

NUMMER 12, 18 JANUARI 2024

**GENTSE
ECONOMISCHE
INZICHTEN**



**UNIVERSITEIT
GENT**

HOE WE DE VRAAG NAAR ELEKTRICITEIT BETER KUNNEN DOEN REAGEREN OP VARIABELE HERNIEUWBARE ENERGIE

**Een samenvatting van 150 empirische schattingen
van vraagflexibiliteit**

Marten Ovaere, Brent Bleys, Mariateresa Silvi,
Sam Hamels en Baptiste Rigaux,
Departement Economie, Universiteit Gent

 **FACULTEIT ECONOMIE
EN BEDRIJFSKUNDE**

KERNINZICHTEN

- We voerden een meta-analyse uit van 150 empirische schattingen van vraagflexibiliteit uit 44 academische studies.
- We identificeerden het effect van informatie prikkels, financiële prikkels en automatiseringstechnologie.
- Wanneer ze elk apart gebruik worden, zijn informatie prikkels, financiële prikkels en automatiseringstechnologie niet erg doeltreffend om de vraag naar elektriciteit tijdens piekuren te verminderen.
- Wanneer ze echter in combinatie worden gebruikt, slagen ze er samen veel beter in om de elektriciteitsvraag flexibeler te maken. Net zoals je een beter gerecht kan klaarmaken door verschillende ingrediënten te combineren.
- Informatie prikkels helpen mensen om de financiële voordelen van hun acties op te merken, terwijl automatiseringstechnologie deze acties moeiteloos maakt.
- Alle soorten financiële prikkels om elektriciteit te besparen werken ongeveer even goed. In Vlaanderen kunnen huishoudens op de VREG-website <https://vtest.vreg.be/> gemakkelijk inschatten hoeveel ze kunnen besparen door over te schakelen op een dynamisch tarief.
- Aan mensen tonen hoe hun gedrag vergelijkt met dat van anderen ('sociale vergelijking') werkt beter als strategie om de elektriciteitsvraag flexibeler te maken, dan om te benadrukken wat de morele implicaties zijn van hun gedrag, bv. wat betreft de impact op de bredere maatschappij ('morele overtuiging').
- Om de elektriciteitsvraag flexibeler te maken, moeten informatie prikkels, financiële prikkels en automatiseringstechnologie elk beschikbaar zijn en samen ingezet worden. In de context van Vlaanderen betekent dit bijvoorbeeld het gebruiken van een elektriciteitscontract met een dynamisch tarief, je verbruik opvolgen op mijn.fluvius.be, en grote verbruiken zoals het opladen van een elektrisch voertuig of verwarmen met een warmtepomp slim regelen aan de hand van apps en apparatuur zoals slimme thermostaten en stekkers.

INLEIDING

Dit Gents Economisch Inzicht geeft een samenvatting van de resultaten van 44 academische studies waarin de belangrijkste factoren worden geanalyseerd om de vraag naar elektriciteit beter af te stemmen op variabele hernieuwbare opwekking.

RESPONSIEVE VRAAG HELPT BIJ DE INTEGRATIE VAN HERNIEUWBARE ENERGIE EN BESPAART GELD

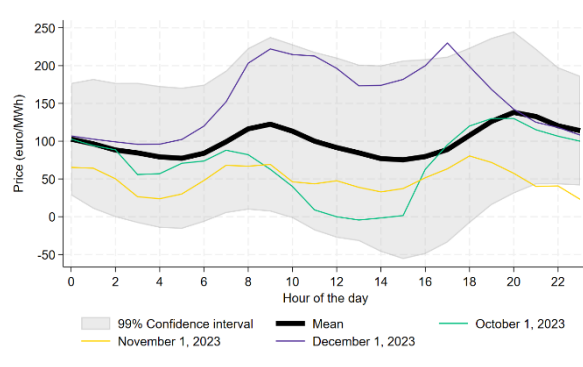
De overgang naar duurzame energie vereist een aanzienlijke toename van hernieuwbare elektriciteitsopwekking, zoals wind en zon. Deze bronnen wekken elektriciteit op zonder koolstof uit te stoten, maar hun productie is afhankelijk van het weer.

Omdat vraag en aanbod van elektriciteit van seconde tot seconde op elkaar moeten worden afgestemd, **betekent de variabiliteit van de opwekking van hernieuwbare energie dat ook de vraag naar elektriciteit flexibeler moet worden**. Op dagen met minimale wind en zon is het belangrijk om het elektriciteitsverbruik zoveel mogelijk te beperken om het gebruik van fossiele brandstoffen voor de opwekking van elektriciteit te minimaliseren. Omgekeerd is het op dagen met overvloedige zonneschijn en sterke wind niet nodig om elektriciteit te besparen en kunnen we de beschikbare stroom beter zoveel mogelijk benutten.

De elektriciteitsvraag van huishoudens flexibel maken is echter een uitdaging, vooral tijdens uren waarin het verbruik piekt, wat meestal gebeurt tijdens de ochtend en avond. In deze periodes neemt de huishoudelijke vraag naar elektriciteit snel toe, gedreven door specifieke - en momenteel inflexibele - behoeften zoals verwarming. Deze snelle schommelingen in de vraag naar elektriciteit zijn moeilijk op te vangen met variabele hernieuwbare opwekking en vereisen vaak gascentrales. Deze centrales kunnen de extra stroom leveren die nodig is tijdens de piekuren, maar dit gaat gepaard met de uitstoot van broeikasgassen.

Vraagflexibiliteit is niet alleen goed voor het klimaat, maar is ook economisch zinvol. Aangezien zonne- en

windenergie produceren tegen verwaarloosbare marginale kosten, zijn de elektriciteitsprijzen veel lager wanneer de productie van zonne- en windenergie hoog is. Zoals blijkt uit **Figuur 1** variëren de elektriciteitsprijzen aanzienlijk in de tijd. In 2023 waren de gemiddelde prijzen in België (weergegeven door de zwarte lijn) 50-70 €/MWh goedkoper tijdens de nachtelijke uren en de vroege namiddag in vergelijking met de ochtend- en avondpieken. Voor een gemiddeld huishouden dat 3,5 MWh per jaar verbruikt, kan een verschuiving van het elektriciteitsverbruik buiten de piekuren een besparing opleveren van grootteorde 200 euro per jaar. De grafiek toont ook aanzienlijke dag-tot-dag variaties (grijze gebied), met op sommige dagen prijsverschillen tussen piek en dal die oplopen tot €200. Opmerkelijk is dat er in 2023 222 uren waren met negatieve elektriciteitsprijzen, wat betekent dat **consumenten tijdens die perioden werden betaald om elektriciteit te verbruiken**.



Figuur 1. De gemiddelde elektriciteitsprijs voor 2023 in België (zwarte lijn) varieert doorheen de dag. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (grijze gebied) geeft aan dat de prijzen soms negatief zijn, vooral 's nachts en in de vroege namiddag.

Vandaag passen veel grote industriële energieverbruikers hun processen aan om geld te kunnen verdienen door hun elektriciteitsvraag te verschuiven naar de uren waarin hernieuwbare energie overvloedig aanwezig is en de prijzen laag zijn. Op het niveau van de huishoudens staat dit proces van de elektriciteitsvraag beter te doen reageren op de productie van hernieuwbare energie nog in zijn kinderschoenen, maar het **groeijende aantal elektrische voertuigen (EV's) en warmtepompen biedt mogelijkheden**. Het verwarmen van je huis of het opladen van je elektrisch voertuig is veel minder tijdgevoelig en kan gemakkelijk worden verschoven van een paar uur (verwarmen) tot een paar dagen (EV opladen), zonder een noemenswaardige impact op

comfort. Dit verlaagt niet alleen de verbruikskosten van een warmtepomp of EV, maar helpt ook bij het integreren van grote hoeveelheden zonne- en windenergie.¹

Slim verwarmen en slim opladen is zowel goed voor de portemonnee als voor het klimaat

EEN GROEIEND ONDERZOEKSGBIED

In het domein energie-economie is er een aanzienlijke toename van onderzoek naar de doeltreffendheid van verschillende manieren waarop het huishoudelijke elektriciteitsverbruik flexibeler kan gemaakt worden.

Tegenwoordig wordt er door wetenschappers over de hele wereld geëxperimenteerd met verschillende strategieën en benaderingen om **over te schakelen van een statisch, aanbod-gestuurd elektriciteitssysteem met een passieve en inflexibele vraag, naar een systeem waarbij de elektriciteitsvraag van huishoudens actief reageert op de beschikbaarheid van hernieuwbare energieopwekking.**

META-ANALYSE VAN ACADEMISCHE LITERATUUR

De onderzoeksliteratuur onderscheidt drie soorten benaderingen die huishoudens kunnen helpen flexibeler om te gaan met elektriciteit:

1. **Financiële prikkels** houden in dat huishoudens geld kunnen krijgen of besparen door op bepaalde momenten elektriciteit te gebruiken. Ze kunnen bijvoorbeeld minder betalen als ze elektriciteit gebruiken buiten de piekuren of op momenten dat er veel hernieuwbare energie wordt geproduceerd.
2. **Informatie prikkels** stellen huishoudens in staat om hun elektriciteitsgebruik aan te passen via praktische informatie over elektriciteitscontracten en -gebruik of via normatieve boodschappen. Ze

kunnen bijvoorbeeld een sms ontvangen om hen te herinneren aan de kosten van elektriciteit tijdens de piekuren; om te informeren over het belang van energiebesparing voor de samenleving en het klimaat; of om praktische tips te geven over hoe ze energie kunnen besparen.

3. **Slimme automatisering** helpt huishoudens geld en energie te besparen zonder erover na te hoeven denken, door slimme apparaten te gebruiken. Bijvoorbeeld een thermostaat die de temperatuur automatisch aanpast op basis van de elektriciteitsprijzen, of een slimme oplaadapp om een EV automatisch tijdens de goedkoopste uren te laten opladen.

Huishoudens die bijvoorbeeld een thermostaat hebben die de verwarming automatisch verandert (slimme automatisering) wanneer de elektriciteitsprijzen stijgen en dalen (financiële prikkel), zullen geld besparen. Of, als ze een bericht krijgen dat hen vertelt wanneer de prijzen erg hoog zijn, kunnen we dit beschouwen als een vriendelijk duwtje in de rug om op dat moment wat te besparen (informatie prikkel).

Het is belangrijk om erachter te komen hoe deze drie benaderingen zich verhouden op vlak van hun doeltreffendheid. Om dit te begrijpen, doken we in de energie-economische literatuur en richtte we ons specifiek op artikelen die sinds 2007 zijn gepubliceerd en die de resultaten presenteren van experimenten die tot doel hebben huishoudens hun elektriciteitsverbruik te laten verminderen tijdens specifieke perioden - meestal tijdens specifieke uren van de dag (pieken) - met behulp van een of meer van de bovengenoemde drie benaderingen. Uit deze literatuur hebben we 150 'gemiddelde behandelingseffecten' ('average treatment effects' of ATE's) verzameld. Deze staan voor de procentuele afname van het elektriciteitsverbruik tijdens de specifieke uren waarop de behandeling mikte (de 'doelperioden'). Hierna benoemen we deze behandelingseffecten eenvoudigweg als de 'effecten'.

¹ Uit een recente studie van Elia blijkt dat tegen 2034, door 80% van de warmtepompen en EV's zeer flexibel te maken, de Belgische behoefte aan reserveproductiecapaciteit (die doorgaans op fossiele brandstoffen werkt) met 2700 MW kan worden verminderd, in vergelijking met een scenario waarin warmtepompen en EV's helemaal niet flexibel zijn (Bron: Elia, Adequacy & Flexibility Study for Belgium 2024-2034, p. 220).

Ter referentie: een nieuwe grootschalige gascentrale (STEG) heeft een productiecapaciteit van ± 800 MW. Ruwweg betekent dit dus dat het benutten van de flexibiliteit van EV's en warmtepompen kan voorkomen dat er nog drie grote nieuwe gascentrales gebouwd moeten worden in België tegen het jaar 2034.

Vijf cruciale inzichten

1 DE VRAAGRESPONS IS HET GROOTST WANNEER INFORMATIE PRIKKELS, DYNAMISCHE PRIJZEN EN AUTOMATISERINGSTECHNOLOGIE WORDEN GECOMBINEERD

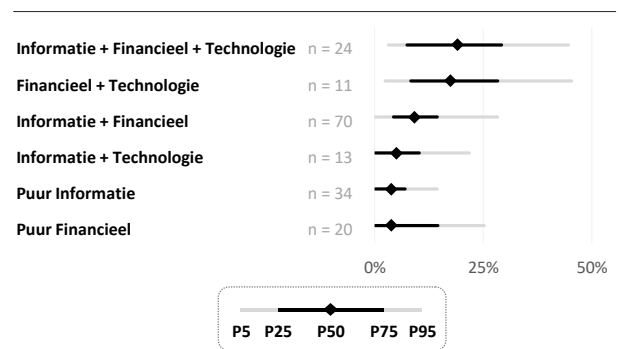
Figuur 2 geeft een samenvatting van de 150 gemiddelde effecten voor alle combinaties van de financiële of informatie prikkels en automatiserings-technologie. Voor elk type aanpak – en elke combinatie ervan - toont de figuur een zwarte stip die de mediane afname in elektriciteitsgebruik tijdens de doelperiode weergeeft. Langs de zwarte stip geven zwarte en grijze lijnen het variatieniveau rond de mediaan weer (van het 5^{de} tot het 95^{ste} percentiel).

De figuur laat zien dat wanneer we alleen gebruik maken van informatie of financiële prikkels, de afname van de vraag naar elektriciteit klein is, met een mediane afname van 4% elk (onderste twee rijen). Dit betekent dat bijvoorbeeld het eenvoudigweg herinneren van mensen om elektriciteit te besparen tijdens piekuren of het loutere bestaan van tijdsafhankelijke prijzen de vraag naar elektriciteit niet significant doet afnemen.

Wanneer we echter twee benaderingen combineren, zien we een substantiëlere afname van de vraag naar elektriciteit tijdens de doeluren, vooral wanneer we financiële prikkels koppelen aan automatiseringstechnologie. De meest substantiële afname treedt op wanneer we alle drie de strategieën samen gebruiken: informatie prikkels, financiële prikkels en automatiseringstechnologie, waarbij een mediane afname van het elektriciteitsverbruik van 19% wordt bereikt. Deze drie strategieën versterken elkaar omdat bepaalde soorten informatieprikkels mensen kunnen helpen om de financiële voordelen van hun acties te begrijpen, terwijl automatiseringstechnologie het verschuiven van hun elektriciteitsvraag moeiteloos maakt.

Om de vraag naar elektriciteit flexibeler te maken, is het daarom belangrijk om alle drie de strategieën toe te passen. In de context van België betekent dit bijvoorbeeld het hebben van een dynamisch contract, toegang tot duidelijke informatie over persoonlijk elektriciteitsgebruik², en het gebruik van slimme apps en apparaten zoals thermostaten en elektrische stekkers om taken zoals het opladen van elektrische voertuigen en het regelen van verwarming te automatiseren.

Informatie stimuleert mensen om de financiële voordelen van hun acties te zien, terwijl automatiseringstechnologie deze acties moeiteloos maakt.



Figuur 2. Vermindering van elektriciteitsgebruik tijdens doelperioden, door (combinaties van) financiële prikkels, informatie prikkels en technologische behandelingen.

Tot slot is het waard te vermelden dat bij de puur financiële prikkels - zonder informatieprikkels of automatiseringstechnologie - het mediaan effect vrij laag is, maar dat sommige onderzoeken wel zeer grote effecten rapporteerden, aangegeven door de hoge waarden bij de 75^{ste} en 95^{ste} percentielen. De reden voor deze variatie is dat de figuur een breed scala aan onderzoeken samenvat. Sommige studies onderzochten het effect van relatief zwakke financiële prikkels, waar er slechts een klein verschil was tussen de prijzen tijdens piek- en daluren. Andere studies bestudeerden omgevingen waar de financiële prikkels net zeer sterk waren, met piekprijzen die aanzienlijk hoger waren dan dalprijzen, wat leidde tot grotere verminderingen in elektriciteitsverbruik. Bovendien waren mensen zich in

² Bijvoorbeeld via <https://mijn.fluvius.be>.

bepaalde situaties niet eens bewust van de financiële prikkel, wat de lagere waargenomen effecten verder kan verklaren. De volgende figuren gaan dieper in op deze details.

2 ALLE SOORTEN FINANCIËLE PRIKKELS OM ELEKTRICITEIT TE BESPAREN TIJDENS SPECIFIEKE UREN WERKEN ONGEVEER EVEN GOED

Een manier om huishoudens zover te krijgen dat ze elektriciteit gebruiken wanneer die het goedkoopst en groenst is, is om tijdsafhankelijke prijzen te hanteren die de technologiemix en krapte in de elektriciteitsmarkt weerspiegelen. Er bestaan verschillende soorten financiële prikkels om dat te bereiken, die huishoudens elk op een eigen manier blootstellen aan fluctuerende prijzen. We categoriseren de prikkels die het vaakst voorkomen in experimenteel wetenschappelijk onderzoek als volgt:

- **CPR/CPP/VPP** ("Critical Peak Rebate", "Critical Peak Pricing" en "Variable Peak Pricing") verhogen de prijs specifiek op zeldzame momenten wanneer er in het elektriciteitssysteem een 'piekbelasting' plaatsvindt. Op dagen met naar verwachting heel weinig zon of wind en/of een uitzonderlijk hoge vraag naar elektriciteit kan de energieleverancier of netbeheerder bijvoorbeeld een "kritieke piek" afkondigen. Als dit gebeurt, worden huishoudens geconfronteerd met veel hogere prijzen tijdens de piekperiode van die dag (in het geval van CPP en VPP) of krijgen ze kortingen voor een lager elektriciteitsverbruik dan normaal tijdens deze piekperiodes (voor CPR).
- **RTP** ("Real-time pricing") volgt nauwgezet de uurtijkse schommelingen van elektriciteitsprijzen die elke dag plaatsvinden op de elektriciteitsmarkten. Klanten in deze regeling ervaren prijzen die elk uur of

elk kwartier variëren gedurende de dag en over de dagen heen.

- **TOU** ("Time of use") stelt verschillende prijzen in op verschillende tijdstippen van de dag. TOU is meestal eenvoudiger dan RTP, met als belangrijkste verschil dat het prijsschema constant blijft van dag tot dag binnen een seizoen of jaar.

In België bestaat TOU al in bepaalde contracten (bv. die met een dag/nachttarief), maar RTP is in Vlaanderen alleen in ontwikkeling met de zogenaamde "dynamische contracten" en CPR/CPP/VPP zijn er nog niet. In de praktijk biedt de VREG-website³ een **gebruiksvriendelijke tool om Vlaamse huishoudens te helpen hun besparingen te schatten door over te schakelen op een dynamisch contract.**

Figuur 3 laat zien hoe deze financiële prikkels zich verhouden. Meer specifiek wordt de mediane vermindering van het elektriciteitsverbruik in de doelperiodes weergegeven, gemiddeld over alle effecten waarbij de behandeling, naast andere benaderingen, een financiële prikkel⁴ omvat.

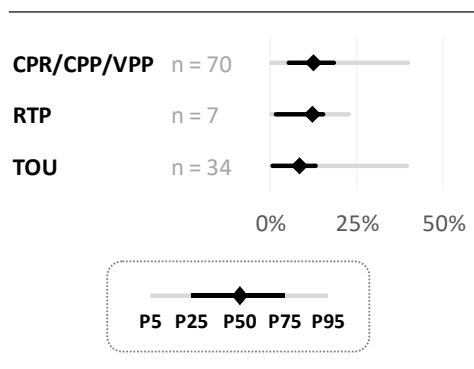
Uit **Figuur 3** blijkt niet duidelijk dat het ene type financiële prikkel veel effectiever is dan het andere. Alle drie de soorten financiële prikkels resulteren in een mediane daling van het elektriciteitsverbruik die varieert van 8 tot 12%. Hoewel de resultaten geen uitsluitsel geven over welk type financiële prikkel leidt tot de grootste veranderingen in het elektriciteitsverbruik van huishoudens, laat **Figuur 3 in combinatie met Figuur 2** wel zien dat de **aanwezigheid van een specifiek type financiële prikkel op zich niet van belang is**. In plaats daarvan lijken de beschikbare onderzoeksresultaten in de literatuur aan te geven dat de **combinatie van financiële prikkels met andere strategieën het belangrijkste is**. Huishoudens die onder een van deze prijsregelingen vallen, moeten er meer bepaald van op de hoogte zijn (wat prikkels op basis van informatie in de hand werken) en moeten er met weinig moeite op kunnen

³ De tool is toegankelijk op <https://vtest.vreg.be/> - "Ik wil mijn verbruiksgegevens opladen".

⁴ In de 150 gemiddelde effecten die we hebben geïdentificeerd, worden financiële prikkels het vaakst gecombineerd met informatie prikkels zoals waarschuwingen (bijvoorbeeld voor

het aankondigen van kritieke piekdagen) en real-time feedback (om huishoudens te informeren over hun verbruik tijdens piekperiodes). In veel experimenten worden ze ook gecombineerd met technologie, wat (zoals Figuur 2 laat zien) leidt tot substantiële reducties in elektriciteitsverbruik.

reageren (via technologie en automatisering, zie inzicht 5).



Figuur 3. Vermindering van elektriciteitsverbruik tijdens doelperioden, per type financiële prikkel.⁵

3 SOCIALE VERGELIJKINGEN WERKEN BETER DAN MORELE OVERTUIGING

Een alternatieve methode om mensen aan te zetten tot een flexibeler gebruik van elektriciteit is door middel van prikkels op basis van informatie. In plaats van financiële prikkels te geven, doet deze benadering een beroep op de intrinsieke motivatie van mensen - d.w.z. door te proberen overtuigen op basis van morele overwegingen of door het gedrag van mensen met elkaar te vergelijken. Wat onder dit type prikkels ook thuishoort is huishoudens voorzien van praktische informatie die hen in staat stelt om hun elektriciteitsgebruik actief aan te passen - bijvoorbeeld in de vorm van gepersonaliseerde berichten over hun elektriciteitsverbruik, piekmeldingen, tips over hoe ze hun elektriciteitsverbruik kunnen verminderen en schattingen van de potentiële besparingen die dat zou opleveren op hun factuur. Terwijl het verschaffen van praktische informatie over elektriciteitsverbruik vaak gepaard gaat met financiële prikkels, zijn morele overtuiging en sociale vergelijkingen ook op zichzelf, als puur normatieve programma's, veelvuldig getest in wetenschappelijk onderzoek. Dit stelt ons in staat om het empirische bewijsmateriaal te bekijken over het effect van het simpelweg aanwenden van intrinsieke motivatie om energie te besparen tijdens piekuren zonder financiële beloningen. Meer specifiek:

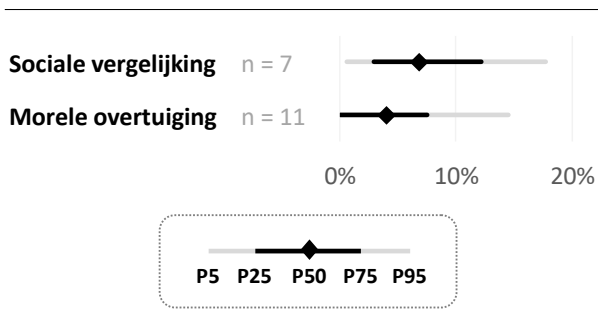
- **Morele overtuiging** bestaat uit verzoeken om het elektriciteitsverbruik te verminderen in tijden van

energiecrisis, meestal vanuit overheidsinstanties en gericht aan het grote publiek. Overheden doen al tientallen jaren morele oproepen om de vraag naar energie en water in huishoudens te verminderen; bijvoorbeeld tijdens langdurige tekorten, zoals droogteperiodes of tijdens de energiecrisis als gevolg van de Russische invasie in Oekraïne. In recent onderzoek werd morele overtuiging ook uitgetest in samenwerking met energiebedrijven, die privéberichten verzonden (via e-mail, telefoon of sms) waarin huishoudens werden gevraagd om in het belang van de samenleving en het klimaat op kortere termijn elektriciteit te besparen - bijvoorbeeld gedurende een paar uur in het geval van een systeempiek die de volgende dag werd verwacht.

- **Sociale vergelijkingen** zijn de meest geteste prikkel op basis van informatie. Bij dit soort programma's ontvangen huishoudens informatie over hun gemiddelde elektriciteitsverbruik tijdens piekuren in vergelijking met dat van hun burens of andere vergelijkbare huishoudens. Meestal krijgen ze ook een lijst met praktische tips om hun elektriciteitsverbruik te verminderen. Huishoudens die minder verbruiken dan hun collega's ontvangen een symbolische positieve beloning in de vorm van een smiley of een opgestoken duim, die hen aanmoedigt om zo door te gaan. Dit soort berichten werkt omdat het invloed heeft op de verwachtingen van mensen over wat anderen als gepast beschouwen of hoe anderen zich in bepaalde situaties gedragen. Het verlangen van mensen om zich aan te passen en zich sociaal geaccepteerd te voelen is wat uiteindelijk leidt tot dergelijke verschuivingen in hun consumptiegedrag. Hoewel deze methode ook is getest om algemene energiebesparingen teweeg te brengen, ongeacht het tijdstip van het verbruik, hebben recentere experimenten sociale vergelijkingen gebruikt om het elektriciteitsverbruik specifiek tijdens piekuren te proberen verminderen.

⁵ De ruitvormen komen overeen met de mediaanwaarden; de zwarte lijnen omvatten 50% van de waarnemingen in het

midden; de grijze lijnen omvatten 90% van alle waarnemingen, met uitzondering van de 10% meest extreme.



Figuur 4. Vermindering van elektriciteitsgebruik tijdens doelperiodes, bereikt door sociale vergelijkingen en morele overtuiging.⁶

Uit ons onderzoek blijkt dat **beide soorten prikkels werken, waarbij sociale vergelijkingen iets effectiever zijn dan morele overtuiging**. Zoals te zien is in **Figuur 4**, kunnen ze een mediane vermindering van het elektriciteitsverbruik van respectievelijk 7% en 4% bereiken. Deze resultaten wijzen er echter op dat **de totale reductie in elektriciteitsgebruik die kan worden bereikt door alleen de intrinsieke motivatie te verhogen nog steeds relatief klein is. Om een wezenlijke bijdrage te leveren aan het omgaan met de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen is deze methode op zichzelf onvoldoende doeltreffend.**

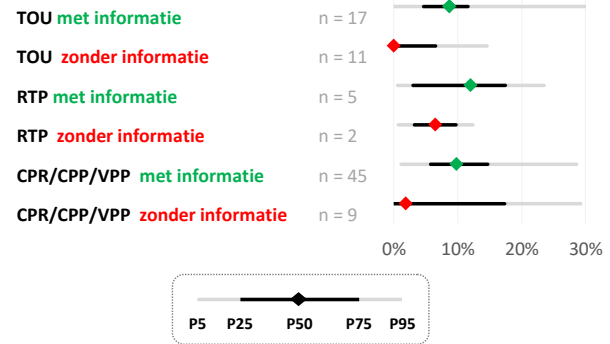
4 INFORMATIE MAAKT FINANCIËLE PRIKKELS EFFECTIEVER

Hoewel het verhogen van de intrinsieke motivatie om energie te besparen tijdens bevoorradingstekorten op zichzelf misschien niet voldoende is, kunnen deze en andere informatie prikkels wel gebruikt worden als aanvulling op financiële prikkels. Uit **ons onderzoek blijkt dat informatie prikkels de effectiviteit van financiële prikkels aanzienlijk kunnen vergroten.**⁷ Zoals **Figuur 5** laat zien, neemt de mediane reductie in elektriciteitsgebruik die de drie soorten financiële prikkels kunnen bereiken toe **met 5 tot 9 procentpunten**

⁶ De ruitvormen komen overeen met de mediaanwaarden; de zwarte lijnen omvatten 50% van de waarnemingen in het midden; de grijze lijnen omvatten 90% van alle waarnemingen, met uitzondering van de 10% meest extreme.

⁷ Op basis van ons onderzoek veronderstellen we dat de grotere impact van deze stimulansen wanneer ze in combinatie met elkaar worden gegeven, te wijten is aan twee overeenstemmende redenen. Enerzijds verschaffen informatie prikkels huishoudens cruciale en tijdige informatie over bestaande financiële stimulansen, waardoor ze hun consumptie beter kunnen aanpassen. Anderzijds spreken deze

wanneer deze met informatie prikkels worden gecombineerd. De informatie prikkels die het vaakst worden gecombineerd met financiële prikkels zijn onder andere bespaartips, piekwaarschuwingen en realtime-informatie over het eigen elektriciteitsverbruik - meestal verstrekt via displays in huis of toegang tot onlineportalen zoals <https://mijn.fluvious.be>.



Figuur 5. Vermindering van elektriciteitsgebruik tijdens doelperiodes, bereikt door financiële prikkels, in aanwezigheid (groen) en afwezigheid (rood) van informatie prikkels.⁸

5 AUTOMATISERINGSTECHNOLOGIE GEEFT EEN GROTE BOOST AAN DE FLEXIBILITEIT VAN DE ELEKTRICITEITS-VRAAG

Het laatste stukje van de puzzel bij het flexibel maken van de huishoudelijke elektriciteitsvraag is om ervoor te zorgen dat het reageren op elektriciteitsprijzen en de beschikbaarheid van wind- en zonne-energie weinig inspanning kost of - beter nog - volledig moeiteloos is. **Dit kan worden bereikt door middel van technologieën die huishoudens in staat stellen om hun elektriciteitsverbruik van uur op uur af te stemmen op financiële prikkels en/of informatie prikkels.**

categorieën prikkels verschillende groepen aan. Meer bepaald blijkt uit de literatuur dat huishoudens met een hoog energieverbruik meer beïnvloed worden door sociale vergelijkingen, terwijl huishoudens met een lager verbruik gevoeliger zijn voor financiële prikkels.

⁸ De ruitvormen komen overeen met de mediaanwaarden; de zwarte lijnen omvatten 50% van de observaties in het midden; de grijze lijnen omvatten 90% van alle observaties, met uitzondering van de 10% meest extreme. Alle effecten waarbij er (ook) een technologie behandeling plaatsvond, zijn uitgesloten.

Automatiseringstechnologie kan bijvoorbeeld gebruikt worden om het elektriciteitsverbruik van bepaalde huishoudelijke toestellen, warmtepompen of elektrische voertuigen te verschuiven naar de uren waarin dit verbruik zowel het meest klimaatvriendelijk is als het meest financieel voordelig.

In ons overzicht identificeren we twee centrale rollen waarmee technologie kan bijdragen aan een flexibele vraag naar elektriciteit.

Ten eerste moet het huishoudelijke energieverbruik zoveel mogelijk geëlektrificeerd worden, om de opwekking van hernieuwbare elektriciteit zo goed mogelijk te kunnen benutten. Dat betekent bijvoorbeeld het vervangen van auto's op fossiele brandstoffen door elektrische voertuigen (EV's) of gasverwarming door warmtepompen. Deze apparaten verbruiken natuurlijk veel elektriciteit en kunnen dus de druk op het elektriciteitsnet verhogen. **Maar dat betekent ook dat ze net een groot potentieel voor flexibiliteit bieden.** Zo is er bijvoorbeeld de mogelijkheid om slim te bepalen op welk moment een EV begint op te laden (of zelfs begint te ontladen op het net, tegen een vergoeding). Ook het moment waarop een warmtepomp warmte produceert om sanitair warm water te maken of om het huis te verwarmen, kan slim bepaald worden zonder een noemenswaardige impact op comfort. **Dit soort apparaten noemen we daarom "grote verschuifbare verbruiken".** Witgoedapparaten die al wijdverspreid zijn, zoals elektrische ovens of wasmachines, vallen ook in die categorie: ze verbruiken grote hoeveelheden elektriciteit en het is goed voor zowel het klimaat als de portemonnee om het verbruik ervan weg te schuiven van piekmomenten (zolang er financiële prikkels in stand zijn).

Ten tweede zijn er "faciliterende technologieën" nodig om het flexibiliteitspotentieel van de grote verschuifbare verbruiken ook effectief te benutten in de praktijk. **Met faciliterende technologieën bedoelen we software en apparaten die het verschuiven van elektriciteitsverbruik – weg van piekmomenten – moeiteloos maken.** Dit kunnen bijvoorbeeld programmeerbare thermostaten zijn, die huishoudens helpen om verwarmingsschema's op te stellen (zodat bijvoorbeeld sanitair warm water wordt aangemaakt tijdens de middaguren – wanneer meestal de hoogste productie van zonne-energie plaatsvindt), of slimme

oplaadstations voor EV's. Ook simpele stopcontacten die bedienbaar zijn (al dan niet adhv een app), zodat het aangesloten toestel automatisch aan of uitgezet wordt tijdens bepaalde uren van de dag, kunnen helpen om het huishoudelijke verbruik flexibeler te maken.

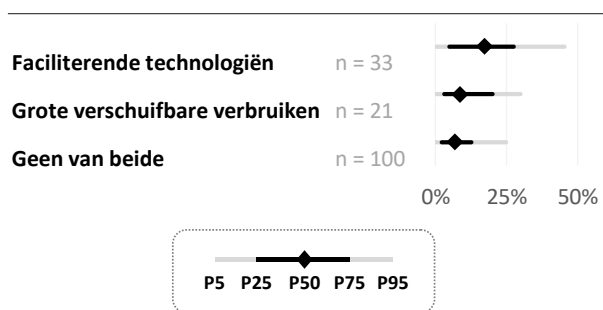
Figuur 6 toont de mediane reductie van het elektriciteitsverbruik in onderzoeken waarbij huishoudens toegang kregen tot faciliterende technologieën, onderzoeken waarbij huishoudens beschikten over grote verschuifbare verbruiken, en alle andere onderzoeken waarin geen van beide zaken het geval was. Zoals blijkt uit de mediaanwaarde van 9%, **leidt het hebben van grote verschuifbare verbruiken op zich al tot een grote vermindering van het elektriciteitsverbruik tijdens piekmomenten.** Opmerkelijker is echter dat **huishoudens die over faciliterende technologieën beschikken hun elektriciteitsverbruik tijdens piekperioden nog meer verminderen**, zoals blijkt uit het mediaan effect van 17% en het 75^{ste} percentiel dat in de buurt komt van 30%.

Hoewel dit een sterke indicatie is dat faciliterende technologieën kunnen helpen bij het verschuiven van elektriciteit en dus een elektriciteitssysteem kunnen ondersteunen dat grotendeels is gebaseerd op hernieuwbare energiebronnen, is **er ruimte voor veel meer.**

In de 27 gemiddelde effecten die we hebben geïdentificeerd als gekoppeld aan het bezit van activerende technologieën, had de overgrote meerderheid van de huishoudens alleen programmeerbare thermostaten. Hoewel deze thermostaten huishoudens helpen om hun verwarming te regelen, zijn ze zeker niet "slim", zoals het geval is met de meeste faciliterende technologieën die momenteel op de markt verkrijgbaar zijn. **Het gebruik van slimme faciliterende technologieën zal in de toekomst sterk moeten opgeschaald worden, om grote verschuifbare verbruiken zoals warmtepompen en elektrische voertuigen optimaal te kunnen laten inspelen op de beschikbaarheid van wind- en zonne-energie. Door toestellen volledig automatisch te laten reageren op signalen die gestuurd worden door de energieleverancier of netbeheerder, zal op die manier ook de factuur gereduceerd kunnen worden – zonder de comfortgrenzen van de huishoudens te overschrijden.** Slimme laders voor EV's kunnen

bijvoorbeeld de oplaadtijd van een elektrisch voertuig optimaliseren en er tegelijkertijd voor zorgen dat ten allen tijde wordt voldaan aan de voorkeuren van huishoudens wat betreft de minimale actieradius en andere comfortbehoeften (zoals bijvoorbeeld gespecificeerd via een app).

Faciliterende technologieën die slim, veilig, eenvoudig en toegankelijk zijn, zijn dé sleutel om het flexibiliteitspotentieel van grote verschuifbare verbruiken beter te benutten. Zowel het beter reageren op de beschikbaarheid van hernieuwbare energie als het verlagen van de elektriciteitsfactuur – door op financiële prikkels te reageren – kan voor huishoudens moeiteloos gemaakt worden, terwijl ook ieders comfortvoorkeuren perfect bewaakt blijven.



Figuur 6. Vermindering van het elektriciteitsgebruik tijdens doelperioden in de aanwezigheid van faciliterende technologieën en grote verschuifbare verbruiken.⁹

"Faciliterende technologieën die slim, veilig, eenvoudig en toegankelijk zijn, zijn dé sleutel om het flexibiliteitspotentieel van grote verschuifbare verbruiken zoals warmtepompen en elektrische voertuigen beter te benutten."

CONCLUSIE

Ons onderzoek over het beter laten reageren van de huishoudelijke elektriciteitsvraag op de beschikbaarheid van wind- en zonne-energie leidt tot enkele belangrijke bevindingen.

⁹ De ruitvormen komen overeen met de mediaanwaarden; de zwarte lijnen omvatten 50% van de waarnemingen in het

Onze analyse geeft aan dat informatie prikkels en financiële prikkels allicht niet doeltreffend genoeg zijn wanneer ze in isolement ingezet worden. Om het gewenste niveau van vraagflexibiliteit te realiseren dat nodig is om een elektriciteitssysteem te ondersteunen dat voornamelijk wordt aangedreven door wind- en zonne-energie, is meer nodig dan dergelijke prikkels op zichzelf.

De resultaten zijn veelbelovender wanneer informatie en financiële prikkels worden gecombineerd, vooral omdat informatieboodschappen kunnen helpen om huishoudens bewuster te maken van en attenter te maken op de financiële prikkels die hun portefeuille ten goede kunnen komen. Bovendien verhoogt de beschikbaarheid van technologie die het reageren op prikkels automatiseert en moeiteloos maakt de doeltreffendheid aanzienlijk. Hiernaast is ook de aanwezigheid van grote verschuifbare verbruiken, zoals warmtepompen en elektrische voertuigen, gunstig om de huishoudelijke elektriciteitsvraag voldoende flexibel te maken.

Om de visie van een voldoende flexibele elektriciteitsvraag werkelijkheid te laten worden, is er echter gezamenlijke actie nodig van beleidsmakers, fabrikanten en wetenschappers. Beleidsmakers moeten zorgen voor een snelle uitrol van warmtepompen en elektrische voertuigen, samen met de uitbreiding van wind- en zonne-energie. Maar het is even belangrijk om ervoor te zorgen dat die warmtepompen en elektrische voertuigen vervolgens ook gemakkelijk en volledig automatisch kunnen reageren op financiële prikkels zoals dynamische tarieven.

Om de overgang naar een flexibele elektriciteitsvraag te versnellen, moeten beleidsmakers grootschalige, praktijkgerichte experimenten met volledig geautomatiseerde flexibiliteit faciliteren. Vervolgens is het als wetenschappers onze rol om in dit evoluerende landschap samen te werken met vooruitstrevende marktpartijen die werk willen maken van flexibiliteit, om zo de leer- en schaalprocessen te versnellen. Tegelijkertijd moeten beleidsmakers ernaar streven om belemmeringen weg te nemen die de ontwikkeling van een ecosysteem van flexibele huishoudelijke apparaten,

midden; de grijze lijnen omvatten 90% van alle waarnemingen, met uitzondering van de 10% meest extreme.

warmtepompen en elektrische voertuigen in de weg staan. Dit houdt onder andere in dat transparante en goed gedocumenteerde communicatieprotocollen moeten worden afgedwongen en dat er moet worden voorkomen dat fabrikanten 'walled gardens' creëren, zodat verschillende merken en types apparaten naadloos met elkaar en met de energiemarkt kunnen communiceren.

Samenvattend kan worden gesteld dat de huidige stand van zaken op het gebied van de vraagrespon van huishoudens weliswaar bescheiden is, maar dat het potentieel voor een aanzienlijke impact onmiskenbaar is. De reis naar het realiseren van dit potentieel zal samenwerking en proactieve inspanningen vereisen in meerdere sectoren, om ervoor te zorgen dat het toekomstige energiesysteem niet alleen duurzaam, maar ook veerkrachtig en efficiënt is.

Intermezzo: is een flexibele huishoudelijke elektriciteitsvraag al mogelijk in België?

De vele wetenschappelijke experimenten die we voor dit onderzoek evalueerden hebben samen aangetoond dat financiële prikkels, informatie prikkels en automatiseringstechnologie kunnen helpen om de elektriciteitsvraag van huishoudens flexibeler te maken. **Maar in welke mate zijn deze zaken vandaag reeds geïmplementeerd in België?**

Een eerste belangrijke stap om aanzienlijke flexibiliteit te bereiken is de installatie van digitale elektriciteitsmeters in woningen. Deze zijn essentieel voor de implementatie van de nieuwe dynamische contracten. In België varieert de installatie echter van gewest tot gewest, zoals blijkt uit Tabel 1.

Tabel 1. Uitrol van digitale meters tot nu toe in de drie gewesten in België

	Vlaanderen	Wallonië	Brussel
Aantal geïnstalleerde slimme elektriciteitsmeters	> 1 800 000	230 000	(Uitrol gestart in okt. 2023)
Doel	80% tegen eind 2024 (van alle klanten)	80% tegen 2029 (van prioritaire klanten)	≈ 100% in 2030 (van alle klanten)

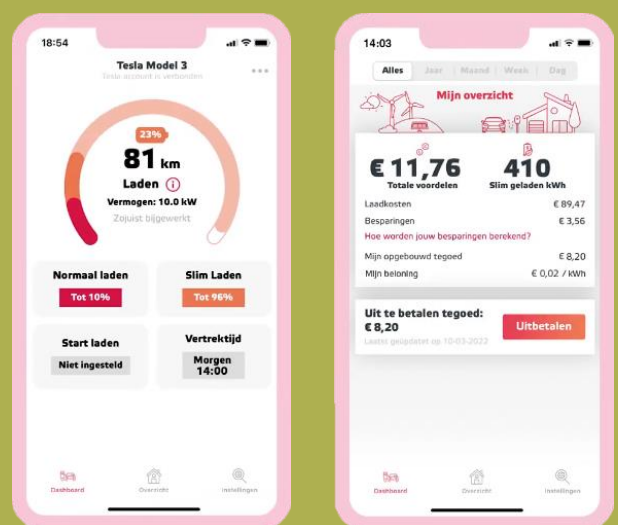
Financiële prikkels - Dankzij Europese regelgeving zijn grote elektriciteitsleveranciers verplicht om dynamische contracten aan te bieden. Deze contracten hebben tarieven die elk uur veranderen en vereisen een digitale meter (om correct te kunnen factureren). Daarom zijn dergelijke contracten momenteel alleen beschikbaar in Vlaanderen. **Tabel 2 geeft een overzicht van de negen dynamische contracten die momenteel beschikbaar zijn voor Vlaamse klanten**, evenals de manier waarop de prijs per kWh elektriciteit wordt berekend. Aangezien de uitrol van slimme meters nu ook gestart is in Wallonië en Brussel, verwachten we dat dynamische contracten in de nabije toekomst ook in deze regio's zullen worden aangeboden.

Tabel 2. De negen dynamische contracten die beschikbaar zijn voor Vlaamse huishoudens in januari 2024
Met dank aan Paul Van Cotthem. Opmerking: SPOT is de uurprijs voor elektriciteit (in €/MWh) op de spotmarkt voor België.

Aanbieder	Naam contract	Formule afnameprijs (€cent/kWh) BTW excl. btw.	Formule injectieprijs (€cent/kWh) geen btw	Abonnement (€/jaar) excl. BTW
Bolt	Bolt Online	0,11225 * SPOT + 0,999	0,08840 * SPOT - 0,5000	90,45
EBEM	Groen Dyn@mic	0,10800 * SPOT + 1,750	0,08500 * SPOT - 0,5000	70,75
Ecopower	Dynamische burgerstroom	0,10200 * SPOT + 0,400	0,08500 * SPOT - 0,4000	60,00
Eneco	Zon en wind Dynamisch	0,10200 * SPOT + 1,000	0,10000 * SPOT - 1,1880	94,34
Energie.be	Dynamisch tarief particulieren	0,10580 * SPOT + 1,500	0,08000 * SPOT - 0,5000	33,02
Engie	Dynamisch	0,10000 * SPOT + 0,204	0,10000 * SPOT + 0,0000	95,00
Frank Energie	Dynamisch	0,10680 * SPOT + 1,500	0,08505 * SPOT + 0,0000	23,21
Luminus	Dynamisch	0,10440 * SPOT + 0,370	0,08525 * SPOT - 0,9550	70,75
Octa+	Dynamisch	0,10380 * SPOT + 0,393	0,09880 * SPOT - 1,1683	70,75

Informatie prikkels – Om effectief voordeliger te zijn, moeten huishoudens in staat worden gesteld om tijdig te reageren op de dynamische prijzen van dag tot dag, wat betekent dat informatie over deze prijzen vlot toegankelijk moet zijn. Leveranciers bieden daarom op hun website (of app) dagelijks een overzicht van de uurlijksse prijzen van de volgende dag. **Op basis daarvan kunnen huishoudens optimaal plannen om bv. een wasmachine te laten draaien, de verwarming hoger te zetten, hun elektrische voertuig op te laden, ... wanneer dat het goedkoopst is.**

Technologie - Technologie vergemakkelijkt dit alles. Slimme thermostaten worden bijvoorbeeld aangeboden door fabrikanten zoals Nest, Honeywell en Tado. Sommige van deze thermostaten zijn zelfs ontworpen om automatisch de uurtarieven voor elektriciteit te volgen om de verwarming te optimaliseren, zodat gebruikers zelf geen verwarmingsschema hoeven in te stellen. Daarnaast zijn er apps die het opladen van elektrische voertuigen kunnen beheren, om af te stemmen op periodes met lage prijzen. Voorbeelden van dergelijke apps in België zijn de "ENGIE Drive" app of de "Eneco Slimladen" app (zie Figuur 7). **Dergelijke apps helpen huishoudens met dynamische contracten om prijsfluctuaties optimaal te benutten.**



Figuur 7. Automatisch slim laden van een elektrisch voertuig via de 'Eneco Slimladen' app. (Met dank aan Eneco NV).



Prof. Dr. Marten Ovaere is assistent-professor bij de Vakgroep Economie. Zijn onderzoek richt zich op energie- en klimaat economie, met een focus op elektriciteitsmarkten, energiebeleid en hernieuwbare energie. Meer informatie over zijn onderzoek is te vinden op zijn [homepage](#). U kunt contact met hem opnemen via Marten.Ovaere@UGent.be



Prof. dr. Brent Bleys is universitair hoofddocent aan de Vakgroep Economie. Hij is een ecologisch econoom die onderzoek doet naar Beyond GDP, post-groei, duurzaamheidstransities en pro-klimaatgedrag. Contact: Brent.Bleys@UGent.be



Dr. Mariateresa Silvi is postdoctoraal onderzoeker bij de Vakgroep Economie. Ze bestudeert wat individuen drijft tot het ondernemen van pro-klimaat acties en publieke steun voor beleid op het gebied van klimaatmitigatie. Ga voor meer informatie naar [haar website](#) of neem contact met haar op via Mariateresa.Silvi@UGent.be



Dr. Sam Hamels is postdoctoraal onderzoeker in de energie-economie aan de Vakgroep Economie. Zijn onderzoek richt zich op het klimaatneutraal maken van het Europese elektriciteitssysteem en het gebouwenpark, met een focus op het simuleren van elektriciteitssystemen en vraagflexibiliteit. U kunt contact met hem opnemen via Sam.Hamels@UGent.be



Baptiste Rigaux is doctoraatsstudent energie-economie aan de Vakgroep Economie en aspirant fundamenteel onderzoek van het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek - Vlaanderen (mandaatnr.: 11Q4224N). Zijn onderzoek maakt gebruik van empirische gegevens om het potentieel voor flexibiliteit van de elektriciteitsvraag van huishoudens in België te onderzoeken. U kunt contact met hem opnemen via Baptiste.Rigaux@ugent.be

Gentse Economische Inzichten (GEI) is een forum voor toegankelijke onderzoeksresultaten en beleidsaanbevelingen van onderzoekers van de Universiteit Gent. De inhoud van elk GEI-document geeft enkel de visie van de auteur(s) weer. Ze vertegenwoordigen niet de visie van een onderzoeksgroep, het departement Economie of de Universiteit Gent. Voor meer onderzoek van het departement Economie verwijzen we naar <http://www.ugent.be/eb/economics>. Gentse Economische Inzichten wordt mede mogelijk gemaakt door een gift van www.susstinvest.eu. SUSTINVEST heeft geen zeggenschap over de inhoud en beleidsaanbevelingen.



Dit onderzoek werd ook ondersteund door de projecten FlexSys en Interflex, gefinancierd door het Energietransitiefonds van de Belgische federale overheid, beheerd door de FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie. B. Rigaux werd gefinancierd door Research Foundation - Flanders (FWO) (mandaat