

Auteurs Dr.ir. R.J. (Robbert-Jan) Dikken (Peutz bv), S. (Stan) Vanwersch, MSc (DGBC)

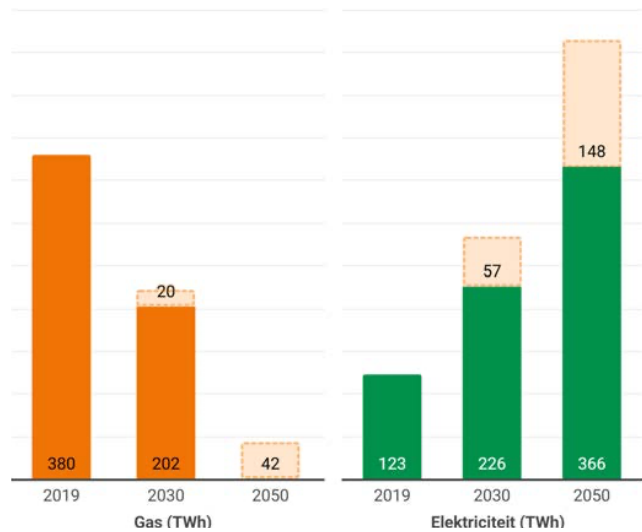
# Grip op netcongestie met AI-gedreven energieflexibiliteit

*De energietransitie en elektrificatie van de maatschappij leiden tot netcongestie. Het elektriciteitsnet heeft op korte, kritieke momenten onvoldoende capaciteit om gelijktijdige vraag of teruglevering te verwerken, waarbij vraag en aanbod niet in balans zijn. Netcongestie leidt tot instabiliteit, wat zeer ongewenst is in een maatschappij die afhankelijk is, en steeds afhankelijker wordt, van (duurzame) elektriciteit. De gevolgen zijn direct merkbaar in vertragingen van aansluitingen en stagnerende projecten [1][2], terwijl de ambities om te verduurzamen juist groeien [3].*

*Het probleem zit niet in het totale energiegebruik, maar in piekvermogens die ontstaan door elektrificatie van warmte en mobiliteit en door het variabele karakter van hernieuwbare energieopwekking. Energieflexibiliteit biedt hiervoor een praktisch handelingsperspectief: met data, voorspellende modellen en artificiële intelligentie (AI), kunnen pieken worden afgevlakt of verschoven zonder functie- of comfortverlies of zware investeringen.*

Binnen het meerjarige onderzoeksprogramma Brains4Buildings is onderzocht hoe AI toepassing en Model Predictive Control (MPC) deze flexibiliteit concreet kunnen maken in de praktijk [4]. De benadering sluit aan op aangescherpte beleidskaders zoals Energy Performance of Buildings Directive IV (EPBD IV), die elektrificatie versnellen en de inzet van lokale opwekking vergroten [3], en op prognoses die wijzen op een groeiende rol van elektriciteit in het primaire energiegebruik [5]. Dit artikel bespreekt hoe een organisatie grip kan krijgen op piekvermogens met AI-gedreven energieflexibiliteit. Daarbij wordt een casus toegelicht over het intelligent laden van elektrische voertuigen. Deze casus laat zien hoe dezelfde laadbehoefte kan worden georganiseerd binnen de beschikbare systeemruimte, met behoud van functionaliteit en comfort.

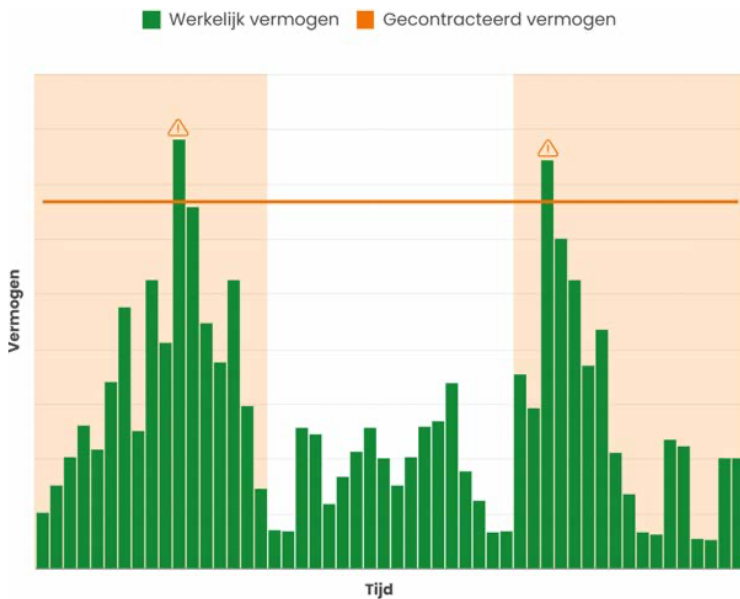
De energietransitie wordt sterk gestuurd door beleid, zoals de Europese richtlijn EPBD IV, die strengere energieprestatienormen en Zero Emission Buildings (ZEB) introduceert [3]. Dit beleid versnelt de elektrificatie van warmte, stimuleert de uitrol van laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen en vergroot de inzet van zonnepanelen. Prognoses tonen aan dat het aandeel elektriciteit in het primaire energiegebruik richting 2030 en 2050 fors zal stijgen, terwijl gasverbruik afneemt [5] (zie Figuur 1).



Figuur 1: Prognose primair energiegebruik 2030 en 2050 volgens FIEN+ [5].

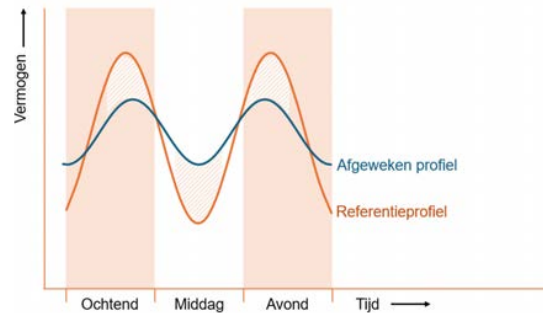
Door deze ontwikkelingen elektrificeert de gebouwde omgeving snel. Duurzame opwekking is dynamisch en weersafhankelijk, waardoor de beschikbaarheid van lokaal geproduceerd vermogen sterk varieert. Tegelijkertijd veroorzaken installaties zoals warmtepompen, luchtbehandelingsystemen en laadpunten voor elektrische voertuigen eigen piekvermogens door gelijktijdige vraag. De variabiliteit van lokale opwekking versterkt dit effect, doordat productieprofielen sterk kunnen fluctueren door weersomstandigheden.

Deze dynamiek leidt tot pieken in gelijktijdigheid van vraag en van teruglevering, waardoor de netcapaciteit tijdelijk kan worden



Figuur 2: Piek en gecontracteerd vermogen.

Figuur 3: Het referentieprofiel en het afgeweken profiel na flexibiliteitsmaatregelen.



overschreden. Dit uit zich als afnamecongestie wanneer het gevraagde vermogen niet beschikbaar is, en als teruglevercongestie wanneer het net de extra productie niet kan verwerken (zie Figuur 2). Cruciaal is dat deze pieken bepalen of projecten doorgang kunnen vinden en of verzwaringen tijdig kunnen worden gerealiseerd. De kern van het vraagstuk verschuift daarmee van totaalvolume (jaarverbruik) naar gelijktijdig vermogen: het is doorslaggevend of de aansluiting of het betreffende netdeel in korte tijdvakken de maximale belasting aankan. Dit verklaart waarom een gebouw met een gunstig jaarverbruik alsnog vastloopt bij uitbreiding of vernieuwing. De oplossing vraagt om een aanpak die het vermogen flexibel stuurt op een schaal van minuten tot uren [6]. Zo wordt ook het gebruik van hernieuwbare energie beter benut. Dit is waar energieflexibiliteit als handelingsperspectief naar voren komt.

### Energieflexibiliteit

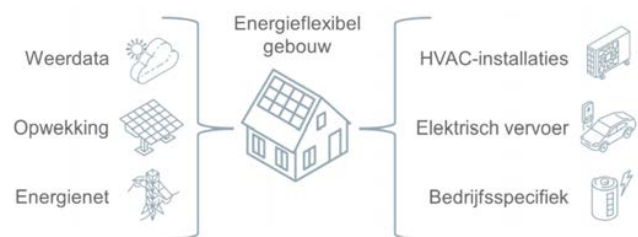
Energieflexibiliteit biedt precies het handelingsperspectief om op vermogen door de tijd te sturen: hetzelfde gebouw en dezelfde processen, maar met een optimaler tijdsverloop. Het uitgangspunt is het referentieprofiel. Dit is het verbruiks- en leveringspatroon dat ontstaat wanneer installaties autonoom draaien op basis van lokale, instantane sensordata en vaste routines. In dat profiel openbaren zich zowel de piekmomenten als de kansen. Denk aan HVAC-systemen die gelijktijdig starten, productielijnen die synchroon lopen met werktijden en EV's die direct na aankomst op maximaal vermogen laden: vermogens stapelen zich op in een korte periode.

Door het samenspel van installaties, opslag en lokale opwek te coördineren, ontstaat een afgeweken profiel dat dezelfde functies

vervult, maar met lagere en beter gespreide pieken (zie de schematische weergave in Figuur 3). Het gaat dus niet om het inleveren van comfort of functionaliteit, maar om het naar voren halen of uitstellen van acties. Voorverwarmen, voorcoelen en het benutten van gebouwmassa creëren thermische buffers; batterijen dempen elektrische pieken; en laadstrategieën richten dezelfde energiebehoefte op gunstige tijdstippen.

Om deze flexibiliteit veilig en effectief te realiseren, is meten en voorspellen essentieel. Zes groepen parameters zijn leidend (zie Figuur 4):

- Weerdata;
- Lokale opwekking;
- Energienet;
- HVAC-installaties;
- Elektrisch vervoer;
- Bedrijfsspecifieke omstandigheden zoals lokale opslag of buffers (batterijen / thermische opslag).



Figuur 4: Parameters voor het optimaliseren van energiebeheer.

Door inzicht in deze parameters kunnen optimale sturingsstrategieën de warmte-, koel- en laadvraag tijdelijk herverdelen naar perioden met veel aanbod of gunstige netcondities, wat leidt tot lagere energieprijzen, zonder concessies aan comfort of procescontinuïteit.

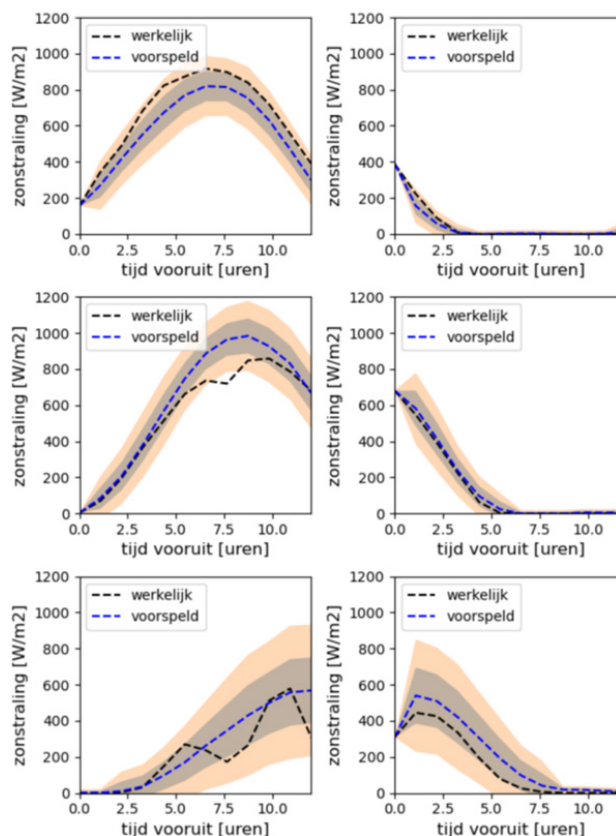
Energieflexibiliteit middels Model Predictive Control

Om de potentie van energieflexibiliteit daadwerkelijk te benutten, is het essentieel om niet alleen reactief te sturen, maar juist vooruit te kijken en te anticiperen op verwachte omstandigheden. Waar traditionele regelingen pas ingrijpen bij een afwijking van de setpoint, vraagt de dynamiek van variabele energieopwekking om een proactieve aanpak. Binnen het Brains4Buildings-programma is daarom gekozen voor een hybride sturingsstrategie, waarin fysieke kennis van gebouwen en installaties worden gecombineerd met datagedreven inzicht uit lokale meetdata. Eerder onderzoek toonde reeds de waarde van AI voor aansturing van installaties in gebouwen [7].

Met de fysica als uitgangspunt wordt gewaarborgd dat de onderliggende causaliteit, zoals thermische massa, warmteoverdracht en ventilatie, correct wordt meegenomen. Tegelijkertijd zorgt de dataaag voor flexibiliteit en adaptiviteit, bijvoorbeeld bij wisselende bezettingspatronen of onverwachte interacties tussen systemen. Model Predictive Control (MPC) vormt hierin de verbindende schakel. Het iteratieve karakter van MPC zorgt ervoor dat de regeling zich voortdurend aanpast aan nieuwe inzichten en veranderende omstandigheden. Dit proces van voorspellen, aansturen, uitvoeren van acties, en monitoren van gebouw en omgeving is schematisch weergegeven in Figuur 5. Zo ontstaat een sturingsproces dat niet alleen reactief is, maar juist anticipeert op potentiële pieken en deze voorkomt, waarbij het comfort voor gebruikers stabiel blijft en abrupte overgangen worden geminimaliseerd.



Figuur 5: Visualisering van het iteratieve proces van optimale aansturing.

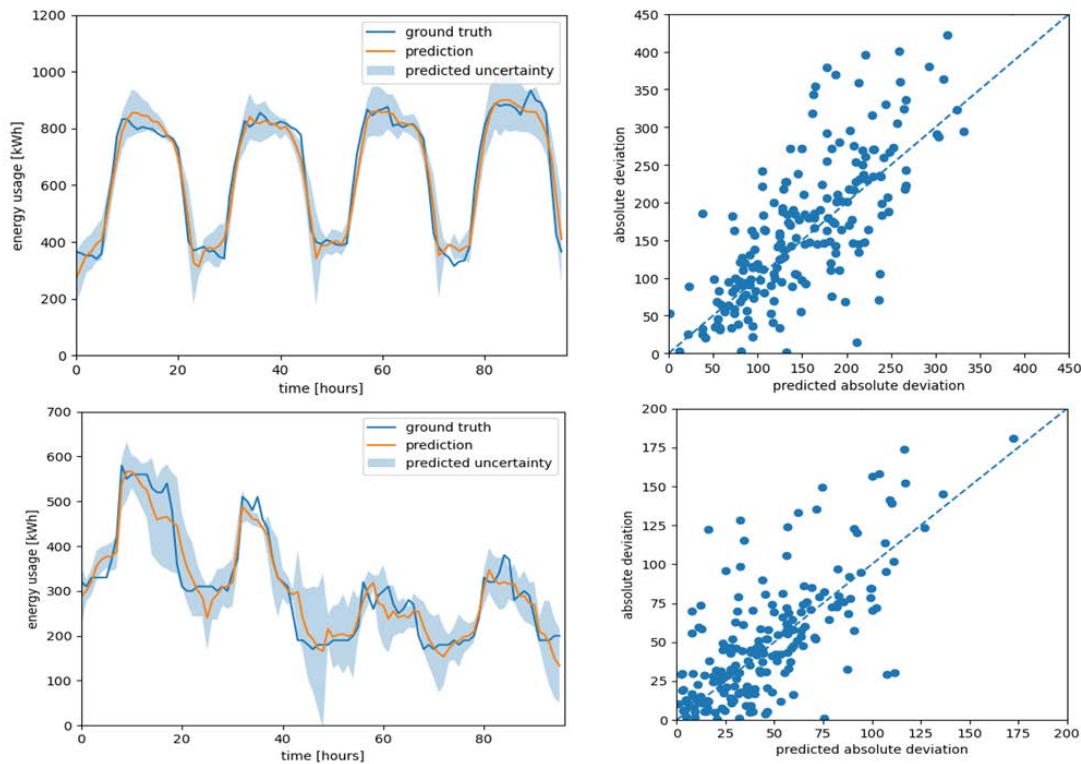


Figuur 6: Voorspelde en werkelijke zonnestraling.

Robuuste voorspellingen van aanbod en vraag

Een voorspellende regelstrategie staat of valt met de kwaliteit van de prognoses. In gebouwen met energieopwekking middels PV is zonnestraling de dominante factor voor het aanbod. Door AI-modellen te trainen op lokale metingen, zoals buitentemperatuur, luchtvochtigheid en atmosferische druk, en te combineren met fysieke patronen, ontstaat een betrouwbare inschatting van de productie in de komende uren. De toepassing van hybride AI voor lokale zonvoorspelling is eerder uitgebreid onderzocht [8]. Meerdere modellen parallel trainen en laten draaien maakt het mogelijk om een onzekerheidsband te bepalen, zoals in Figuur 6 weergegeven. Bij grotere onzekerheid kan de regeling een conservatievere strategie kiezen, bijvoorbeeld door extra buffervermogen beschikbaar te houden of door laadvermogens tijdelijk te begrenzen. Bij stabiel weer en weinig onzekerheid kan assertiever worden geoptimaliseerd.

Aan de vraagzijde geldt hetzelfde principe. Modellen die fysiek relevante variabelen meenemen, zoals bezetting, interne warmtelast, zonninstraling en de invloed van gebouwmassa, leveren robuustere voorspellingen op dan modellen die alleen op historische correlaties getraind zijn. Figuur 7 toont een voorbeeld van het voorspellen van de vraag. In regelmatige, repeterende scenario's volgt de modelcurve de



**Figuur 7:** Voorspelling van energiegebruik en onzekerheid van de voorspelling bij periodiek verloop (boven) en een verloop met meer afwijking (onder).

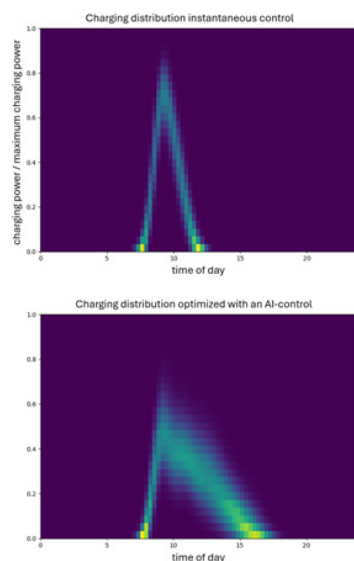
referentiecurve nauw en blijft de bandbreedte klein. In perioden met afwijkende situaties of onvoorspelbaar weer wordt de bandbreedte groter en kan de strategie zijn om voor een conservatieve regelactie te gaan. Onzekerheid is daarmee geen storende factor, maar een expliciete parameter die helpt om betrouwbaarheid en comfort te borgen.

### Intelligent laden van elektrische voertuigen

De principes van energieflexibiliteit en voorspellende sturing komen duidelijk tot uiting in de praktijk van het laden van elektrische voertuigen bij kantoorgebouwen. Conventionele laadstrategieën laten voertuigen direct na aankomst op vol vermogen laden, wat resulteert in scherpe pieken in het elektriciteitsverbruik en een verhoogd risico op netcongestie. Een door MPC-aangestuurde aanpak vormt daarentegen een alternatief dat beter aansluit bij de beschikbare systeemruimte en het dynamische karakter van vraag en aanbod.

Door laadsessies optimaal te plannen op basis van verwachte vertrektijden, actuele gebouwbelasting en voorspellingen van lokale opwekking (zoals PV-systemen), kunnen laadmomenten worden verschoven naar periodes waarin het net minder belast wordt. Dit

betekent dat, wanneer later op de dag de energieopwekking met PV toeneemt, een groter deel van de laadvraag kan worden ingevuld met lokaal opgewekte energie. Tegelijkertijd wordt het laadvermogen tijdens piekmomenten van andere installaties, zoals HVAC-systemen, begrensd om cumulatie van vermogens te voorkomen.



**Figuur 8:** Het opladen van auto's zonder en met laadoptimalisatie

Deze aanpak vereist transparantie en voorspelbaarheid richting gebruikers en beheerders. Dashboards die inzicht geven in verwachte laadtijden en marges maken duidelijk dat de laadstrategie niet willekeurig is, maar juist gericht op het optimaal organiseren van de behoefte binnen heldere randvoorwaarden. Voor de beheerder wordt inzichtelijk wat het effect is op piekvermogen, het aandeel laden op lokale opwekking en het aantal keren dat een fallback-modus wordt geactiveerd. Deze fallback waarborgt de basisfunctionaliteit wanneer realiteit en prognose uiteenlopen, door automatisch te kiezen voor een conservatiever laadprofiel zodat comfort en primaire functies altijd gegarandeerd blijven.

Een voorbeeld van een optimalisatiestrategie wordt visueel weergegeven in Figuur 8, waarin het verschil tussen conventioneel laden en laadoptimalisatie duidelijk zichtbaar is.

#### Waarde van energieflexibiliteit en voorwaarden

De meerwaarde van energieflexibiliteit manifesteert zich op meerdere niveaus. Op systeemniveau leidt energieflexibiliteit ertoe dat de belasting van gebouwen beter aansluit bij de beschikbare netcapaciteit, waardoor kostbare netverzwaringen kunnen worden voorkomen of doelmatiger gepland. Op gebouwniveau leidt dit tot lagere piekbelastingen, een hogere voorspelbaarheid en een efficiënter beheer van assets, wat gunstig is voor contractafspraken en tariefstructuren.

Deze voordelen komen echter alleen tot hun recht als de onderliggende dataketen betrouwbaar is. Sensoren moeten correct meten, data moet integraal en tijdig beschikbaar zijn, en tijdstempels moeten synchroon lopen om modellen en aansturing van kwalitatieve informatie te voorzien. De inzet van AI vraagt bovendien om heldere afspraken over data-eigenaarschap, privacy en de rolverdeling tussen eigenaar, beheerder en dienstverleners. In omgevingen waar gebouwen deelnemen aan marktmechanismen voor flexibiliteitsdiensten, krijgt flexibiliteit zelfs een expliciete financiële waarde, vooral wanneer de druk op het net groot is en de prikkel om vermogens te verlagen of opnamecapaciteit te creëren het sterkst is.

Transparante communicatie over doelen en randvoorwaarden is essentieel, omdat voorspelbaarheid in gedrag en beleving minstens zo belangrijk is als voorspelbaarheid in data en modellen. Juist in de context van aangescherpt beleid (zoals EPBD IV) en de groei van elektriciteitsgebruik ontstaat zo een consistent raamwerk waarin waardecreatie en techniek elkaar versterken.

#### Conclusie

De energietransitie transformeert het energiesysteem naar een duurzamere en meer decentrale structuur, maar introduceert tegelijkertijd dynamiek en variatie die leiden tot tijdelijke pieken en netcongestie. Deze pieken vormen een directe uitdaging voor het realiseren van duurzaamheidsambities en het tijdig uitvoeren van projecten. Het sturen op jaargemiddelden biedt onvoldoende grip op deze problematiek; juist het actief ontwerpen aan tijdsverloop en vermogensbelasting geeft het elektriciteitsnet de benodigde ademruimte en waarborgt comfort en functionaliteit voor gebruikers.

Energieflexibiliteit is daarom geen optionele luxe, maar een essentiële ontwerfphilosofie binnen de gebouwde omgeving. Door het inzetten van data, voorspellende modellen en artificiële intelligentie, zoals Model Predictive Control, wordt het energiebeheer proactief en adaptief. Onzekerheid wordt daarbij niet langer gezien als een verstoring, maar als een ontwerpparameter die helpt om betrouwbaarheid en comfort te borgen.

De praktijkcasus rond intelligent laden van elektrische voertuigen illustreert hoe dezelfde energiebehoefte optimaal kan worden georganiseerd binnen de beschikbare systeemruimte, mits de dataketen betrouwbaar is, de modellen robuust zijn en de randvoorwaarden helder zijn. In samenhang met aangescherpt beleid en de structurele groei van elektriciteitsgebruik ontstaat zo een solide fundament voor een betrouwbaar, toekomstbestendig en kostenefficiënt energiesysteem in de gebouwde omgeving. ■

#### Referenties

1. Netcongestie: impact op nieuwbouw en verduurzaming | Aedes
2. Blijven bouwen in tijden van netcongestie - Rabobank
3. Europese Richtlijn energiestaat van gebouwen EPBD IV | RVO.nl
4. Brains4buildings – <https://brains4buildings.org/>
5. Financiële Impact Energietransitie voor Netbeheerders ("FIEN+"), PwC, 16 december 2024
6. Yuan, H.; Chen, Y.; Chen, Z. Investigation on Electricity Flexibility and Demand-Response Strategies for Grid-Interactive Buildings. *Buildings* 2025, 15, 4368
7. Dikken, R.J., Machine learning en data science voor klimaatinstallaties, *TVVL Magazine* 7, 2019
8. Dikken, R.J., Lokale zonvoorspelling met hybride AI op basis van beperkte weersdata, *TVVL Magazine* 1, 2024