

# Verschillen in Energiegebruik

Wat weten we (niet)...



 **In.Fact.**

Innovatie in beleidsondersteuning



# Verschillen in energiegebruik

Wat weten we (niet)...

12 november 2019

*Opdrachtgever*



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

*Contactpersonen:*

Edwin Marquart en Léon Crommentuijn

*Auteurs:*

Kees Leidelmeijer; ([kees.leidelmeijer@infact.eu](mailto:kees.leidelmeijer@infact.eu))

*IFR-rapportnummer: I 23111*



# Inhoud

1	Inleiding.....	1
2	Hoe groot zijn de verschillen? .....	2
2.1	Vergelijkbare woonsituaties.....	2
2.2	Vergelijkbare huishoudens .....	5
2.3	Waarom zijn die verschillen zo groot? .....	7
3	Conceptueel kader.....	10
3.1	Elementen in het kader .....	11
3.2	Uitwerking relaties in het kader.....	13
4	Literatuurscan .....	16
4.1	Woningen en huishoudens .....	16
4.2	Woningen, huishoudens en energiegebruik (pijl A en B).....	17
4.2.1	Gasverbruik .....	17
4.2.2	Elektriciteitsverbruik .....	20
4.3	Huishoudens, individuele verschillen en energiegelgedrag (pijl 2 en 3) .....	23
4.4	Woningen, huishoudens en energiegelgedrag (pijl 2, 3 en 4) .....	27
4.5	Rebound en prebound effect (pijl 4) .....	31
4.6	Energiegelgedrag en energiegebruik (pijl 6).....	35
4.7	Woningen, installaties en energiegebruik (pijl 7) .....	40
5	Conclusies.....	43
5.1	Wat weten we?.....	43
5.1.1	Gasverbruik .....	43
5.1.2	Elektriciteitsverbruik .....	46
5.2	Wat weten we niet? .....	47
	Literatuur.....	49

# 1 Inleiding

Er bestaan grote verschillen in energieverbruik tussen huishoudens. Die verschillen kunnen komen door hoe energiezuinig de woning is waarin zij wonen, maar ook door de woninggrootte, door hoeveel elektrische apparaten men bezit en door het gedrag van die huishoudens. Hoeveel men thuis is, of er thuis wordt gewerkt, op welke temperatuur men verwarmt, hoeveel kamers er worden verwarmd, hoeveel er wordt gedoucht of in bad gegaan, hoe lang er tv wordt gekeken, enzovoort. Het heeft allemaal invloed op het energieverbruik in de woning.

In opdracht van RVO heeft In.Fact.Research verkend wat de bestaande kennis over verklarende variabelen is voor energieverbruik van huishoudens. Dat overzicht kan helpen bij het ontwikkelen van goede monitoringinstrumenten maar ook voor de doorontwikkeling van kennis en instrumenten die zijn gericht op (vermindering van) energieverbruik van huishoudens. Hiertoe is een literatuurstudie gedaan en zijn enkele deskundigen gesproken.

De literatuur waaruit informatie kan worden gehaald over dit onderwerp is breed. Voor de zoektocht naar relevante artikelen is gebruik gemaakt van zoekopdrachten met keywords in Google Scholar en is de EPATEE knowledge base gebruikt. Verder zijn leads gevolgd van deskundigen en is de 'sneeuwbalmethode' gebruikt, waarbij is doorgezocht op basis van referenties in relevante andere artikelen. De aandacht is in het bijzonder gericht op studies met een Nederlandse of westerse achtergrond om de toepasbaarheid van de uitkomsten voor de Nederlandse situatie te garanderen. De resulterende artikelen kunnen – gezien de omvang van de literatuur en de thematiek – geen uitputtend beeld geven van wat er in de literatuur is gezegd en geschreven over dit onderwerp, maar bieden daar naar ons idee wel een synopsis van.

Dit rapport moet worden gezien als een achtergronddocument dat verduidelijkt waarom en ongeveer hoeveel het energieverbruik van een bepaald huishouden afwijkt van het gemiddelde energieverbruik. Het document heeft als lezerspubliek medewerkers van RVO en BZK die zijn ingevoerd in de materie.

## 2 Hoe groot zijn de verschillen?

In de themapublicatie bij de Energiemodule van het WoON2018 (Stuart-Fox e.a., 2019) is gemeld dat 45% van de verschillen in gasverbruik kunnen worden verklaard door de (in het onderzoek gemeten) kenmerken van woningen en huishoudens. Leidelmeijer en Cozijnsen (2009) kwamen eerder op basis van de Energiemodule van WoON2006 tot een vergelijkbare verklaarde variantie voor de totale energiekosten van een huishouden. Leidelmeijer en van Grieken (2005) vonden op basis van de KWR een verklaarde variantie van 48% voor gasverbruik in relatie tot woningkenmerken en energiegedrag en Tigchelaar en Leidelmeijer (2013) verklaarden met de Energiemodule van het WoON2012 50% van de verschillen in gasverbruik met kenmerken van woningen en energiegedrag van de bewoners. Hoewel dat in statistische zin best bevredigende verklaringen zijn, betekent het ook dat in de praktijk een (zeer) groot deel van de verschillen in energiegebruik onverklaard blijven.

Het energiegedrag van huishoudens verschilt vermoedelijk meer dan met eenvoudige vragenlijsten kan worden bevraagd en waarschijnlijk zijn de verschillen tussen woningen en installaties ook groter dan op basis van de gemeten kenmerken en veronderstelde eigenschappen kan worden vastgesteld.

Om een indruk te geven van de orde van grootte van de verschillen waar we het dan over hebben, schetsen we in dit eerste hoofdstuk kort de verschillen in energiegebruik voor:

- Vergelijkbare woonsituaties (energielabel, woningtype en - grootte) maar met verschillende huishoudens.
- Vergelijkbare huishoudens (type huishouden, leeftijd en inkomen) maar met andere woonsituaties.

### 2.1 Vergelijkbare woonsituaties

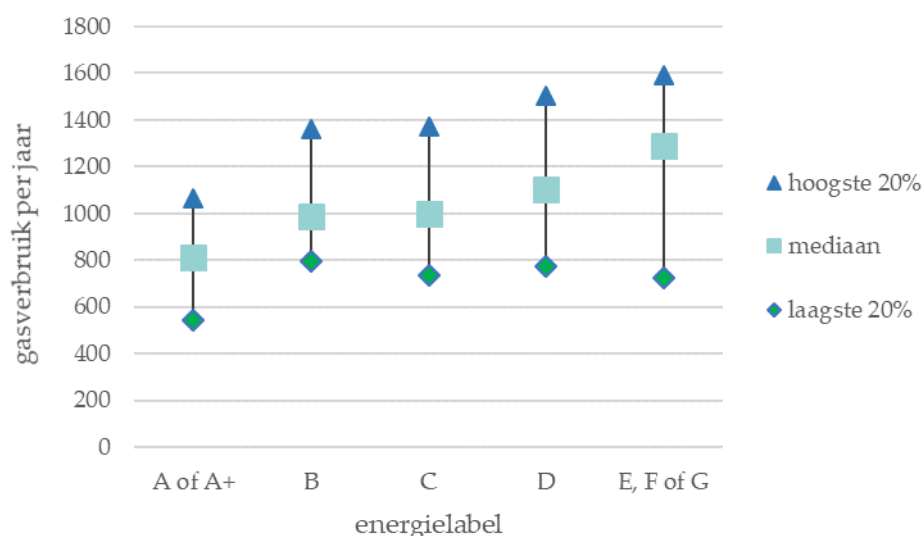
Verschillen in energiegebruik en gasverbruik in het bijzonder hangen sterk samen met woninggrootte, woningtype en energielabel van de woning (Stuart-Fox e.a., 2019). Echter, binnen vergelijkbare woningen – we nemen eengezins tussenwoningen met een gebruiksoppervlak tussen de 100 en 120 m<sup>2</sup> (het meest voorkomende woningtype in Nederland) en met eenzelfde energielabel - zijn de verschillen in het jaarlijkse gasverbruik nog steeds opvallend groot. In Figuur 1 is voor dit woningtype het gasverbruik weergegeven per energielabel van de woning, waarbij naast de mediaan, ook de grenswaarden van de laagste en hoogste 20% verbruikers zijn weergegeven.

In de figuur is te zien dat in de woningen met een A-label 20% van de huishoudens meer dan 1060 m<sup>3</sup> gas verbruikt. Tegelijkertijd verbruikt 20% van de huishoudens in

hetzelfde woningtype minder dan 550 m<sup>3</sup> gas per jaar. Het verschil is ruim 500 m<sup>3</sup>. Ofwel, de 20% minst zuinigste huishoudens in deze vergelijkbare woningen verbruiken minimaal<sup>1</sup> twee keer zoveel gas per jaar als de 20% zuinigste huishoudens.<sup>2</sup>

Naarmate het energielabel ongunstiger wordt, nemen de verschillen in gasverbruik tussen de 20% zuinigste en 20% onzuinigste huishoudens verder toe. In de woningen met een label E, F of G is het verschil ruim 860 m<sup>3</sup>, oftewel een factor 2,2. En het zal geen verbazing wekken dat de verschillen tussen de huishoudens met het laagste en het hoogste gasverbruik nog veel groter is.

**Figuur 1** Verschillen in gasverbruik in eengezins tussenwoningen tussen de 100 en 120 m<sup>2</sup> grootte naar energielabel<sup>3</sup>



bron: WoON2018, energiemodule

Dit voorbeeld illustreert dat gasverbruik samenhangt met – in dit geval – het energielabel (in de woningen met label E, F of G wordt bijna 60% meer gas verbruikt dan in de woningen met label A). Echter, in dezelfde woningen (vergelijkbaar qua type, grootte en energielabel) kan het verschil in verbruik tussen verschillende huishoudens makkelijk een factor 2 (dus 200%) bedragen. De verschillen tussen huishoudens zijn groter

1 De vermelde waarden zijn de grenswaarden van het 2e en 8e percentiel, ofwel de maximale waarde voor de 20% zuinigste huishoudens en de minimale waarde voor de 20% onzuinigste huishoudens. Het verschil is dus het minimale verschil voor die 20%-groepen. Het verschil tussen de gemiddelden van beide groepen is dus ook groter.

2 Omdat in de analyse gebruik is gemaakt van grenswaarden van de decielgroepen kan ook worden gesteld dat het verschil in energiegebruik tussen de zuinigste en minst zuinige huishoudens in de middengroep (de 60% middelste huishoudens) een factor 2 bedraagt.

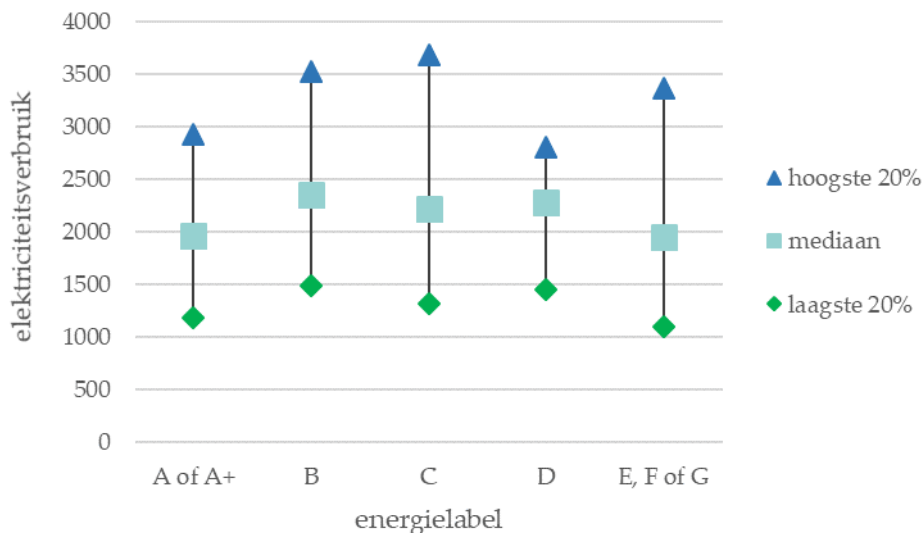
3 Om voldoende celvulling te houden, zijn sommige labels samengevoegd.



naarmate de woningen onzuiniger zijn. In de zuinige woningen is de invloed van het huishouden (de gedragsvariatie) dus minder groot. Maar ook dan gaat het nog steeds om substantiële verschillen.

Het elektriciteitsverbruik in vergelijkbare woningen verschilt nog meer dan het gasverbruik. Waar de 20% onzuinigste huishoudens minimaal 2 keer zoveel gas verbruikten als de 20% zuinigste huishoudens, is het verschil voor het elektriciteitsverbruik minimaal een factor 2,5 (Figuur 2). Voor de huishoudens in de onzuinige tussenwoningen met een oppervlak tussen de 100 en 120 m<sup>2</sup> zijn de verschillen het grootst. In dit segment verbruiken de 20% minst zuinige huishoudens minimaal 3 keer zoveel elektriciteit als de 20% zuinigste huishoudens.

**Figuur 2** Verschillen in elektriciteitsverbruik in eengezins tussenwoningen tussen de 100 en 120 m<sup>2</sup> grootte naar energielabel



bron: WoON2018, energiemodule

De relatie tussen elektriciteitsverbruik en het energielabel van de woning is, zoals bekend, beperkt. Alleen via de toepassing van zonnepanelen (wat bijdraagt aan een zuinig label) is het aannemelijk dat bewoners van zuinige woningen een lagere energierekening hebben. Dat is deels<sup>4</sup> ook terug te zien in het gemiddeld wat lagere (externe) elektriciteitsverbruik in de label A-woningen. Een hoger elektriciteitsverbruik zien we

<sup>4</sup> Zonnepanelen zijn oververtegenwoordigd in de label A woningen, maar worden ook toegepast in woningen met een minder zuinig label. Het (externe) elektriciteitsverbruik in de woningen met zonnepanelen ligt gemiddeld 25% lager dan in de woningen zonder zonnepanelen.

terug bij woningen met een warmtepomp. Gemiddeld genomen is het elektriciteitsverbruik voor deze groep woningen zo'n 75% hoger dan voor woningen met HR107 ketel.<sup>5</sup> Binnen de groep woningen met een warmtepomp zijn er overigens ook grote verschillen in elektriciteitsverbruik. Voor de 60% middengroep met een elektrische warmtepomp bedraagt het verschil in verbruik een factor 2,3. En dat geldt zowel het absolute verbruik als het verbruik per m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak.

Voor het overige wordt het elektriciteitsverbruik – zo is bekend uit onderzoek - vooral bepaald door het aantal personen en het gebruik (en de energiezuinigheid) van apparaten in een huishouden. Daar komen we later op terug.

## 2.2 Vergelijkbare huishoudens

Verschillen in energiegebruik hangen samen met type huishouden, inkomen, opleidingsniveau en leeftijd (Stuart-Fox e.a., 2019). Echter, eenzelfde type huishouden – we nemen gezinshuishoudens tussen de 35 en 45 jaar met minderjarige kinderen (de meest voorkomende combinatie van typen huishoudens en leeftijdsklassen in Nederland) en met eenzelfde inkomen – kan een aanzienlijk ander verbruik hebben.

In Figuur 3 kan worden gezien dat met het inkomen het gasverbruik grosso modo toeneemt. De variatie binnen dezelfde inkomensklassen is echter een stuk groter dan de variatie ertussen. Zo verbruiken de 20% minst zuinige gezinshuishoudens met een inkomen tussen de een en anderhalf keer modaal minimaal 2,5 keer meer gas dan de 20% zuinigste gezinshuishoudens met eenzelfde inkomen. Voor de meeste inkomensgroepen liggen de verschillen in deze orde van grootte. Alleen voor de groep met een inkomen tussen de 1,5 en 2 keer modaal is het verschil kleiner.<sup>6</sup> Het is niet aannemelijk dat dit een structurele uitkomst is, die specifiek is voor deze inkomensgroep. Daar zijn althans geen aanwijzingen voor. Vermoedelijk is de uitkomst 'toevallig' en bepaald door de relatief kleine steekproefomvang van het onderzoek.

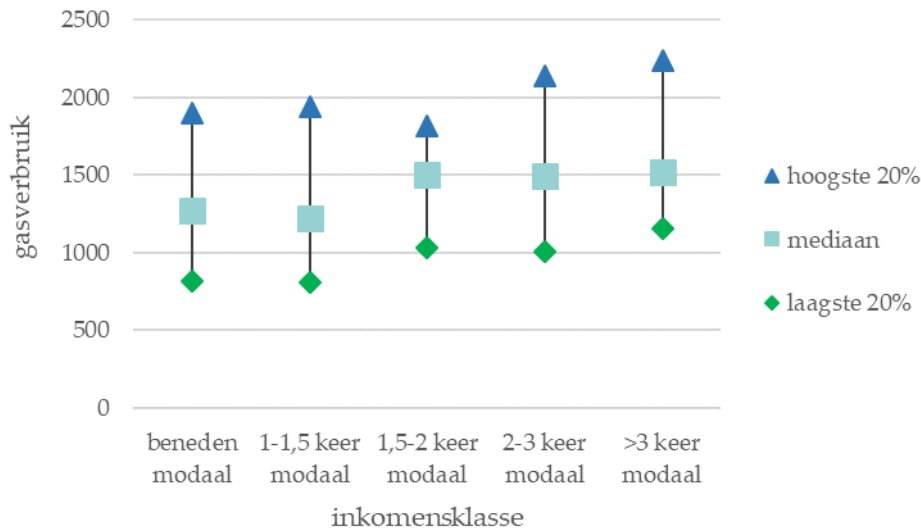
Het verschil in mediaan gebruik tussen de hoogste en de laagste-inkomensgroep is aanzienlijk kleiner dan het verschil tussen de 20% zuinigste en 20% minst zuinige huishoudens binnen elke inkomensgroep. De hoogste inkomensgroep (binnen dit huishoudentype) verbruikt 'gemiddeld' namelijk slechts 25% meer gas dan de laagste inkomensgroep: (1.523 m<sup>3</sup> versus 1.218 m<sup>3</sup>).

---

<sup>5</sup> Bron: WoON energiemodule 2018; Hierbij is geselecteerd op woningen waarvan de installatie vóór 2017 is geïnstalleerd om te voorkomen dat het type installatie en de verbruikscijfers niet corresponderen. Het gaat dan om 52 woningen.

<sup>6</sup> Voor deze groep komt het verschil uit op een factor 1,8.

**Figuur 3** Verschillen in gasverbruik van huishoudens tussen de 35 en 55 jaar met minderjarige kinderen, naar inkomensklasse

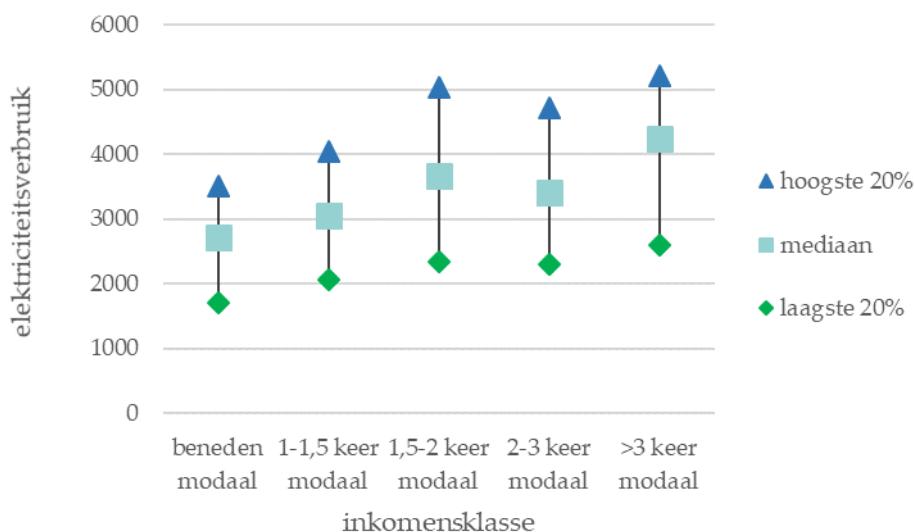


bron: WoON2018, energiemodule

Voor elektriciteitsverbruik zijn de verschillen tussen inkomensgroepen groter dan voor gasverbruik. De hoogste inkomensgroep onder de gezinshuishoudens tussen de 25 en 55 jaar verbruikt circa 50% meer dan de laagste inkomensgroep. Maar ook hier geldt dat de verschillen binnen de inkomensgroepen al snel een factor 2 bedragen (Figuur 4). De variatie binnen de inkomensgroepen is wat groter bij de hogere inkomens dan bij de lagere inkomens.

Orden van grootte van verschillen van een factor 2 á 3 voor de middengroep qua energiegebruik worden ook in andere landen gerapporteerd (bijvoorbeeld in Denemarken door Gram-Hanssen et al. (2004). Ook door Morley et al. (2011) wordt deze orde van grootte van verschillen in overigens vergelijkbare woningen gerapporteerd. Deze uitkomst is daarmee dus niet bijzonder, maar reflecteert de werkelijke en grote variabiliteit in energiegebruik tussen huishoudens (en woningen). Zelfs in zeer zuinige (NOM) woningen is de variatie in elektriciteitsgebruik nog steeds groot. Waar het gemiddelde vaak redelijk in lijn is met de verwachtingen, komen in de praktijk verschillen tot een factor 6 voor (Borsboom et al. 2016) tussen de woningen met de hoogste en laagste verbruiken.

**Figuur 4** Verschillen in elektriciteitsverbruik van huishoudens tussen de 35 en 55 jaar met minderjarige kinderen, naar inkomensklasse,



bron: WoON2018, energiemodule

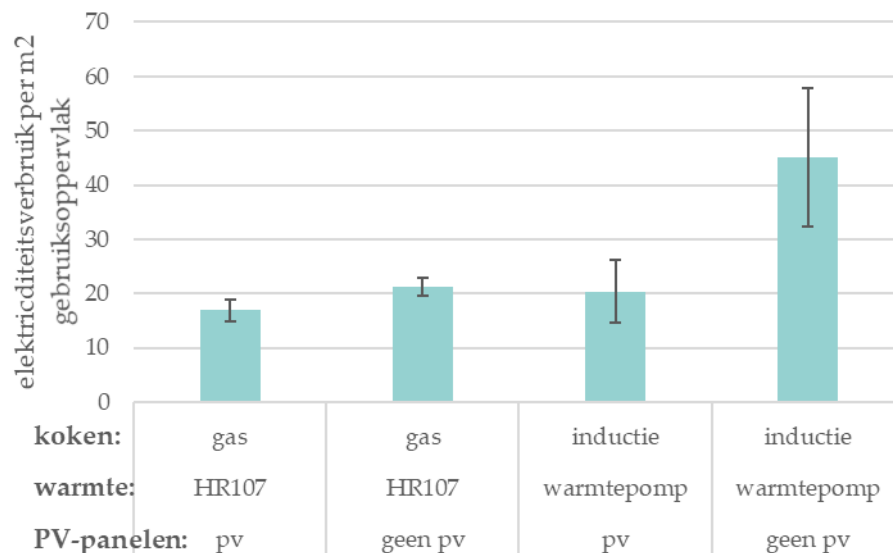
### 2.3 Waarom zijn die verschillen zo groot?

Kijkend naar de figuren in dit hoofdstukje komen al snel verklaringen op voor de mogelijke redenen van de verschillen. Zo kunnen huishoudens in vergelijkbare label A-woningen zich nog steeds erg anders gedragen. Sommige zijn nooit thuis bijvoorbeeld, verwarmen de woning nauwelijks terwijl andere veel thuis zijn, alle kamers lekker warm stoken, graag en uitgebreid koken op gas, veel onder de douche en in bad gaan, ramen geregeld openzetten voor frisse lucht, enzovoort. Dergelijke verschillen in gedrag hebben een groot effect op het gasverbruik en voor zover ze betrekking hebben op het verwarmen van de woning, meer naarmate de woningen een ongunstiger label hebben. De zuinige woningen zijn als het ware minder gevoelig voor onzuinig gedrag dan de onzuinige woningen – in het bijzonder waar het gaat om het verwarmen van de woning. Daarom zijn binnen de onzuinige woningen de verschillen in gasverbruik ook groter.

Maar bij woningen die vergelijkbaar zijn, kunnen er ook aan de hardware-kant nog steeds relevante verschillen zijn. In relatie tot gasverbruik maakt het natuurlijk veel uit of een woning met een A-label is voorzien van een warmtepomp en van een inductiekookplaat of dat er op gas wordt gekookt en er een HR-ketel staat én of er PV-panelen zijn toegepast. Zie ter illustratie Figuur 5. In de figuur zijn zowel de (relatief beperkte) effecten zichtbaar van pv-panelen als van koken op gas of inductie. Ook wordt duidelijk dat koken op inductie en warmte opwekken met een warmtepomp terwijl er geen

pv-panelen zijn toegepast<sup>7</sup>, een minder aantrekkelijke optie is. Daarnaast kunnen woningen weliswaar een zuinig label hebben, maar toch sterk verschillen in de kwaliteit van de isolatie of de installaties.

**Figuur 5** Elektriciteitsverbruik per m2 gebruiksoppervlak voor vier combinaties van installaties in woningen met label A/A+ (incl. 95% betrouwbaarheidsinterval)



bron: WoON2018, energiemodule

En omgekeerd geldt natuurlijk dat we vergelijkbare huishoudens kunnen nemen en vergelijken hoeveel energie zij gebruiken, maar dat zij in hun energiegedrag nog steeds sterk kunnen verschillen. En daarnaast kan hun woonsituatie natuurlijk sterk afwijken. Een gezinshuishouden met een hoog inkomen kan in een nieuw, goed geïsoleerd, maar klein appartement in de stad wonen, maar ook in een groot, oud en (nog) niet geïsoleerd jaren '30 huis.

De mogelijke verklaringen van de verschillen in energiegebruik geven aan dat het nooit voldoende is om alleen naar de woning of de installaties te kijken, net zoals dat het nooit genoeg is om alleen naar de kant van (het gedrag van) het huishouden te kijken. Beide bepalen – vaak in onderlinge samenhang - de verschillen in energiegebruik als het gaat om het verwarmen van de woning.

<sup>7</sup> Dit lijkt in het WoON toch voor te komen in ruim een derde van de label A-woningen met een warmtepomp en een inductiekookplaat.

De grootte van de verschillen in energiegebruik leveren een probleem op voor toepassingen waarin energiegebruik wordt gemodelleerd of voorspeld. Immers, bij een dergelijke grote variatie zal de werkelijkheid meestal afwijken van het gemiddelde dat uit het model komt. Dit punt wordt ook in de literatuur benadrukt (bijvoorbeeld Morley & Hazas, 2011; Gram-Hanssen, 2014). Dat maakt het belangrijk om energiegedrag beter te begrijpen en op die manier de variatie te beperken. Maar ook aan de fysische kant van de modellen (bijvoorbeeld in de manier waarop de binnentemperatuur wordt gemodelleerd in relatie tot de isolatiegraad van de woning) zijn verbeteringen wenselijk en mogelijk (Koene et al., 2016).

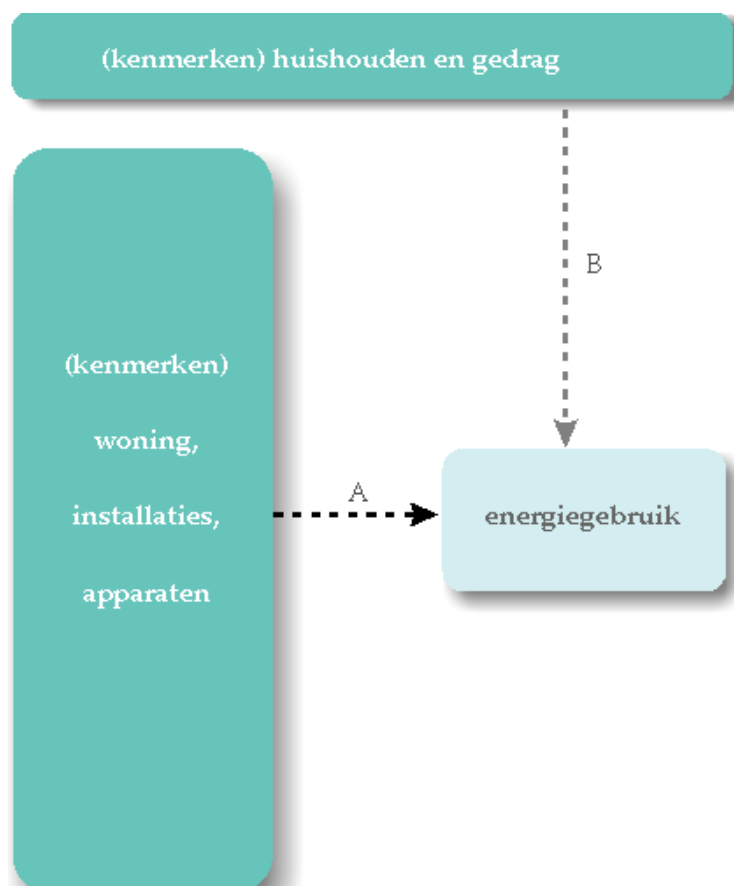
Andere redenen om energiegedrag beter te willen begrijpen (Gram-Hanssen, 2014) zijn dat het houvast kan bieden voor ontwerp en toepassing van technieken die beter aansluiten op de wensen en behoeften van gebruikers en die energie-efficiency ondersteunen. Ook kan een beter begrip van het alledaags gedrag van huishoudens handvatten bieden om die 'practices' om te buigen in een richting die bijdraagt aan minder energiegebruik (Morley et al. 2011; Palm & Darby, 2014).

In het volgende hoofdstuk schetsen we een conceptueel kader dat kan helpen bij het begrijpen van de invloeden van verschillen in energiegebruik. Daarna gaan we na in welke mate de literatuur inzicht geeft in het belang van de verschillende invloeden.

### 3 Conceptueel kader

In de praktijk van energiebesparing is de manier waarop wordt nagedacht over de kenmerken die energiegebruik (en besparingen) beïnvloeden er vaak een zoals weergegeven in Figuur 6. Vaak vormen verschillen tussen woningen en installaties het vertrekpunt (pijl A). De redeneringen zijn dan in de vorm van “in grote woningen wordt veel energie gebruikt en in kleine woningen weinig” of in goed geïsoleerde woningen wordt weinig energie gebruikt en in slecht geïsoleerde woningen veel”. Als vervolgens wordt gemeten, blijkt er de nodige variatie te zijn. Om die verschillen te verklaren wordt gekeken naar (kenmerken van) huishoudens en hun gedrag die de relatie tussen woningkenmerken en energiegebruik ‘verstoren’ of ook een ‘eigen’ relatie hebben met energiegebruik (pijl B). Dit gaat dan om redeneringen in de vorm van “huishoudens met minder inkomen gebruiken minder energie” of “energiegebruik neemt toe met de leeftijd”.

Figuur 6 Eenvoudige weergave invloeden van energiegebruik



Zoals al in paragraaf 2.3 is aangegeven, is deze wijze van naar de invloeden van energiegebruik kijken niet voldoende. Vaak is er namelijk sprake van een interactie tussen woning en bewoners die verantwoordelijk is voor energiegebruik. De onderzoeken naar het prebound en reboundeffect (waarover later meer) geven dat duidelijk aan: eenzelfde huishouden kan zich anders gaan gedragen als de woning waarin het woont zuinig is dan wanneer die woning juist niet zuinig is. En dat verschil kan mogelijk kleiner zijn voor huishoudens die duurzaamheid hoog in het vaandel hebben staan dan voor huishoudens die zich daar minder aan gelegen laten. Dat is dan geen effect van het huishouden of van de woning, maar een invloed van beide gezamenlijk. Daarnaast zijn kenmerken van woning en huishouden vaak ook onderling verbonden. Een huishouden met een hoger inkomen heeft vaker een grotere woning bijvoorbeeld. Beide los van elkaar beschouwen, kan dan verwarrend werken.

Wat ook mist in een benadering zoals weergegeven in Figuur 6 is een juiste positionering van energiegedrag. Energiegedrag is niet iets dat naast de kenmerken van een huishouden kan worden geplaatst (zoals bijvoorbeeld in de analyses van de energiemodule 2018 is gedaan waarbij is verkend wat de afzonderlijke verklaringskracht is van woning, huishouden en gedrag). Energiegedrag is een centrale factor in de verklaring van energiegebruik. Dat geldt zowel als naar energiegebruik wordt gekeken vanuit het perspectief van verschillen tussen woningen als vanuit het perspectief van de bewoners.

Een woning op zichzelf verbruikt immers geen energie zoals pijl A suggereert. Het energiegebruik ontstaat doordat de bewoners in die woning energie gebruiken door wat zij doen (verwarmen, koken, douchen, verlichten, tv kijken, enzovoort). Het is dan zo dat als een huishouden zich op dezelfde manier gedraagt in een grote woning als in een kleine woning (alle kamers verwarmen bijvoorbeeld) en die woningen en de erin staande installaties verder vergelijkbaar zijn, het energiegebruik in de grote woning hoger is. Om een zinvolle uitspraak te kunnen doen over de invloed van de woning is het dus nodig om een aanname te doen over het gedrag van het huishouden.

Evenzo is het niet zo dat een huishouden meer energie verbruikt omdat het een hoog inkomen heeft. Een huishouden met een hoog inkomen kan meer energie gebruiken omdat het vaker in een grotere woning woont of meer apparaten heeft – zoals hiervoor aangegeven. Het kan ook meer energie gebruiken omdat een huishouden met veel beschikbare financiële middelen zich vaak anders gedraagt dan een huishouden met minder middelen, bijvoorbeeld omdat de kosten van het energiegebruik minder remmend werken op het nastreven van comfort.

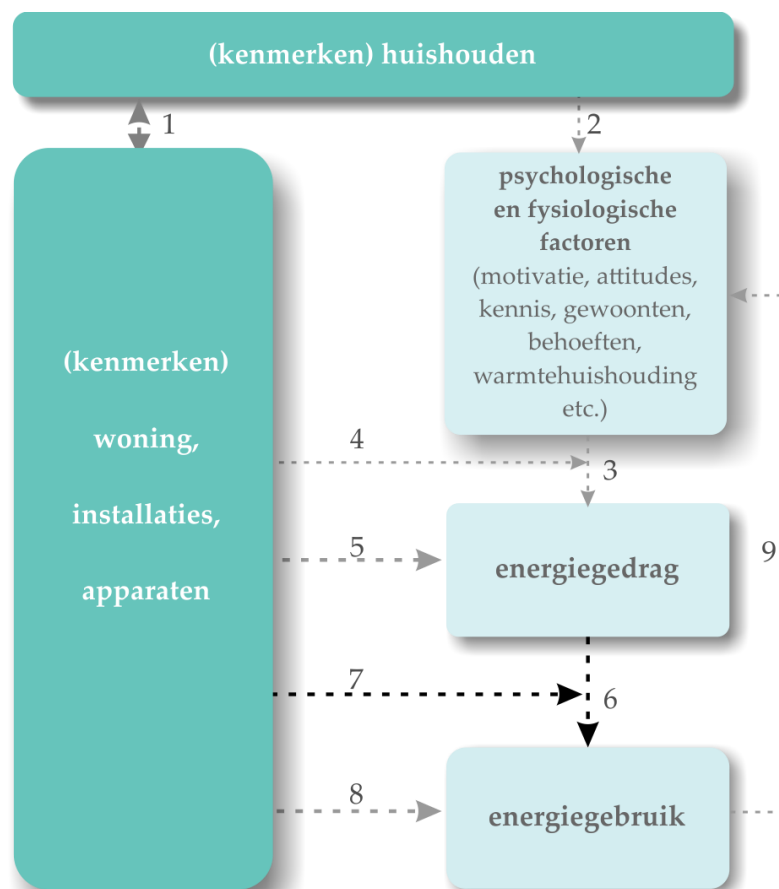
### 3.1 Elementen in het kader

Om rekening te kunnen houden met al die verschillende manieren waarop energiegebruik wordt beïnvloed, is het nuttig om een iets gedetailleerder conceptueel kader te



hanteren. Dat is weergegeven in Figuur 7. Het is nog steeds een sterke vereenvoudiging van hoe de processen in werkelijkheid verlopen, maar het biedt de mogelijkheid om nadrukkelijk rekening te houden met de verschillende wijzen waarop woning en huishouden gezamenlijk van invloed zijn op het uiteindelijke energiegebruik.<sup>8</sup> Om het kader nader te duiden, worden hierna de verschillende ‘pijlen’ nader uitgewerkt.

**Figuur 7** Conceptueel kader invloeden van energiegebruik<sup>9</sup>



<sup>8</sup> Zie bijvoorbeeld ook het model van Raaij en Verhallen (1983, p. 121) dat in essentie vergelijkbaar is, behalve dat interacties er minder expliciet in zijn opgenomen en psychologische mechanismen en externe invloeden meer zijn geëxpliciteerd.

<sup>9</sup>

Het is hierbij goed om nog nader te specificeren wat wel en niet aan de orde komt. Zo zijn ook externe omstandigheden (zoals de buitentemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, zonnestraling e.d.) van invloed op energiegebruik. Daar gaan we verder niet op in omdat die minder relevant zijn in relatie tot het doel van deze studie.

Verder wordt met energiegebruik bedoeld: energie (gas of elektriciteit), afgenomen van een energieleverancier, conform de gas- en elektriciteitsverbruiken in de analyses in hoofdstuk 2. Met die benadering wordt de invloed van pv-panelen op energiegebruik als een afname van het energiegebruik beschouwd (zoals er in de praktijk meestal tegenaan wordt gekeken). Als naar het totale energiegebruik wordt gekeken is het waarschijnlijker dat de aanwezigheid van pv-panelen vaker zal leiden tot meer dan tot minder energiegebruik. Immers, de variabele kosten van energiegebruik bij pv-panelen zijn lager (zie ook reboundeffect in paragraaf 4.5).

### 3.2 Uitwerking relaties in het kader

Door de verschillende ‘pijlen’ in het kader langs te lopen, wordt duidelijk hoe de invloed verloopt van (kenmerken van) huishoudens en (kenmerken van) woningen op energiegedrag en – gebruik. Dan wordt ook duidelijk dat er vrijwel geen directe relatie bestaat tussen de kenmerken van de woningen en de huishoudens aan de ene kant en het energiegebruik aan de andere. Alleen ‘pijl 8’ voorziet hierin en dat is eigenlijk een zeer bijzondere situatie.

- Pijl 1 Kenmerken van huishoudens en kenmerken van woningen hangen met elkaar samen. Voorbeeld: huishoudens met meer inkomen wonen vaker in grotere woningen. De samenhang is echter nooit perfect. Ook huishoudens met weinig geld kunnen in een grote woning wonen en huishoudens met veel inkomen in een kleine.
- Pijl 2 Kenmerken van huishouden hangen samen met psychologische en fysiologische verschillen. Mensen met een positieve milieu-attitude hebben bijvoorbeeld vaker een hogere opleiding, mensen met een hoger inkomen zijn vaak minder zuinig. En mensen met een hogere leeftijd hebben vaker behoefte aan een warmere woonomgeving. Het zijn deze factoren die in beginsel de verschillen in energiegedrag bepalen. Ze beantwoorden de ‘waaromvraag’ voor de relatie tussen huishoudenskenmerken en energiegedrag. Complicerend is echter dat die verklarende factoren ook een ‘eigen variatie’ hebben die niet samenhangt met te objectiveren kenmerken van huishoudens. Niet elke oudere heeft last van koude voeten, net zomin als elk huishouden met een Surinaamse achtergrond behoefte heeft aan een zeer warm huis.
- Pijl 3 De psychologische en fysiologische verschillen tussen mensen bepalen voor een belangrijk deel het energiegedrag van een huishouden. Heeft men behoefte aan

warmte, dan zal er (gemiddeld) hoger worden gestookt, is men gewend om altijd goed te luchten, dan zal men vaker met het raam open slapen, heeft men veel middelen dan zal men (gemiddeld) genomen minder letten op ‘onzuinig’ gedrag en heeft men kennis van bijvoorbeeld het effect van de instelling van de nachttemperatuur op het gasverbruik bij een lage temperatuurverwarming, dan zal men eerder dan anderen geneigd zijn die temperatuur ‘s nachts niet lager dan op 17 of 18 graden instellen.

- Pijl 4 Het laatste voorbeeld bij pijl 3 gaf al aan dat de kenmerken van de woning en installaties van invloed zijn op de relatie tussen bijvoorbeeld kennis en energiegedrag. Immers, in woningen met een lage temperatuurverwarming leidt een ander stookgedrag tot energiebesparing dan in woningen met gewone radiatoren en zal men dus vermoedelijk de nachttemperatuur ook anders instellen. Eenzelfde intentie leidt dan in verschillende woningen tot ander gedrag.

Ook het rebound en prebound-effect kunnen hier worden gelokaliseerd: afhankelijk van de kenmerken van een woning (zuinig of onzuinig), kan een huishouden met dezelfde preferenties en middelen (inkomen) zich anders gaan gedragen (zuiniger in de onzuinige woning en minder zuinig in de zuinige woning).

- Pijl 5 De directe relatie tussen kenmerken van een woning en installaties aan de ene kant en energiegedrag aan de andere heeft vooral te maken met de mogelijkheden van een woning, installaties en apparaten in huis. Als een woning slechts een kamer met een kachel heeft, kan er ook maar een kamer worden verwarmd. Alleen als er mechanische ventilatie is, kan men die gebruiken, enzovoort. Deze pijl is inhoudelijk minder interessant, maar analytisch vanzelfsprekend wel van belang en komt alleen zijdelings aan de orde in dit rapport.
- Pijl 6 Het resulterende energiegedrag bepaalt logischerwijs voor een groot deel het energiegebruik. Adviezen over korter douchen, de deuren in huis sluiten, minder kamers verwarmen en dergelijke die direct gericht zijn op gedragsverandering zijn hierop gericht.
- Pijl 7 Eenzelfde energiegedrag zal tot een ander energiegebruik leiden afhankelijk van de kenmerken van de woning en installaties. Dezelfde manier van verlichten leidt tot ander energiegebruik als men ledverlichting heeft dan wanneer men halogeonlampen heeft, dezelfde thermostaatinstelling leidt in een goed geïsoleerd huis tot minder energiegebruik dan in een slecht geïsoleerd huis, enzovoort. Het is vooral hier dat het zuiniger maken van de woningvoorraad en allerlei apparaten doorwerkt.
- Pijl 8 De directe relatie tussen kenmerken van een woning, installaties of apparaten in huis en energiegebruik is niet zo duidelijk. Zonder energiegedrag is er immers

geen energiegebruik. Alleen de overgang naar 'nul op de meter' zou hier kunnen worden gepositioneerd. Als de woning zodanig is ontwikkeld dat er geen (extern) energiegebruik nodig is, kan de invloed van gedrag op gebruik worden losgekoppeld. Dat zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn in een 'off grid all electric' concept met (ruim) voldoende opwekkings- en opslagmogelijkheden voor elektriciteit.

Pijl 9 Energiegebruik en de ermee samenhangende energielasten en het ervaren comfort kunnen tot aanpassingen in voorkeuren, middelen, enzovoort leiden, bijvoorbeeld omdat men een te hoge energierekening wil tegengaan. Er zijn ook nog andere 'feedback loops' denkbaar, maar die laten we hier buiten beschouwing omdat die niet direct van belang zijn voor het onderwerp van deze rapportage.

De opsomming geeft aan dat de directe relatie tussen kenmerken van huishoudens en woningen met energiegebruik eigenlijk niet bestaat. Er zijn wel samenhangen, maar die ontstaan alleen doordat er relaties bestaan tussen de kenmerken van huishoudens en woningen aan de ene kant en energiegedrag aan de andere.

Het kader is algemeen geformuleerd. Dat betekent dat in principe elk energiegedrag van huishoudens, ongeacht het doel (zoals verwarmen van de woning, warm water, ventileren, koelen, gebruik van apparaten), erin kan worden bestudeerd.

In navolgende hoofdstukken bespreken we voor de belangrijkste 'pijlen' wat er over de relaties bekend is. Een aantal relaties die in de literatuur zijn gevonden gaat direct over die tussen kenmerken van huishoudens of woningen en energiegebruik. Hoewel conceptueel niet geheel helder, laten we die niet buiten beschouwing. Die worden besproken onder pijl A en pijl B (uit Figuur 6).

## 4 Literatuurscan

### 4.1 Woningen en huishoudens

Een aantal samenhangen tussen woningen en huishoudens is relevant in relatie tot energiegebruik. De meest in het oog springende is die tussen woninggrootte en woningtype enerzijds en inkomen en type huishouden anderzijds. Hogere inkomens en gezinshuishoudens wonen vaker in grotere woningen en vaker in vrijstaande woningen. Hogere inkomens en gezinshuishoudens gebruiken gemiddeld genomen ook meer energie. Een van de redenen waarom zij dat doen is omdat ze in grotere woningen wonen die vaker vrijstaand zijn.

Er zijn ook aanwijzingen dat hogere inkomens onafhankelijk van de woning waarin zij wonen meer energie gebruiken (Stuart-Fox e.a., 2019). Maar waar het om gaat, is dat het belangrijk is om bij de interpretatie van gevonden samenhangen steeds rekening te houden met de relatie tussen woningkenmerken en huishoudenskenmerken om te voorkomen dat onjuiste conclusies worden getrokken. Of zoals Guerra Santín (2010, p. 2017) het verwoordde: “Het bewonersgedrag wordt bepaald door het woningtype en de geïnstalleerde HVAC-installaties<sup>10</sup>, en vooral door de grootte van de woning en het type thermostaat; mede daarom kan de invloed van bewonerskenmerken zoals het inkomen of de grootte van het huishouden zwaarder wegen dan verwacht, omdat deze factoren weer een grote rol spelen bij het vaststellen van het woningtype.”

Soms zijn er ook samenhangen tussen kenmerken van bijvoorbeeld huishoudens en hun energiegebruik die eigenlijk worden veroorzaakt door een woningkenmerk in plaats van een huishoudenskenmerk. Leidelmeijer en Cozijnsen (2009) vonden bijvoorbeeld wel een samenhang tussen de herkomst van huishoudens en energiegebruik, maar geen samenhang tussen herkomst en temperatuurinstelling (in tegenstelling tot wat vaak wordt aangenomen dat huishoudens met een niet-westerse achtergrond een hogere temperatuurinstelling hanteren<sup>11</sup>). Het hoge energiegebruik van de huishoudens met een niet-westerse herkomst bleek echter samen te hangen met de relatief vaak energie-onzuinige woningen waarin zij wonen. Bij eenzelfde energiegedrag hebben zij dan een hoger energiegebruik. In dit soort gevallen is er dus sprake van een schijnsamenhang: de relatie tussen energiegebruik en herkomst wordt veroorzaakt door een

---

<sup>10</sup> HVAC staat voor Heating, Ventilation en Air Conditioning.

<sup>11</sup> Er zullen overigens zonder twijfel huishoudens met een niet-westerse migratieachtergrond zijn die de woning altijd op 25 graden stoken. Die zijn er echter ook onder de huishoudens met een Nederlandse achtergrond waardoor de verschillen gemiddeld genomen wegvallen.

derde factor die met beide samenhangt, namelijk de energetische kwaliteit van de woningen.

## 4.2 Woningen, huishoudens en energieverbruik (pijl A en B)

### 4.2.1 Gasverbruik

In een aantal studies worden kenmerken van woningen en huishoudens direct gerelateerd aan energieverbruik, en gasverbruik in het bijzonder. De meest recente is die van Stuart-Fox e.a. (2019) op basis van de Energiemodule van het WoON2018. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen bivariate (één op één tussen kenmerken van de woningen en huishoudens aan de ene kant en gasverbruik aan de andere) en multivariate relaties (één op één relaties, waarbij rekening wordt gehouden met de onderlinge samenhang tussen de verklarende variabelen). De bivariate analyse geeft aan dat de volgende huishoudenskenmerken samenhangen met gasverbruik, waarbij we steeds het grootste verschil vermelden:

- Type huishouden: paren met kinderen verbruiken ca. 50% meer gas dan alleenstaanden.
- Inkomens: 20% hoogste inkomens verbruiken circa 70% meer gas dan 20% laagste inkomens.

Voor woningkenmerken worden de volgende bivariate relaties gerapporteerd door Stuart-Fox e.a. (2019):

- Woningtype: in vrijstaande woningen wordt ruim 2 keer zoveel gas verbruikt als in appartementen.
- Woninggrootte: in woningen van 300 m<sup>2</sup> of meer wordt bijna 3 keer zoveel gas verbruikt als in woningen van minder dan 70m<sup>2</sup>.
- Bouwperiode: in recente woningen wordt circa 50% minder gas verbruikt dan in woningen van voor 1945.
- Energielabel: in woningen met label F wordt bijna 40% meer energie verbruikt dan in woningen met label B.

Woningtype en woninggrootte (die met elkaar samenhangen) maken daarmee duidelijk het grootste verschil in gasverbruik. Dat blijft ook zo als wordt gecontroleerd voor de onderlinge samenhang (vrijstaande woningen zijn gemiddeld groter dan appartementen). Ook bouwperiode en energielabel houden een zelfstandig effect op gasverbruik. Aan de kant van de huishoudenskenmerken blijken ook leeftijd en opleidingsniveau in de multivariate analyse een relatie te hebben met gasverbruik:

- Leeftijd: 75-plussers verbruiken 200 m<sup>3</sup> per jaar meer dan 35-minners.
- Opleidingsniveau: hoogopgeleiden verbruiken 90 m<sup>3</sup> meer dan laagopgeleiden.

In de gezamenlijke analyse van Stuart-Fox e.a. (2019) verklaren kenmerken van woningen ongeveer 5 keer zoveel van de verschillen in gasverbruik als de kenmerken van huishoudens.

Vergelijkbare lijstjes komen uit andere onderzoeken waarin directe relaties tussen kenmerken van huishoudens en woningen aan de ene kant en gasverbruik aan de andere kant worden gelegd. Leidelmeijer en van Grieken (2005) constateren dat woninggrootte, isolatiegraad en verliesoppervlak de meest bepalende woningkenmerken zijn die van invloed zijn op gasverbruik. Zij vonden verder dat – na controle voor woningkenmerken en energiegedrag - nog een aantal kenmerken van huishoudens relevant bleken voor verschillen in gasverbruik. Jonge werkenden bleken nog minder te verbruiken dan op basis van stookgedrag en woningkenmerken zou worden verwacht. Ook ouderen verbruikten iets minder dan op basis van hun stookgedrag zou worden verwacht.<sup>12</sup> Thuiswerkers en gezinnen met kinderen verbruikten echter meer dan verwacht. Deze verschillen lijken deels door verschillen in gebruik van verwarmd tapwater en kookgedrag te kunnen worden verklaard (ouderen douchen bijvoorbeeld minder en gezinnen met (oudere) kinderen juist veel).

Rooijers et al. (2003) constateren dat leeftijd van de bewoners een belangrijke determinant is van gasverbruik (meer gasverbruik bij hogere leeftijden) waarbij zowel aanwezigheid in huis als de stooktemperatuur een rol spelen. De woningkenmerken die door de onderzoekers als het meest bepalend zijn benoemd zijn gebruiksoppervlak en isolatiegraad. Brounen et al. (2012) vinden een relatie tussen bouwperiode, woninggrootte en isolatiegraad met gasverbruik. Voor wat betreft de bouwperiode vinden zij vooral een contrast tussen woningen die voor 1980 zijn gebouwd en woningen die daarna zijn gebouwd (gasverbruik ligt in het segment van voor 1980 50% hoger). Ook constateren zij een relatie tussen woninggrootte en gasverbruik (meer gasverbruik in grotere woningen). Interessant is dat zij een negatieve relatie vinden tussen het aantal kamers en gasverbruik als wordt gecontroleerd voor de woninggrootte. Zij vermoeden dat dit er mee te maken heeft dat de ruimten die worden verwarmd in de meeste woningen voorkomen en dat slaapkamers meestal niet worden verwarmd. De statistische afname van het energiegebruik bij meer kamers kan dan in feite worden toegeschreven aan de toenemende grootte van de woonkamer (in woningen met weinig slaapkamers en eenzelfde grootte als woningen met veel slaapkamers moet de woonkamer wel groter zijn). Verder blijkt het gasverbruik lager te liggen in de beter geïsoleerde woningen.

---

<sup>12</sup> Ouderen zijn gemiddeld genomen veel thuis en verwarmen op hogere temperatuur. Zij verbruiken daardoor gemiddeld genomen veel gas. Als met dit gedrag rekening wordt gehouden, verbruiken ze echter (i.c. voor andere activiteiten dan verwarmen) relatief weinig gas.

Ook in (veel) ouder onderzoek komen vergelijkbare kenmerken naar voren als meest bepalend voor energiegebruik. Van Raaij en Verhallen (1983) introduceerden, als combinatie van huishoudenssamenstelling en leeftijd, de levenscyclus als verklarende variabele. Zij constateerden: “Young households without children and both partners working outside the home tend to have a low level of energy use. Households with children at home have a higher use of energy. After the children have left home, the energy use decreases, but gradually increases with age, because older persons need a higher temperature.”

In het onderzoek van Brounen et al. (2012) wordt de invloed van deze levenscyclus bevestigd. Gezinnen verbruiken bijna twee keer zoveel gas als jongere alleenstaanden en ouderen verbruiken 32% meer. Daarentegen verbruiken ouderen minder elektriciteit. Andere relaties tussen demografische kenmerken en gasverbruik die door Brounen et al (2012) worden gerapporteerd zijn, geslacht (2% meer gasverbruik in huishoudens waarin meer vrouwen wonen) en migratieachtergrond (minder gasverbruik bij migratieachtergrond) en inkomen.

Omdat de woninggrootte zo’n belangrijk deel van het energiegebruik bepaalt, kan het nuttig zijn om het onderzoek te richten op de verklaring van energiegebruik per vierkante meter woonoppervlak. Vaak wordt dan een minder goede verklaarde variantie gevonden (zie bijvoorbeeld Stuart-Fox e.a., 2019), wat op zichzelf niet vreemd is omdat een deel van de verklaring van de verschillen in energiegebruik dan wordt ‘ingeleverd’. Analyses op het gasverbruik per vierkante meter kunnen wel interessante uitkomsten opleveren. In een aantal onderzoeken (Brounen et al. 2012, Majcen, 2016), wordt een negatieve relatie gevonden tussen de grootte van de woning en gasverbruik per m<sup>2</sup>. In grotere woningen wordt dus relatief (maar niet absoluut) minder gas verbruikt. Van den Brom et al. (2018) vonden dat lage inkomens per vierkante meter meer gas verbruiken dan hogere inkomens. Deels komt dit door een samenhang met woninggrootte (hogere inkomens wonen vaker in grotere woningen die niet geheel worden verwarmd). Anderzijds is het denkbaar dat er een relatie is met aanwezigheid in de woning (waarbij hogere inkomens minder vaak aanwezig zijn. Per vierkante meter blijft het wel zo dat eenpersoonshuishoudens minder gas verbruiken dan gezinshuishoudens (van den Brom et al., 2018).

Majcen (2016) heeft in een regressieanalyse waarin zowel kenmerken van huishoudens, kenmerken van woningen als gedragsparameters zijn opgenomen, onderzocht wat de relatie is tussen die kenmerken en zowel werkelijk gasverbruik als theoretisch gasverbruik. Werkelijk gasverbruik blijkt in ongeveer gelijke mate te worden voorspeld door bewonerskenmerken (inclusief gedrag) en woningkenmerken. Verschillen in theoretisch gasverbruik bleken sterker samen te hangen met woningkenmerken en bovendien ook een stuk beter te verklaren. De kenmerken van woningen en huishoudens die door Majcen in deze regressies konden worden gerelateerd aan verschillen in gasverbruik per vierkante meter woonoppervlak, zijn:



- Kenmerken woningen:
  - Bouwperiode (voor elke 10 jaar: 0,39 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> meer gasverbruik)
  - Vloeroppervlak (elke 10m<sup>2</sup> meer vloeroppervlak: 1,18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> minder gasverbruik)
- Kenmerken bewoners:
  - Leeftijd (huishoudens waarin een ouder persoon woont, verbruiken meer)
  - Aantal (hoe meer personen, hoe meer gasverbruik 1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per persoon)
  - Gemak waarmee men de energierekening kan betalen (meer gemak, minder gasverbruik)

Daarnaast bleken gedragsaspecten van invloed (zie paragraaf 4.6). Van den Brom et al. (2018) constateren dat in woningen met balansventilatie vaker minder gas wordt verbruikt dan in woningen met mechanische (afvoer) ventilatie of natuurlijke ventilatie. Santín (2010) vindt geen significante verschillen.

Een invloed die niet blijkt uit de meeste studies, maar waarvan het wel aannemelijk is dat die van invloed is op gasverbruik (voor verwarming), is de oriëntatie van de woning en het ermee samenhangende passief benutten van zonne-energie. Het is aannemelijk dat dit aspect in veel onderzoek niet adequaat kan worden geoperationaliseerd (naast de oriëntatie van de woning is immers ook het glasoppervlak van belang alsmede eventuele obstakels) waardoor de invloed op de energie die nodig is voor verwarmen onderbelicht blijft.

Ook het stookgedrag van de burens (bij aangrenzende woningen) is een invloed die er wel degelijk is (zeker in appartementsgebouwen kan dit een factor van belang zijn) maar die zelden in onderzoek terugkomt. Zo kan worden berekend dat als tussen twee aangrenzende huizen met ongeïsoleerde tussenmuren het verschil in gemiddelde binnentemperatuur 1 à 2 graden is, er tussen de 50 en 150 m<sup>3</sup> aardgasequivalent aan warmte wordt uitgewisseld tussen de woningen (Van den Ham, 2013).

#### 4.2.2 Elektriciteitsverbruik

Net als dat er veel onderzoeken zijn naar de invloeden van gasverbruik, zijn er ook veel studies gedaan naar elektriciteitsverbruik. Dit zijn vaker buitenlandse studies. Jones et al. (2015) hebben een groot aantal van deze studies op de rij gezet. Zij komen tot de volgende kenmerken van huishoudens waarvan in meerdere studies een significante invloed is vastgesteld:

- Aantal personen in het huishouden (positief in totaal: 8-21% meer verbruik per lid van het huishouden, maar negatief als naar het verbruik per persoon wordt gekeken; samenwonen is dus efficiënt voor het energiegebruik Druckman & Jackson, 2008; Yohanis et al., 2008; Kavousian et al., 2013). Uitgedrukt per m<sup>2</sup>

vloeroppervlak verbruiken eenpersoonshuishoudens minder energie dan meerpersoonshuishoudens (van den Brom et al., 2018). Het is echter de vraag of verbruik per m<sup>2</sup> voor elektriciteit in de Nederlandse context (waar ruimteverwarming meestal nog met gas gebeurt) de aangewezen eenheid is.

- Samenstelling huishouden
  - Aanwezigheid van kinderen tot 3 jaar (negatief)
  - Aanwezigheid van oudere kinderen (positief)
  - Aanwezigheid en aantal volwassenen (positief)
  - Aanwezigheid ouderen (negatief)
- Leeftijd hoofd huishouden: niet-lineaire relatie waarbij de huishoudens in de middenleeftijdscategorie het meest verbruiken (huishoudens jonger dan ca. 35 en ouder dan ca. 65 verbruiken minder). De verklaringen voor dit verband zijn divers. Een aantal auteurs meldt dat het te maken heeft met de gemiddeld hogere inkomens, het groter aantal leden in het huishouden en het bezit van meer apparaten in de middengroep (McLoughlin et al., 2012; Yohanis et al., 2008) Anderen verklaren het lage verbruik bij de jongeren op basis van hun beperkte aanwezigheid of zien bij de ouderen een bewuster (en dus minder) gebruik van apparaten (Kavousian et al., 2013).
- Inkomen (positief; wel grote variatie in effect afhankelijk van waar, wat en hoe wordt gemeten), zie ook bijvoorbeeld ook Rooijers et al. (2003) voor een Nederlandse studie hiernaar. Verschillende relaties worden gevonden afhankelijk van of wordt gekeken naar elektriciteitsverbruik totaal of naar elektriciteitsverbruik per m<sup>2</sup>. In landen waar ruimteverwarming vooral elektrisch plaatsvindt, is er een recht evenredig verband tussen inkomen en energiegebruik. Dat komt echter vooral doordat de hogere inkomens in grotere woningen wonen dan de lagere inkomens. Uitgedrukt per m<sup>2</sup> is er meestal geen of zelfs een negatief verband (bijvoorbeeld Santamouris et al. 2007). De relatie tussen inkomen en elektriciteitsgebruik is wel vrij uniform positief als het gaat over verbruik in relatie tot (en bezit van) apparaten en verlichting. Zo vonden Genjo et al. (2005) dat in Japan voor elke \$27.000 meer inkomen het elektriciteitsverbruik voor verlichting en apparaten met 350 kWh toenam.<sup>13</sup>

Ook belangrijk is welke invloeden op basis van de literatuur *niet* consistent en significant bijdragen aan elektriciteitsverbruik (Jones et al. 2015). Dat zijn opleidingsniveau en inkomensbron (werk/geen werk). Voor de eigendomsverhouding van de woning – wat ook als een kenmerk van de bewoners kan worden gezien - worden uiteenlopende resultaten gevonden waarbij het van de context afhangt of huurders of eigenaar-bewoners het hoogste verbruik hebben. Als eigenaar-bewoners meer verbruiken, lijkt dit

---

<sup>13</sup> Die relatie is vanzelfsprekend tijd- en plaatsgebonden en is slechts opgenomen ter illustratie van de gevonden relatie.

vooral te kunnen worden toegeschreven aan inkomen (b.v. Wyatt, 2013). Als huurders meer verbruiken lijkt dit te kunnen worden verklaard door het huurcontract (waarbij energie inclusief is bijvoorbeeld).

Kenmerken van woningen waarvoor in de literatuur significante effecten op elektriciteitsgebruik worden vastgesteld zijn:

- Woningtype – veel onderzoeken constateren dat elektriciteitsverbruik samenhangt met woningtype: in vrijstaande woningen is het verbruik het hoogst en in appartementen het laagst. Het lijkt echter de vraag of dit echt het woningtype is wat het elektriciteitsverbruik bepaalt. Zo vonden Bedir et al. (2013) dat elektriciteitsverbruik hoger was in appartementen op de begane grond en in hoekwoningen en twee-onder-een-kapwoningen dan in andere woningtypen. Zij verklaarden dit doordat appartementen op de begane grond wellicht donker zijn en dat de hoek- en twee-onder-een-kapwoningen worden bewoond door hogere inkomens. Anderen verklaren de invloed van woningtype met verschillen in grootte van de woning (McLoughlin et al., 2012; Brounen et al. 2012) of verschillen in leeftijd tussen bewoners (Wyatt, 2013).
- Bouwjaar – vooral als woningen elektrisch worden verwarmd speelt bouwjaar een rol, waarbij het verbruik hoger is in de oudere woningen (Jones et al. 2015, Gouveia et al., 2015). In andere gevallen wordt het verschil toegeschreven aan de aanwezigheid van meer energiezuinig installaties in nieuwe woningen (Brounen et al. 2012). Soms wordt ook gevonden dat het verbruik hoger is in nieuwere woningen. Dan is niet de verwarming maar het welvaartsniveau van de bewoners (meer apparaten, meer toepassing airconditioning e.d.) de achterliggende verklaring.
- Aantal kamers (hoe meer kamers, hoe hoger het verbruik). McLoughlin et al. (2012) rapporteren dit als een sterk en algemeen effect. Bedir et al. (2013) relateren het in het bijzonder aan het aantal hobby/werkkamers. Brounen et al. (2012) vinden een afnemend verbruik (per vierkante meter) bij een toenemend aantal kamers.
- Vloeroppervlak. Ook dit effect lijkt vooral te zijn gerelateerd aan situaties waarin verwarmd wordt met elektriciteit (Jones et al. 2015; Gouveia et al., 2015)).
- Aanwezigheid van elektrische verwarming/airconditioning
- Aanwezigheid van elektrische warmwatersystemen

Het bezit en gebruik van elektrische apparaten is logischerwijs het meest bepalend bij verschillen in elektriciteitsgebruik. We vatten kort samen wat de bevindingen uit de literatuur zijn zoals die door Jones et al. (2015) zijn weergegeven.

- Apparaatbezit – aantal apparaten (positief). Algemeen effect. In Nederland (Bedir et al. (2013) verklaarde het aantal apparaten 21% van de verschillen in elektriciteitsverbruik tussen huishoudens in Nederland. Afzonderlijke effecten zijn in verschillende onderzoeken gevonden voor:
  - Computers/laptops
  - Televisies
  - Elektrische kachels
  - Kookapparatuur (elektrische ovens, magnetrons e.d.,)
  - Koelkasten/vriezers
  - vaatwasmachine
  - Wasmachines en -drogers
- Apparaatgebruik – bepaalt logischerwijs meer dan -bezit het huishoudelijk gebruik van elektriciteit. Bedir et al. (2013) verklaarden er 37% van de verschillen in elektriciteitsgebruik tussen huishoudens mee.

### 4.3 Huishoudens, individuele verschillen en energiegelag (pijl 2 en 3)

In veel onderzoek worden relaties gelegd tussen algemene kenmerken van huishoudens (zoals leeftijd, inkomen en huishoudenssamenstelling) en energiegelag of – gebruik. In een aantal van de bevindingen die in de vorige paragraaf de revue zijn gepasseerd, kwam dat ook terug. En hoewel dat wel inzichten geeft, zijn het vaak geen inzichten die handvatten bieden voor beleid. Guerra Santín (2010) constateert dan ook dat het nodig is om onderscheid te maken tussen de meer algemene kenmerken van huishoudens enerzijds en wat zij noemt ‘cognitieve variabelen’ zoals voorkeuren en attitudes. Beide soorten factoren zijn volgens haar van invloed op het gebruik van energie, maar de mogelijkheden om kenmerken van huishoudens en leefstijlen (zoals hoeveel men thuis is) te veranderen, zijn beperkt terwijl er meer mogelijkheden zijn om de ‘cognitieve variabelen’ te beïnvloeden.<sup>14</sup>

Het is belangrijk op te merken dat de opsomming van psychologische en fysiologische kenmerken in het conceptuele kader in Figuur 7 niet uitputtend is. Voorkeuren, kennis, middelen, leefstijl en gewoonten zijn slechts een ‘sample’ van de individuele kenmerken die worden gebruikt om de achterliggende redenen voor gedrag te verklaren. Steg et al. (2018) benoemen in dit verband verschillen in ‘knowledge’, ‘awareness’, ‘values’, ‘identity’ en ‘habits’ als de individuele factoren die energiegelag beïnvloeden. Voor

---

<sup>14</sup> Cognitieve variabelen vormen een subset van de individuele verschillen waar het hier om gaat. In gewoonten - die een belangrijke rol spelen in energiegelag - is de cognitieve component bijvoorbeeld vaak gering. Daarnaast spelen bijvoorbeeld ook affectieve elementen een rol in energiegelag, zie bijvoorbeeld Wilson (2007).

meer inzicht in hoe er vanuit bijvoorbeeld de economie, psychologie en sociologie tegen energiegedrag kan worden gekeken, zie bijvoorbeeld Wilson (2007). In dit rapport zijn we echter niet op zoek naar een uitgewerkt kader waarin wordt weergegeven hoe de beslissingsprocessen in een persoon of huishouden werken. We zoeken wel naar aanknopingspunten die een beeld geven van de verschillen tussen huishoudens hierin en hoe dat uiteindelijk doorwerkt in energiegedrag.

Tijs en van Meegeren (2016) van Milieu Centraal hebben, denkend vanuit de lijn van te beïnvloeden ‘cognitieve variabelen’ een aantal strategieën geformuleerd die inspelen op die individuele factoren en beogen bij te dragen aan verandering van energiegedrag:

- Vergroot de urgentie
- Verschaf inzicht
- Maak het makkelijk
- Maak het leuk en sociaal
- Zorg voor een goede timing
- Beperk ongewenste bijeffecten

Met deze strategieën wordt deels een beroep gedaan op het deel in het conceptuele kader (Figuur 7) dat gaat over voorkeuren, kennis, middelen, leefstijl en gewoontes. Voor een ander deel gaat het ook over het wegnemen van belemmeringen die mensen ervaren in het veranderen van hun gedrag. Met de strategie ‘maak het makkelijk’ wordt bijvoorbeeld ingegrepen op de ‘hassle-factor’ die een belemmering vormt voor verandering van energie/investeringsgedrag (de Vries et al. 2019). Van een aantal van deze strategieën komt uit de literatuur ook een beeld naar voren van de effectiviteit.

Van strategieën die gericht zijn op inzicht (meestal feedback-studies) wordt gevonden dat die gemiddeld een besparing tussen de 5 en 10% opleveren voor elektriciteitsgebruik (Fisher, 2008; Lynch & Martin, 2013). Wade en Eyre (2015) komen op basis van een meta-analyse van programma’s waarin feedbacktoepassingen werden onderzocht (meestal in de vorm van slimme meters) op besparingen van tussen de 1 en 5% van het energiegebruik van een huishouden. Dahlblom et al. (2009) geven voor een aantal typen interventies gericht op de verandering van diverse psychologische factoren verwachte besparingen op totaal energiegebruik die tussen de 1 en 16% uitkomen (Tabel 1).

Brounen et al. (2013) hebben de relatie onderzocht tussen demografische kenmerken van huishoudens en - wat zij noemen – energy literacy (in hoeverre men kennis heeft van het eigen energiegebruik). Daaruit kwam naar voren dat zowel geslacht als leeftijd hierin een rol spelen (al is de verklaarde variantie beperkt). De kennis over het eigen energiegebruik is het hoogst onder oudere mannen. Inkomen speelt geen rol. Bij afwegingen over de kosten en baten van een nieuw verwarmingssysteem bleek opleidingsniveau van belang.

**Tabel 1** Overzicht van interventies gericht op gedragsverandering, de verwachte besparingen en de factoren waar ze op gericht zijn (bron: Dahlblom et al., 2009)

	Likely Saving	Factors		
		Predisposing	Enabling	Reinforcing
Contracts and reward (+/-)	6 %	X		X
Financial incentives	3 %			X
Fin. incentives + information	5 %	X		X
Information dissemination	1-2 %	X		
Specific information	3 %	X	X	
Financial support	9 %		X	
Tailor-made info	16 %	X	X	
Tailor-made + fin. support	16+ %	X	X	
Weekly feedback + info.	10%	X		X
'Ecoteams' (high impact amongst small population)	15 %	X	X	X

Brounen et al. (2013) onderzochten ook de relatie tussen demografische kenmerken en voorkeuren, in het bijzonder met betrekking tot verwarming. Ouderen en hogere inkomens bleken een voorkeur te hebben voor een hogere kamertemperatuur. Dit is consistent met hun gedrag (zie paragraaf 4.4) en met verschillen in energiegebruik (paragraaf 4.2).

Gram-Hanssen (2014) wijst erop dat de benadering waarbij individuele verschillen – en de beïnvloeding daarvan – van invloed worden geacht op energiegedrag z'n beperkingen heeft. De reden daarvoor is dat veel van het energiegedrag te maken heeft met onbewuste gewoonten en technologische structuren die door deze benadering niet goed worden getackeld. Zij stelt voor om uit te gaan van een 'practice theoretical approach' waarin de aandacht meer ligt op de collectieve structuren van alledaagse gewoonten en gebruiken van mensen (i.c. 'practices') en wat die gewoonten en gebruiken – zoals bijvoorbeeld kleren wassen - stuurt. In deze benadering onderscheidt men 'embodied habits' (gewoonten, in de regel onbewust), 'institutionalised knowledge' (het bewuste deel), 'engagements' (betekenis/doel – meestal niet gerelateerd aan energiegebruik) en 'technologies' (beschikbare middelen) die gewoonten en gebruiken bepalen.

Kennis van deze onderliggende invloeden is nodig om de grote diversiteit die huishoudens zelfs bij de meest eenvoudige gedragingen – zoals kleren wassen, maaltijden bereiden of televisiekijken – tentoon kunnen spreiden. Vanuit deze benadering is het wenselijk om de (verschillen in) gebruiken en gewoonten tot in veel groter detail in beeld te brengen dan gebruikelijk is in onderzoek naar energiegedrag. Een relatie met de kenmerken van huishoudens kan dan nog wel zinvol zijn als men een inschatting

wil maken van de mate waarin bepaalde gebruiken en gewoonten voorkomen. Maar dit zal dan wel altijd resulteren in een beperking van de verklaring omdat veel ‘practices’ niet noodzakelijk sterk zijn verbonden met kenmerken van huishoudens.

Ook meer algemeen geldt dat er een groot verschil blijkt te bestaan tussen wat mensen aangeven over hun kennis, waarden, attitudes en intenties aan de ene kant en hun feitelijke gedrag aan de andere (Frederiks et al. (2015). In de psychologie wordt dan ook wel gesproken over de ‘intention-action gap’, de ‘attitude-action gap’ en de ‘knowledge action-gap’ die ook bij energiegedrag aan de orde zijn. Dit zorgt ervoor dat energie- (en investerings)gedrag vaak niet rationeel is en zich ook onttrekt aan klassieke ideeën over kosten en batenafwegingen. In plaats daarvan zijn veel mensen geneigd om bij beslissingen veel meer kort-door-de-bocht te gaan, in het bijzonder in situaties waarbij de afwegingen eigenlijk gecompliceerd zijn. Dat zorgt voor ‘biases’ zoals:

- de status quo bias (de neiging om niets te veranderen, alles te laten zoals het is, wat men kent, default settings gebruiken)
- satisfice bias (de neiging om te gaan voor een bevredigend resultaat in plaats van een optimaal resultaat)
- loss aversion bias (de neiging om de ‘kosten’ zwaarder te wegen dan de baten)
- risk aversion bias (de neiging om kleine risico’s zwaarder te wegen dan zekere baten).
- sunk-costeffect bias (de neiging om reeds gedane investeringen te blijven meenemen in de afwegingen die betrekking hebben op de toekomst),
- temporal discounting bias (de neiging om zaken die verder weg liggen in de tijd minder te waarderen)
- spatial discounting (de neiging om zaken die in fysieke zin verder weg zijn minder te waarderen)
- availability bias (de neiging om af te gaan op wat men kent, wat snel in het bewustzijn opkomt in plaats van op zoek te gaan naar de echte informatie).
- Reduce effort bias (de neiging om te gaan voor de optie die de minste inspanning kost)

Maar ook psychologische fenomenen zoals normatieve sociale beïnvloeding (veel belang hechten aan wat men denkt dat ‘normaal’ wordt gevonden), het verschil tussen intrinsieke (wat uit iemand zelf komt; belangrijk) en extrinsieke beloning (bijvoorbeeld met geld; vaak kortdurend effect of zelfs negatief omdat het de intrinsieke motivatie vermindert) en vertrouwen spelen een rol in wat mensen in het dagelijks leven doen. Al dit soort zaken bepalen dus – naast alle meer ‘logische’ verschillen de keuzes in energiegedrag en investeringen.

In het bijzonder bij pogingen om investeringen en energiegedrag te beïnvloeden, is het belangrijk om met genoemde ‘biases’ rekening te houden. Voor het verklaren van ener-

gedrag kan het ook inzichtelijk zijn om er rekening mee te houden. Maar vermoedelijk is het daarbij effectiever om meer te investeren in onderzoek naar de feitelijke verschillen in gebruiken en gewoonten die mensen hanteren en die het verschil maken binnen de onverklaarde 50% van het energiegebruik.

#### 4.4 Woningen, huishoudens en energiegedrag (pijl 2, 3 en 4)

Hoewel er veel plausibele relaties zijn tussen kenmerken van woningen en huishoudens aan de ene kant en energiegebruik aan de andere, blijft het zo dat de verklaringskracht ervan beperkt blijft. Ook in zeer vergelijkbare woonsituaties zijn er grote verschillen in energiegebruik, zelfs als huishoudens onderling ook goed vergelijkbaar zijn. Zo vonden Morley et al. 2011 dat in studentenflats (vergelijkbare bewoners en woningen) de verschillen in energiegedrag groot waren en het verschil in energiegebruik ook nog steeds een factor 2 bedroeg. Als we verschillen in energiegebruik willen begrijpen, is het dan ook nodig om verder te kijken dan naar verschillen tussen kenmerken van huishoudens en woningen.

Leidelmeijer en Cozijnsen (2009) onderzochten op basis van de energiemodule van het WoON2006 de relatie tussen algemene kenmerken van woningen en huishoudens op verschillende vormen van energiegedrag. Zij hebben daarbij de volgende vormen van energiegedrag onderscheiden:

- Wijze van verwarmen
- Patronen van temperatuurinstelling
- Gebruik verwarmd tapwater
- Wijze en mate van ventileren
- Bezit en gebruik van apparaten in huis

De wijzen van verwarmen en ventileren bleken vooral samen te hangen met de verschillen tussen woningen. Temperatuurinstelling en vooral het gebruik van apparaten in huis hangen sterker samen met verschillen tussen huishoudens. Het gebruik van verwarmd tapwater bleek in ongeveer gelijke mate samen te hangen met kenmerken van woningen en kenmerken van huishoudens, de wijze en mate van ventileren is weer meer verbonden met de woning en het gebruik van apparaten met verschillen tussen huishouden (Tabel 2).



**Tabel 2 Patronen energiegedrag en hun verklaring door kenmerken van de woning en het huishouden (bron: Leidelmeijer en Cozijnsen, 2009)**

	woning		huishouden	
	verklaring	kenmerken	verklaring	kenmerken
Wijze van verwarmen	38%	woninggrootte energielabel, bouwjaar woningtype	14%	leeftijd, type huishouden inkomen herkomst
Patronen van temperatuurinstelling	18%	energielabel bouwperiode, woningtype	27%	leeftijd, type huishouden inkomen
Gebruik verwarmd tapwater	23%	woninggrootte	20%	herkomst leeftijd, inkomen type huishouden
Wijze en mate van ventileren	29%	bouwperiode energielabel woningtype	8%	inkomen leeftijd herkomst
Gebruik van apparaten in huis	17%	woninggrootte bouwperiode	37%	leeftijd inkomen type huishouden aantal kinderen

### Kenmerken van de woning

De aanwezigheid in de woning van bepaalde verwarmings- (collectief of individueel, c.v. of gaskachel, open haard) en ventilatiesystemen (natuurlijk, mechanisch, gebalanceerd, wtw) maken bepaalde gedragingen mogelijk danwel meer of minder waarschijnlijk. Daarnaast komen sommige verwarmings- en ventilatieopties meer voor in sommige woningtypen dan andere. Collectieve verwarmingssystemen komen veel voor in nieuwbouw maar ook in een specifiek (onzuinig) segment van galerijflats uit de jaren '60-70. Gaskachels zijn vooral te vinden in kleine, onzuinige woningen. Mechanische ventilatie met wtw vooral in nieuwe, zuinige woningen enzovoort. En het is de combinatie van kenmerken van woningen en installaties die voor een belangrijk deel het energiegedrag bepaalt (hogere instelling nachttemperatuur in woningen met LTV, grote amplitude nacht/dagtemperatuur bij gaskachels: aan/uit).

Guerra Santín (2010) onderzocht de relatie tussen kenmerken van woningen en installaties aan de ene kant en energiegedrag aan de andere. Zowel het type temperatuurregeling als het type mechanische ventilatie leek van invloed te zijn op het gebruik van de verwarming en het ventilatiesysteem. Zij vond dat huishoudens met handmatige thermostaten en mechanische uitlaatventilatie zuiniger omgaan met hun energie dan huishoudens met programmeerbare thermostaten en gebalanceerde ventilatiesystemen. Zo hadden huishoudens met een programmeerbare thermostaat 's nachts een hogere temperatuurinstelling met langer ingeschakelde radiatoren.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie constateren De Kluzenaar et al. (2016) dat de volgende kenmerken van woningen in meerdere onderzoeken in verband worden gebracht met ventilatiegedrag: type ventilatiesysteem (minder vaak ramen open in woningen met natuurlijke ventilatie), type woning (ramen in slaapkamers langer open in eengezinswoningen dan in appartementen), type vertrek (slaapkamers worden vaker gelucht dan woonkamers) oriëntatie vertrek (kamers op het zuiden worden bij zonnig weer langer gelucht), oppervlakte woning (lagere kans op ramen open naarmate vloeroppervlak groter is), energetische kwaliteit van de woning en type ramen (bovenlichten worden vaker open gezet dan openslaande ramen). Voor thermostaatinstelling en douchegebruik zijn de woninginvloeden op basis van de literatuurstudie van de Kluzenaar et al. (2016) minder sterk.

### **Kenmerken van huishoudens**

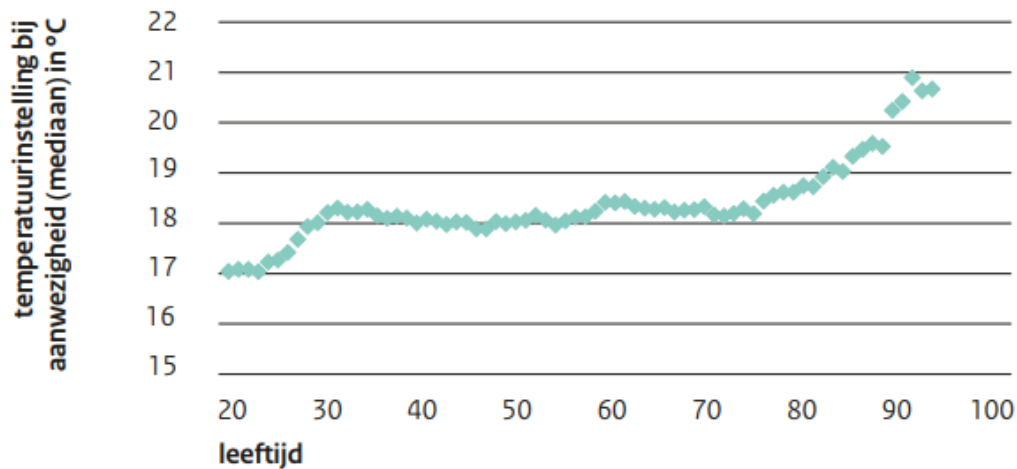
Verschillende wijzen van verwarmen hangen samen met inkomens, typen huishoudens en leeftijd. Het zijn vooral de inkomens vanaf modaal die vaker in een woning met een c.v.-installatie wonen. Ook zijn dat vaker tweepersoonshuishoudens of gezinnen met kinderen. Kachels en collectieve verwarming zijn gebruikelijker bij kleinere huishoudens met lagere inkomens. Dat zijn ook wat vaker ouderen én jongeren. Zowel het bijverwarmen als het (bezit en) gebruik van een open haard komt meer voor bij gezinnen met kinderen (Leidelmeijer & Cozijnsen, 2009).

De patronen van verwarming (op welke momenten van de dag een bepaalde temperatuur wordt ingesteld) hangen samen met leeftijd, type huishouden en inkomen: hogere temperaturen worden ingesteld door ouderen (Figuur 8). Er wordt meer gedurende de gehele dag verwarmd door huishoudens met hogere inkomens, mensen die thuis werken en tweeverdienersgezinnen.

Alleen 's ochtends en 's avonds verwarmen gebeurt veel door gezinnen met kinderen (leeftijd vooral tussen de 35 en 55 jaar) met een bovenmodaal inkomen waarvan beide partners werken. Jongeren en eenpersoonshuishoudens (tenzij het ouderen zijn) stellen de stooktemperatuur vaker laag in of verwarmen de woning alleen incidenteel. De neiging om tegelijk te verwarmen en te ventileren neemt ook – maar meer lineair - toe met de leeftijd (Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013).

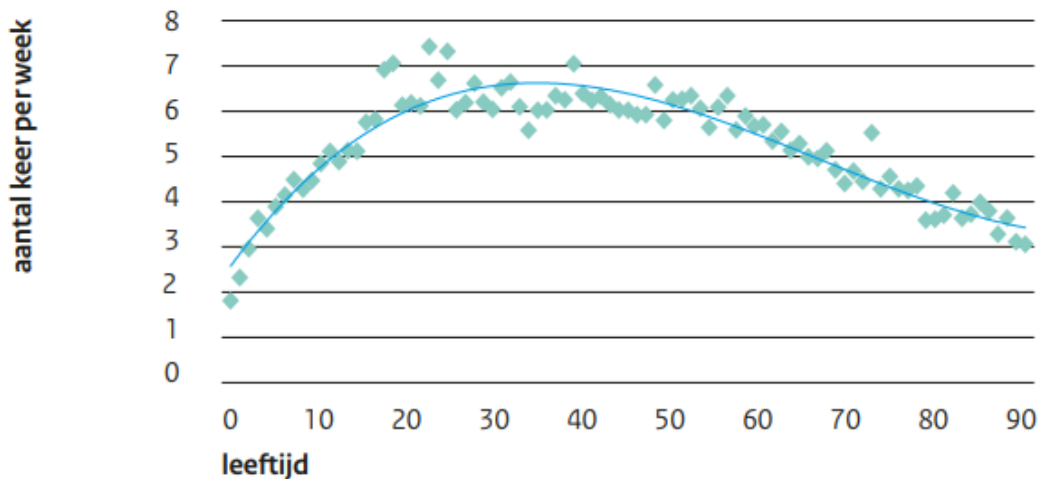
De Kluzenaar et al. (2016) constateren dat in de literatuur de volgende kenmerken van huishoudens als verklarend voor thermostaatgedrag zijn onderzocht: geslacht, leeftijd, inkomen, samenstelling en huishoudgrootte, etnische achtergrond, eigendomssituatie (huur/koop), aanwezigheid(spatroon) en begrip voor hoe de thermostaat werkt. Meest bepalend zijn volgende De Kluzenaar et al. (2016) leeftijd, geslacht, inkomen, samenstelling en grootte van het huishouden.

**Figuur 8** Gemiddelde temperatuurstelling door de week overdag bij aanwezigheid, naar leeftijd (bron: Leidelmeijer & Cozijnsen, 2009)



Het gebruik van verwarmd tapwater hangt sterk – maar niet lineair – samen met leeftijd. Kinderen en ouderen douchen relatief weinig (Figuur 9) terwijl de piek in de tijd dat men onder de douche staat ligt bij personen tussen de 15 en 25 jaar en bij ouderen (Figuur 10).

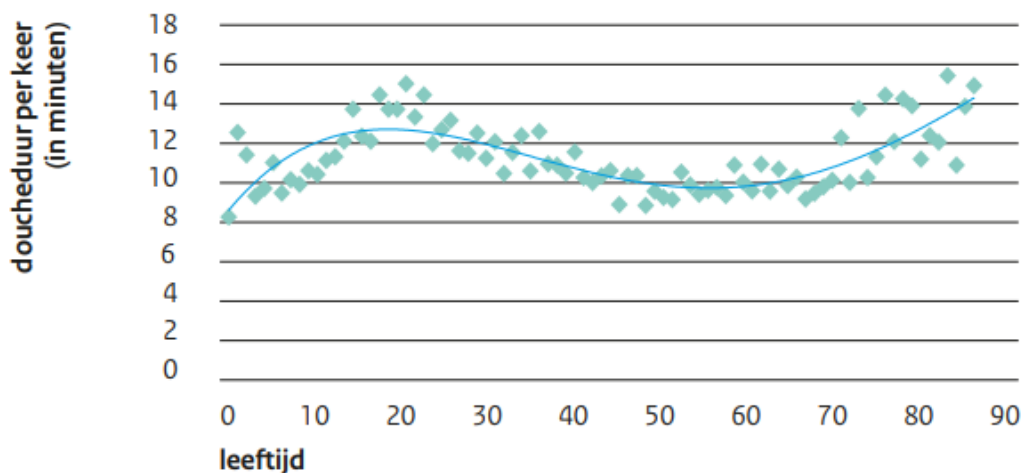
**Figuur 9** Douchefrequentie per week naar leeftijd (bron: Leidelmeijer & Cozijnsen, 2009)



De huishoudens die lang douchen zijn vaak kleinere huishoudens (oud en jong) met een gemiddeld tot laag inkomen. Ook huishoudens met een niet-westerse migratieachtergrond douchen relatief vaak lang. Leeftijd, inkomen, samenstelling en grootte van het huishouden en etniciteit worden volgens de literatuurstudie van Kluizenaar et al (2016) in meerdere studies in verband gebracht met douchegegedrag.

Het gebruik van apparaten in huis hangt vooral sterk samen met leeftijd en inkomen. Hogere inkomens bezitten meer apparaten en gebruiken die ook meer. Ouderen gebruiken de apparaten die ze bezitten relatief weinig. Ook doen zij vaker dan anderen de lichten uit als ze een kamer verlaten. Gezinnen met kinderen gebruiken de apparaten die ze bezitten relatief veel.

**Figuur 10** Gemiddelde doucheduur per keer naar leeftijd (bron: Leidelmeijer & Cozijnsen, 2009)



#### 4.5 Rebound en prebound effect (pijl 4)

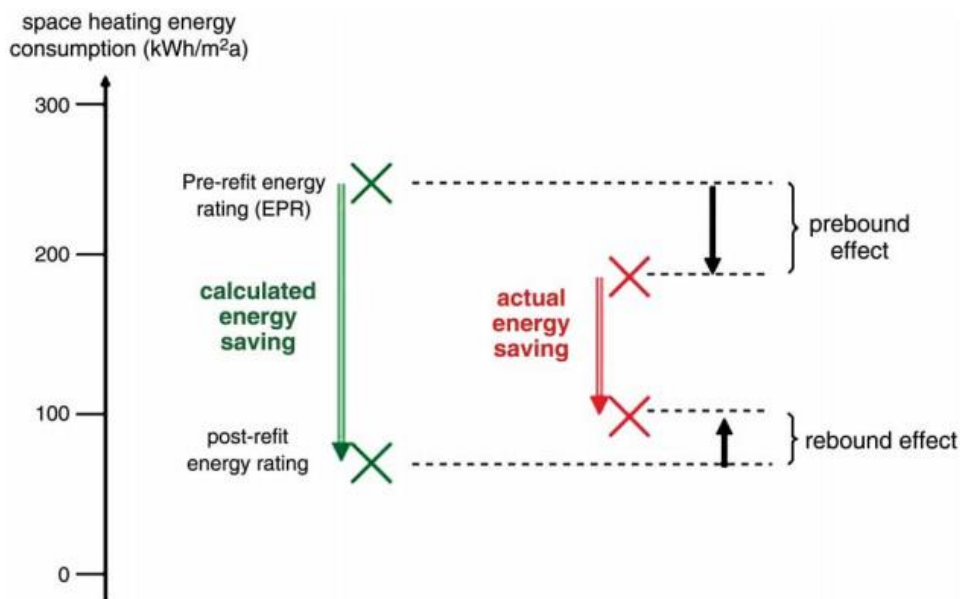
In vrij veel onderzoek (Sorrell and Dimitropoulos, 2008; Hens et al., 2010; Guerra Santín, 2010; Cayre et al., 2011; Tigchelaar en Menkveld, 2011; Sunnika-Blank & Galvin, 2012; Majcen e.a., 2013, Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013; Majcen, 2016; van den Brom et al., 2018) is geconstateerd dat er een gat zit tussen het verwachte energiegebruik en het werkelijke energiegebruik dat samenhangt met de energetische kwaliteit van de woningen. Dit vermindert de besparingen bij woningaanpassingen die zijn gericht op energiebesparing. Wat blijkt is dat het energiegebruik voor de aanpassing vaak lager is dan verwacht (het prebound effect) terwijl het na aanpassing vaak hoger is (het reboundeffect). Beide zijn inzichtelijk weergegeven in Figuur 11, die is overgenomen van Sunikka-Blank & Galvin (2012).

Sipma et al. (2019), geven een opsomming van de mogelijke oorzaken voor het verschil tussen de verwachte en gemeten besparingen:

- Verschillen in aannames over energiegedrag en het feitelijke gedrag
- Verschillen tussen aangenomen en feitelijke operationele condities
- Verschillen tussen aangenomen en feitelijke kwaliteit van installaties en de energie-efficiëntie van het product.
- Verschillen tussen aangenomen en feitelijke energieprestatie van het product of systeem.

- Te sterke vereenvoudigingen in het gebruikte model of de berekening van de verwachte energiebesparing
- Onzekerheden in de gemeten energiebesparingen

**Figuur 11** Prebound en reboundeffect: verschil tussen berekende en feitelijke besparingen (bron: Minna Sunikka-Blank & Ray Galvin, 2012)



De verklaring voor het reboundeffect wordt over het algemeen gezocht in een gedragseffect als gevolg van dalende kosten (Sorrell and Dimitropoulos, 2008, vertaling red.): “verbeterde energie-efficiëntie van een bepaalde energiedienst zal de effectieve prijs van die dienst doen afnemen en leidt om die reden tot een toename van de consumptie van die dienst. Dit compenseert (deels) de vermindering van het energieverbruik door de verbetering van de efficiëntie.” Het is belangrijk daarbij te bedenken dat voor de meeste huishoudens in het dagelijks leven ‘comfort’ een belangrijker afweging is dan ‘kosten. Daardoor bestaat de neiging om zowel langer te verwarmen als meer kamers te verwarmen als daartoe de mogelijkheid ontstaat door een nieuw verwarmingssysteem (Winther & Wilhite, 2015).

Daarnaast wordt in de literatuur ook melding gemaakt van een indirect rebound effect (Borenstein, 2013) dat ontstaat doordat de besparing op de ene (energie)dienst leidt tot een toename van de consumptie van een andere (energie)dienst. Zo kan iemand besluiten om een airco te installeren omdat men toch al een extra zuinige koelkast en wasdroger heeft aangeschaft. Berkhout et. al (2000) schatten de grootte van het rebound effect op ergens tussen de 0 en 15%.

Naast de economische verklaringen voor het rebound-effect, kan ook van invloed zijn dat huishoudens niet voldoende worden ‘meegenomen’ bij de woningaanpassingen met als gevolg dat de woningaanpassingen niet goed aansluiten bij de dagelijkse gebruiken en gewoonten van huishoudens. En dat kan weer leiden tot – voor de aangepaste woning – suboptimaal gedrag waardoor het potentieel van de besparing niet wordt gehaald (De Feijter et al. 2019). Niet zelden worden na renovatie bewoners geconfronteerd met een aangepaste woning waarin installaties niet goed werken, er voor de bewoners onprettige zaken als tocht of (installatie)geluiden worden waargenomen, onvoldoende wordt uitgelegd hoe alles werkt en waarbij ze geen aanspreekpunt hebben voor als er vragen of onduidelijkheden zijn (Leidelmeijer et al. 2017, Winther & Wilhite, 2015). Het is in dat soort situaties aannemelijk dat het energiegedrag van de huishoudens niet optimaal zal zijn.

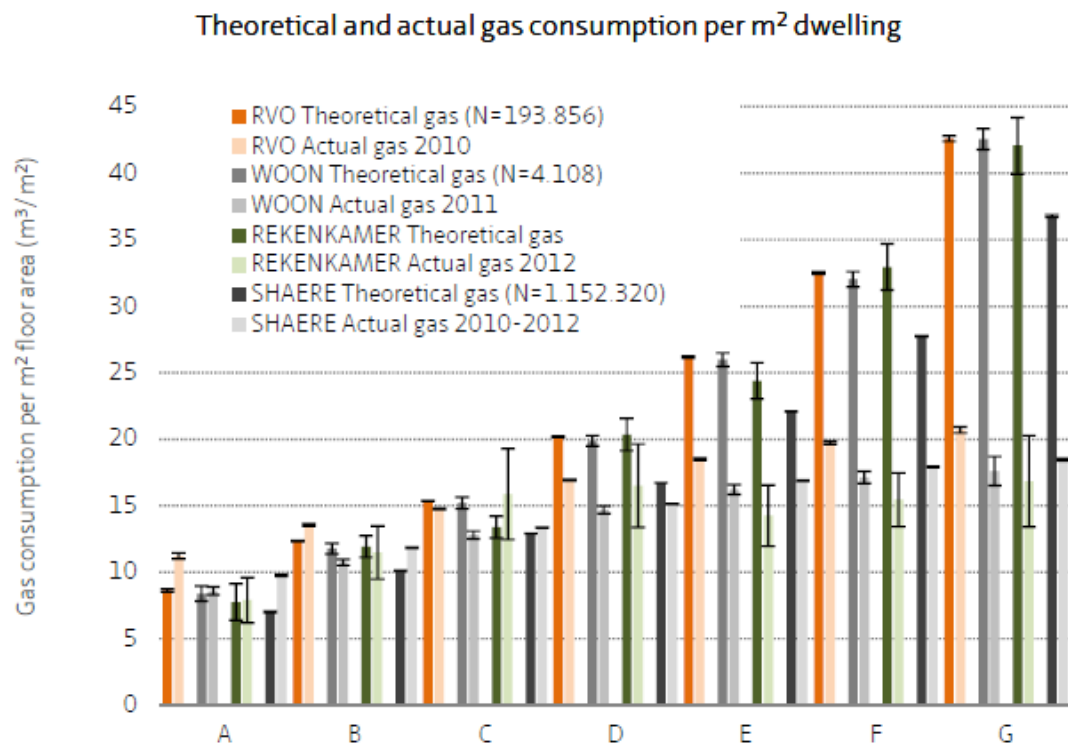
Het fenomeen dat bewoners in energiezuinige woningen zich minder zuinig gedragen, lijkt vrij algemeen en ook niet alleen verbonden met renovaties. Zo vonden Leidelmeijer en Cozijnsen (2009) dit terug bij het gehele door hen bestudeerde spectrum van energiegedrag: van de temperatuurinstelling van de verwarming tot het gebruik van apparaten. Alleen bij douchegegedrag werd het niet gevonden. De beschikbare tijd (om te douchen) in een huishouden lijkt naast voorkeuren die samenhangen met leeftijd en herkomst de belangrijkste factor voor douchegegedrag.

Bij het prebound effect is er vermoedelijk sprake van onjuiste aannames over energiegedrag in onzuinige woningen. Minna Sunikka-Blank & Ray Galvin (2012) constateerden dat er in Duitsland sprake is van huishoudens die in de onzuinige woningen hun woningen minder warm stoken, minder kamers verwarmen en/of de verwarming minder lang aan laten: “the worse a home is, thermally, the more economically the occupants tend to behave with respect to their space heating”. In een evaluatie van meerdere Duitse studies komt men tot een gemiddeld prebound-effect van 30%, dat toeneemt met het energielabel.

Ook studies in andere Europese landen (Nederland, België, Frankrijk) komen tot een prebound effect in de orde van grootte van 30-40% (Tigchelaar en Menkveld, 2011; Hens et al., 2010; Cayre et al., 2011). Ook Tigchelaar en Leidelmeijer (2013) komen op basis van de energiemodule 2012 tot een gemiddeld verschil van circa 30%. Het verschil tussen theoretisch en werkelijk energiegebruik neemt toe naarmate de energie-index ongunstiger is (Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013). Majcen (2016, pp. 201) constateert een overpredictie (meer theoretisch energiegebruik dan feitelijk: prebound) van bijna 200% in de label G-woningen en een onderpredictie in label A woningen (minder theoretisch gebruik dan feitelijk) van 20%. Dit is weergegeven in Figuur 12.

Ook een tweetal casestudies waarover is gerapporteerd door Sipma e.a. (2019) in Ierland (Scheer et al., 2013) en Litouwen (Kveselis et al. 2017) waarbij daadwerkelijk energiegebruik voor en na renovatie is vergeleken, komen tot een verminderde besparing van 36% (hierin zitten dan zowel rebound als preboud-effecten).

**Figuur 12** Theoretisch en werkelijk gasverbruik per m<sup>2</sup> vloeroppervlak in vier databestanden (bron: Majcen, 2016)



Zoals eerder aangegeven, is het niet geheel duidelijk hoeveel van het verschil tussen theoretisch en werkelijk verbruik op het conto moet worden geschreven van het gedrag van bewoners of van technische verschillen. Majcen (2016, p.214-215) concludeert dat de onderpredictie (dus meer energiegebruik dan verwacht) in sterke mate wordt bepaald door gedrag van bewoners (in het bijzonder aanwezigheid in de woning, samen met de aanwezigheid van een programmeerbare thermostaat en waterbesparende douchekop). Bij overpredictie spelen kenmerken van woningen een belangrijkere rol (in het bijzonder woningtype en wijze van verwarming samen met temperatuurinstelling bij afwezigheid en de perceptie van de binnentemperatuur). Hier zou een aanpassing van de modellen dus ook tot een realistischer inschatting van het werkelijke gasverbruik kunnen leiden. Aanwijzingen hiervoor blijken bijvoorbeeld ook uit Summerfield et al.

(2015) die vonden dat de overpredictie veel groter was in woningen (vierkamerwoningen) van voor 1919 met een ‘solid wall construction’. Daar bleek het werkelijke gasverbruik aanzienlijk lager (ruim 20%) dan het voorspelde verbruik.

Koene et al. (2016) laten zien dat het verschil tussen werkelijk en voorspeld energiegebruik voor een groot deel fysisch van aard is. Waar in de modellen wordt gerekend met een gemiddelde binnentemperatuur, blijken de gemiddelde binnentemperaturen lager te zijn in minder goed geïsoleerde woningen en zijn er grotere temperatuurverschillen in de woningen dan in beter geïsoleerde woningen. Als een woning beter wordt geïsoleerd, stijgt de gemiddelde binnentemperatuur. Dat komt echter niet (alleen) door ander gedrag van de bewoners. Doordat de geïsoleerde woning minder snel afkoelt, gaat de gemiddelde binnentemperatuur omhoog, ook als de thermostaatinstellingen hetzelfde blijven. Deze thermische traagheid is ook van belang in relatie tot de effectiviteit van besparingsgedrag (Van den Ham et al., 2013).

#### 4.6 Energiegedrag en energiegebruik (pijl 6)

Energiegedrag en energiegebruik zijn strikt genomen twee kanten van dezelfde medaille. Zonder energiegedrag geen energiegebruik. Dat het vaak lastig is om energiegebruik te voorspellen met energiegedrag betekent dan ook niet dat die relatie er niet is, maar dat het energiegedrag – of beter: alle gedragingen in de woning die van invloed zijn op het energiegebruik – slechts zeer ten dele in beeld zijn. Het is ook niet voor niets dat in prestatiegarantiecontracten bij nul-op-de-meterwoningen eisen worden gesteld aan het gedrag van bewoners als voorwaarde waaronder ‘nul op de meter’ wordt gegarandeerd (Borsboom et al., 2015). Het gaat dan bijvoorbeeld om:

- Het elektriciteitsgebruik voor huishoudelijke apparatuur / eigen gebruik.
- Het aantal minuten douchen per persoon per dag.
- De thermostaatinstelling in het stookseizoen, en in geval van koeling een minimale temperatuurinstelling in de zomer.

Ook Ioannou et al. (2015) laten in een Monte Carlo gevoeligheidsanalyse zien dat gedragsparameters een aanzienlijk grotere invloed hebben dan woningparameters op energiegebruik dat is gerelateerd aan verwarming van de woning. Het gaat dan in het bijzonder om thermostaatinstelling en de toepassing van ventilatie (flow rate). De Kluizenaar et al. (2016) geven op basis van een uitgebreide literatuurstudie het volgende overzicht van relevante energiegedragingen:

Voor ruimteverwarming:

- thermostaatinstelling,
- aantal verwarmde ruimtes in huis,
- gebruik van zonwering, gebruik



- van gordijnen/luiken 's nachts,
- gebruik van apparaten en verlichting (interne warmtelast),
- raam open/dicht-gedrag,
- rooster open/dicht-gedrag,
- instellingsgedrag mechanische ventilatie.

Voor warm tapwater zijn de belangrijkste gedragingen:

- douchegebruik,
- (in beperkte mate) badgebruik.

Als overige gedragingen die (indirect) samenhangen met energiegebruik worden door De Kluizenaar et al (2016) de volgende genoemd:

- Aanwezigheid,
- adaptief gedrag (bijv. drinken van warme en koude dranken, aanpassen kleding, etc.).

Stuart-Fox e.a. (2019) analyseerden de invloed van een aantal aspecten van energiegedrag op gasverbruik in de woning, terwijl ze controleerden voor kenmerken van huishoudens en woningen. Hoewel het conceptueel gezien de vraag is of een controle voor alle kenmerken van huishoudens zinvol is als de invloed van energiegedrag wordt onderzocht<sup>15</sup> vindt men voor de volgende energiegedragingen relaties met gasverbruik:

- De hoeveelheid water die wordt gebruikt voor douchen (meer dan 500 liter water per persoon per week leidt tot 200 m<sup>3</sup> meer gasverbruik per jaar dan 100-200 liter water)<sup>16</sup>
- Instelling van de dagtemperatuur bij huishoudens die een constante temperatuur instellen (instelling op 20 graden of meer leidt tot 240 m<sup>3</sup> gas meer verbruik dan instelling op 17 graden of minder)
- Ventileren tijdens stoken (huishoudens die dit vaak doen, verbruiken 100 m<sup>3</sup> meer gas per jaar dan huishoudens die dit nooit doen)
- Aantal kamers dat wordt verwarmd (meer dan 5 kamers verwarmen leidt tot 220 m<sup>3</sup> gas meer per jaar dan 1 kamer verwarmen)

---

15 Het zijn immers o.a. de kenmerken van huishoudens die het energiegedrag bepalen (pijl 2 en 3) waardoor deze – als zij ook om andere redenen, zoals de grootte van de woning (pijl 1) – samenhangen met energiegebruik – een deel van de variantie overnemen. Controle voor woningkenmerken ligt wel voor de hand omdat eenzelfde gedrag in verschillende woningen kan leiden tot andere uitkomsten in energiegebruik (pijl 7).

16 Milieu Centraal geeft aan dat een douchebeurt van 5 minuten gemiddeld 40 liter water kost. 200 liter water wordt dan verbruikt bij 5 keer 5 minuten douchen per week. 500 liter water staat voor 7 keer per week bijna 10 minuten douchen.

Eerder (bijna 40 jaar geleden) vonden van Raaij en Verhallen (1981) al dat de volgende energiegedragingen significant bijdroegen aan de verklaring van energiegebruik:

- Temperatuur in de slaapkamer terwijl men slaapt
- Thermostaatinstelling bij afwezigheid
- Thermostaatinstelling terwijl men thuis is (behalve in de zomer)
- Gebruik van de hal/gangdeur
- Gebruik van waakvlam.

Hiermee verklaarden zij 26% van de variantie in energiegebruik voor verwarming.

Majcen (2016) kon de volgende gedragsaspecten in verband brengen (gecontroleerd voor kenmerken van woningen en huishoudens) met gasverbruik per m<sup>2</sup> vloeroppervlak:

- Aanwezigheid overdag (elke extra dag aanwezigheid leidt tot 0,631 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> meer gasverbruik)
- Aanwezigheid 's nachts (elke extra nacht aanwezigheid leidt tot 0,995 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> minder gasverbruik)
- Temperatuurinstelling overdag (0,242 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per graad meer gasverbruik)
- Temperatuurinstelling 's nachts (0,123 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per graad meer gasverbruik)
- Gemiddeld versus energie-efficiënt gedrag<sup>17</sup> (2,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> meer gasverbruik)
- Inefficiënt versus efficiënt gedrag (3,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> meer gasverbruik)

Leidelmeijer en van Grieken (2005) vonden van de volgende gedragspatronen dat die van invloed zijn op gasverbruik, waarbij werd gecontroleerd voor woningkenmerken (woninggrootte, verliesoppervlak en isolatiegraad):

- Patronen van verwarming (meeste verschil: patronen 'alle ruimten altijd' en 'woonkamer, bijkeuken en badkamer' versus patronen 'alleen woonkamer' en 'woonkamer, slaapkamers af en toe': ca. 500 m<sup>3</sup> per jaar)
- Temperatuurinstelling (meeste verschil: altijd hoge temperatuur versus 'altijd lage temperatuur': 400 m<sup>3</sup> per jaar).

Met de genoemde woningkenmerken en gedragspatronen verklaarden zij ongeveer 50% van de verschillen in gasverbruik.

Er is sprake van interacties tussen energiegedrag en woningkenmerken in relatie tot de besparingen die kunnen worden bereikt als gevolg van gedrag. Over het algemeen geldt dat de invloed van gedrag kleiner is in goed geïsoleerde woningen dan in slecht

---

<sup>17</sup> Hierin zijn verschillende gedragingen samengenomen zoals de thermostaat te hoog instellen, ventileren en verwarmen tegelijk, niet treffen van energiemaatregelen, geen waterbesparende douchekop hebben.

geïsoleerde woningen. Zo is de invloed van stookonderbreking op energiebesparing is voornamelijk afhankelijk van hoe lang een woning warmte vast houdt, waarbij zowel isolatiegraad als de massa van de woningen (steen versus houtskelet) van invloed is (van den Ham et al., 2013). Een stookonderbreking van 8 uur levert in alle typen woningen een besparing op, maar wel het meest in de slecht geïsoleerde woningen. Nachtverlaging levert bij slecht of matig geïsoleerde woningen 3 tot 10 % besparing op en bij goed geïsoleerde woning 0 tot 4%. Voor dagnachtverlaging is de te bereiken besparing 14 tot 40% bij slecht of matig geïsoleerde woningen en 4 tot 15% bij goed geïsoleerde woningen (van den Ham et al., 2013). Voor het niet of minder verwarmen van delen van de woning geldt hetzelfde. Ook dit levert meer besparing op in de slecht geïsoleerde woningen, maar ook in de goed geïsoleerde woningen resteert wel een besparingseffect. Het niet verwarmen van een enkele kamer levert 5 tot 10% besparing op bij een slecht geïsoleerde woning en 1 tot 4% besparing bij een goed geïsoleerde woning (van den Ham et al., 2013).

Ventilatiegedrag bleek na controle voor woningkenmerken niet in verband te kunnen worden gebracht met verschillen in energiegebruik (Leidelmeijer en van Grieken, 2005). In andere studies wordt of geen relatie gevonden tussen ventilatiegedrag en energiegebruik (Bedir et al., 2013), worden veel kleinere dan verwachte besparingen gevonden bij toepassing van warmteterugwinning (Majcen, 2016), wordt minder energiegebruik gevonden waar meer werd verwacht (Rooijers et al. 2003) of toch meer gasverbruik bij meer ventileren (Stuart Fox et al. 2019). De reden daarvoor is vermoedelijk dat de relatie complex is en wordt 'verstoorde' doordat de toepassing van verschillende typen ventilatiesystemen samenhangt met de (energetische) woningkwaliteit en door gedrag van bewoners (Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013). Onderzoek in gestandaardiseerde situaties (Ioannou, 2015) laat namelijk wel een flink effect zien van ventilatiegedrag.

De relatie tussen ventilatiegedrag en energiegebruik is complex omdat meer ventileren op zichzelf ontsparend werkt (warme lucht wordt afgevoerd en de ventilatie zelf kost elektriciteit), maar omdat ventilatie voor drogere lucht zorgt, vermindert dit de energie die nodig is om de lucht te verwarmen (Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013). Alleen als warmteterugwinning wordt toegepast mag vanuit de techniek ondubbelzinnig een besparing worden verwacht. Daarnaast geldt dat moderne ventilatiesystemen (gebalanceerd, met wtw) vooral worden toegepast in recentere en energiezuiniger woningen terwijl gewone mechanische ventilatie of geen ventilatiesystemen zijn toegepast in oudere woningen (Menkveld et al. 2009; Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013). Aan welk kenmerk van de woning gevonden verschillen dan moeten worden toegeschreven, is niet altijd duidelijk. Wat wel duidelijk is, is dat veel natuurlijk (bij)ventileren (met roosters of ramen) en tegelijk verwarmen bijdraagt aan een hoger energiegebruik (Tigchelaar en Leidelmeijer, 2013; Borsboom et al., 2015).

Leidemeijer en Cozijnsen (2009) brachten gedragspatronen in verband met de totale energiekosten (gas, warmte en elektriciteit samen). Zij vonden dat de volgende energiegedragingen een zelfstandige invloed hadden op de energiekosten (gecontroleerd voor kenmerken van woningen en huishoudens):

- Apparaatbezit en -gebruik (40% hogere energiekosten in 'luxe' groep dan in groep 'matig')
- Temperatuurinstelling (stookpatroon) – specifieke stookpatronen, meest onzuinig (per m<sup>2</sup> vloeroppervlak: grote amplitude en 'standaard' patroon. Meest zuinig: ochtend- en avondpiek (overdag afwezig).
- Verwarmen bij afwezigheid (verschil t.o.v. instelling 15 graden: 100 m<sup>3</sup> bij 15-17,5 graden, 140 m<sup>3</sup> bij 17,5-20 graden en 240 m<sup>3</sup> bij meer dan 20 graden.
- Baden en douchen (lang en vaak douchen (minimaal 25 doucheminuten per huishouden) levert 10% hogere energiekosten dan kort douchen (maximaal 7 doucheminuten per huishouden)
- Verwarmen met een hoge nachttemperatuur (temperatuur van 17 graden levert 10% meer energiekosten op dan instelling op 15 graden).

Van een aantal van de gedragingen die van invloed leken op de analyses (in het bijzonder de wijze van verwarming), bleek het effect uiteindelijk meer te moeten worden toegeschreven aan kenmerken van de woningen (die gedrag mogelijk/noodzakelijk maken). In het bijzonder de samenhang tussen energetische kwaliteit, woninggrootte en de aanwezigheid van gaskachels bleek daarbij van belang. Daarnaast kwamen specifieke segmenten in de woningvoorraad naar voren waarin de energiekosten relatief hoog zijn (collectieve verwarming in galerijflats uit de jaren '60-'70),

Borsboom et al. (2015) constateerden in een onderzoek in (nieuwe) energiezuinige woningen dat setpoint van de temperatuur geen goede voorspeller (meer) is voor de warmtevraag voor verwarming. Bij eenzelfde setpoint bleek er nog steeds een grote variatie in warmtevraag te zijn. Die verschillen leken te kunnen worden toegeschreven aan:

- Gebruik huishoudelijke apparaten (als er veel warmte producerende huishoudelijke apparatuur in de woning wordt gebruikt, is er minder warmtevraag)
- Hoeveel ruimtes worden verwarmd en in hoeverre binnendeuren openstaan
- Raamgebruik, bijvoorbeeld het open laten van slaapkamerramen en natuurlijk ventileren.

Karlin et al. (2012) vonden – op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek dat er in essentie twee 'dimensies' van energiegedragingen zijn die bijdragen aan een vermindering van energiegebruik:

- Vermindering (curtailment) van energiegerelateerd gedrag – temperatuur lager instellen, droger niet meer gebruiken.

- Vergroten van de efficiëntie (efficiency) van energiegerelateerd gedrag – je huis isoleren, ledlampen gebruiken e.d.

Het gaat hierbij dus niet om specifiek energiegedrag maar om dimensies waarlangs energiegedrag kan veranderen (om energiezuiniger te worden). In het bijzonder de eerste dimensie is terug te vinden in de aanbevelingen van Milieu Centraal (Tijs en van Meegeren, 2016) voor gedragsaanpassingen die bijdragen aan minder energiegebruik<sup>18</sup>:

- Verwarmen zonder verspillen (sluit tussendeuren, 's nachts en bij afwezigheid op 15, graadje lager, slaapkamer niet verwarmen, uur voor slapen gaan op 15 graden)
- Korter douchen (niet langer dan 5 minuten)
- Gebruik van elektrische bijverwarming beperken, zoals vloerverwarming in de badkamer of elektrische kachels - besparing: jaarlijks 350 kWh
- Voorkomen van onnodig sluipverbruik (apparaten echt uit) – besparing: 150 tot 300 kWh
- Wassen met volle trommel en lage temperatuur – besparing: 100 kWh
- Zo veel mogelijk was op lijn of rek drogen (helft van het jaar) – besparing: 125 kWh
- Vaatwasser vol laden en temperatuur op eco-stand, niet voorspoelen met warm water - besparing: 130 kWh
- Lampen uit bij verlaten van de ruimte
- De 'bierkoelkast' alleen aan bij feestje of iets dergelijks – besparing: 230 kWh

#### 4.7 Woningen, installaties en energiegebruik (pijl 7)

De relaties tussen woningen, installaties en energiegebruik overlappen met de bevindingen waarover in paragraaf 4.2 is gerapporteerd. Die worden hier niet herhaald. We beperken ons in deze paragraaf daarom tot de invloed van specifieke maatregelen die kunnen worden getroffen aan woningen en installaties en de besparingen die die opleveren.

Aanpassingen aan woningen en installaties in die woningen hebben ontegenzeggelijk een effect op het energiegebruik (bij eenzelfde energiegedrag). Veel aanbevelingen die bijvoorbeeld door Milieu Centraal worden gedaan hebben hier betrekking op, bijvoorbeeld:

---

<sup>18</sup> Milieu Centraal richt via de website ook sterk de aandacht van de consument op de efficiency-dimensie door aan te geven welke veranderingen in de woning en installaties bijdragen aan minder energiegebruik. De aanbevelingen van Tijs en van Meegeren zijn meer in het bijzonder gericht op aanpassing van het gedrag bij eenzelfde niveau energetische kwaliteit van woning en installaties.

- zonneboiler bespaart bijna 50% van de kosten voor warm water;
- douche wtw bespaart bijna 42% (CO<sub>2</sub>) t.o.v. gebruik elektrische boiler;
- douche wtw bespaart bij dagelijks 9 minuten douchen 130 (douchebak wtw) tot 160 m<sup>3</sup> (douchepijp wtw) gas per jaar;
- warmtepomp (volledig) 35% (lucht) tot 50% (bodem) minder CO<sub>2</sub>-uitstoot (bij huidige mix elektriciteitsopwekking);
- warmtepomp (hybride) 25% minder CO<sub>2</sub>-uitstoot bij huidige mix elektriciteitsopwekking).

Ook worden voor specifieke woningtypen besparingen gegeven, zoals bijvoorbeeld voor hoek/ 2 onder 1 kapwoningen van gemiddelde grootte met 3 bewoners, een HR combiketel, enkelglas en geen isolatie. Dan leveren de volgende maatregelen de volgende besparingen op:

- isoleren schuin dak (bij verwarmde zolder): 900 m<sup>3</sup> per jaar;
- isoleren spouwmuur: 650 m<sup>3</sup>;
- isoleren vloer: 285 m<sup>3</sup>;
- HR ++ glas: 430 m<sup>3</sup>;
- Isolerend kozijn: 10m<sup>3</sup> gas bij 6m<sup>2</sup> raamoppervlak;
- Triple glas t.o.v. HR++ glas: 20m<sup>3</sup> bij 6 m<sup>2</sup> raamoppervlak.

En voor specifieke maatregelen om de warmteverliezen door ramen te beperken worden bijvoorbeeld de volgende maatregelen vermeld:

Maatregel	m <sup>3</sup> gas per jaar per m <sup>2</sup> raamoppervlak
Isolerende kozijnfolie bij enkel glas	13,4
Isolerende Kozijnfolie bij dubbel glas	3,9
Isolerende Raamfolie op enkel glas	9,8
Isolerende Raamfolie op dubbel glas	3,3
Isolerend gordijn voor enkel glas	13,5
Isolerend gordijn voor dubbel glas	5,3
Enkel glas vervangen door dubbel glas of voorzetraam	13,4
Enkel glas vervangen door HR glas	16,3
Enkel glas vervangen door HR++ glas	23,1
Enkel glas vervangen door monumentenglas	7,8

Voor een deel zijn de besparingen waar van wordt uitgegaan theoretisch, dat wil zeggen berekend op basis van rekenmodellen en niet gebaseerd op werkelijke verbruiken van gas en elektriciteit. Zoals ook in paragraaf 4.5 is aangegeven (Sipma et al. 2019) zijn er verschillende redenen waarom er flinke verschillen kunnen zijn tussen de berekende en gemeten besparingen. Een deel ervan heeft te maken met gedrag van de bewoners dat niet constant is en een deel heeft een technische achtergrond. Zo blijkt in technische zin bijvoorbeeld de gerealiseerde luchtdichtheid van nieuwe woningen sterk te kunnen

afwijken van de ontwerp luchtdichtheid (Jacobs et al., 2015), wat ook weer een invloed heeft op het gemeten energiegebruik.

Het meten van werkelijke besparingen die *niet* worden beïnvloed door samenhang met andere kenmerken van de woningen, door aannames in modelmatige benaderingen die worden gebruikt voor het bepalen van de energetische kwaliteit van (onderdelen van) de woning of door het gedrag van bewoners is geen sinecure (Menkveld et al. 2009). In de pogingen die daartoe zijn ondernomen worden vaak wel besparingen gevonden, maar vallen die in de regel lager uit dan op basis van de modelmatige berekeningen zou mogen worden verwacht. Zo vonden Menkveld en Leidelmeijer (2010) een 8% gemiddeld lager gasverbruik in woningen met een EPC van 0,8 dan in woningen met een EPC van 1, waar 20% zou mogen worden verwacht.

Cozijnsen et al (2010) hebben op basis van werkelijke verbruiken nagegaan in hoeverre besparingsmaatregelen van invloed zijn op energiegebruik. In de analyse is zoveel mogelijk gecorrigeerd voor kenmerken van woningen en huishoudens, inclusief gedrag, die op het gasverbruik van invloed zouden kunnen zijn. Zij komen tot de volgende bevindingen:

- Naden en kieren dichten 7% (70 m<sup>3</sup> in gemiddelde eengezinswoning)
- HR ketel versus VR-ketel: 7%
- HR glas versus enkel glas: 19%
- HR glas versus dubbel glas: 11%

Er zijn in het onderzoek van Cozijnsen et al. (2010) *geen* significante besparingen gevonden voor:

- De waterbesparende douchekop
- Leidingisolatie
- Gebruik van thermostaatkranen

Adan en Fuerst (2016) rapporteren een vermindering van (gemeten) jaarlijks gasverbruik van 10,5% bij toepassing van spouwmuurisolatie en een vermindering van 13,5% op het totale energiegebruik bij toepassing van een combinatie van spouwmuurisolatie en een nieuwe boiler. Zolderisolatie leverde een besparing op van 3% op het jaarlijks gasverbruik. Bij deze (en andere) studies geldt dus dat de gemeten besparing in de regel lager uitvalt dan de theoretische besparing maar dat er in veel gevallen wel een gunstig effect resteert. In het bijzonder voor isolatie en efficiëntere warmteopwekking kan worden gesteld dat die – ondanks mogelijke gedragsveranderingen en onvolkomenheden in de techniek - bijdragen aan een lager gemeten energiegebruik. Voor andere maatregelen – zoals de douche wtw – waarvan het onwaarschijnlijk is dat die gedragseffecten oproepen – geldt dat waarschijnlijk ook.

## 5 Conclusies

In dit hoofdstuk vatten we de bevindingen uit de literatuurstudie samen. Dat doen we in twee stappen. In het eerste deel wordt ingegaan op wat op basis van de literatuur gezegd kan worden over de relatie tussen kenmerken van huishoudens en woningen aan de ene kant en energiegebruik aan de andere. In het tweede deel van de samenvatting gaan we in op wat we (nog) niet weten. Want ondanks dat er betekenisvolle relaties uit de literatuur naar voren komen, is ook duidelijk geworden dat er nog veel verschillen tussen huishoudens en woningen zijn die niet eenvoudig kunnen worden toegeschreven aan hun gekende kenmerken of aan gemeten energiegedrag van bewoners.

### 5.1 Wat weten we?

In deze paragraaf worden de kenmerken van woningen en huishoudens vermeld waarvan in onderzoek is vastgesteld dat die samenhangen met verschillen in energiegebruik. Daarbij worden – voor zover die uit de literatuur naar voren komen – ook de mechanismen achter die samenhang beschreven. Het is immers niet per se de samenhang waar we naar op zoek zijn, maar vooral de *invloed* van de verschillende kenmerken op energiegebruik. Om daarvan te kunnen spreken is het minimaal noodzakelijk dat inzicht bestaat in het ‘waarom’ van de gevonden relaties. Daarmee wordt ook voorkomen dat te veel aandacht uitgaat naar schijnsamenhangen.

#### 5.1.1 Gasverbruik

Gasverbruik van huishoudens is in de Nederlandse context vooral gerelateerd aan het verwarmen van de woning, aan het verwarmen van tapwater (en dan in het bijzonder baden en douchen) en aan koken.

#### Woningen en installaties

Verschillen in gasverbruik hangen sterk samen met woningkenmerken en in het bijzonder met:

- Woningtype (i.c. verliesoppervlak) - in vrijstaande woningen wordt ruim 2 keer zoveel gas verbruikt als in appartementen.
- Woninggrootte en in het bijzonder de grootte van de woonkamer – in woningen van 300 m<sup>2</sup> of meer wordt bijna 3 keer zoveel gas verbruikt als in woningen van minder dan 70m<sup>2</sup>.
- Bouwperiode - in recente woningen wordt circa 50% minder gas verbruikt dan in woningen van voor 1945.



- Isolatiegraad (muren, ramen, kieren) en/of energielabel - in woningen met label F wordt bijna 40% meer energie verbruikt dan in woningen met label B.<sup>19</sup>

De mechanismen achter deze relaties zijn inzichtelijk en hebben in het bijzonder te maken met het volume dat moet worden verwarmd en de mate waarin de warmte in de woning kan worden behouden. Of de invloeden van isolatiegraad en bouwperiode eigenlijk eenzelfde mechanisme representeren (namelijk samenhangend met de energetische kwaliteit van de woning) of dat bouwperiode een zelfstandig effect heeft, is niet helemaal helder. In analyses waarin beide zijn opgenomen, komen ze geregeld ook beide terug, wat suggereert dat ze (deels) onafhankelijk zijn. Dat kan echter ook te maken hebben met een onvoldoende kwaliteit van het bepalen van de isolatiegraad in de onderzoeken (wat ook van invloed kan zijn op het toegekende energielabel).

De verschillen in energiegebruik tussen woningen met gunstige en ongunstige energielabels zijn kleiner dan theoretisch wordt verwacht, onder meer als gevolg van rebound- en preboundeffecten. Dit werkt ook door in verminderde besparingen bij woningaanpassingen. Door de prebound- en reboundeffecten is de 'opbrengst' van de besparing gemiddeld zo'n 30-40% minder dan verwacht. Omdat het prebound-effect groter is naarmate de woning onzuiniger is, is de netto 'winst' bij een aanpassing van een label F naar een label A woning nog veel kleiner dan die 30-40%.

Voor wat betreft de installaties in de woningen is er ondersteuning voor een verschil in energiegebruik tussen HR- en VR-ketels (7%). Ook dat verschil is kleiner dan theoretisch zou mogen worden verwacht. Verwarmen met gaskachels hangt samen met minder gasverbruik. Dat komt echter vooral doordat die kachels in kleine woningen staan. Als rekening wordt gehouden met de grootte van de woning, hangt het gebruik van gaskachels samen met meer gasverbruik. De verschillen tussen de verwarmingssystemen zijn vaak kleiner dan zou mogen worden verwacht door gedragseffecten en in het bijzonder door het preboundeffect in de woningen waarin gaskachels staan.

Als wordt gecontroleerd voor woningkenmerken, blijken er weinig verschillen te resteren voor effecten van verschillende ventilatiesystemen op het gasverbruik. Alleen voor balansventilatie zijn er uit praktijkonderzoek aanwijzingen dat dit bijdraagt aan minder energiegebruik, ook al geldt ook hier dat het besparingseffect een stuk minder groot is als gevolg van bewonersgedrag dat de effectiviteit van die systemen beperkt. Hierbij gaat het niet per se om reboundeffecten in economische zin, maar lijkt het

---

<sup>19</sup> De in deze opsomming opgenomen verschillen, evenals die in de opsommingen in de rest van dit hoofdstuk, worden gegeven om een idee te geven van de orde van grootte waar het over gaat. Tussen onderzoeken kunnen de uitkomsten verschillen. De in deze conclusie gerapporteerde voorbeelden betreffen in de regel bivariate relaties, dus zonder dat wordt gecontroleerd voor andere relevante samenhangen. Waar verschillende bronnen beschikbaar waren, is steeds gekozen voor het WoON omdat dat onderzoek de actuele Nederlandse situatie beschrijft.

vooral te gaan om gedrag dat gericht is op comfort (vermindering van geluid) dat leidt tot suboptimaal gebruik van de systemen.

### Huishoudens

Van de volgende kenmerken van huishoudens is op basis van de literatuur duidelijk geworden dat die van invloed zijn op het gasverbruik in de woning:

- Leeftijd - 75-plussers verbruiken 200 m<sup>3</sup> per jaar meer dan 35-minners.
- Samenstelling van het huishouden (aantal personen en aanwezigheid van kinderen) - hoe meer personen, hoe meer gasverbruik 1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per persoon; gezinnen verbruiken bijna twee keer zoveel gas als jongere alleenstaanden.
- Werk/geen werk

Deze invloeden ontstaan doordat ze samenhangen met verschillen in aanwezigheidspatronen in huis en met verschillen in energiegedrag.

Leeftijd is van belang in relatie tot zowel aanwezigheid in de woning als de gewenste temperatuur in huis. Ouderen zijn vaker thuis én hebben fysiologisch gezien behoefte aan een hogere temperatuur (vanaf circa 70 jaar). Daardoor hanteren zij een hogere setpoint en gebruiken relatief veel energie voor verwarming. Leeftijd is ook van belang in relatie tot het gebruik van warm tapwater. Dit gebruik is vooral hoog in de middenleeftijden doordat in die leeftijdsgroepen vaker wordt gedoucht. Bij ouderen is het gebruik van warm tapwater juist weer relatief laag.

De samenstelling van het huishouden is van invloed op gasverbruik via aanwezigheid in huis en via aan levensfasen gebonden energiegedrag. Als er meer personen in een huishouden zijn, betekent dit dat er een grotere kans is dat er iemand thuis is waardoor het huis meer wordt verwarmd. Ook hangt het samen met het gebruik van meer kamers in een huis waardoor er een grotere kans is dat meer kamers worden verwarmd. Daarnaast is er een directe relatie met gebruik van verwarmd tapwater. Hoe meer mensen in een huishouden, hoe meer water wordt verwarmd voor baden en douchen. In het bijzonder in de gezinsfase is het gasverbruik hoger dan bij jongere of oudere huishoudens. Naast verwarming en gebruik van verwarmd tapwater is het aannemelijk dat dit te maken heeft met hoe vaak er wordt gekookt.

Het hebben van werk is gerelateerd aan de aanwezigheid in huis en daarmee aan het verwarmen van de woning. In het bijzonder tweeverdieners en alleenstaanden met werk zijn minder vaak thuis en verwarmen de woning dus (meestal) minder vaak. Een uitzondering geldt voor mensen die thuis werken. Zij zijn juist weer vaker thuis en verbruiken dus relatief veel gas (en elektriciteit).

Een hoger inkomen hangt samen met meer gasverbruik in kubieke meters, maar met minder gasverbruik per m<sup>2</sup>. Deze samenhangen lijken echter geheel te worden bepaald door de verschillen in woonsituaties tussen de hogere en de lagere inkomens (hogere

inkomens wonen vaker in grotere woningen met meer verliesoppervlak, maar met een betere energetische kwaliteit) en mogelijk met een ander aanwezigheidspatroon dat te maken heeft met het hebben van werk. Inkomen is daarmee geen onafhankelijke invloed van gasverbruik.

### 5.1.2 Elektriciteitsverbruik

Bij elektriciteitsverbruik is in de Nederlandse context de invloed van het huishouden groter dan de invloed van de woning. Dat komt doordat verwarming van de woning vooralsnog vooral met gas gebeurt. Dat zal naar alle waarschijnlijkheid veranderen door de introductie van de warmtepomp. Dan zullen de woningkenmerken die hiervoor bij gasverbruik zijn besproken ook voor elektriciteitsverbruik van belang zijn. Elektriciteitsverbruik is in Nederland op dit moment vooral verbonden met het gebruik van elektrische apparaten en verlichting.

#### Woningen en installaties

Er is eigenlijk maar een kenmerk van woningen dat – ook als ruimteverwarming buiten beschouwing wordt gelaten – consistent samenhangt met elektriciteitsgebruik. Dit is:

- Het aantal kamers (hoe meer kamers, hoe hoger het elektriciteitsgebruik; gemiddeld 400 kWh per jaar per extra kamer).

Het is aannemelijk dat meer kamers ook meer gebruik van die kamers met zich meebrengt. Bovendien bieden meer kamers ook meer ruimte om apparaten en verlichting te plaatsen waardoor in woningen met meer kamers ook meer apparaten kunnen worden gevonden.

Meer gemengde bevindingen zijn er voor kenmerken als bouwperiode en woningtype. De relaties die hier worden gevonden lijken vooral samen te hangen met de kwaliteit/energiezuinigheid van elektrische installaties (vaak gunstiger in nieuwere woningen) of met de hoeveelheid elektrische apparatuur (vaak meer in nieuwere woningen). Voorts zijn er wel plausibele relaties geopperd in de literatuur (zoals tussen hoe 'donker' een woning is en hoeveel er dus kunstmatig wordt verlicht), maar deze zijn voor zover bekend nog nooit echt 'hard' gemaakt in praktijkonderzoek. Hier zijn vanzelfsprekend wel mogelijkheden maar die vragen om een andere woningtypering dan gebruikelijk.

#### Huishoudens

De relatie tussen kenmerken van huishouden en elektriciteitsgebruik is vrij sterk. Van de volgende kenmerken is een relatie vastgesteld met elektriciteitsverbruik:

- Aantal personen (8-21% meer verbruik per lid van het huishouden)

- Samenstelling huishouden (eenpersoonshuishoudens verbruiken bijna 40% minder dan gezinnen met kinderen)
- Leeftijd (35-minners verbruiken bijna 30% minder dan 35-64 jarigen)
- Inkomen (huishoudens met 3x modaal inkomen verbruiken bijna twee keer zoveel als huishoudens met een inkomen beneden modaal).

De relatie tussen het aantal personen in een huishouden en elektriciteitsverbruik is sterk en plausibel: hoe meer mensen, hoe meer apparaten er worden gebruikt en hoe meer er wordt verlicht. Dit geldt wel vooral voor volwassenen en oudere kinderen. Bij meer jonge kinderen is die toename er nog niet. In die zin doet de samenstelling van het huishouden er toe.

De relatie tussen leeftijd en elektriciteitsgebruik is niet-lineair en vergelijkbaar met die met gasverbruik. Jongeren en ouderen verbruiken minder elektriciteit dan de huishoudens in de midden-leeftijdsgroep. De achterliggende redenen daarvoor zijn niet geheel uitgekristalliseerd. Aan het mindere gebruik door jongeren zit mogelijk nog een inkomenseffect. Waarschijnlijk is dat daarnaast de (beperkte) aanwezigheid in huis van deze groep een belangrijke rol speelt. Het lagere gebruik van ouderen kan niet worden toegeschreven aan de aanwezigheid. Zij maken minder gebruik van de apparaten die ze bezitten. Ook hebben zij een neiging zich spaarzamer te gedragen. Of dat een leeftijds- of een generatie-effect is, zal de toekomst moeten leren.

De relatie met inkomen komt tot stand doordat hogere inkomens zowel meer apparaten in bezit hebben als deze meer gebruiken. Voor veel elektrische apparaten geldt dat het bezit ervan samenhangt met werkelijk energiegebruik. Maar vanzelfsprekend is de samenhang met het gebruik ervan sterker. Voorsnog is er nog weinig bekend vanuit de literatuur over eventuele reboundeffecten met betrekking tot verlichting en apparaatgebruik.

## 5.2 Wat weten we niet?

De verschillen in energiegebruik tussen huishoudens blijken gemiddeld genomen voor niet meer dan de helft te kunnen worden verklaard door kenmerken van woningen, huishoudens en gemeten gedrag. Dat betekent dat er nog veel wordt 'gemist' aan invloeden van energiegebruik. Wat wordt gemist zal naar alle waarschijnlijkheid zowel aan de kant van de woningen en installaties zitten als aan de kant van het gedrag van de huishoudens. Wat aan de woningkant kan worden gemist, zijn bijvoorbeeld zaken als de feitelijke isolatiegraad, gebouwmassa, het vóórkomen van specifieke warmtelekken en de kwaliteit en inregeling van installaties. In onderzoek waarbij daadwerkelijk is gemeten wat de energetische kwaliteit is van woningen (bijvoorbeeld bij oplevering van nieuwbouw- of renovatieprojecten), worden hierin grote verschillen gevonden. Bij huishoudelijke apparaten is vaak onbekend wat het vermogen is, wat het lastig maakt om de invloed op elektriciteitsverbruik te bepalen.

Aan de gedragskant zijn de mogelijke variaties die in de meeste studies buiten beeld blijven nog veel groter. Veel van de verschillen in gewoontes en gebruiken van huishoudens in hun woning hangen niet of slechts in beperkte mate samen met de kenmerken van die huishoudens. Ze onttrekken zich deels aan logica en aan rationele kostenbatenafwegingen. Daarom is de verklaringskracht van huishoudenskenmerken voor verschillen in energiegebruik ook beperkt. Dat wil echter niet zeggen dat het gedrag er niet toe doet (of niet te begrijpen valt). Vooralsnog weten we van dat gedrag echter nog maar heel weinig. De gedragsaspecten die bijvoorbeeld in het WoON worden meegenomen, zijn niet meer dan het topje van de ijsberg. Willen we meer inzicht krijgen in de onverklaarde 50% van het energiegebruik, dan is het noodzakelijk om de specifieke gewoonten en gebruiken van huishoudens en de wisselwerking met de woning en installaties beter in de vingers te krijgen.

Er is ook relatief weinig inzicht in de effecten van interacties tussen gebruikers en woningen. Dat die interacties belangrijk zijn, geven de bevindingen rond het rebound- en reboundeffect duidelijk aan. Dat gaat twee kanten op. Huishoudens gedragen zich anders in zuinige woningen dan in onzuinige woningen. Maar ook de zuinige woningen zelf reageren anders (in termen van afkoeling en daarmee de gemiddelde temperatuur in de woning) op bewonersgedrag dan de onzuinige woningen. Als dat soort effecten niet goed wordt meegenomen in de modelleringen, zullen inschattingen van besparingen nooit adequaat kunnen zijn.

Meer in het algemeen onderstreept de constatering dat de invloed van energiegedrag op energiegebruik afneemt naarmate woningen en apparaten zuiniger zijn, het belang van inzicht in die interacties. Als we (verschillen in) energiegebruik beter willen begrijpen zal het nooit voldoende zijn om alleen naar de woning of de installaties te kijken, net zoals dat het nooit genoeg is om alleen naar de kant van (het gedrag van) het huishouden te kijken. Beide bepalen – vaak in onderlinge samenhang - de verschillen in energiegebruik, in het bijzonder als het gaat om het verwarmen van de woning.

Om de complexe interacties tussen gebruikersgedrag en woningen vanuit het perspectief van energiegebruik beter in beeld te krijgen, is het wenselijk om onderzoeken (ook meer bottom-up in te richten. In dat type onderzoek wordt bij een beperkte groep van vergelijkbare huishoudens en/of vergelijkbare woningen in detail gevolgd (onder meer met sensoren, maar ook met interviews) hoe bewoners zich gedragen en wat daar de gevolgen van zijn (slimme meters, metingen binnenklimaat). Die stap is noodzakelijk om de variatie die zelfs binnen homogene groepen optreedt te begrijpen en de parameters te vinden die de vaak aanzienlijke verschillen in energiegebruik tussen huishoudens bepalen. Door dit soort onderzoeken vervolgens op te schalen naar verschillende typen huishoudens en verschillende typen woningen, kan duidelijk worden wat voor de gehele voorraad de verklaringen zijn voor verschillen in energiegebruik.

## Literatuur

- Adan, H. & F. Fuerst (2016). Do energy efficiency measures really reduce household energy consumption? A difference-in-difference analysis. *Energy Efficiency* (2016) 9:1207–1219.
- Ayden, E. (2016). Energy conservation in the residential sector: The role of policy and market forces. Tilburg: CentER, Center for Economic Research.
- Bedir, M., E. Hasselaar, L. Itard (2013) Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings, *Energy and Buildings* 58 (2013) 194–207.
- Berkhout, P.H.G., J.C. Muskens, J.W. Velthuisen (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28, 425-432.
- Borenstein, S. (2013). A microeconomic framework for evaluating energy efficiency rebound and some implications. NBER Working Paper No. 19044
- Borsboom, W., K. Leidelmeijer, M. van Vliet, P. de Jong, H. Kerkhof (2016), Resultaten uit monitoring: bewonerservaringen en energieprestatie van nul op de meter woningen in Heerhugowaard (BAM), TNO, RIGO en Van Beek i.o.v. Energiesprong | Platform31.
- Borsboom, W., K. Leidelmeijer, M. van Vliet, P. de Jong (2015), Eerste ervaringen met prestatiegarantiecontracten voor nul op de meterwoningen. TNO, RIGO en Van Beek i.o.v. Energiesprong | Platform31.
- Brounen, D., N. Kok, J. Quigley (2012) Residential energy use and conservation: Economics and demographics, *European Economic Review* 56 (2012) 931–945.
- Brounen, D., N. Kok, J. Quigley (2013) Energy literacy and capitalisation, *Energy Economics*, Vol. 38, No. 7, p.42-50.
- Cayre, E., Allibe, B., Laurent, M-H. and Osso, D. (2011) There are people in the house! How the results of purely technical analysis of residential energy consumption are misleading for energy policies, *Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study on Energy Efficiency First: The Foundation of a LowCarbon Society*, pp. 1675–1683.
- Cozijnsen, E., K. Leidelmeijer, m.m.v. M. Menkveld en P. Vethman (2010), Kengetallen energiebesparing bestaande woningbouw; Berekend op basis van WoON en HOME, RIGO en ECN i.o.v. Agentschap NL.
- Dahlbom, B., H. Greer, C. Egmond, R. Jonkers, (2009) Changing Energy Behaviour: Guidelines for behavioural change programmes. The Guide is a result of BEHAVE, a project founded by the Intelligent Energy Europe Programme.
- Druckman A, T. Jackson (2008). Household energy consumption in the UK: a highly geographically and socio-economically disaggregated model. *EnergyPolicy* 36(8): 3177–3192.

- De Feijter, F.J., B.J.M. Van Vliet & G. Spaargaren (2019): Energy Efficient Housing through Organized Interactions? Conceptualizing the Roles of Householders and Providers in Housing Retrofitting in the Netherlands and China, *Housing, Theory and Society*.
- Fisher, C. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* (2008) 1:79–104.
- Frederiks, E.R., K. Stenner, E.V. Hobman (2015) Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1385-1394.
- Genjo K, S. Tanabe, S. Matsumoto K. Hasegawa, H. Yoshino (2005). Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese households. *Energy and Buildings*; 37(3): 259–72.
- Gouveia, J.P., S. Luo, A. Valentim, J. Seixas, N. Bilo (2015) Understanding electricity consumption patterns in households through data fusion of smart meters and door-to-door surveys. *Proceedings of the ECEEE 2015 summer study on energy efficiency*, pp. 957-966.
- Gram-Hansson, K. (2014), New needs for better understanding of household's energy consumption – behaviour, lifestyle or practices? *Architectural Engineering and Design Management*, 2014 Vol. 10, Nos. 1–2, 91–107.
- Gram-Hanssen, K., Kofod, C., & Nærvig Petersen, K. (2004). Different everyday lives: Different patterns of electricity use. In *Proceedings of the 2004 American Council for an Energy Efficient Economy* (pp. 1-13).
- Guerra Santín, O. (2010) Actual energy consumption in dwellings: The effect of energy performance regulations and occupant behaviour, PhD thesis, TU Delft: Sustainable Urban Areas 33.
- Ham, E.R. van den & J. van der Vliet (2013) *Energiebesparing door selectief stoken bij woningen*, TNO i.o.v. MilieuCentraal.
- Hens, H., Parijs, W. and Deurinck, M. (2010) Energy consumption for heating and rebound effects. *Energy and Buildings*, 42, 105–110.
- Ioannou, A., L. Itard (2015). Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy, *Energy and Buildings*, 92, 216–233.
- Jacobs, P., K. Leidelmeijer, W. Borsboom, M. van Vliet, P. de Jong (2015), *Concepten nul op de meter en 80% besparing*. TNO, RIGO en Van Beek i.o.v. Energiesprong. | Platform31.
- Jones, R.V., A. Fuertes, K.J. Lomas (2015) The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 901–917.

- Karlin, B., N. Davis, A. Sanguinetti, K. Gamble, D. Kirkby and D. Stokols (2014). Dimensions of Conservation: Exploring Differences Among Energy Behaviors, *Environment and Behavior* 2014, 46(4) 423–452..
- Kavousian, A., Rajagopal, R., Fischer, M. (2013), Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behaviour. *Energy*; 55, 184-194.
- Kluizenaar, Y. de, M.E. Spiekman, E.C.M. Hoes - van Oeffelen, (2016), Literatuurstudie gebruikersgedrag en energiegebruik, TNO i.o.v. Ministerie van BZK. TNO 2016 R11455
- Koene, F.G.H., E.C.M. Hoes - van Oeffelen, Y. de Kluizenaar, M.E. Spiekman (2016), Samenvattende rapportage Building Future 2, TNO i.o.v. Ministerie van BZK. TNO 2016 R11476.
- Kveselis, V., Dzenajaviciene, E.F. and A. Lisauskas (2017). Effectiveness of Residential Buildings Renovation on the Example of Kaunas City. Proceedings of the 10th International Conference “Environmental Engineering”, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. 27-28 April, 2017.
- Leidelmeijer, K., W. Borsboom, M. van Vliet, P. Jacobs, E. Cozijnsen, P. de Jong (2017), Opschaling nul op de meter; waardevolle lessen die je niet moet missen, VV+, pp. 26-35, december 2017.
- Leidelmeijer, K. en E. Cozijnsen, (2009) Energiegedrag in de woning: aanknopingspunten voor de vermindering van het energiegebruik in de woningvoorraad, Ministerie van VROM | Wonen, Wijken en Integratie.
- Leidelmeijer, K. en P. van Grieken (2005), Wonen en Energie: stook- en ventilatiegedrag van huishoudens. Amsterdam: RIGO (<http://publicaties.minienm.nl/documenten/wonen-en-energie-stook-en-ventilatiegedrag-van-huishoudens>).
- Lynch, D., & P. Martin (2013). How energy efficiency programs influence energy use: an application of the theory of planned behaviour. ECEEE Summer study proceedings, pp. 2037-2048.
- Majcen (2016) Predicting energy consumption and savings in the housing stock: A performance gap analysis in the Netherlands, PhD thesis, TU Delft: Architecture and the built environment #04.
- Majcen, D., Itard, L. C. M., and H. Visscher (2013). Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications. *Energy Policy*, 54, 125-136.
- McLoughlin, F., A. Duffy, M. Conlon (2012) Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240-248.
- Menkveld, M., J. Sipma, K. Leidelmeijer, E. Cozijnsen (2009), Besparingskentallen voor besparing in de bestaande woningbouw, ECN-E--09-074.



- Menkveld, M., K. Leidelmeijer et al. (2010) Evaluatie aanscherping EPC: effecten op werkelijk energiegebruik, ECN-E--10-043.
- Minna Sunikka-Blank & Ray Galvin (2012) Introducing the rebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, *Building Research & Information*, 40:3, 260-273, DOI: 10.1080/09613218.2012.690952.
- Morley, J., M. Hazas (2011) The significance of difference: Understanding variation in household energy consumption. ECEEE 2011 SUMMER STUDY, Energy efficiency first : The foundation of a low-carbon society pp. 2037-2046.
- Palm, J. & S.J. Darby (2014) The Meanings of Practices for Energy Consumption – a Comparison of Homes and Workplaces, *Science & Technology Studies*, Vol. 27 (2014) No. 2, 72-92.
- Rooijers, F.J., M.N. Sevenster, K. van Loo, S. Slingerland (2003) *Energie en gedrag in de woning*, Delft, CE, 2003.
- Santamouris M., K. Kapsis, D. Korres, I. Livada, C. Pavlou, M.N. Assimakopoulos (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*; 39(8): 893–905.
- Scheer, J., Clancy, M., and S.N. Hógáin (2013). Quantification of energy savings from Ireland’s Home Energy Saving scheme: an ex post billing analysis. *Energy Efficiency*, 6(1), 35-48.
- Sipma, J., Broc, J.S., Skema, R. (2019). Comparing estimated versus measured energy savings. Topical case study of the EPATEE project, funded by the European Union’s Horizon 2020 programme.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., (2008). The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636-649.
- Summerfield, A.J., T. Oreszczyn, J. Palmer, I.G. Hamilton, R.J. Lowe (2015). Comparison of empirical and modelled energy performance across age-bands of three-bedroom dwellings in the UK, In: *Energy and Buildings* 109 (2015) 328–333: Elsevier.
- Steg, L., R. Shwom, Th. Dietz (2018). What drives energy consumers? *IEEE power & energy magazine*, 2018, 20-28.
- Stuart-Fox, M., T. Kleinepier en K. Gopal (2019). *Energie besparen in de woningvoorraad: inzichten uit de Energiemodule WoON 2018*, ABF Research, r2019-0053MS .
- Tigchelaar, C. & Menkveld, M. (2011), Obligations in the existing housing stock: who pays the bill? In: *Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study on Energy Efficiency First: The Foundation of a Low-Carbon Society*, pp. 353–363.
- Tigchelaar, C. en K. Leidelmeijer (2013) *Energiebesparing: Een samenspel van woning en bewoner: analyse van de module Energie WoON 2012*, ECN-E-13-037.

- Tijs, M. en P. van Meegeren (2016). Energiebesparing door gedragsverandering: Hoe motiveer je bewoners tot woningverbetering en nieuwe gewoonten. Milieu Centraal.
- Vries, G. de, M. Rietkerk & R. Kooger, (2019). The Hassle Factor as a Psychological Barrier to a Green Home. *Journal of Consumer Policy*, February 2019, 1-8.
- van Raaij, W. F. & Verhallen, T. M. M. (1983). A behavioral model of residential energy use. *Journal of Economic Psychology*, 3(1), 39-63
- Van den Brom, P., A. Meijer & H. Visscher (2018) Performance gaps in energy consumption: household groups and building characteristics, *Building Research & Information*, 46:1, 54-70.
- Wade, J., N. Eyre (2015) Energy Efficiency Evaluation: The evidence for real energy savings from energy efficiency programmes in the household sector, A report by the UKERC Technology & Policy Assessment Function.
- Wilson, C. and H. Dowlatabadi (2007) Models of Decision Making and Residential Energy Use, *Annual Review of Environment and Resources* 32:169–203
- Winther, T. & H. Wilhite (2015). An analysis of the household energy rebound effect from a practice perspective: spatial and temporal dimensions. *Energy Efficiency* 8:595–607.
- Wyatt, P. (2013). A dwelling-level investigation into the physical and socio-economic drivers of domestic energy consumption in England. *Energy Policy*, 60, 540-549.
- Yohanis, Y.G., J.D. Mondol, A. Wright, B. Norton(2008). Real-life energy use in the UK: how occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy and Buildings*; 40 (6): 1053–1059.