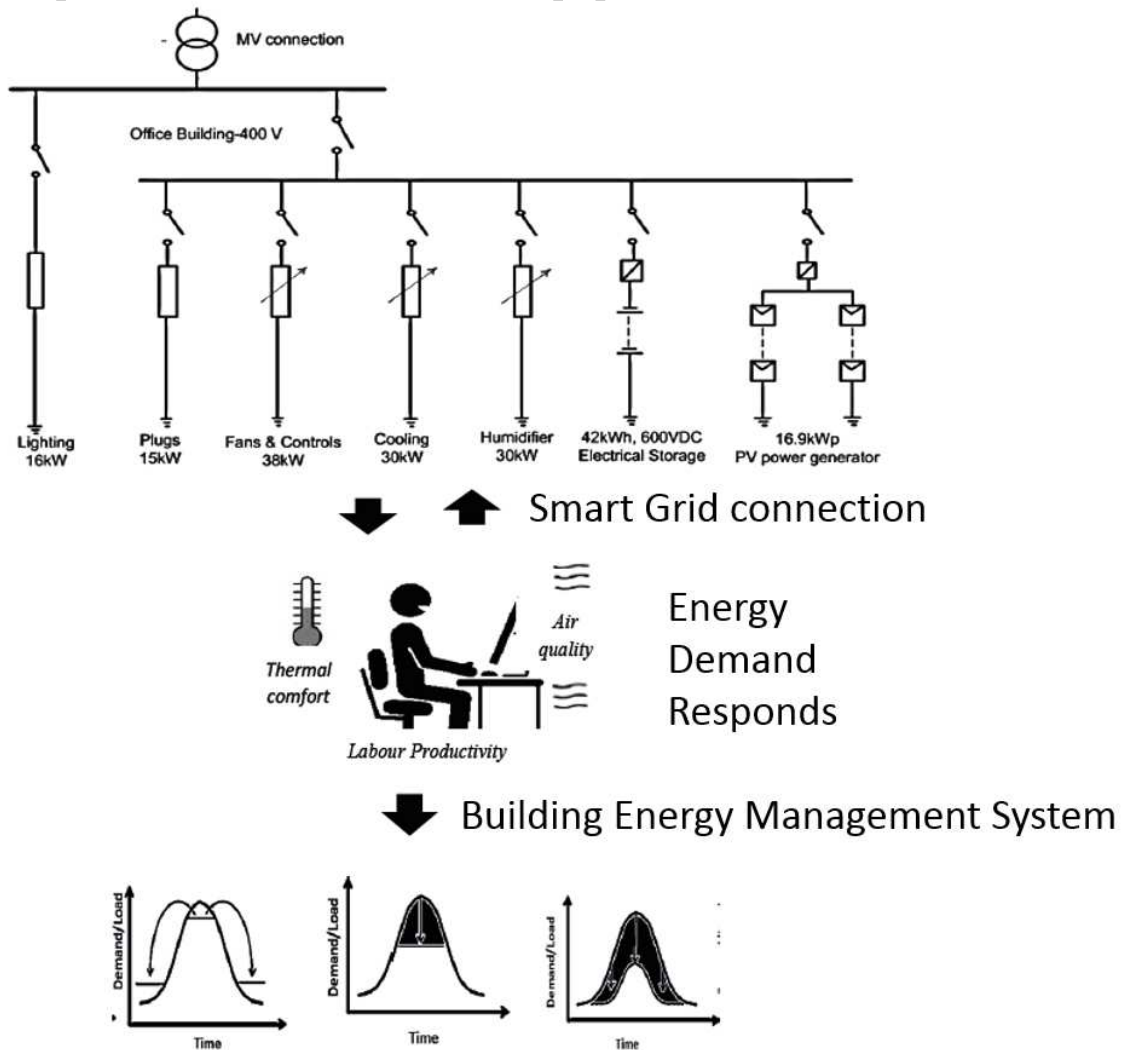


Openbaar eindrapport TKISG01002



SG (B2B & B2C) BEMS: The art of optimization

The connection between comfort demand and energy supply



Inhoudsopgave;

blz.

- Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen -3-
- Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing -4-
- Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie) -7-
- Spin off binnen en buiten de sector -7-
- Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn; -8-
- Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn; -14-
- Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie -14-
- Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier -14-

- **Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen**

Uitgangspunten

De energiewereld is volop in beweging: decentralisatie, liberalisering en verduurzaming. Installatiebedrijven, zoals Kropman, richten zich meer en meer op de besturing van niet alleen de klimaatinstallaties (comfort) en het gebouw (verlichting, toegangscontrole), maar ook energiesystemen voor gebouwclusters en wijken. Door innovatieve gebouwbeheerssystemen kan de installatiewereld haar klanten ondersteunen in hun streven naar energie reductie, energie-efficiëntie en zelfvoorziening. Na enkele industriële onderzoeksprojecten op het gebied van de toepassing agent technologie, die maar beperkt resultaat hebben opgeleverd, acht Kropman het noodzakelijk om nu een fundamenteel onderzoeksproject te initiëren. Dit is de mogelijkheid om uit de fase van trial-and-error te komen. Er dienen daadwerkelijke doorbraken realiseerd te worden door op een fundamentele en systematische wijze additionele functionaliteit te onderzoeken voor gebruikers. Vraag (comfort) en aanbod (centrale energie en decentrale duurzame energie bronnen) dienen optimaler op elkaar te worden afgestemd.

Doelstelling

Het SG-BEMS project focust zich op de interface tussen Building Energy Management System (BEMS) en Smart-Grid (SG) en zal onderzoeken hoe agent-technologie gebruikt kan worden om de diversiteit aan communicatie en optimalisatie strategieën tussen de verschillende systemen schaalbaar te houden. Hiervoor wordt aan een modulaire functionele uitbouw gedacht van de hoofdstructuur van agents waarbij een flexibele communicatieschil met interface modules de schaalbaarheid waarborgt. Middels fundamenteel onderzoek door de Technische Universiteit Eindhoven en het CWI wordt de basis gelegd voor de definitie van een overkoepelend dataprocessing, agent platform en communicatie structuur. Dit theoretische model is met applicatie experimenten onderzocht.

Inhoudelijke aanpak

Agent toepassingen voor energiemangement zijn eerder door Kropman, Technische Universiteit Eindhoven, Almende en CWI onderzocht. Daarbij verloopt de uitbouw van de vaak specifieke complexe oplossingen moeizaam. De opgedane inzichten zullen door participanten gebruikt worden voor het onderzoek naar een meer universeel agent platform dat, bijvoorbeeld in analogie aan een SCADA pakket, de interface kan vormen tussen het Smart-Grid en een BEMS, een gebouw energie beheer systeem. Zo wordt de kern van de communicatie van het opwekkings- en distributie proces naar het gebruiksproces gedefinieerd, waarna verder onderzoek naar de invulling daarvan tot op het niveau van gebouw en de koppeling met het externe elektriciteitsnet kan plaats vinden.

Door de universele systeemonafhankelijke koppeling van een gebouwbeheerssysteem met agentmodules voor de procesbesturing op verschillende functionele niveaus, zoals individueel werkplek en ruimteniveau alsmede ook op gebouwniveau en cluster van gebouwen, kan in principe de interactie met het Smart-Grid modulair opgebouwd worden en zo in de toekomst stap voor stap worden geïmplementeerd.

Deelnemers

De deelnemers aan het onderzoeksproject zijn Kropman Installatietechniek (penvoerder), Almende, Technische Universiteit Eindhoven Faculteiten Bouwkunde & Electrical Engineering en CWI Amsterdam

• Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing;

Het Smart-Grid is een complex Systeem van Systemen (Systems of Systems) waarbij een gemeenschappelijk begrip van de belangrijkste bouwstenen en hoe deze interacteren breed gedeeld moet worden: al deze onderlinge relaties moeten niet alleen rekening houden met de technologie van de energie distributie en opwekking, maar ook met de noodzakelijk milieuvriendelijkheid en economische impact (Lopes et al. 2011). Men dient verder te gaan dan alleen het schakelen van elektrische vermogens of het automatische regelen van temperaturen in een kantoor of een gebouw. Door steeds meer functies te koppelen aan het SG-BEMS ontstaan mogelijkheden om de functionaliteit verder uit te breiden;

- Integratie van de sturing van elektrische apparaten
- Dynamische inzet en bewaking op basis beschikbaarheid, duurzaamheid, rendement
- Energie beheer en energie optimalisatie van bestaande systemen
- Comfort beheer en bewaking op basis individuele comfortprofielen
- Energie management op gebouw, ruimte en gebruikersniveau.

Met name de koppeling met de door de gebruiker ingeschakelde elektrische apparatuur is een belangrijke volgende stap hierbij naar de integratie met de smart-grids. Waarbij het huidige systeem in potentie de mogelijkheid krijgt om het deel achter de meter van de elektrische smart-grids te kunnen verzorgen.

Er zijn twee hoofduitdagingen bij de succesvolle ontwikkeling de connectie tussen Smart-Grid en BEMS:

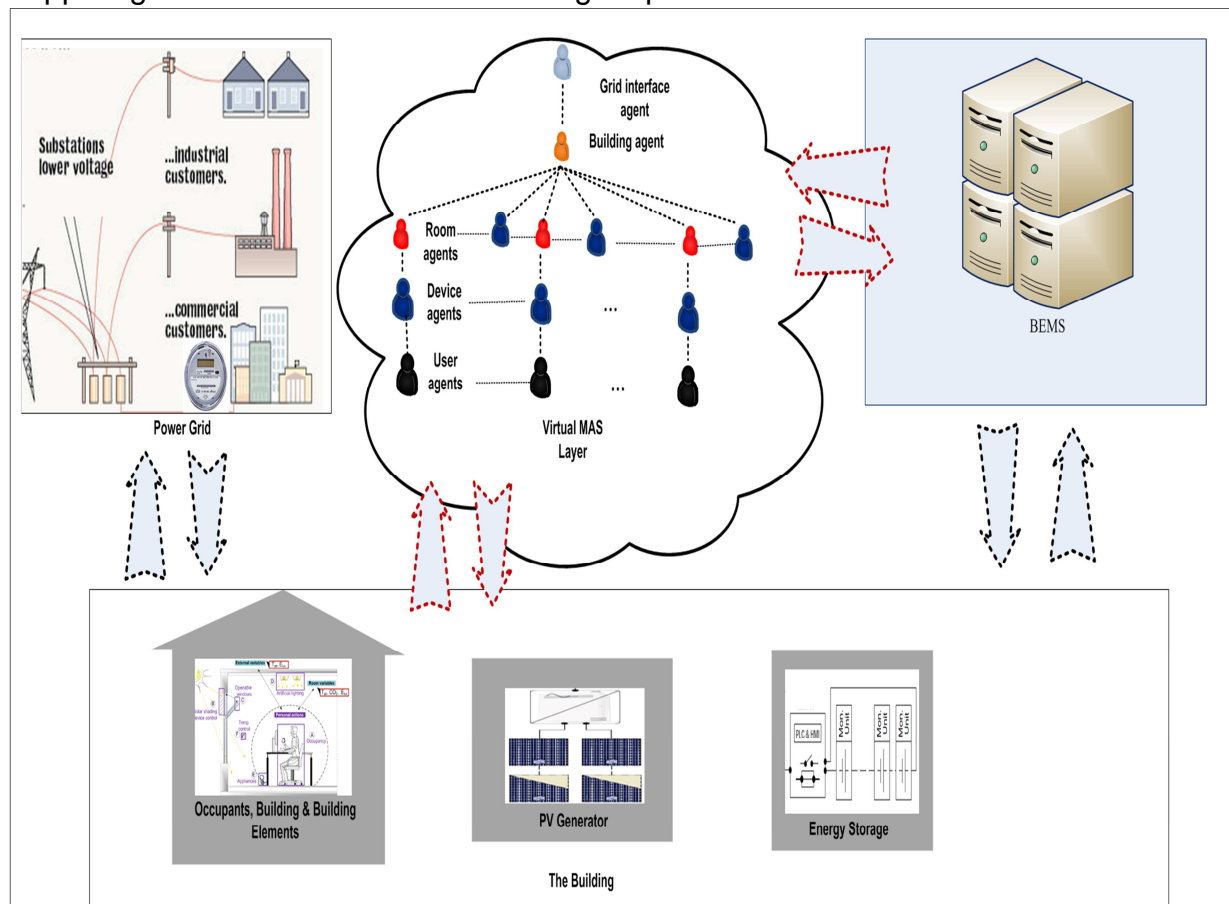
- de noodzaak voor een geïntegreerd intelligent gebouw systeem waar alle faciliteiten op een gelijkwaardige manier kunnen deelnemen
- regelbesturingstaken die autonoom, als ook een informatie representatie van het systeem dat directe toegang geeft tot alle data die afkomstig zijn van toestellen, apparaten, het gebouw, de bewoners en veel meer.

Gebruikersgedrag is daarmee de sleutel tot winst die in het gehele systeem (zowel productie, transport als onbalans) kan optreden.

In relatie tot de state-of-the-art zit het vernieuwende van de gepresenteerde aanpak in het combineren van elementen van Smart-Grid en eindgebruikers. Kenmerken van het Smart-Grid zoals Demand-Response functionaliteiten in een echte omgeving, met prijzen die komen van de echte energiemarktcondities, echte duurzame energiebronnen en elektrische apparatuur aansturing zijn nieuw. De resultaten zullen niet berekend, ingeschat of gesimuleerd worden maar worden gemeten en stapsgewijs ingebracht in een living-lab setting. Om de doelstellingen te halen voor energie- en energiegebruikskostenreductie is het van groot belang niet alleen het

energiegebruik te monitoren maar ook de regelinstallaties en de aansturing van de aangesloten apparatuur te verfijnen.

In de afgelopen jaren zijn experimenten gedaan om te kijken naar de mogelijkheden om koeling, ventilatie en bevochtiging te optimaliseren in relatie tot de vraag uit het Smart-Grid. Diverse experimenten zijn uitgevoerd in de test case van het project, het kantoor Breda van Kropman. In samenwerking met Almende is door de TU/e Bouwkunde een structuur ontwikkeld voor een agent-platform in Eve. Met CWI is gekeken naar de mogelijkheden van datamining en met de TU/e Elektrotechniek naar optimaliseringsalgoritmes. Beide gebaseerd op de filtering van data en event/patroonherkenning. De uitwisseling van informatie direct via het Grid is volgens Enexis op direct lokaal niveau nu nog niet mogelijk. Wel kan er specifieke informatie gedurende experimenten worden opgevraagd, maar deze waarden zijn afkomstig uit een hoger deel van het lokale netwerk. Daarom dient er gewerkt te worden met cloud-based koppelingen tussen InsiteView en het agent platform Eve.

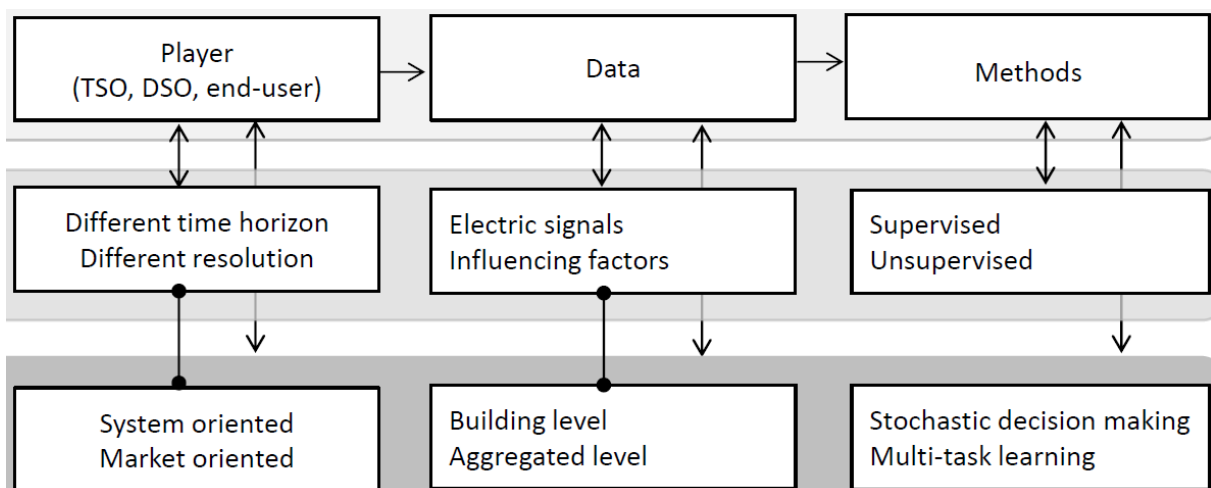


Figuur 1: Weergave van de basisarchitectuur van het ontwikkelde multi-agent system voor de coördinatie van vraag flexibiliteit bij kantoorgebouwen

Energie is beperkt beschikbaar. In het energiedomein zijn er nu ook nog extra uitdagingen vanwege de efficiëntie en milieudoelen wereldwijd. Er is sinds het begin van dit millennium een energietransitie aan de gang, die voornamelijk bestaat uit het vervangen van grote fossiele elektriciteitscentrales door hernieuwbare en decentrale energieopwekking. Deze transformatie resulteert in een verhoogde onzekerheid en complexiteit, zowel in de zakelijke transacties als in de fysieke stroom van de

elektriciteit in het 'smart grid'. De overgang van het elektriciteitsnet naar een duurzaam, efficiënt en flexibel elektriciteitsnet vereist steeds complexere methodes. Hoewel het nog steeds in ontwikkeling is, heeft de kunstmatige intelligentie nu al opmerkelijke successen opgebouwd door gebruik te maken van steeds complexere neurale netwerken. Beide soorten netwerken (het elektriciteitsnet en artificiële neurale netwerken) zijn samengesteld uit veel onderling verbonden lagen. Zodat een elektriciteitsnet gecreëerd kan worden dat in real-time kan, meten, voorspellen, plannen, leren en beslissingen nemen over het lokale energieverbruik en de productie.

Het voorspellen van de elektriciteitsvraag is een niet lineair voorspellingsprobleem van een tijdsreeks, dat afhankelijk is van veel complexe factoren, aangezien resultaten op verschillende aggregatieniveaus, verschillende tijdshorizons en met een hoge resolutie nodig zijn voor de verschillende stakeholders (TSO, DSO en end-user). Dit vereist verschillende methoden om met de data om te kunnen gaan, zie figuur 2. Als een evolutie van de neurale netwerk gebaseerde voorspellingstechniek wordt verwacht dat deep learning technieken de voorspellingsnauwkeurigheid kunnen verhogen door de extra, gelaagde, capaciteit van de modellen. Op grond van de beschikbare gegevens wordt de supervised voorspellingstechnieken verbeterd. Daarnaast is het gebruik van de unsupervised voorspellingstechnieken onderzocht. Deze vereisten geen historische gegevens van het specifieke gebouw. In een geïntegreerde aanpak kan een model van een gebouw leren door een generalisatie van de toestand van een gebouw te integreren. Vervolgens wordt deze toestand dan overgebracht naar een ander gebouw. Dit maakt het mogelijk om ook bij het ontbreken van historische data deze technieken toe te passen. Het inbrengen van (beperkte) systeemkennis is op dit moment nog wel noodzakelijk.



Figuur 2. Samenhang onderzoek op het gebied van data processing gebouw en Smart Grid.

- **Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)**

Door de Topsector Energie zijn een aantal maatschappelijke doelen geformuleerd minder CO₂-uitstoot; meer duurzame energie; benutting van het potentieel aan energiebesparing; concurrerende energieprijzen op korte en lange termijn; een versterkte positie van Nederland in essentiële sectoren; sneller meer concurrerend maken van duurzame energieopties. Het toepassen van Smart-Grids is hier bij een belangrijke technologische strategie om deze doelstellingen te realiseren. Hierbij is het van groot belang om naast interactieve verbinding tussen energie infrastructuur en gebouwde omgeving, door de interactie met de eindgebruikers te optimaliseren. Door de introductie van ICT, een middels agent technologie ondersteund energie management platform, als koppeling tussen het Smart-Grid en de gebouwbeheer/home-automation systemen van de gebouwde omgeving, ontstaan meer mogelijkheden voor het balanceren van vraag en aanbod. Hierdoor kan de energie-infrastructuur uiteindelijk kosten effectiever worden ontworpen en beheerd, is er een geringere investering nodig in conventionele energie centrales, is een betere benutting van deze centrales en een efficiënter gebruik van de energiedistributienetten mogelijk. Dit leidt tot minder CO₂-emissie, meer concurrerende prijzen en het aantrekkelijker maken van (meer) duurzame energie.

Aangezien de mens een van de meest bepalende invloedsfactoren is bij het energiegebruik, is er gekozen voor een bottom-up aanpak. De bottom-up aanpak richt zich op het wel bevinden van de individuele gebruiker, omdat alleen een energiezuinige strategie gevolgd kan worden als de gebruiker zich comfortabel voelt. Dit verschilt van de traditionele top-down benadering die meer gangbaar is in de elektriciteitsopwekkings- en distributie wereld. Dit is een van de specifieke problemen van het toepassingsgebied. In de bottom-up benadering is de gebruiker de leidende factor in het ontwerp van gebouw en energie- en comfortsystemen.

- **Spin off binnen en buiten de sector**

De ideevorming over het temporale verloop van de individuele energie/comfort vraag staat nog maar aan het begin. De inzet van intelligente voorspellende regelingen gebaseerd op agenttechnologie lijkt mogelijkheden te bieden. Het streven is om op basis van scenario's tot een kwalitatieve modellering te komen die gebruikt kan worden bij de gerichte inzet van agents voor verdere optimalisering van comfort en energie. De agents zijn lokaal geïnstalleerde informatiesystemen die autonoom het comfort en de energie infrastructuur kunnen aansturen. Zo kan de informatie uit de gebouwen gebruikt worden voor het optimaliseren van de aansturing van de energie-infrastructuur.

De interactie tussen gebruiker, gebouw, buitenklimaat en Smart-Grid dient optimaler afgestemd te worden. Het dient mogelijk te zijn om comfort- en energieprofielen op basis van de behoeften van de individuele gebruiker op te zetten, die de basis kunnen vormen voor de inzet van specifieke agent modules. De afstemming van momentane en toekomstige vraag en aanbod zijn van groot belang voor de efficiëntie van een energieconcept.

Door de koppeling van een geoptimaliseerd gebouwbeheerssysteem en de te ontwikkelen functionele agentmodule met het door Kropman zelf ontwikkelde software pakket InsiteView wordt de beoogde opzet onderzocht in experimenten in het Kropman Breda kantoor om zo de mogelijkheden voor interactie van een Smart-Grid control op gebouw/gebruikersniveau nauwkeurig te kunnen bepalen. Voor een aantal functionaliteiten zijn deze mogelijkheden kwalitatief zowel als kwantitatief vastgesteld

Doel van het onderzoek was een verdere versterking van de Nederlandse positie, zowel voor de kennisinstellingen als voor het bedrijfsleven. Door te kiezen voor een fundamentele aanpak is de basis gelegd worden voor toekomstige technologisch hoogwaardige applicaties.

De verwachte impact van Smart-Grids is groot, maar door de complexe relaties, belangen en verhoudingen tussen leveranciers, netbeheerders, gebruikers en nieuwe aanbieders van diensten moet de komende energietransitie nog steeds vorm gaan krijgen. Slimme netten zetten de klassieke rol van netbeheerders en energieleveranciers als (top-down) organisatie onder druk doordat met de beschikbare technologie het mogelijk is om veel decentraler (bottem-up) te gaan werken. Verschillende eindgebruikers kunnen hun eigen lokale netwerken opzetten en daarmee de gevestigde orde grotendeels buiten spel zettend.

Het multidisciplinaire karakter van het voorstel blijkt enerzijds door de koppeling van de onderzoeksgroepen van de Faculteit Bouwkunde (meer mensgericht), de Faculteit Electrical Engineering (meer techniek gericht) en CWI (meer wiskundig gericht), anderzijds door de koppeling van bedrijven en universiteiten.

Dit heeft ook geresulteerd in een vervolgonderzoek door TU/e, CWI en Kropman in het kader van het STW perspectief programma Smart Energy Systems in the Built Environment waardoor verdere samenwerking tussen TU/e, CWI en TU Delft met het bedrijfsleven wordt bereikt.

- **Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn;**

De onderstaande publicaties zijn via de site van de TU/e te vinden

PhD thesis

- E. Mocanu - Machine Learning applied to Smart-Grids, 9 oktober 2017
- K. Aduda - Smart Grid-Building Energy Interactions, Demand Side Power Flexibility in Office Buildings, 26 februari 2018

Journal Publications

- L.A. Hurtado Munoz, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu and I.G. Kamphuis, Enabling cooperative behavior for building demand response based on extended joint action learning, IEEE Transaction on Industrial Informatics, (accepted/in press), 2017.

- D. Bosich, G. Sulligoi, E. Mocanu and M. Gibescu, Medium voltage DC power systems on ships: an online parameter estimation for tuning the controllers' linearizing function, IEEE Transaction on Energy Conversion, pp (99), 2017.
- Aduda, K.O., Labeodan, T.M., Zeiler, W. & Boxem, G. (2017). Demand side flexibility coordination in office buildings: a framework and case study application. Sustainable Cities and Society, 29(Feb. 2017), 139-158.
- D.C. Mocanu, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and A. Liotta, A topological insight into restricted Boltzmann machines. Machine Learning, ECML-PKDD 2016 special issue, Springer, 1-28, 2016.
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, W.L. Kling, and M. Gibescu, Unsupervised energy prediction in a Smart-Grid context using reinforcement cross-buildings transfer learning. Energy and Buildings, 116, 646-655, 2016.
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu and W.L. Kling, Deep learning for estimating building energy consumption. Sustainable Energy, Grids and Networks, 6, 91-99, 2016.
- Aduda, K.O., Labeodan, T., Zeiler, W., Boxem, G. & Zhao, Y. (2016). Demand side flexibility: potentials and building performance implications. Sustainable Cities and Society, 22, 146-163.
- Zeiler, W., Aduda, K.O. & Thomassen, T. (2016). Integral BEMS controlled LVPP in the Smart-Grids: an approach to a complex distributed system of the built environment for sustainability. International Journal of Design Sciences and technology, 22(2), 81-108.
- Labeodan, T.M., Aduda, K.O., Boxem, G. & Zeiler, W. (2015). On the application of multi-agent systems in buildings for improved building operations, performance and Smart-Grid interactions: a survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 1405-1414.
- Aduda K. O., Labeodan T., Zeiler W.(2018) Towards critical performance considerations for using office buildings as a power flexibility resource-a survey; Energy and Buildings, 159, 164-17.
- Dulman S., Pauwels E., 2014, Enabling Future Smart Energy Systems, 25 Years ERCIM Challenges for ICST, ERCIM News October 2014

Journal Publications (under review/in preparation)

- E. Mocanu, D.C. Mocanu, H.P. Nguyen, A. Liotta, M.E. Webber, M. Gibescu and J.G. Sloopweg, On-line Building Energy Optimization using Deep Reinforcement Learning, Submitted for possible publication in IEEE Transaction on Smart Grid, (under review), 2017.
- D.C. Mocanu, E. Mocanu, P. Stone, P.H. Nguyen, M. Gibescu, A. Liotta: Evolutionary Training of Sparse Artificial Neural Networks: A Network Science Perspective, Submitted for possible publication in Nature Communications (under review), 2017.
- E. Mocanu, D.C. Mocanu, P. H. Nguyen, A. Liotta, M. Gibescu and J.G. Sloopweg, Identification, prediction and control using high-order Boltzmann machines (in preparation) To be submitted for possible publication in Artificial Intelligence, Elsevier, 2017.
- Aduda K. O., Nguyen P-H., Labeodan T., Zeiler W., Sloopweg, H., Demand flexibility performance in office buildings– field study evidence for scenarios integrating rooftop photovoltaic electricity generation, on-site storage use and load limiting strategies (under preparation), 2018, Energy and Buildings Journal.

- Khoshrou A., Dorsman A.B., Pauwels E.J., 2017b, Transactions on Smart-Grids paper, submitted.

Book Chapter - Scientific peer-reviewed

- E. Mocanu, H.P. Nguyen, and M. Gibescu, Deep Learning for Power System Data Analysis. In R. Arghandeh and Y. Zhou (Eds.), Big Data Application in Power Systems, Elsevier (accepted), 2017.

Peer-reviewed conference publications

- E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and J.G. Slootweg, Machine learning methods for on-line flexibility prediction and optimal resource allocation in smart buildings, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 16-20 July, Chicago, USA, 2017.
- Khoshrou A., Dorsman A.B., Pauwels E.J., 2017a, SVD-Based Visualisation and Approximation for Time Series Data in Smart Energy Systems, Proc. ISGT Europe 2017.
- N.G. Paterakis, E. Mocanu, M. Gibescu, B. Stappers, and W. van Alst, Deep learning versus traditional machine learning methods for aggregated energy demand prediction, IEEE International Conference on Innovative Smart-Grid Technologies (IEEE ISGT Europe), 26-29 September, 2017.
- D.C. Mocanu, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and A. Liotta., Big IoT data mining for real-time energy disaggregation in buildings (extended abstract), Proceedings of the 26th Machine Learning Conference of the Benelux (BeNeLearn), 9-10 June, Eindhoven, Netherlands, 2017.
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, and M. Gibescu, Energy disaggregation for real-time building exibility detection. IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 17-21 July, Boston, 2016.
- E. Mocanu, E.M. Larsen, H.P. Nguyen, P. Pinson and M. Gibescu, Demand forecasting at low aggregation levels using factored conditional restricted Boltzmann machine. Power Systems Computation Conference (PSCC), 20-24 June, Genoa, Italy, 2016.
- D.C. Mocanu, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and A. Liotta, Big IoT data mining for real-time energy disaggregation in buildings. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 9-12 October, Budapest, Hungary, pp. 3765-3769, 2016.
- D.C. Mocanu, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and A. Liotta, A topological insight into restricted Boltzmann machines (Type B paper), Proceedings of the 28th Benelux Conference on Artificial Intelligence (BNAIC2016), 10-11 November, Amsterdam, Netherlands, 2016.
- Dulman S., Pauwels E., 2016, Self-stabilized Fast Gossiping Algorithms, ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS) 10(4) 29:1-29
- Aduda, K.O., Labeodan, T.M. & Zeiler, W. (2016). An evaluation of recent models in demand side flexibility : the case of thermal comfort systems in office buildings. Proceedings ASHRAE Annual Conference, 25-29 June 2016, St. Louis, Minnesota (pp. 1-8).
- Aduda, Kennedy, Zeiler, Wim & Boxem, Gert (2016). Smart-Grid and Intelligent Office Buildings: Virtual Power Plants-The basis for optimal use of renewable energy sources. In Ali Sayigh (Ed.), Renewable Energy in the Service of Mankind Vol II (pp. 127-136). Cham.

- Dulman S., Pauwels E., 2015, Tweaking gossip algorithms for computation in large-scale networks, Proceedings 10th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 7 -9 April, Singapore
- L.A. Hurtado Munoz, E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu and W.L. Kling, Comfort-constrained demand exibility management for building aggregations using a decentralized approach, International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SmartGreens), 20-22 May, Lisbon, Portugal, pp. 157-166, 2015.
- E. Mocanu. Machine learning to estimate energy demands and user behavior related to buildings in the Smart-Grid context. IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 26-30 July, Denver, Colorado (pp. 1-20), 2015. (travel award)
- S. Markidis, E. Mocanu, M. Gibescu, H.P. Nguyen, and W.L. Kling, Benchmarking algorithms for resource allocation in smart buildings. IEEE PowerTech 2015 Conference: Towards Future Power Systems and Emerging Technologies 29 June - 2 July, Eindhoven, The Netherlands, 2015. E. Mocanu, D.C. Mocanu, H.B. Ammar, Z. Zivkovic, A. Liotta and E. Smirnov. Inexpensive user tracking using Boltzmann Machines (Type B paper). Proceedings of the 27th Benelux Conference on Arti_cial Intelligence (BNAIC), Hasselt, Belgium (pp. 1-2), 2015.
- Aduda, Kennedy, Vink, W.P.J., Boxem, Gert, Zhao, Yang & Zeiler, Wim (2015). Evaluating cooling zonal set point temperature operation strategies for peak load reduction potential : case based analysis of an office building. 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, 29 June - 2 July, Eindhoven, The Netherlands (pp. 1-5). Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Aduda, K.O., Boxem, G., Thomassen, T.P.W. & Zeiler, W. (2015). Adaptability of office buildings for improved energy intelligence: a case analysis for operations in electrical power grid. Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Development in Building and Environment (SuDBE2015), 27-29 July 2015, Reading UK (pp. 1-8).
- de Bont, K.F.M., Aduda, K. & Zeiler, W. (2015). Active loads in office buildings as a demand side resource towards the smart grid. Proceedings CISBAT 2015 (pp. 443-448). Lausanne: EPFL.
- Zeiler, W., Aduda, K., (2015). Buildings' energy flexibility: starting from the user to support the Smart Grid. "Future Buildings and Districts - Sustainability from Nano to Urban Scale" : Proceedings CISBAT 2015, 9-11 September 2015, Lausanne, Switzerland
- Zeiler, W., Labeodan, T., Aduda, K. & Boxem, G. (2015). Buildings 'energy flexibility : a bottom-up multi-agent user based approach for system integration of energy infrastructures to support the smart grid. Proceedings MED GREEN FORUM, 26-28 August 2015, Florence, Italy
- Zeiler, W. (2015). Integral approach from user towards Smart Grid. Proceedings Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) Technical Symposium, 16-17 April 2015, London, United Kingdom London.
- Zhao, Y., Aduda, K., Zeiler, W. & Boxem, G. (2015). Optimal design of renewable energy system with storage towards grid friendly buildings. The 9th International Symposium on Heating, Ventilation, and Air Conditioning

(ISHVAC) and The 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), July 12-15, 2015, Tianjin, China

- Aduda, K.O., Zeiler, W. & Boxem, G. (2014). A multi agent system framework for value focused interactions between buildings and electrical grids. International Conference on intelligent Green Buildings and Smart-Grids(IGBSG), 23-25 April 2014, Taipei, Taiwan (pp. 1-4). Taipei: Technische Universiteit Eindhoven.
- K.O. Aduda, E. Mocanu, G. Boxem, H.P. Nguyen, W.L. Kling, and W. Zeiler, The potential and possible effects of power grid support activities on buildings: an analysis of experimental results for ventilation system. Universities' Power Engineering Conference (UPEC), 2-5 September, Cluj-Napoca, Romania, (pp. 1-6), 2014.
- Aduda, K.O., Zeiler, W., Boxem, G. & Labeodan, T.M. (2014). On defining information and communication technology requirements and associated challenges for 'energy and comfort active' buildings. *Proceedings of the 4th International Symposium on Frontiers in Ambient and Mobile Systems (FAMS-2014)*, 2-5 June 2014, Hasselt, Belgium (pp. 979-984). (Procedia Computer Science, No. 32). Elsevier.
- Aduda, K.O., Mocanu, E., Boxem, G., Nguyen, H.P., Kling, W.L. & Zeiler, W. (2014). The potential and possible effects of power grid support activities on buildings: an analysis of experimental results for ventilation system. *Proceedings of the 49th Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2014)*, 2-5 September 2014, Cluj-Napoca, Romania. (pp. 1-6). Cluj-Napoca.
- Aduda, K.O., Zeiler, W., Boxem, G. & Bont, de, K (2014). On the use of electrical humidifiers in office buildings as a demand side resource. *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Energy Information (SEIT 2014)*, 2-5 June 2014, Hasselt, Belgium (pp. 723-730). (Procedia Computer Science, No. 32).
- Aduda, K.O., Thomassen, T.P.W., Zeiler, W., Labeodan, T.M., Boxem, G., Velden, van der, J.A.J. & Dubbeldam, J.W. (2014). The human in the loop: an approach to individualize smart process control. *Proceedings of the 12th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning DDSS 2014 25-27 August 2014, Eindhoven, The Netherlands* (pp. 302-312). (Procedia Environmental Sciences, No. 22).
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and W.L. Kling, Comparison of machine learning methods for estimating energy consumption in buildings. International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 7-10 July, Durham, United Kingdom (pp. 1- 5), 2014.
- E. Mocanu, K.O. Aduda, H.P. Nguyen, G. Boxem, W. Zeiler, M. Gibescu, and W.L. Kling, Optimizing the energy exchange between the Smart-Grid and building systems. International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), 2-5 September, Cluj-Napoca, Romania (pp. 1-6), 2014.
- E. Mocanu, D.C. Mocanu, H.Bou Ammar, Z. Zivkovic, A. Liotta and E. Smirnov. Inexpensive user tracking using Boltzmann machines. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 5-8 October, San Diego, California (pp. 1-6),2014.

- E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and W.L. Kling. Optimized parameter selection for assessing building energy efficiency. IEEE Young Researchers Symposium (YRS), 24-25 April, Ghent, Belgium, 2014.
- Zeiler, W. & Aduda, K.O. (2014). Office building as virtual power plants: uncertainty of demand within the smart grid. In L. Hovráth & Z. Rusák (Eds.), Tools and Methods of Competitive Engineering: proceedings of the Tenth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2014), May 19-23, 2014, Budapest, Hungary (pp. 1123-1134). Delft.
- Aduda, K.O., Zeiler, W. & Boxem, G. (2013). Smart-Grid - BEMS : the art of optimizing. The connection between comfort demand and energy supply. In Proceedings of the International Conference for Enhanced Building Operations [ICEBO], 8-11 October 2013, Montreal, Canada (pp. 1-6).
- Hurtado Munoz, L.A., Nguyen, H.P., Kling, W.L. & Zeiler, W. (2013). Building energy management systems: optimization of comfort and energy use. In Proceedings of the 48th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2013), 2-5 September 2013, Dublin, Ireland (pp. 1-6). Dublin-Ireland.
- Labeodan, T.M., Aduda, K.O. & Zeiler, W. (2013). Towards multi-agent systems in building automation and control for improved occupant comfort and energy efficiency- state of the art and challenges. In Proceedings of the International Symposium on Intelligent Building and Building Automation (ISBBA 2013), 9-11 November 2013, Zhangjiajie (pp. 1-8).
- Zeiler, W., Boxem, G. & Aduda, K.O. (2013). Interface between building energy management system and smart grid. In Implementing Sustainability - Barriers and Chances: Proceedings of SB 13 Munich, 24-26 April 2013, Munich, Germany (pp. 1-8).
- Zeiler, W. & Boxem, G. (2013). Smart-Grid - building energy management system an ontology multi-agent approach to optimize comfort demand and energy supply (DE-13-C008). In Proceedings of the 2013 ASHRAE Annual Conference, 22-26 June 2013, Denver, USA Vol. 119. ASHRAE Transactions. Denver.
- Zeiler, W., Aduda, K.O. & Boxem, G. (2013). To cope with uncertainty in smart energy systems: office buildings as a source for energy flexibility. Proceedings of the International Conference for Enhanced Building Operations [ICEBO], 8-11 October 2013, Montreal, Canada (pp. 1-6).

Conference oral and poster presentations

- E. Mocanu, H.P. Nguyen, and M. Gibescu (Big) data analytics in Smart-Grids. European Data Forum (EDF2016), 29-30 June, Eindhoven, The Netherlands, 2016.
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, and M. Gibescu. High-order Boltzmann machines to quantify the building energy variability, IEEE Student Branch Eindhoven, 13 June, Eindhoven, The Netherlands, 2016.
- E. Mocanu, H.P. Nguyen, M. Gibescu, and W.L. Kling. Deep Learning to estimate building energy demands in the Smart-Grid context. SNN Symposium Intelligent Machines 2015, March 17, Nijmegen, The Netherlands, 2015.

Master thesis

- M. Voerman, Grid connected active office building with integrated electrical storage. Case-study to investigate electrical storage control strategies for demand-side management, MSC thesis June 21th 2017
- K.F.M. de Bont, Development of a Photovoltaic- and Electrical storage system for investigation of Demand Side management strategies in office buildings, MSc thesis, March 4 2016
- C. Pampidis, Multi agent systems for building performance assessment, March 2015
- T.P.W. Thomassen, Smart-Grid Building energy management, May 2014

Professional Journals

- De Bont K., Zeiler, W., Boxem, G., Labeodan T., Aduda, K.O., Velden, J.A.J. van der (2016). Decentrale elektrische energie opslag voor elektrische infrastructuur in stedelijke gebieden, TVVL Magazine, 45(3), 2-5.
- Zeiler, W., Thomassen, T., De Bont K., Aduda, K.O., Boxem, G., Velden, J.A.J. van der & Dubbeldam, J.W. (2014). Een slim net en slimme meter, 'Alleen nog' het gebouw slim maken, TVVL Magazine, 43(6), 2-7.
- Zeiler, W., Aduda, K.O., Boxem, G., Verhaart, J.C.G., Thomassen, T., Velden, J.A.J. van der & Dubbeldam, J.W. (2013). Smart energy systems. Smart-Grid en gebouwbeheersystemen. TVVL Magazine, 42(10), 14-17.

- **Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn;**

Meer exemplaren van dit rapport zijn kosteloos te bestellen bij Kropman Installatietechniek, contactpersoon Wim Zeiler, W.Zeiler@Kropman.nl

- **Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie**

Ir. J.A.J. van der Velden- Kropman BV - joep.van.der.velden@kropman.nl

Prof.ir. W. Zeiler – TU Eindhoven Faculteit Bouwkunde- w.zeiler@bwk.tue.nl

Dr. P.H. Nguyen – TU Eindhoven Faculteit Electrotechniek - p.nguyen.hong@tue.nl

Dr. E. Pauwels – CWI Amsterdam - Eric.pauwels@cw.nl

Ir. P.M.A. van Tooren – Almende – peet@almende.org

- **Vermelding van de verkregen subsidie**

Maatwerkbeschikkingen 2012: “Het TKISG01002 project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI Smart-Grid uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”