

# PRAGMATISCH MODEL VOOR SNELLE, BETROUWBARE ENERGIEBEREKENINGEN ALS ALTERNATIEF VOOR NTA8800

## RESULTAAT EN DOORKIJK NAAR VERVOLGSTUDIE

**We presenteren hier een eenvoudige methode om de energiebehoefte voor ruimteverwarming in bestaande woningbouw zoals die wordt berekend in de NTA8800 adequaat te benaderen met slechts enkele fysische parameters. Niet om de NTA8800 aan de kant te schuiven, maar om een brug te slaan tussen de gedetailleerde berekeningen op woningniveau en de grote-lijnen aanpak op portefeuilleniveau waar beleidsmakers en bestuurders mee te maken hebben.**

**Dit werk is gebaseerd op tussenresultaten die voor de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO)<sup>1</sup> zijn gebruikt, met goedkeuring van RVO; en recent advies- en onderzoekswerk. We maken vervolgens een doorkijk naar wat dit betekent voor voorspelling van het 'werkelijk' energieverbruik en toepassing van geavanceerde statistische methoden.**

<sup>1</sup> <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/verduurzaming-warmtevoorziening/uniforme-maatlat-gebouwde-omgeving>



dr. B. (Boudewijn) Elsinga

### De hoofdvraag van dit artikel luidt:

Is het mogelijk op een eenvoudige en toegankelijke manier een voorspelling te doen van de invloed van energetische verbeteringen op uiteindelijk werkelijk energiegebruik in woningen op populatieniveau?



ir. G.J. (Geurt) Donze

### NORMEN EN WAARDEN

Een belangrijk onderdeel van de energietransitie in de gebouwde omgeving bestaat in onze dagelijkse praktijk uit het inrichten van en advies geven met rekeninstrumenten zoals UMGO (Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving) en routekaarten. De behoefte ontstond om voor willekeurige gebouwen op basis van enkele bouw-fysische kenmerken de kernresultaten van de NTA8800 berekeningen te kunnen reproduceren. Het doel hiervan is om op woningvoorraadniveau betrouwbaar en snel inzicht te kunnen geven in de verwachte effecten van energiebesparende maatregelen, zonder het hele stappenplan van complete invoergegevens (proberen te) verzamelen tot en met het maken van uitgebreide (batch)berekeningen te doorlopen. Hiermee doen we geen uitspraken over individuele woningen of gebouwen en worden er geen energielabels afgegeven, maar dient het een organisatie als een woningcorporatie, gemeente of vastgoedbelegger bij het beantwoorden van principevragen als: "haal ik de CO<sub>2</sub> doelstellingen als ik niet triple glas maar HR++ glas toepas?", of: "wat als deze wijk nu geen warmtelevering krijgt, wat kost mij dat aan extra isolatie?", of: "wij hebben een ambitieus duurzaam meerjarig onderhoudsplan, wat betekent dat voor onze CO<sub>2</sub>-uitstoot t/m 2030?" De aanpak is ook bruikbaar voor het maken van beleidsanalyses op landelijk niveau.



ir. H. (Harry) Hoiting



ir. P.W.G. (Pieter) Nuite

stichting W/E adviseurs duurzaam bouwen

Klimaatdoelstellingen zijn in termen van CO<sub>2</sub>-emissie geformuleerd, maar aan de basis van deze emissie staat de energievraag. De energievraag is waar centraal op gestuurd kan worden, vanuit het vastgoed gezien. Bovendien is het lastig de emissiekengetallen naar de toekomst toe eenduidig vast te stellen. Daarom leggen wij (en ook partijen als woningcorporatiekoepel Aedes) liever de focus op energie (warmte)vraag en niet op CO<sub>2</sub>-emissie.

In dit artikel presenteren wij een manier om betrouwbaar realistisch bespaarpotentieel/effect van verduurzamingsmaatregelen te modelleren zonder uitgebreide NTA8800-berekeningen en zonder "langs de deuren" te gaan voor meterstanden.

### NTA8800 REPRODUCEREN: 'ZEG MAAR U'

In de bouwfysica spelen rekenmodellen een grote rol. Wij vinden de verhouding tussen meten en modelmatig voorspellen fascinerend. Voor een relatief simpel fenomeen als de warmtebalans van een gebouw is terecht veel aandacht. Leidend model in Nederland is op dit moment de NTA8800: de bepalingmethode voor energieprestatieberekeningen die de EPG-Nader Voorschrift voor bestaande bouw en de NEN 7120 voor nieuwbouw verving per 1-1-2021.

Hebben we die NTA met 1.100 pagina's en addenda wel nodig om betrouwbaar modelmatig voorspellingen te doen over werkelijke effecten van verduurzamingsmaatregelen in het grotere plaatje? Er is de noodzaak voor verstandige, onderbouwde keuzen voor concrete plannen en beleid. Niet de n = 1 benadering, maar betrouwbare

voorspellingen zijn nodig op portefeuilleniveau voor gebouwgegevens, en als stevig fundament voor landelijk beleid.

Het doel is om te kijken of dezelfde theoretische energieverbruiken bepaald met de NTA direct zijn af te leiden uit puur bouwfysische kenmerken, eventueel gedifferentieerd naar woningarchetype en het ventilatiesysteem. Als dat lukt, hoef je alleen bijvoorbeeld de gebouwschil te kennen en dan volgt de ruimteverwarmingsvraag uit een eenvoudige regressieformule. ('zeg me uw U-waarde en ik geef u uw kWh/m<sup>2</sup>...') In het bijzonder gaat het om de specifieke netto warmtebehoefte ( $E_{H,nd}$ ) formule 5.3a uit NTA8800.

### Empirisch model: theoretische waarden

Vanuit 2.040 gedetailleerde NTA8800 berekeningen behorende bij de BENG-referentiewoningen<sup>2</sup> voor traditioneel/zware bouwmethoden, hebben we een verrassend eenvoudige en betrouwbare relatie gevonden tussen bekende fysische invoerwaarden, en de doelwaarde (in kWh/m<sup>2</sup>. jaar): **specifieke netto warmtebehoefte ( $E_{H,nd}$ )**.

Onderstaande regressieformule is het model dat we hierbij gebruikt hebben:

$$E_v = a_v + b_v * U_{gem} * \left(\frac{A_{in}}{A_g}\right)^{n_v} \quad (1)$$

Hierbij staat  $E_v$  voor de doelwaarde,  $U_{gem}$  voor de gemiddelde schilisolatie (in W/m<sup>2</sup>K), voor het verliesoppervlak in m<sup>2</sup>,  $A_g$  voor het gebruiksoppervlak in m<sup>2</sup>, en zijn er voor de regressieformule nog de vrije parameters  $a_v$ ,  $b_v$  en  $n_v$ . In feite zoeken we naar een lineair verband tussen de doelwaarde en de kwaliteit van de thermische schil gecombineerd met de vormfactor van de woning. De parameter  $n_v$  is nog toegevoegd om afwijking (afbuiging) van een lineaire verband ten opzichte van de vormfactor te vatten. Zo wordt het model niet in een keurslijf van een 'rechte lijn' gedwongen en is er betere aansluiting tussen data en fit zonder voor een specifiek (bouwfysisch) model te kiezen.

Dit model is toegepast op deelverzamelingen van de woningen behorend bij een specifiek ventilatiesysteem (vandaar subscript ) omdat het ventilatietype sterk van invloed is op de verhouding van de invoer- en doelwaarden. Er is onderscheid gemaakt tussen de volgende ventilatiesystemen:

- A1: natuurlijke toe- en afvoer
- C1: natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- C4c: natuurlijke toevoer, mechanische afvoer (luchtdruk- en CO<sub>2</sub> gestuurd zonder zonering)
- D2: gebalanceerde centrale toe- en afvoer met warmteterugwinning en
- D5a: gebalanceerde toe- en afvoer met warmteterugwinning (CO<sub>2</sub> gestuurd, met zonering)

Wij hebben bewust niet gekozen voor een fysisch model waarin bijvoorbeeld infiltratie, ventilatievoud en temperatuur als parameter voorkomen. Het doel van ons model is

<sup>2</sup> <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/beng-gebouwtipe/referentiegebouwen>

namelijk niet zozeer het achterhalen van deze parameters via een fit, maar juist een model te vormen waar zo min mogelijk situatie-specifieke parameters voor nodig zijn. Het gebruiksdoel is toepassing vanuit statische gebouwkenmerken. Ventilatie zit er in onze aanpak in die zin in, dat we de gebouwberekeningen gesorteerd hebben naar onderscheidend ventilatiesysteem. Infiltratie nemen we impliciet mee in de veronderstelling dat de kwaliteit van luchtdichtheid sterk gecorreleerd is met de kwaliteit van isolatie (bevat in de parameter  $U_{gem}$  [W/m<sup>2</sup>K]).

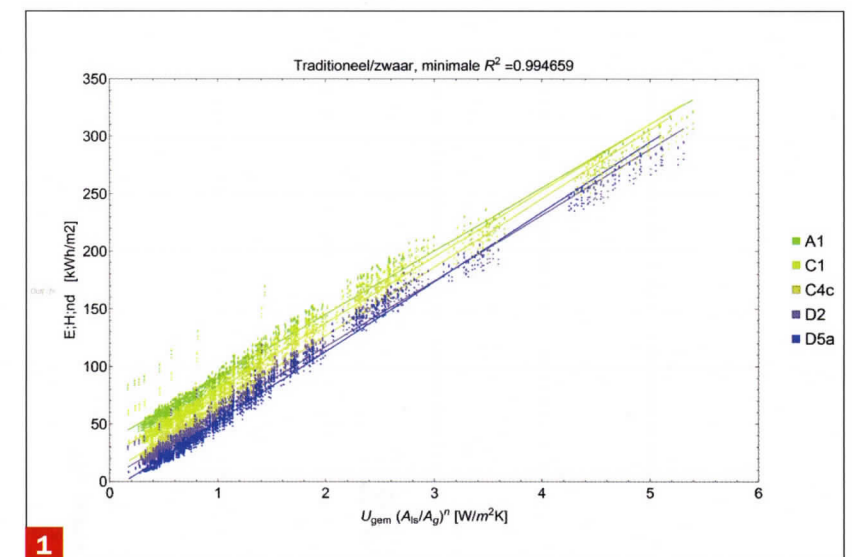
Het zou echter een interessant vervolgonderzoek zijn om te kijken wat de optimale weg tussen een 'black box' en een 'white model' is voor het herleiden van gebouwkenmerken.

### Empirisch model: resultaten

Met deze beperkte hoeveelheid parameters blijkt het model zeer sterk in het volgen van de NTA8800-berekening, wat blijkt uit de gevonden R<sup>2</sup> coëfficiënten (minimaal 99%). Een model met meer parameters is daarbij niet nodig gebleken voor deze fit. In enkele gevallen zijn er datapunten die niet het model volgen: dit betreft één voorbeeldwoning waarbij steeds 8 isolatiepakketten zijn doorgerekend. Deze woning heeft een afwijkende vormfactor en we laten deze verder buiten beschouwing. Voor het pragmatisch gebruik van ons model nemen we de uitschieters voor lief.

Zo hebben we voor elke ventilatieklasse een relatie gevonden, die is gevat in de vrije parameters. Hiermee kan voor een woning buiten de bekende verzameling dus met enkel de kennis over het verlies- en gebruiksoppervlak en de schilisolatie met deze parameters een gegronde inschatting van de ruimteverwarmingsvraag gemaakt worden zonder de hele NTA8800 berekening te doen.

De constante parameter  $a_v$  geeft een onderscheidende startwaarde afhankelijk van het ventilatiesysteem. De lineaire parameter  $b_v$  geeft de trend tussen de warmtetransmissie i.c.m. compactheid en de warmtevraag weer. Uit de combinatie van  $a_v$  en  $b_v$  is in de grafiek af te lezen dat



1

Rekenresultaten en regressiemodel voor de theoretische energieverbruiken in lineaire vorm, voor de verschillende ventilatiesystemen

## MACHINE LEARNING

Binnen *Machine Learning* is een tak gericht op het trainen en benutten van artificiële neurale netwerken (ANN). Het principe bestaat uit de volgende basisstappen:

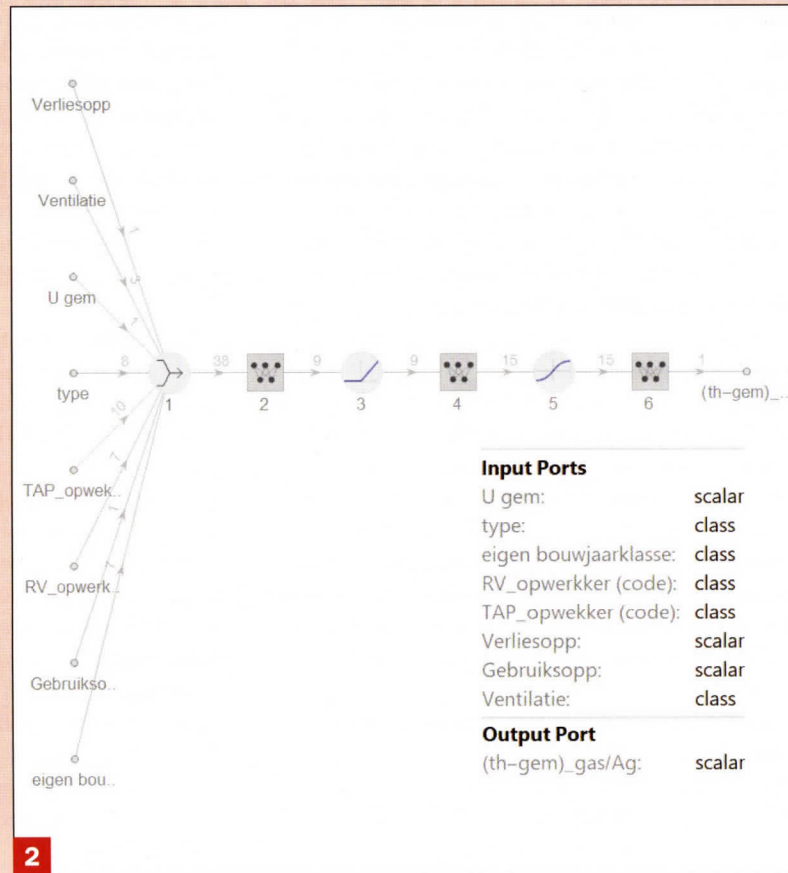
- Het kiezen van een doelvariabele (in dit voorbeeld het verschil tussen theoretisch en gemeten gasverbruik, per vierkante meter gebruiksoppervlak).
- Het kiezen van invoerparameters waarvan de onderstelling is dat ze van invloed zijn op de doelvariabele. De tussenliggende relatie is onbekend en blijft onbenoemd.
- Het inrichten van het ANN, bestaande uit 'neuronen', afgeleid van zoals ze in de hersenen bestaan. Hier zijn twee lagen van 8 en 15 neuronen gebruikt, zie figuur 2. Ter vergelijking: in het menselijk brein zijn meer dan 100 miljard neuronen bekend.
- Het trainen van het ANN. Hiertoe worden combinaties van invoergegevens en bekende, correct doelvariabelen aan het ANN getoond. Via veelvuldig uitgevoerde maar eenvoudige berekeningen, blijven bij de 'neuronen' in het netwerk weegfactoren (verbindingen) hangen waarmee het patroon van invoer en correcte uitvoer 'onthouden' wordt.
- Nieuwe invoer die aan het ANN wordt getoond, wordt door het ANN verwerkt zoals dat getraind is en het netwerk produceert dan een resultaat.
- Trainen en verifiëren gebeurt met verschillende delen van dezelfde dataset zodat er niet vals gespeeld kan worden.

Het risico van het trainen van een ANN, net als met het opvoeden van kinderen of anderszins iemand iets leren, is dat er met hele suggestieve voorbeelden gewerkt wordt of een voorkeur (bias) wordt geïntroduceerd. Een getraind netwerk geeft 'buiten de context' van de training evengoed resultaten maar die hebben dan geen betekenis. 'Vooroordelen' zijn vlug gemaakt en het is dus de kunst evenwichtig met de gekozen invoerparameters om te gaan en hiervan bewust te zijn.

Het voordeel is dat er geen strikte, bouw fysieke relaties te hoeven worden uitgezocht en geprogrammeerd en dat er ook andere, meer kwalitatieve, gegevens kunnen worden toegevoegd over een woning of bewoners. In die zin is het een 'black-box': wat er tussen invoer en uitvoer gebeurt, is puur statistisch en afhankelijk van de configuratie van het netwerk en de trainingsdata.

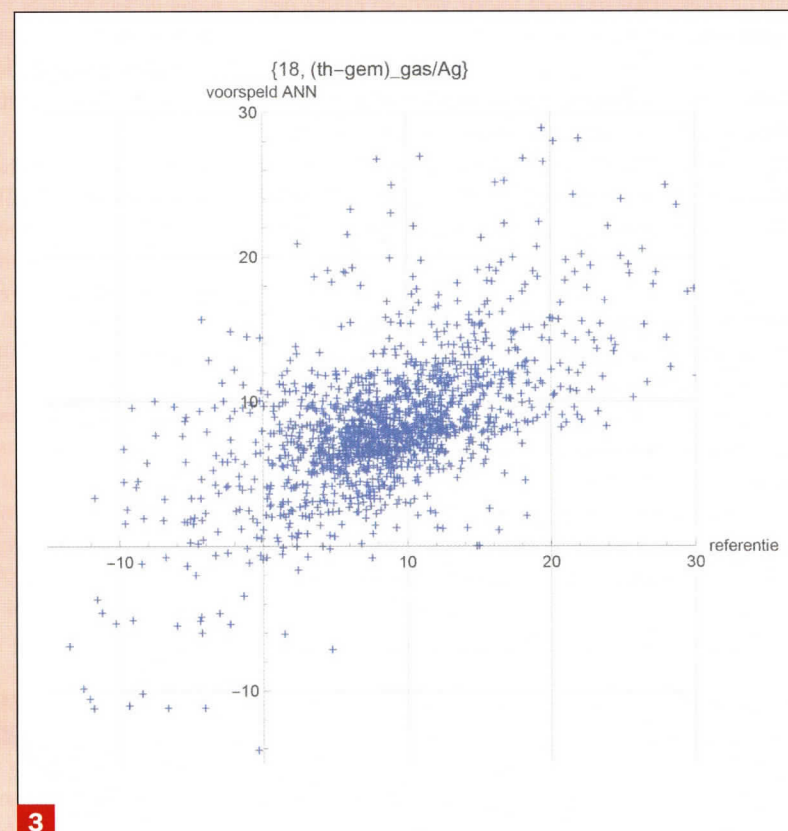
Onderstaand voorbeeld geeft weer wat een simpel ANN, getraind op circa 4.000 WoOn2018 gegevens vertelt over het verwachte verschil tussen theoretisch en werkelijk specifiek gasverbruik als je het model de volgende kenmerken voert: getalsmatig zoals gemiddelde isolatiewaarde (U), verliesoppervlak, maar ook classificaties zoals woningtype, bouwjaar klasse, ruimteverwarmingstoestel, warmtapwaterstoestel, ventilatieklasse. Tussen de gevonden resultaten en de in dit geval bekende correcte referentiewaarden, is een aardige correlatie te zien (zie figuur 3). De standaarddeviatie van de afwijking is 5,8 kWh/m<sup>2</sup>. Dat zegt ons dat ruim twee derde van de voorspellingen minder ver afwijkt. Tegelijkertijd is ook te zien dat er horizontale clusters overblijven, waarbinnen de gevonden relatie minder goed vertegenwoordigd is.

Meer trainingsgegevens en inregelen van het netwerk kan een dergelijke voorspelling strakker maken, maar het is nooit gegarandeerd dat elke uitschieter gemiddeld, laat staan verklaard, kan worden. Het biedt echter wel perspectief om snel een inschatting te kunnen maken.



2

Schema van het ANN met links de invoerparameters en rechts de doelvariabelen. Ertussen zitten de lagen met neuronen



3

Spreidingsdiagram tussen de voorspelde waarden (verticaal) en de referentie waarden (horizontaal) van het ANN voorbeeld. Beide assen zijn in kWh/m<sup>2</sup>

voor goed geïsoleerde woningen (links in de grafiek) het verschil tussen de verschillende ventilatietypen erg van belang is. Dit verschil neemt af naar mate de transmissieverliezen belangrijker worden (rechts in de grafiek).

De waarde voor  $n$  geeft het relatieve belang van compactheid aan bij slechter geïsoleerde woningen (hogere U): hoe kleiner de waarde van  $n$ , hoe minder sterk de bijdrage van de factor  $A_{is}/A_g$  in een niet-compacte woning ( $A_{is} > A_g$ ). Dit effect zien we sterker terug bij meer geavanceerde ventilatiesystemen (C4c, D5a).

Deze parameters en het bijbehorende model kan men vervolgens gebruiken om een redelijk betrouwbare schatting te maken van de warmtevraag van een woning bij gegeven ventilatiesysteem, gemiddelde U-waarde van de schil en de compactheid van de woning.

Er is nog onderscheid te maken in gebouwmassa-klasse (traditioneel/zwaar en lichte bouw). Beide typen leveren een vergelijkbaar beeld.

### Empirisch model: conclusie

Belangrijkste observaties die terugkomen in de gegevens en het model (figuur 1), zijn dat de lijnen nagenoeg parallel lopen en het absolute verschil tussen de lijnen beperkt is, in de orde van 45 kWh/m<sup>2</sup>. Bij een betere isolatie (en een vaste vormfactor), is het relatieve verschil tussen de ventilatietypen echter steeds belangrijker. Dus: goed geïsoleerde woningen lijken het meeste baat te hebben bij balansventilatie, voor slecht geïsoleerde woningen is het relatieve verschil met andere ventilatiemethoden minder groot; dat is natuurlijk een 'open deur'.

We richten ons hier vooral op de energiebehoefte voor ruimteverwarming. De koelbehoefte, het voorkomen daarvan en het actief invulling geven in woningen, gaat in de toekomst aan belang winnen [4]. Vervolgonderzoek geeft meer inzicht in de combinatie van verwarmen en koelen.

### VOORUITBLIK

Met het hier gepresenteerde fitmodel kunnen wij het proces van energiebesparende maatregelen vergelijken laagdrempelig inrichten. Zo kan er tussen beslisser en uitvoerder sneller geschakeld worden om verduurzamingsconcepten op hoofdlijnen verantwoord met elkaar te vergelijken. Concreet voorbeeld is het samenbrengen van een woningcorporatie en haar co-makers/ketenpartners die een woningcomplex aardgasloos gaan verbeteren en daarover met elkaar willen sparren en zo de verstandigste keuzen maken.

Nu hebben we de theoretische energieverbruiken volgens de normberekening beschouwd, waarmee inschattingen voor het effect van energetische ingrepen van verschillende gebouwen op dezelfde voet vergeleken kunnen worden, maar de werkelijkheid is rijker.

Wanneer inzicht in verbanden tussen gebouwkwaliteit en werkelijk energieverbruik gewenst is, zijn meer verklarende parameters nodig dan de paar die wij nu gebruikt hebben. Ook zal hierbij altijd de gedragscomponent van bewoners een rol spelen [5]. Om met grotere hoeveelheden parameters te werken, zonder precies de verbanden te kunnen voorspellen, is het interessant om met meer black-box achtige aanpak te werken, *Machine Learning* (zie kader). Hier richten wij ons in vervolgonderzoek op, geïnspireerd door [6].

De verwachting is echter dat er geen ultiem model bestaat dat toegankelijk en pragmatisch is en tegelijk nauwkeurig het verbruik van individuele huishoudens kan voorspellen. De vraag is of dat ook het ultieme doel is, of dat een robuuste basisvoorspelling voldoende is voor beleidsmakers en beslissers om de noodzakelijke verduurzamingsopgave in gang te zetten. ■

### BRONNEN

- [1] <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/verduurzaming-warmtevoorziening/uniforme-maatlat-gebouwde-omgeving>
- [2] Majcen, D., L.C.M. Itard and H. Visscher, Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications. Energy Policy, 2013
- [3] Ruud van den Wijngaart en Steven van Polen, Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de startanalyse 2020. Schatting op basis van gemeten en berekend aardgasverbruik, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2020
- [4] Pieter Nuiten e.a. Ontwikkeling van koudevraag van woningen - Factsheets met conclusies en aanbevelingen, W/E adviseurs i.o.v. RVO en TKI Urban Energy, 2018
- [5] Isabella Gaetani, Pieter-Jan Hoes & Jan L. M. Hensen (2020) A stepwise approach for assessing the appropriate occupant behaviour modelling in building performance simulation, Journal of Building Performance Simulation, 13:3, 362-377, DOI: 10.1080/19401493.2020.1734660
- [6] Robbert-Jan Dikken, Introductie in Machine Learning en Data Science voor toepassing binnen de bouwfysica, Bouwfysica 3, 2018

■ OP DE VOLLENDE PAGINA'S PLAATSEN WE EEN ARTIKEL UIT TVVL MAGAZINE 4 - 2022