

Grootschalige evaluatie van de effecten van verduurzaming

Citation for published version (APA):

Roberdel, V., Ossokina, I. V., Karamychev, V., & Arentze, T. A. (2023). Grootschalige evaluatie van de effecten van verduurzaming: inzicht in de verschillen tussen de bewoners en hun gedrag. *Real Estate Research Quarterly*, 22(4), 36-46.
https://files.vastgoedbibliotheek.nl/Server/getfile.aspx?file=docs/publicaties/site/RERQ/2023_4/Grootschalige_evaluatie_van_de_effecten_van_verduurzaming.pdf

Document status and date:

Published: 01/01/2023

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Grootschalige evaluatie van de effecten van verduurzaming: inzicht in de verschillen tussen de bewoners en hun gedrag

Woningcorporaties moeten meer dan een miljoen woningen energiezuinig en duurzaam maken. Correcte informatie op maat over de effecten van renovaties voor de huurders is hierbij van groot belang. We voerden een grootschalige evaluatie uit van isolatie-upgrades in de sociale huursector en vonden grote verschillen in de effecten tussen de huurderssegmenten. We laten zien hoe deze inzichten worden vertaald in betere communicatie met de huurders en een interactieve digitale optimalisatietool om renovaties te prioriteren.

Vincent P. Roberdel, Ioulia V. Ossokina, Vladimir A. Karamychev, Theo A. Arentze

INLEIDING

In Nederland is 30% van de totale woningvoorraad in handen van woningcorporaties – organisaties zonder winstoogmerk met als belangrijkste taak: zorgen voor betaalbare woningen voor mensen met lage inkomens. Al sinds het in 2012 aangenomen convenant Sociale Huursector (Ministerie BZK et al., 2012) zijn Nederlandse woningcorporaties bezig om hun woningvoorraad duurzamer en energiezuiniger te maken. Woningverduurzaming door middel van upgrades in isolatie, warmte- en elektriciteitssystemen heeft diverse effecten voor huurders. De energielasten gaan omlaag, het comfort neemt toe, de milieuvoetafdruk wordt kleiner. Hoe ingrijpender de renovatie, des te groter de impact. Echter, uit de internationale literatuur is ook bekend dat het effect van dezelfde renovatie sterk kan verschillen per bewonerssegment. Inzichten in deze verschillen zijn zeer relevant voor de corporaties, om twee redenen. Ten eerste, hiermee kunnen individuele huurders op maat worden geïnformeerd over wat verduurzaming specifiek voor hen zal betekenen, met als resultaat een groter draagvlak voor het renovatiebeleid. Dit is belangrijk doordat corporaties bij de wet verplicht zijn om de steun van 70% van de huurders te krijgen voor ze een renovatie mogen beginnen. Ten tweede, de corporaties zelf kunnen de inzichten gebruiken om betere beleidskeuzes te maken. De nog te renoveren voorraad is groot, men moet prioriteiten stellen welke woningen als

eerste zullen worden aangepakt. Goede informatie over de verwachte effecten helpt bij het maken van afwegingen om optimaal te prioriteren.

Om in deze beleidsbehoefte te voorzien, rapporteert dit artikel over de resultaten van een grootschalige studie naar de verschillen in de effecten van woningisolatie-upgrades, per woningtype en huurderssegment.¹ Deze verschillen zijn onderzocht op basis van individuele data over de woningen en bewoners. De steekproef bevat data over 40% van de sociale huursector in Nederland. Met behulp van econometrische technieken en machine learning zijn de sociale huurders gevolgd van wie de woning tussen 2017 en 2019 een isolatie-upgrade heeft gekregen. Voor deze huishoudens is aardgasverbruik in beeld gebracht tussen 2014 en 2021 en vergeleken met identieke huishoudens in nog niet gerenoveerde woningen. Deze methode om de effecten van een interventie te meten door een zogeheten *interventiegroep* met een zogeheten *controlegroep* te vergelijken, heet een quasi-experiment. Een rijke dataset met informatie op individueel niveau over verschillende woning- en huishoudeneigenschappen maakte het mogelijk om de effecten te onderscheiden naar huurderssegment.

Onze studie draagt niet alleen bij aan de maatschappelijke, maar ook aan de internationale wetenschappelijke discussie. Ten eerste bestaan

er nog maar relatief weinig grootschalige (en dus representatieve) studies naar verduurzaming van woningen, en het gros hiervan is gedaan voor de VS (bijvoorbeeld Fowlie et al., 2018, Allcott et al., 2017) en het VK (bijvoorbeeld Penasco et al., 2023, McCoy et al., 2021). Wij voegen bewijs voor Nederland toe gebaseerd op data over 200.000 sociale huurwoningen. Ten tweede, hoewel onderzoekers het over het algemeen met elkaar eens zijn dat de effecten van duurzame renovaties per bevolkingsgroep kunnen verschillen, is er geen eenduidigheid over de mate waarin. Bijvoorbeeld, Davis et al. (2014), Aydin et al. (2017), McCoy en Kotsch (2021) vinden dat de omvang van aardgasbesparingen na renovatie positief samenhangt met het huishoudensinkomen, terwijl Hammerle en Burke (2022) een tegenovergesteld effect rapporteren. Verder, Liang et al. (2018) en McCoy en Kotsch (2021) vinden bij grootverbruikers van verwarming/aardgas grotere dan gemiddelde renovatie-effecten, maar Aydin et al. (2017) rapporteert het tegenovergestelde. Onze data maken het mogelijk om voor een scala aan verschillende huishoudens- en woningkenmerken te testen of ze van invloed zijn op het effect van de renovatie. Ook bespreken we een mogelijk mechanisme waardoor de effecten per bewonersgroep verschillen. Tenslotte, draagt onze studie bij aan de wetenschappelijke discussie over de kosten en baten van het beleid dat armoede bestrijdt door middel van interventies die energiekosten van arme huishoudens omlaag brengen (zie bijvoorbeeld Avanzini et al., 2022).

In het vervolg van dit artikel gaan we in op (i) de beleidsachtergrond, gebruikte sample en data, (ii) model en methode, (iii) bevindingen en (iv) mogelijke beleidstoepassingen van het ontwikkelde model en de verkregen inzichten. We sluiten af met een discussie en een conclusie.

BELEIDSACHTERGROND, SAMPLE EN DATA

Het potentieel voor energie- en milieubesparing in de Nederlandse sociale huursector is groot. Ongeveer twee derde van de 2,2 miljoen sociale woningen werd vóór 1993 gebouwd, volgens de lage energie-efficiëntie bouwnormen van die tijd. Sinds een aantal jaren zijn woningcorporaties door

de overheid verplicht gesteld om deze woningen duurzamer te maken. De energierenovaties begonnen met het convenant Sociale Huursector in 2012 (Ministerie BZK et al., 2012). Hoewel inmiddels al veel woningen zijn verbeterd, blijft voor de komende jaren nog werk aan de winkel. Betere isolatie is vaak een van de eerste maatregelen die wordt toegepast om een woning energiezuiniger en duurzamer te maken. Dit vindt zijn weergave in de in 2022 gemaakte Nationale Prestatieafspraken door de corporaties, de gemeenten en het Rijk: vóór 2028 moeten alle woningen met de lage energielabels E, F, G zijn verduurzaamd en in 2030 moet een groot aantal woningen vergaand zijn geïsoleerd (zie Aedes, 2022 voor verdere details).

Onze studie onderzocht de effecten van isolatierenovaties door 128 Nederlandse woningcorporaties die gezamenlijk ongeveer 1 miljoen sociale woningen bezitten (40% van de totale sociale sector). De corporaties zijn gevestigd in verschillende regio's van het land en zijn samen representatief voor de gehele sociale sector. We focussen op de renovaties die tussen 2017 en 2019 zijn verricht en vergelijken de gerenoveerde woningen (interventiegroep) met alle niet-gerenoveerde woningen die voor een isolatie-upgrade in aanmerking kwamen (controlegroep). De controlegroep is gedefinieerd als oudere minder energie-efficiënte woningvoorraad: gebouwd voor 1993, niet recent gerenoveerd, energielabel C tot en met G.

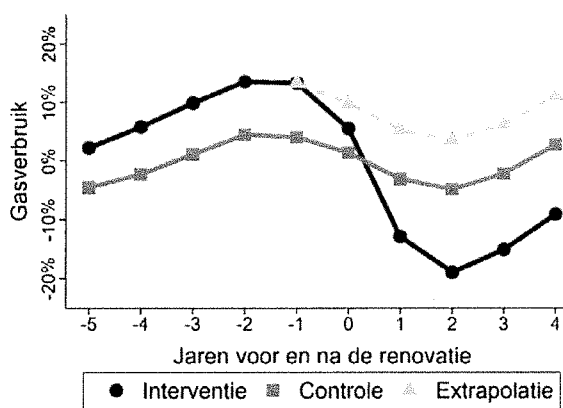
Om de studie te kunnen uitvoeren, combineerden we twee datasets. De eerste bevat longitudinale gegevens op woningniveau over gebouwkenmerken, energie-efficiëntie-indicatoren en renovatiekenmerken voor de jaren 2016 tot 2021. Deze zijn afkomstig van de Energiemonitor van ingenieursbureau Atriensis (Atriensis, 2023). De tweede, eveneens longitudinale, dataset bevat beperkt toegankelijke microgegevens op huishoudensniveau, die onder voorwaarden voor dit onderzoek beschikbaar zijn gesteld door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Het gaat onder meer om de sociaal-economische kenmerken van de huishoudens en hun jaarlijkse verbruik van gas en elektriciteit voor de jaren 2014 tot 2021.

Op adresniveau werden de twee datasets door CBS samengevoegd en geanonimiseerd. Per woning per jaar heeft dit informatie opgeleverd over: (1) de structurele woningeigenschappen, (2) het renovatiejaar en de renovatiekenmerken, (3) kenmerken van de bewoners en (4) energieverbruik van de bewoners.

De uiteindelijke dataset waar de analyses op werden gedaan bevat ongeveer 200.000 woningen die aan het begin van onze studieperiode in aanmerking kwamen voor isolatierenovatie. De dataset bestaat voor 60% uit eengezinswoningen en voor 40% uit appartementen. Ongeveer 20.000 woningen in de dataset zijn in 2017-2019 gerenoveerd (interventiegroep);² de rest heeft geen renovatie meegemaakt tussen 2000 en 2021 (controlegroep). We volgden al deze woningen gedurende 2014 tot 2021 en maakten gebruik van de interventiegroep om het effect van renovatie op energieverbruik te berekenen. De controlegroep werd gebruikt om voor de autonome tijdstrends in gasverbruik te controleren, dat wil zeggen de veranderingen in gasverbruik die niet met de renovatie te maken hebben, maar bijvoorbeeld met een strengere winter of de toegenomen energieprijsen.

Figuur 1 illustreert de ontwikkeling van gasverbruik in de interventie- en de controlegroep, 5 jaar voor en 4 jaar na de renovatie. De figuur laat zien dat de twee groepen vóór de renovatie een vergelijkbare trend volgden in gasverbruik. Na de renovatie is er bij de interventiegroep een drastische vermindering in gasverbruik te zien. Door middel van extrapolatie kunnen we de tijdstrend in de interventiegroep doortrekken, parallel aan die van de controlegroep (onderbroken lijn in de figuur). Dit is het counterfactual gasverbruik in de interventiegroep, dit wil zeggen het verwachte gasverbruik als de renovatie niet zou hebben plaatsgevonden. Het gemiddelde effect van de renovatie kan dan statistisch worden berekend door het echte gasverbruik in de interventiegroep te vergelijken met het *counterfactual* gasverbruik. In de volgende paragraaf wordt deze methode door middel van een formeel model uitgelegd.

FIGUUR 1 ▶ TREND IN GASVERBRUIK IN DE CONTROLE- EN DE INTERVENTIEGROEP



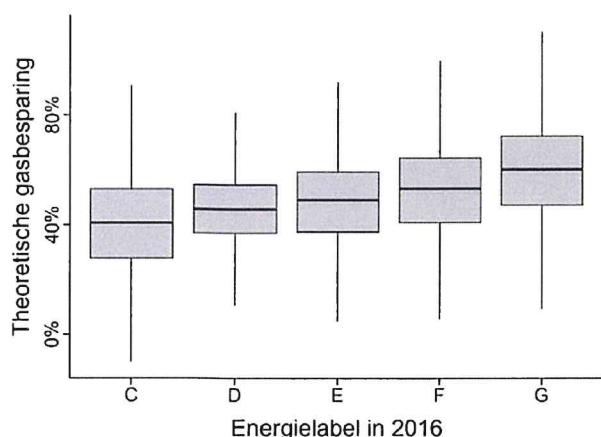
De figuur illustreert de ontwikkeling van het gasverbruik in de interventie- en de controlegroep, 5 jaar voor en 4 jaar na de renovatie. Door middel van extrapolatie is de tijdstrend in de interventiegroep doortrokken, parallel aan die van de controlegroep. Dit is het zogeheten counterfactual verbruik – het gasverbruik dat verwacht kon worden zonder een isolatierenovatie. Het gemiddelde effect van de renovatie kan dan statistisch worden berekend door het echte gasverbruik in de interventiegroep te vergelijken met het counterfactual gasverbruik.

De vraag kan rijzen of de interventiegroep een representatieve steekproef vormt voor de woningen die in aanmerking kwamen voor isolatie-upgrades. Het is immers niet uitgesloten dat corporaties hun renovaties op een heel specifiek segment van de voorraad hadden gericht. We hebben dit door middel van een statistische analyse onderzocht. We vonden een zekere oververtegenwoordiging in de interventiegroep van eengezinswoningen, woningen met slechtere energielabels E, F, G en oudere woningen. Echter, wat betreft de bewonerseigenschappen (als omvang huishouden, inkomen, opleiding), hebben de interventie- en de controlegroep een zeer overeenkomstige samenstelling. Om rekening te houden met de verschillen in woningeigenschappen tussen de twee groepen, zijn standaard econometrische technieken gebruikt. Daarnaast hebben we aanvullend de effecten van renovaties geschat per woningsegment: voor de appartementen en eengezinswoningen apart en ook per energielabel apart (Roberdel et al., 2023).

Gerenvoerde woningen verschillen van elkaar in termen van de omvang van uitgevoerde renovatie:

soms werd alleen het dak geïsoleerd, in andere gevallen alleen de spouwmuren en in weer andere woningen is de hele schil geïsoleerd. Figuur 2 geeft de renovatieomvang weer, per energielabel. De renovatieomvang is gemeten in termen van de theoretisch voorspelde gasbesparing, uit het gebouwprestatie­model VABI (alle woningcorporaties in onze data gebruiken VABI). De mediane renovatie in onze data impliceert een theoretische gasbesparing van tussen de 40% (eengezinswoningen) en de 50% (appartementen). We zullen in alle data-analyses voor de omvang van de renovatie controleren, de meeste resultaten worden gerapporteerd voor de mediane renovatie.

FIGUUR 2 ► RENOVATIEOMVANG PER ENERGIELABEL



De figuur laat voor de gerenoveerde woningen de verdeling van de renovatieomvang zien, per oorspronkelijk energielabel van de woning. De renovatieomvang is gemeten in termen van de theoretisch voorspelde gasbesparing door renovatie, uit het gebouwprestatie­model VABI. De boxplots geven de 25, 50 en 75 percentielen weer en de spreiding van de data.

EMPIRISCHE AANPAK, BEL-INSULATIONMODEL

Om het effect van de renovaties op energieverbruik te schatten gebruiken we een controle-interventiegroep vergelijking (zie figuur 1). In deze paragraaf wordt het empirische model formeel uitgelegd, het model heeft de naam BEL-insulation. De uitleg is vrij technisch, een lezer die niet geïnteresseerd is in deze details, wordt geadviseerd om direct naar paragraaf 4 te gaan.

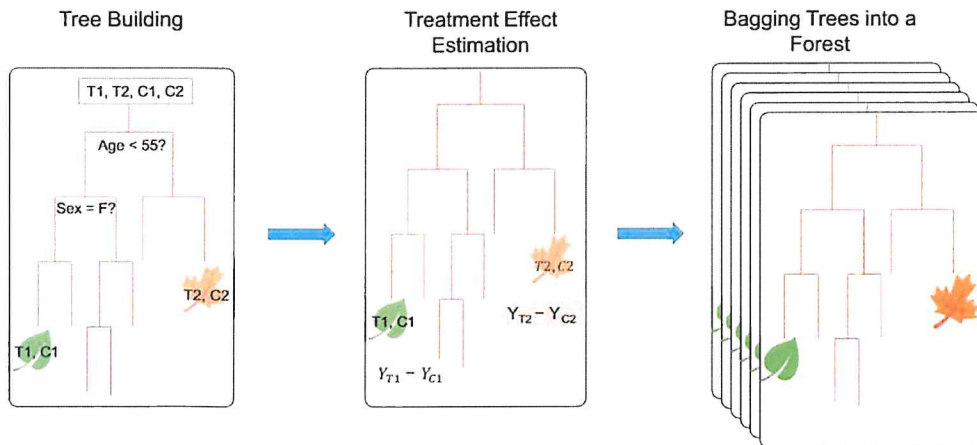
Vergelijking (1) beschrijft het formele econometrische model dat het gasverbruik relateert aan de woning- en bewoneigenschappen en een indicator of de woning gerenoveerd is geweest (Angrist and Pischke, 2008). Voor een zuivere schatting voegen we tevens een woningspecifieke constante per woning toe – een zogeheten fixed effect dat voor niet-geobserveerde tijdsinvariante eigenschappen van de woning en bewoner controleert.

$$(1) \quad g_{i,t} = R_{i,t}(\alpha + \beta S_i) + \delta X_{i,t} + \gamma_i + \phi T_t + u_{i,t}$$

In vergelijking (1) staat g voor logaritme gasverbruik van huishouden i in jaar t , R is een 1/0 variabele die aangeeft of de woning in jaar t is gerenoveerd; S is de omvang van de renovatie, X zijn woning- en huishoudenseigenschappen die door de jaren heen variëren (bijvoorbeeld een nieuwe boiler), γ is het fixed effect van de woning en het huishouden, T zijn jaren en u is de storingsterm. Met behulp van model (1) en de in de vorige paragraaf beschreven data, kan het gemiddelde effect van renovatie op aardgasverbruik van het huishouden worden geschat (dit is parameter α in vergelijking (1)).

Om erachter te komen of er verschillen zijn in de omvang van het renovatie-effect tussen de woning- en huurderssegmenten, gebruiken we de machinelearningmethode *Causal forest* (Athey en Imbens, 2016). Het uitgangspunt hiervan is een causale boom (*causal tree*). Via een causale boom (zie figuur 3) wordt de datasample op basis van woning- en huishoudenskenmerken achtereenvolgens opgesplitst in steeds kleinere homogene strata die onderling zo veel mogelijk van elkaar verschillen in grootte van het renovatie-effect. Door op toevallige wijze een veelheid aan bomen te bouwen kan uiteindelijk voor elke woning in de sample het individuele effect van de renovatie worden voorspeld, als het gemiddelde van de resultaten van die vele bomen. Hiermee kunnen alle woningen worden geordend op de grootte van het voorspelde renovatie-effect op aardgasverbruik. De subsamples met de kleinste en de grootste voorspelde besparing worden vervolgens

FIGUUR 3 ► CAUSAL FOREST



Bron: Guo et al., 2021

onderscheiden en nader geanalyseerd met standaard econometrische technieken. Dit om erachter te komen welke eigenschappen van de woning en het huishouden de verschillen in besparingsgrootte verklaren.

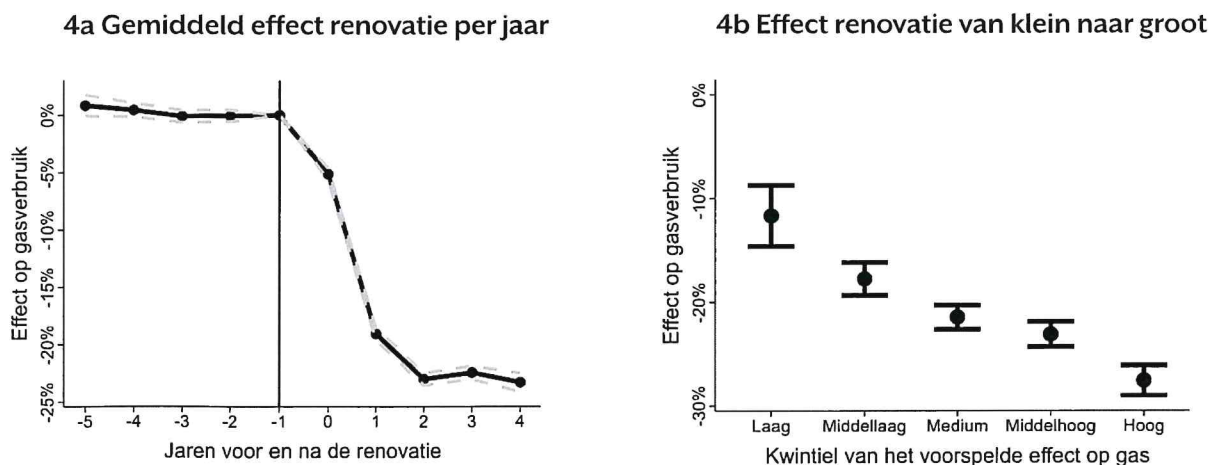
GEDRAGSMECHANISMEN

Bevindingen

Voor een mediane isolatie-upgrade vinden we met het BEL-insulationmodel een gemiddelde aardgasbesparing van tussen 22 en 25% voor eengezins-

woningen, respectievelijk appartementen. Figuur 4a illustreert het effect in de tijd. Vóór de renovatie is het effect zoals verwacht nul. In het jaar van de renovatie zien we slechts een kleine vermindering in gasverbruik. Reden hiervoor is dat renovaties in verschillende maanden van het jaar zijn uitgevoerd. Pas in het tweede jaar na de upgrade wordt het volledige effect bereikt. Een mogelijke verklaring is het leren – mensen hebben tijd nodig om het optimale niveau van stoken in hun recent geïsoleerde huis te vinden.

FIGUUR 4 ► RENOVATIE-EFFECTEN PER JAAR EN NAAR OMVANG



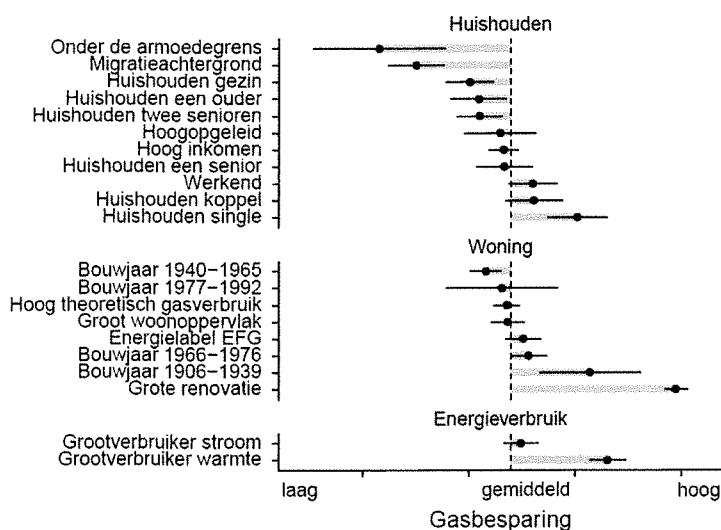
Figuur 4a beeldt het geschatte gemiddelde effect van een mediane renovatie af in de tijd voor eengezinswoningen. Figuur 4b laat voor dezelfde renovatie zien hoeveel het effect binnen de steekproef verschilt, door het geschatte effect en zijn foutmarge (95% betrouwbaarheidsinterval) voor vijf kwintielen van de data af te beelden, van kleine naar grote gasbesparing. Bron: Roberdel et al. (2023).

Figuur 4b laat zien dat zelfs voor een mediane renovatie de grootte van het effect aanzienlijk kan verschillen per huishouden: de op machine learning gebaseerde analyse laat een gasbesparing zien tussen 10 en 30%. We hebben nader onderzocht welke eigenschappen van de woning en het huishouden de verschillen in figuur 4b kunnen verklaren en dus de omvang van het effect van de renovatie kunnen voorspellen. Figuur 5 geeft voor verschillende socio-economische groepen en verschillende woningtypes weer met hoeveel procent het aardgasverbruik omlaag gaat na een mediane renovatie. Eerst kijken we naar de woningeigenschappen. Ten eerste wordt het effect – zoals te verwachten viel – groter naarmate de renovatie ingrijpender is. Bijvoorbeeld wanneer de theoretisch voorspelde gasbesparing anderhalve keer groter is dan de mediaan, dan gaat de werkelijke gasbesparing richting 30%. Woningen uit de vroege bouwjaren (vóór 1940) bereiken ook een grotere gasbesparing. Woninggrootte heeft daarentegen nagenoeg geen invloed op de procentuele omvang van het renovatie-effect. Een opvallend inzicht is dat E-, F- en G-energielabels het gemiddelde effect laten zien. Dit komt doordat het energielabel correleert met de omvang van de

renovatie. Hiervoor is in het model al expliciet gecorrigeerd.

Als we naar de huishoudenskenmerken kijken, zien we meer verschillen. De vraag naar warmte/aardgas vóór de renovatie blijkt een goede voorspeller te zijn van de besparing. Grootverbruikers met een anderhalf keer zo grote warmtevraag als gemiddeld zien hun gasverbruik met ruim een kwart dalen. Voor de huishoudens met een half zo grote vraag als gemiddeld gaat het gasverbruik met slechts een zesde omlaag. Verder gaat het gasverbruik relatief weinig omlaag bij huishoudens met zeer lage inkomens (onder het sociale minimum), grotere gezinnen en huishoudens met een migratieachtergrond, dit *ceteris paribus*. Werkloosheid, het aantal gepensioneerden in het huishouden, en het opleidingsniveau hebben nagenoeg geen invloed op de grootte van het effect. We maken ons zorgen of de gevonden invloed van de huishoudenskenmerken niet wordt gedreven door correlaties met woningtypes en/of omvang van de renovatie. Dit zou bijvoorbeeld het geval zijn als de huishoudens met de laagste inkomens overwegend kleinere renovaties zouden krijgen (immers, zowel laagste inkomens als kleine reno-

FIGUUR 5 ► RENOVATIE-EFFECT PER TYPE WONING EN HUISHOUDEN



De figuur laat het geschatte effect van de isolatie-upgrade op gasbesparing zien, voor verschillende woning- en huurderssegmenten, hier voor eengezinswoningen. De resultaten voor de appartementen zijn vergelijkbaar. De verticale stippellijn is het gemiddelde effect. Punten geven geschatte effecten per segment weer. Een horizontale zwarte lijn rondom een punt geeft de foutmarge aan (95% betrouwbaarheidsinterval). Bron: Roberdel et al. (2023).

vaties sorteren een kleiner effect). We hebben hiervoor statistisch getest en vinden hier geen aanwijzingen voor. Verder, de gevonden verschillen per huurderssegment blijven gelden als het model afzonderlijk voor eengezinswoningen en appartementen wordt gedraaid.

Een van de belangrijke inzichten uit de voorgaande analyse is dat wie vóór de renovatie veel aardgas (warmte) verbruikte, een hogere procentuele gasbesparing bereikt na de isolatie-upgrade. Wie een laag inkomen onder of rond het sociale minimum heeft, bereikt een lagere procentuele gasbesparing. Uitgedrukt in absolute termen – kubieke meter gas of CO₂ – worden deze verschillen nog groter. Zo zal een huishouden met een laag inkomen door dezelfde isolatie-upgrade slechts de helft van de milieuwinst behalen dan een huishouden met een grote vraag naar warmte.³

Mogelijke gedragsmechanismen achter de verschillen in de renovatie-effecten

Figuur 5 doet de vraag rijzen: welke gedragsmechanismen kunnen de gevonden verschillen in de grootte van het renovatie-effect verklaren? Deze vraag is nog niet voldoende onderzocht. Echter, enkele inzichten bestaan al. Roberdel et al. (2023) biedt een mogelijke verklaring waarom de laagste inkomens een relatief kleinere gasbesparing bereiken na een isolatie-upgrade. Het is algemeen bekend dat een isolatierenovatie tot een zogeheten *reboundeffect* leidt. Isolatie maakt het op temperatuur brengen van een woning een stuk goedkoper, hierdoor kiezen de huishoudens voor een hoger comfortniveau (hogere temperatuur in huis) dan voorheen. Als gevolg besparen ze minder gas na een isolatie-upgrade dan zonder zo'n gedragsaanpassing (de rebound) het geval zou zijn. Roberdel et al. (2023) ontwikkelt een simpel micro-economisch gedragsmodel, waarin de huishoudens in inkomen verschillen en hun inkomen uitgeven aan warmte in huis en overige consumptie. Het model voorspelt dat de grootte van het reboundeffect met de hoogte van het inkomen afneemt. Het mechanisme hierachter wordt gedreven door de verschillen in gedrag. Het model voorspelt dat de laagste inkomens vóór de renovatie op een

veel lager warmtecomfort zitten dan hun rijkere burens, omdat bijna al hun geld aan de basisbehoeftes opgaat.⁴ Door een isolatie-upgrade wordt het veel goedkoper om het huis warm te houden en komt wat geld vrij. Huishoudens met de laagste inkomens kiezen ervoor om een relatief groot deel van deze besparing aan comfortverbetering te besteden, door het warmtecomfort (temperatuur) in huis aanzienlijk te verhogen. Ze besparen hierdoor minder aardgas dan gemiddeld en dan mogelijk was geweest zonder deze gedragsaanpassing. Hun rijkere burens daarentegen zaten vóór de renovatie al bijna op het optimale niveau van warmtecomfort. Voor hen is het reboundeffect daarom klein en leidt isolatie puur tot een aardgas- en geldbesparing. Dit gedragsmodel werd gekalibreerd op de microdata (dezelfde als die we in dit artikel gebruiken). De kalibratie suggereert dat de armste huishoudens 10 en mogelijk wel 20% van de welvaartsbatens door een isolatie-upgrade aan comfortverbetering spenderen.

Het besproken theoretisch gekalibreerde model geeft een mogelijke verklaring voor de gemeten verschillen in het effect van isolatie-upgrades tussen de inkomensgroepen. Uiteraard zijn er ook andere verklaringen. Zie bijvoorbeeld Van den Wijngaert en Van Polen (2020), Fowlie et al. (2018).

BELEIDSIMPLICATIES EN DIGITALE TOOLS

De besproken inzichten en het achterliggende model kunnen op verschillende manieren door woningcorporaties worden gebruikt. We bespreken hieronder twee voorbeelden.

De eerste en meest voor de hand liggende toepassing betreft de informatievoorziening aan huurders over de geplande isolatie-upgrade. Tot 2028 moeten alle corporatiewoningen met een E-, F- of G-label energiezuinig worden gemaakt en honderden duizenden woningen naar een vergaand isolatieniveau worden gebracht. Gebruikmakend van de inzichten zoals die uit figuur 5, kunnen we niet alleen een realistische inschatting maken van de te verwachten effecten van de isolatie-upgrade, maar deze ook op maat berekenen, gebaseerd op het type mensen dat in het huis woont.

FIGUUR 6 ► ILLUSTRATIE PROOF-OF-CONCEPTWETOOL BESPAAR



Figuur 6 illustreert deze toepassing, in de vorm van een proof-of-concepttool Bespaar. Op de achtergrond specificeert de corporatie in de tool de omvang en aard van de renovatie en het type woning. Een huishouden wordt gevraagd om enkele socio-economische gegevens en gegevens over hun stookgedrag in te vullen. Hierna kan het BEL-insulationmodel de verwachte besparing op maat berekenen, in termen van zowel gasverbruik, gaskosten als de CO₂-besparing.

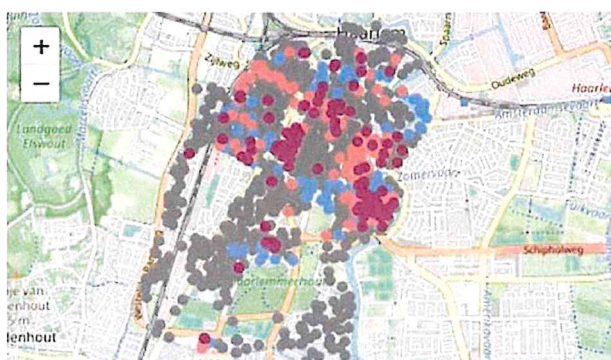
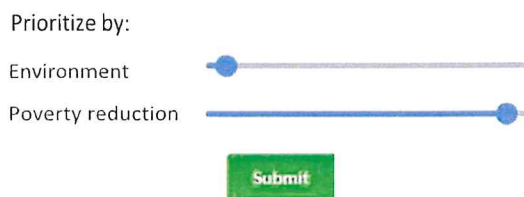
De tweede toepassing ligt op het gebied van beleidsprioritering (afwegingskader). Het aantal huurwoningen dat energiezuinig en duurzaam moet worden gemaakt in de komende jaren is zo groot dat corporaties keuzen moeten maken in welke volgorde woningen zullen worden aangepakt. Bij het maken van de keuze ligt het voor de hand om zich te laten leiden door beleidsdoelen, bijvoorbeeld: (i) E-, F-, G-woningen eerst, (ii) maximale milieubesparing bereiken, (iii) (energie)arme huishoudens als eerste aanpakken, of een gewogen combinatie van (i), (ii), (iii). Uit de analyses uit de vorige paragraaf komt naar voren dat deze doelen tegenstrijdig kunnen zijn. We vinden bijvoorbeeld dat huishoudens met de laagste inkomens een relatief kleine besparing op gas (en ook CO₂)

bereiken. Het doel 'energiearmoede eerst' dat deze huishoudens prioriteit geeft, gaat daardoor ten koste van het doel 'maximale milieubesparing'. Dit laatste doel zou optimaal worden gediend door de grootverbruikers van warmte en aardgas eerst van isolatie-upgrades te voorzien, want voor deze huurders is de procentuele en absolute gasbesparing het grootst.

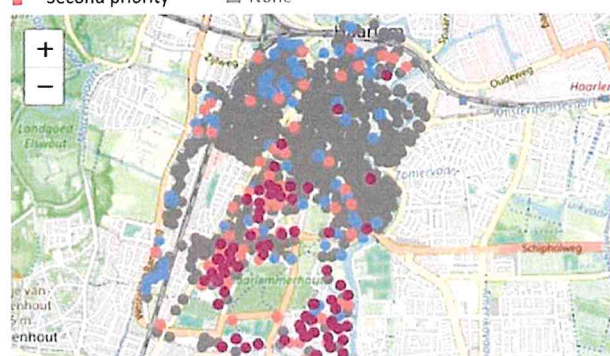
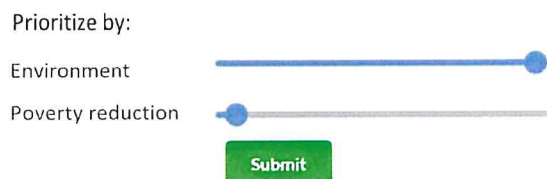
Om een mix van beleidsdoelen te kunnen realiseren is een optimalisatiealgoritme nodig. Figuur 7 illustreert een proof-of-concepttool die op zo'n algoritme is gebaseerd. In de tool kan een woningcorporatie haar woningvoorraad uploaden, aangeven welk percentage van deze voorraad moet worden gerenoveerd en gewichten toekennen aan verschillende beleidsdoelen. Het algoritme achter de tool berekent vervolgens welke woningen het best voldoen aan de gestelde voorwaarden. Uitkomsten in figuur 7a en 7b verschillen in de gewichten die aan de beleidsdoelen zijn toegekend. In 7a ging het grootste gewicht naar armoedebestrijding, in 7b naar klimaat en milieu. Merk op dat een dergelijke tool om privacyredenen met geaggregeerde data moet werken, dus niet met woningen, maar met bijvoorbeeld complexen of zescijferige postcodes.

FIGUUR 7 ► ILLUSTRATIE PROOF-OF-CONCEPTWEBTOOL PRIORITEER

7a Beleidsdoel armoedebestrijding



7b Beleidsdoel klimaat en milieu



Dit is een illustratie van de werking van de webtool Prioriteer. De punten staan voor de woningen, geaggregeerd naar pc6-niveau. De gebruiker laadt de data in, kiest het percentage voorraad dat moet worden gerenoveerd en de beleidsprioriteiten (in deze versie milieu of armoedebestrijding). De tool geeft vervolgens met kleuren de renovatieprioritering aan, op basis van een optimalisatiealgoritme uit het BEL-insulationmodel.

CONCLUSIE EN DISCUSSIE

Woningcorporaties moeten de komende jaren meer dan een miljoen van hun woningen energiezuinig en duurzaam maken, om klimaat- en milieudoelen te halen. Dit brengt grote investeringen met zich mee, maar heeft ook verstrekende gevolgen voor de bewoners en hun gedrag. Datagedreveninzichten over de effecten van de renovaties voor de bewoners zijn daarom van groot belang. Op basis van een grootschalige evaluatie van de isolatie-upgrades in de sociale huursector bracht dit artikel de effecten van verduurzaming op aardgasverbruik van individuele huishoudens in beeld. Hiervoor is een representatieve steekproef van 200.000 oudere sociale huurwoningen en hun bewoners gedurende acht jaren gevolgd, gebruikmakend van econometrische en machinelearning-technieken. Een deel van deze woningen heeft een isolatie-upgrade gekregen (interventiegroep), een ander deel niet en fungeerde als controlegroep.

De evaluatie heeft laten zien dat de opbrengsten van de isolatie-upgrades sterk verschillen tussen bewonerssegmenten. Socio-economische eigenschappen van de bewoners en ook hun warmtevraag vóór renovatie zijn belangrijke voorspellers van de omvang van de aardgas- en CO₂-besparing. Bijvoorbeeld, een mediane renovatie in onze data levert bij een eengezinswoning een gemiddelde gas- en CO₂-besparing van 22% op. Echter, bewoners met zeer lage inkomens verminderen hun gasverbruik na dezelfde renovatie met slechts 16% en huishoudens met een hoge vraag naar warmte met bijna 30%. In absolute termen bespaart de laatstgenoemde groep dubbel zo veel aan gas en CO₂ per huishouden als de eerstgenoemde groep. Deze en andere inzichten uit dit artikel geven directe praktische handvatten voor woningcorporaties. Ten eerste kunnen ze helpen om bewoners op maat te informeren over de verwachte gevolgen van renovaties, met als resultaat een groter draag-

vlak voor het renovatiebeleid. Dit is belangrijk doordat corporaties bij wet verplicht zijn zich van de steun van 70% van de huurders te verzekeren voor ze met de renovatie mogen beginnen. Ten tweede dragen ze bij aan een kwantitatief afwegingskader, waarmee optimale keuzen voor verduurzaming kunnen worden gemaakt. Omdat het aantal nog te verduurzamen sociale huurwoningen erg groot is, is zo'n afwegingskader essentieel om beleidsprioriteiten te kunnen stellen, of – met andere woorden – te kiezen, in welke volgorde de woningen moeten worden aangepakt. Deze keuzen hangen uiteraard af van de gestelde beleidsdoelen. Dit artikel suggereert bijvoorbeeld dat andere woningen bovenaan de prioriteitenlijst komen wanneer men het beleidsdoel '(energie)armoedebestrijding' voorop zet, dan wanneer 'maximale milieubesparing' wordt gekozen. De webtool Prioriteer laat een praktische uitwerking zien van hoe de inzichten uit ons onderzoek kunnen worden verwerkt in een datagedreven afwegingskader.

Vanuit een breder maatschappelijk perspectief draagt onze studie bij aan de discussie over de welvaarts- en gedragseffecten van verduurzaming voor huishoudens met lage inkomens. Dit deel van de bevolking – voor zover ze in sociale huurwoningen wonen – krijgt de woningupgrades tegen rela-

tief lage kosten of kosteloos, een groot verschil met woningeigenaren. Het is daarom extra belangrijk om het maatschappelijke rendement van de duurzaamheidsinvesteringen in de sociale huursector goed in beeld te brengen. Onderzoeksprogramma BEL Behaviour, Energy transition, Low income⁵ waarvan het onderzoek in dit artikel deel uitmaakt, gaat hier dieper op in, met behulp van datagedreven analyses, gedragsmodellen en scenariodoorrekeningen. Zo heeft Roberdel et al. (2023) een micro-economisch model gebouwd en gekalibreerd om de gedragsreacties van sociale huurders op isolatie-upgrades te analyseren. Hij suggereert dat de kleinere besparing op aardgas en CO₂ door de laagste inkomens samengaat met een relatief grote vooruitgang in wooncomfort bij deze groep. De paper laat tevens zien dat deze comfortbaten sterk stijgen in scenario's met hoge energieprijzen. Verder worden in BEL ook andere effecten op het huurderswelzijn – bijvoorbeeld gezondheidseffecten – met behulp van grootschalige datagedreven evaluaties in beeld gebracht. Tenslotte staan analyses voor andere verduurzamingsmaatregelen dan isolatie op de planning. De resulterende holistische inzichten dragen bij aan de ontwikkeling van optimale energietransitiestrategieën in de sociale huursector, rekening houdend met de behoeften en gedragsreacties van bewoners.

OVER DE AUTEURS

Vincent Roberdel is PhD-student bij de faculteit Bouwkunde van TU Eindhoven. Hij werkt binnen het onderzoeksprogramma BEL Behaviour, Energy transition, Low income.

Ioulia Ossokina is stedelijk econoom en universitair docent bij de faculteit Bouwkunde van TU Eindhoven. Zij leidt het onderzoeksprogramma BEL Behaviour, Energy transition, Low income.

Vladimir Karamychev is universitair hoofddocent aan de Erasmus School of Economics (Erasmus Universiteit Rotterdam) en verbonden aan het Tinbergen Instituut.

Theo Arentze is hoogleraar Real Estate & Urban Systems bij de faculteit Bouwkunde van TU Eindhoven.

DANK

Dank gaat uit naar ingenieursbureau Atriensis, woningcorporaties Bazalt Wonen, Elan Wonen, Pré Wonen en Woonbedrijf voor het delen van expertise en data en naar energie- en microdata-experts van het CBS voor hun ondersteuning. De niet-openbare microdata die in de studie zijn gebruikt, zijn beschikbaar via remote access van de Microdatadiensten van het CBS. We danken voor de steun NWO de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (subsidie 403.19.230) en RVO Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland.

VOETNOTEN

- 1 De studie is onderdeel van onderzoeksprogramma BEL Behaviour, Energy transition, Low income dat een samenwerking is van meerdere universiteiten en woningcorporaties, zie www.bel-tue.nl.
- 2 Voor de zuivere effectevaluatie werd een woning alleen meegenomen als tenminste 1 jaar voor en 1 jaar na de renovatie hetzelfde huishouden in de woning woonde.
- 3 Ook hier hebben we gecontroleerd dat er geen systematische correlatie is tussen de hoge warmtevraag en inkomen.
- 4 Bij extreem laag inkomen, voorspelt het model dat de huishoudens ervoor kiezen om helemaal niet te stoken.

LITERATUUR

- Aedes (2022). Wat omvatten de Nationale Prestatieafspraken op hoofdlijnen? Opgehaald op 30/12/2023 van <https://aedes.nl/nationale-prestatieafspraken/wat-omvatten-de-nationale-prestatieafspraken-op-hoofdlijnen>
- Allcott, H. and Greenstone, M. (2017). Measuring the Welfare Effects of Residential Energy Efficiency Programs. page 97.
- Angrist, J. D. (2008). Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion. page 290.
- Athey, S., Tibshirani, J., and Wager, S. (2019). Generalized random forests. *The Annals of Statistics*, 47(2).
- Atrienis (2023). Atrienis energiemonitor 2023: de resultaten. Opgehaald op 19/10/2023 van <https://www.atrionis.nl/nieuwsbericht-data/atrionis-energiemonitor-2023-de-resultaten>
- Avanzini, M., Pinheiro, M. D., Gomes, R., and Rolim, C. (2022). Energy retrofit as an answer to public health costs of fuel poverty in Lisbon social housing. *Energy Policy*, 160:112658.
- Aydin, E., Kok, N., and Brounen, D. (2017). Energy efficiency and household behavior: the rebound effect in the residential sector. *The RAND Journal of Economics*, 48(3):749–782.
- Davis, L. W., Fuchs, A., and Gertler, P. (2014). Cash for Coolers: Evaluating a Large-Scale Appliance Replacement Program in Mexico. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(4):207–238.
- Fowlie, M., Greenstone, M., and Wolfram, C. (2018). Do Energy Efficiency Investments Deliver? Evidence from the Weatherization Assistance Program. *The Quarterly Journal of Economics*, 133(3):1597–1644.
- Guo, T., Sriram, S. en Puneet Manchanda, P. (2021). The Effect of Information Disclosure on Industry Payments to Physicians. *Journal of Marketing Research* 58: 115-140.
- Hammerle, M. en P. Burke (2022). From natural gas to electric appliances: Energy use and emissions implications in Australian homes. *Energy Economics* 110.
- Liang, J., Qju, Y., James, T., Ruddell, B. L., Dalrymple, M., Earl, S., and Castelazo, A. (2018). Do energy retrofits work? Evidence from commercial and residential buildings in Phoenix. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92:726–743.
- McCoy, D. and Kotsch, R. A. (2021). Quantifying the Distributional Impact of Energy Efficiency Measures. *The Energy Journal*, 42(01).
- Ministerie BZK, Aedes, Nederlandse Woonbond (2012). Convenant energiebesparing huursector. Opgehaald 15/10/2023 van: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-archief-3eea2fa8-a3a7-40de-b92d-080aeea725e0/pdf>
- Peñasco, C. and Anadón, L. D. (2023). Assessing the effectiveness of energy efficiency measures in the residential sector gas consumption through dynamic treatment effects: Evidence from England and Wales. *Energy Economics*, 117:106435.
- Roberdel, V., Ossokina, I.V., Karamychev, V.V. en Arentze, T.A. (2023). Energy-efficient homes: effects on poverty, environment, comfort. Discussion paper TI 2023-082/V Tinbergen Instituut. Opgehaald op 30/12/2023 van https://www.ossokina.com/pdf/2023/insulation_paper.pdf
- Van den Wijngaart, R. en Van Polen, S. (2020). Bepaling van energiebesparing door isolatie van woningen in de start-analyse 2020: Schatting op basis van gemeten en berekend aardgasverbruik. Notitie Planbureau voor de Leefomgeving