

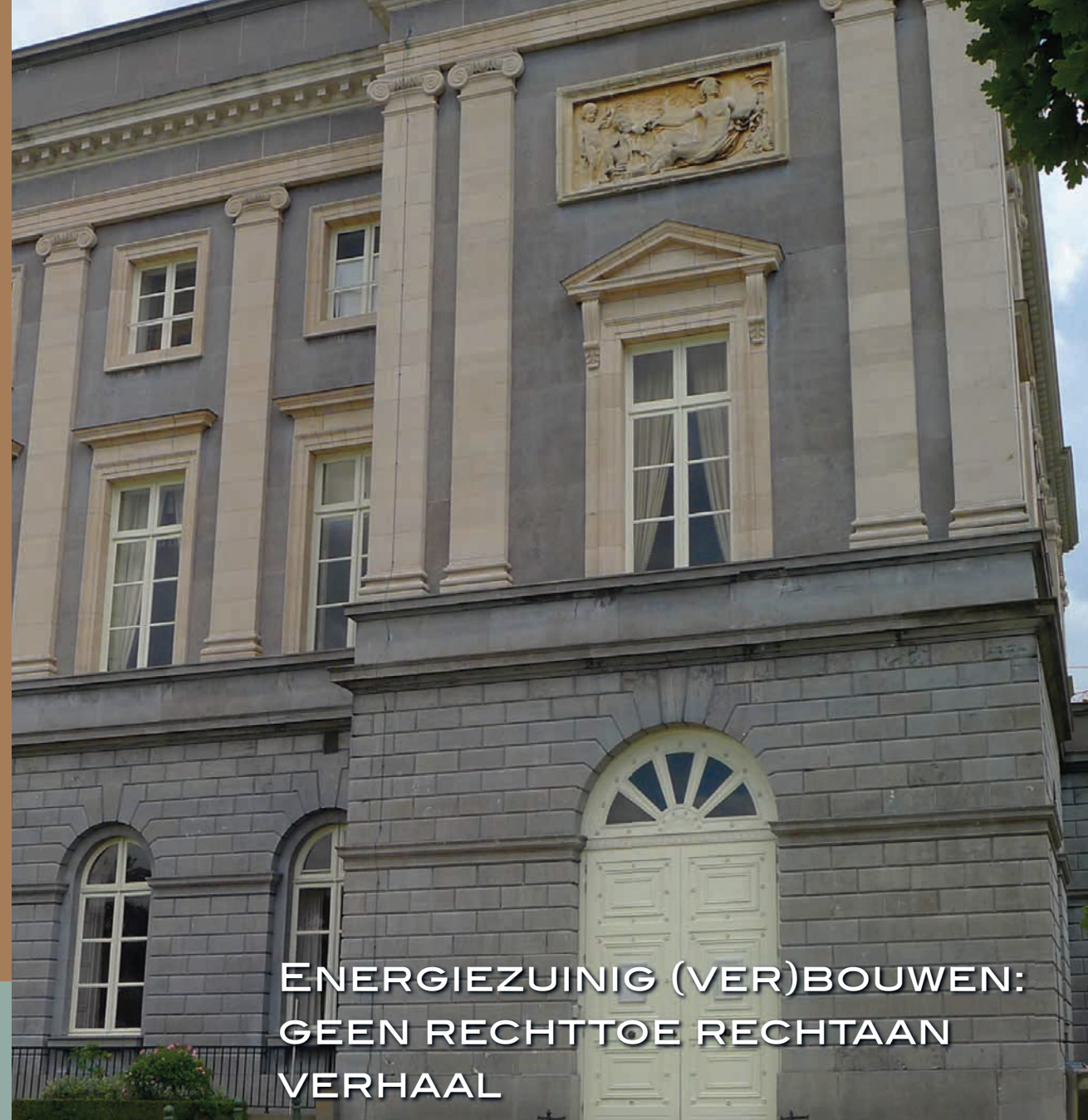
# ENERGIEZUINIG (VER)BOUWEN: GEEN RECHTTOE RECHTAAN VERHAAL

Energie is sinds de energiecrisis van de jaren 1970 een uitdaging geworden. Daarbij gaat het zowel over welke bronnen te gebruiken als over hoe het verbruik wereldwijd te drukken. De fossiele dragers en zeker kolen en olie, hoewel zeer energierijk en naar opslag geen probleem, produceren bij verbranding zoveel CO<sub>2</sub>, dat ze wereldwijd sterk bijdragen aan een voortschrijdende globale opwarming. Vandaar dat duurzame productie volop in de kijker staat, zij het dat onnodig verbruik vermijden nog steeds het meest efficiënt blijkt te zijn.

Binnen de KVAB heeft deze energie-uitdaging ertoe geleid dat in 2012 de reflectiegroep energie met Ivo Van Vaerenberg, lid KVAB-KTW, als voorzitter werd opgericht. Daarbinnen kreeg begin 2014 de werkgroep 'Energiezuinig (ver)bouwen vandaag en morgen' vorm. Waarom de focus daarop? Omdat gebouwgebruik voor 40% van het jaarlijkse landelijke eindverbruik zorgt en dit door anders te bouwen behoorlijk lager kan zonder de leef- en bruikbaarheid aan te tasten. Binnen de EU is energiezuinigheid in de gebouwde omgeving dan ook een belangrijke doelstelling geworden, wat zich in Vlaanderen vanaf 1/1/2006 vertaald heeft in de energieprestatieregeling met het E-Peil als referentiegrootte en een rekenmodel waarbij gebouwen op constante temperatuur ondersteld worden. Was bij aanvang de eis E100, vanaf 2010 werd die stapsgewijs strenger tot E50 na 1/1/2016 en E30 vanaf 1/1/2021. Blijkt nu dat in woongebouwen het bewonersgedrag sterk afwijkt van dit 'integraal op constante temperatuur'-model. Daardoor wordt de besparing, die dit verstrengden viseert, behoorlijk overschat.

Ernaast is sinds 1/1/2012 verplicht dat een deel van de verbruikte primaire energie uit duurzame bronnen moet komen. Velen opteren daarbij voor dakgekoppelde PV (fotovoltaïsche zonnecellen). Onderzoek toont nu aan dat de opbrengst aan elektriciteit in geval alle woningen in een wijk precies voldoende PV zouden krijgen als nodig om in theorie op jaarbasis hun primaire verbruik integraal te compenseren, door problemen met een te zwak verdeelnet behoorlijk kan tegenvallen.

Naast Jan Kretschmar, en Stan Ulens, beide leden van de KVAB-KTW, werkten als leden van de werkgroep aan dit standpunt mee: Arnold Janssens, hoogleraar, Vakgroep Architectuur, UGent en Dirk Saelens hoofddocent, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Afdeling Bouwfysica, KULeuven. Hugo Hens, emeritus gewoon hoogleraar KULeuven, hield als voorzitter van de werkgroep de pen vast. Ook alle overige leden van de werkgroep hadden via de discussies gedurende de vergaderingen een inbreng bij het vorm krijgen van dit standpunt.



# ENERGIEZUINIG (VER)BOUWEN: GEEN RECHTTOE RECHTAAN VERHAAL

Hugo Hens (e.a.)



Koninklijke Vlaamse Academie van België  
voor Wetenschappen en Kunsten, 2015  
Standpunten 35

Energiezuinig (ver)bouwen: geen rechttoe rechtaan verhaal



Uitgaven  
van  
de Koninklijke  
Vlaamse Academie  
van België  
voor  
Wetenschappen  
en Kunsten

Standpunten nr. 35

---



KVAB Press

Hertogsstraat 1  
1000 Brussel  
Tel. 02 550 23 23  
Fax 02 550 23 25  
[www.kvab.be](http://www.kvab.be)  
[info@kvab.be](mailto:info@kvab.be)



# Energiezuinig (ver)bouwen: geen rechttoe rechtaan verhaal

Hugo Hens  
Arnold Janssens  
Dirk Saelens  
Jan Kretzschmar  
Stan Ulens

De publicatie van dit Standpunt werd goedgekeurd door de KTW-  
klassenvergadering van 23 juni 2015.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke  
andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming  
van de uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photo  
print, microfilm or any other means without written permission  
from the publisher.

© Copyright 2015 KVAB  
D/2015/0455/11  
ISBN 978 90 6569 154 5

Foto en ontwerp cover: Anne-Mie Van Kerckhoven

Standpunten – Koninklijke Vlaamse Academie van België

# ENERGIEZUINIG (VER)BOUWEN: GEEN RECHTTOE RECHTAAN VERHAAL

HUGO HENS<sup>1</sup>, ARNOLD JANSSENS<sup>2</sup>, DIRK SAELENS<sup>3</sup>,  
JAN KRETZSCHMAR (KVAB), STAN ULENS (KVAB)

**Overige leden van de werkgroep:**

IVO VAN VAERENBERGH, voorzitter KVAB Reflectiegroep Energie, KVAB  
LUK VANDAELE, WTCB  
LIEVE HELSEN, KU Leuven, Departement Werktuigkunde  
HILDE HEYNEN, KU Leuven, Departement Architectuur, KVAB  
WOUTER CYX, Stad Antwerpen  
PEDRO PATTIJN, Ingenium  
JOHAN DRIESEN, KU Leuven, Departement ESAT

<sup>1</sup> Prof. Em., Departement Burgerlijke Bouwkunde, KU Leuven, lid KVAB Reflectiegroep Energie, voorzitter werkgroep KVAB – KTW 'Energiezuinig (ver)bouwen vandaag en morgen'.

<sup>2</sup> Prof., Vakgroep Architectuur, UGent, lid van de werkgroep KVAB – KTW 'Energiezuinig (ver)bouwen vandaag en morgen'.

<sup>3</sup> Prof., Departement Burgerlijke Bouwkunde, KU Leuven, lid van de werkgroep KVAB – KTW 'Energiezuinig (ver)bouwen vandaag en morgen'.



## Inhoud

Standpunten: korte samenvatting . . . . .	5
Aanbevelingen voor de Vlaamse overheid . . . . .	6
Positions: executive summary. . . . .	7
Recommendations for the Flemish government . . . . .	8
1. Vooraf . . . . .	9
2. Bewonersgedrag bij woongebouwen. . . . .	12
2.1 Wat? . . . . .	12
2.2 Feiten die wijzen op een specifiek bewonersgedrag . . . . .	12
2.3 Bewonersgedrag statistisch . . . . .	17
2.3.1 Reboundfactor. . . . .	17
2.3.2 Vlaanderen . . . . .	18
2.3.3 Nederland . . . . .	20
2.3.4 Duitsland . . . . .	21
2.3.5 Verenigd koninkrijk (UK) . . . . .	22
2.3.6 Frankrijk . . . . .	22
2.4 Bewonersgedrag en de fysica?. . . . .	23
2.5 Gevolgen van bewonersgedrag . . . . .	23
2.6 Wat met het economische optimum?. . . . .	25
3. Netto nul energie en PV op wijkniveau. . . . .	27
3.1 De EPB en netto nul energie (nZeB). . . . .	27
3.2 Gebouwen en elektrische netwerken . . . . .	28
3.3 Energievraag en -productie. . . . .	29
3.4 Vraag naar en aanbod van elektriciteit niet in evenwicht. . . . .	30
3.5 Invloed distributienet . . . . .	31
3.6 Oplossingen. . . . .	34
4. Besluit . . . . .	35
5. Referenties . . . . .	36
5.1 Standpunten . . . . .	36
5.2 Bewonersgedrag bij woongebouwen . . . . .	36
5.3 Netto nul energie en PV op wijkniveau . . . . .	37
Addendum 1: termen en definities . . . . .	38
Addendum 2: gebruikte formules . . . . .	42
Vlaanderen . . . . .	42
Nederland . . . . .	42
Duitsland . . . . .	42





## Standpunten: korte samenvatting

De Europese richtlijnen willen dat woongebouwen veel energiezuiniger worden. Daartoe worden allerlei maatregelen genomen, die het primaire energieverbruik voor verwarming, soms koeling, tot nagenoeg nul zouden moeten reduceren. Deze theoretische verwachtingen blijken echter in de praktijk niet altijd uit te komen. Dit heeft te maken met twee belangrijke effecten. Ten eerste is er het bewonersgedrag, dat doorgaans zuiniger is dan berekening volgens de regelgeving onderstelt, maar omwille van de bouwfysische realiteit en gedragsaanpassing minder besparend wordt naarmate een woongebouw verder richting lager energieverbruik opschuift. Ten tweede is er de mogelijke overspanning in de elektrische laagspanningsnetten, welke doorgaans niet ontworpen werden om tijdens de zonnige zomerdagen de gelijktijdige piekproductie van het groeiende aantal woninggekoppelde PV-installaties op te vangen. Daardoor dient een deel zo nodig tijdelijk afgekoppeld en gaat een deel van de energieopbrengst en, daaraan gekoppeld, de besparing op niet duurzaam primair energieverbruik verloren.

Met deze bijgestelde inzichten voor ogen, neemt de KVAB de volgende standpunten in.

1. Het werkelijke bewonersgedrag zorgt ervoor dat gemiddeld het eindverbruik voor verwarming lager ligt dan het rekenmodel volgens de Energieprestatie Woningen (EPW) aangeeft. Door de afname van dit besparingseffect bij steeds maar energiezuiniger woongebouwen, waarvoor veranderend gedrag en de bouwfysische realiteit globaal zorgen, zal de extra energiebesparing door het verder verstrengen van de wetgeving lager uitvallen dan verwacht. Daarnaast zal bij een massale keuze voor PV als duurzame energiebron deze – reeds kleinere – extra besparing bijkomend voor een deel teniet worden gedaan doordat bij zonnig zomerweer PV afgeschakeld zal moeten worden om overspanning in te zwakke laagspanningsnetten te voorkomen. Dit zal de energieopbrengst ervan lager doen uitvallen dan verwacht.
2. Het jaarlijkse primaire energieverbruik voor verlichting en toestellen valt bij woongebouwen buiten de energieprestatieregelgeving. Het aandeel ervan in het totale primaire energieverbruik is echter nu al zeer belangrijk. Relatief zal dit aandeel nog toenemen naarmate door de opgelegde besparende maatregelen het verbruik voor verwarming en warm tapwater verder zal dalen. Reboundgedrag houdt nu in dat die daling er bewoners wel eens toe kan aanzetten minder zuinig met verlichting en toestellen om te springen. Daarom dient met een scenario rekening gehouden waarbij door de verstrengde wetgeving de bouwkosten extra de hoogte zullen inschieten, zonder dat dit tot een evenredige vermindering van het totale woongekoppelde primaire energieverbruik leidt.
3. Voor de bewoners blijven de investeringskosten en de baten, waarvoor een verminderd jaarlijks eindenergieverbruik nadien zorgt, doorslaggevend. De volgende micro-economische realiteit is dan ook richtinggevend: de totale geactualiseerde kosten over de gebruiksduur van de wooneenheid door dezelfde bewoners dienen dicht bij de laagst mogelijke te blijven. Wettelijke eisen die verder gaan dan dit zijn dan ook niet optimaal.
4. De stap naar netto nul (nZEB) of netto plus energie (n+EB) woongebouwen lijkt in Vlaanderen niet zomaar opportuun, zeker niet wanneer die de massale inzet van PV vergt. In

zulk geval wordt immers bij de meeste huidige laagspanningsnetten een terugkerende zomerse overspanning onvermijdelijk, waardoor PV afgekoppeld zal moeten worden en hun energieproductie zo verloren gaat. Dat betekent dat in de feiten geen sprake zal zijn van nZEB, laat staan n+EB. Ook zal PV niet langer over een acceptabel aantal jaren af te schrijven zijn. Een mogelijke oplossing is om elke PV-installatie van een aangepaste batterijopslag en een slimme omvormer te voorzien. Dit maakt PV echter nog duurder. Het alternatief is dat de distributiemaatschappijen de bestaande laagspanningsnetten opschalen, wat grote investeringen vergt, die verhaald zouden moeten worden op de eigenaars van PV-installaties, wat de kosten ervan verder de hoogte zal indrijven.

5. Om het elektriciteitsverbruik en de productie door PV beter op elkaar af te stemmen, wordt vraagsturing bij gezinnen aanbevolen. Men wil met andere woorden hun gewoonten en gebruiken veranderen. Indien slim toegepast kan dit zinvol zijn voor een deel van de huishoudtoestellen, denk aan wasmachines, droogmachines, soms vaatwassers, diepvriezers, misschien koelkasten. Maar voor verlichting en andere toestellen blijft zo iets onmogelijk. De ervaring leert ook dat verandering van gewoonten en gebruiken een zeer moeilijke opgave is.
6. Bovenstaande bedenkingen maken dat het volgens de werkgroep zeer twijfelachtig is of nZEB en n+EB in Vlaanderen bruikbare concepten zijn voor woongebouwen. Gezien het klimaat zullen deze in de winter altijd meer primaire energie voor verwarming, warm tapwater, verlichting en toestellen verbruiken dan ze zelf produceren, terwijl in de zomer meestal het omgekeerde het geval zal zijn. Mooie zomerdagen leveren dan een situatie op waarbij zoveel elektriciteit aan het laagspanningsnet geleverd wordt, dat een deel van de PV afgeschakeld zal moeten worden en de prijs voor elektriciteit naar 0 euro per kWh zal zakken of zelfs negatief kan worden.

Samengevat: *de energierealiteit is complexer dan een te rechtlijnige benadering doet uitschijnen.*

## Aanbevelingen voor de Vlaamse overheid

1. Meest dringend is een nieuwe en grondige evaluatie van het vastgelegde eisenpakket, zoals gepland tussen nu en het jaar 2021. Heeft het zin richting E30 te gaan en aan de gemeenten het recht toe te kennen om nog strengere eisen, richting E0, op te leggen?
2. PV is mooi maar ingeval men voor een massale toepassing ervan blijft opteren, wordt het nodig slimme omvormers en de nodige batterijopslag verplicht te maken. De kostprijs van deze beide extra's zal op korte termijn zeker dalen, al zal het de nodige bijkomende investeringen blijven vereisen.
3. Los van de slimme omvormers en de batterijopslag, die de eigenaars van PV-installaties bijkomend zullen moeten laten installeren, dienen waar nodig ook het laagspanningsnet en de bijhorende transformatoren opgeschaald. Dit vergt de nodige investeringen van de netbedrijven.

## Positions: executive summary

European directives require residences to become ever more energy efficient. To realize this, several measures are implemented, which should bring the primary energy consumption for heating and – sometimes – for cooling close to zero. However, the savings calculated in theory are not always realized in practice.

The following two effects explain the divergence.

First in line figure dweller habits, which are typically more thrifty than assumed in official regulation but turn less beneficial when, through optimized building physics and changing human behaviour, residential buildings become ever more energy efficient.

Second in line comes excess voltage in the low-voltage distribution grid, which was not designed to transport simultaneous peaks in electricity produced on sunny summer days by a growing number of PV installations. As a consequence, part of these PV installations must sometimes be temporarily disconnected from the grid, which reduces the share of renewable primary energy and, obviously, the savings potential on conventional primary energy use.

With these adjusted insights in mind, the KVAB states following positions:

1. On average, dweller habits lead to a lower annual end energy use for heating than the calculation tool imposed by the Energy Performance of Residences (EPW) in Flanders predicts. However, due to a decrease in supplementary energy savings because of building physics and, sometimes, changes in habits in ever more energy efficient residences, the total extra savings through more stringent legal requirements will be less than expected. Moreover, a massive move to PV as renewable primary energy source would further impair the savings. Indeed, in sunny summer periods PV-installations would have to be disconnected from too weak low-voltage distribution grids in order to avoid excess voltage input. As a consequence, the energy yield from PV would be lower than expected.
2. For residential buildings, annual primary energy used for lighting and appliances is not covered by the energy performance legislation. However, its share in the total residential primary consumption is already truly important. Its relative share will further increase since primary energy consumption for heating and domestic hot water is due to go down because of mandatory savings measures. That drop may incline dwellers to care less about use of lighting and appliances. A scenario according to which an ever more strict energy legislation will increase the costs of building and retrofitting residences without however reducing proportionally the total primary energy consumption of buildings can therefore not be excluded.
3. For residents the extra investments compared to the annual benefits of a lower end energy use are still of overriding importance. The following micro-economic reality must anyhow be guiding: the total present value over the usage period of a residence by the same dwellers must remain close to the lowest possible. Legislation that goes beyond this is not optimal.
4. Stepping to net zero (nZEB) or plus energy (n+EB) residential buildings doesn't look opportune in Flanders, especially not when this would require a widespread installation of

PV. Excess voltage problems during summer in most of the low-voltage distribution grids would be unavoidable, as a consequence of which part of the PV installations would have to be disconnected, thus leading to a loss of their share of primary energy supply. In reality there will be no nZEBs, let alone n+EBs and it will prove impossible to amortize PV investments in a reasonable period of time. A possible solution consists of equipping each PV-installation with adapted battery storage and a smart converter. However, this would make PV even more expensive. Alternatively the distribution companies could upgrade the existing grids: yet, this would require huge capital expenditures, the amortization of which would likely be charged to PV owners, thus also increasing private PV investment costs.

5. In order to tune electricity use and its production by PV, consumer demand will have to be actuated. In other words, families should change their habits and practices. If smartly rolled out, this could be meaningful for a number of appliances, such as washing machines, tumble dryers, sometimes dish washers, freezers and perhaps refrigerators. But for lighting and other appliances actuating is impossible. Experience also learns that changing habits and practices is a very difficult objective to realize.
6. Taking into account the above considerations, the working group thinks it is quite doubtful if nZEB and n+EB residential buildings are meaningful concepts in Flanders. Because of the climate, residential buildings will always consume more primary energy for heating, domestic hot water, lighting and appliances than roof-coupled PV can produce in winter, while in summer the reverse will often be true. On sunny summer days, so much PV electricity will be injected in the grid that part of the installations will have to be shut off, while the price per kWh could drop to zero or even turn negative.

To conclude: *energy reality is more complex than a seemingly logical approach suggests.*

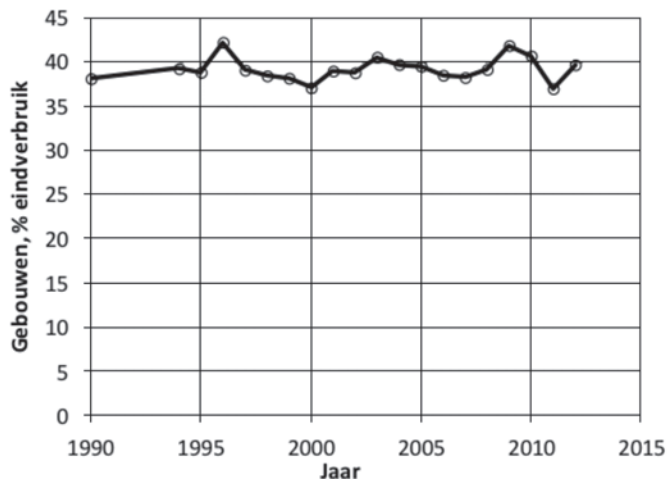
## Recommendations for the Flemish government

1. Most urgent is a new and thorough evaluation of the proposed package of stepwise more demanding requirements for residential buildings as planned with an eye on 2021. Is it truly meaningful to move to a primary energy consumption level E30 and to give municipalities the authority to dictate even more stringent performances, up to a level of primary energy consumption E0?
2. PV looks nice but, in case one sticks to a massive implementation of it, the use of smart converters and battery storage will be mandatory. In the short term, the costs for both will surely drop, although such an obligation will anyhow demand additional investments.
3. On top of the smart converters and battery storage to be installed by PV owners, the low voltage distribution grids and the transformers will also have to be upgraded where necessary. This will require important investments by the distribution companies.

## 1. Vooraf

Einde 2009 werd door de KVAB, Klasse Technische Wetenschappen, een eerste rapport gepubliceerd rond energie en gebouwen met als titel 'Energiezuinige gebouwen: van geïsoleerd over lage energie naar passief, nul energie en plus energie' (KVAB, 2009). Aan bod kwamen toen de geschiedenis tot 2008 van de regelgeving in Vlaanderen, de invloedparameters die mee de netto energievraag, de bruto energiebehoefte, het eindenergieverbruik en het primaire energieverbruik voor verwarming en koeling bepalen, de stappen in energie-efficiëntie, economisch optimale keuzen, zeer kort de invloed van bewonersgedrag, de doelstellingen op wat langere termijn, wat met passiefwoongebouwen en beleidsaanbevelingen.

Waarom een nieuw rapport? Om te beginnen blijft, ondanks de inspanningen vanaf de jaren 1970 om het jaarlijkse eindverbruik in de OESO landen te drukken, residentieel en gelijkgesteld, met een aandeel van  $\pm 40\%$ , in het totaal nog steeds een even grote verbruiker als de industrie. Dat dit ook voor Vlaanderen geldt, toont figuur 1 (Vito, 2014).

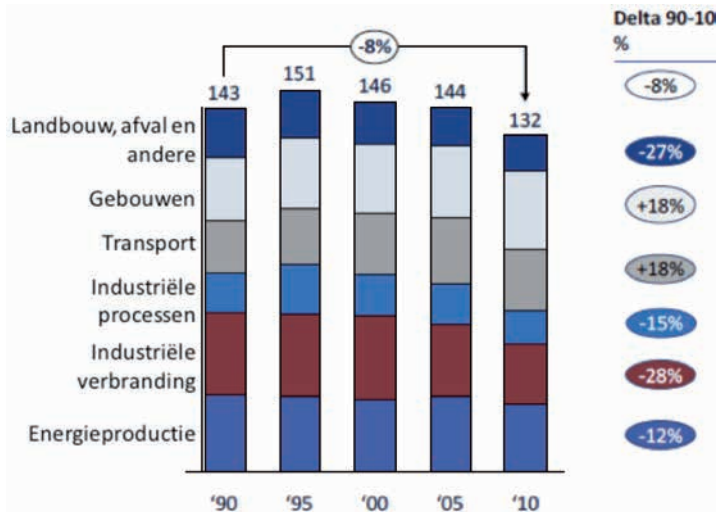


Figuur 1. Vlaanderen, eindverbruik residentieel en gelijkgesteld, percentage van het totaal

65% van de variatie in het bijhorende jaarlijkse eindverbruik blijkt te verklaren door de schommelingen in het jaarlijkse aantal graaddagen ( $D_{15}^{15}$ ). Na correctie daarvoor blijft een jaarlijkse toename over van ongeveer 2 Petajoule of 0.05%. Zoals door Hens et al, 1997, al naar voor geschoven, lijkt het milderende effect van de wetgeving het nog steeds af te leggen van de toename in aantal huishoudens, van 2.39 miljoen in 1999 naar 2.47 miljoen in 2009, en daarmee van het toenemend aantal wooneenheden en utiliteitsgebouwen. Wat betreft de emissie van broeikasgassen in België ziet de evolutie voor de sector gebouwen er analoog uit. Tussen 1990 en 2010 was er een toename met 18% (figuur 2).

Intussen wordt het geheel aan wettelijke eisen versneld strenger. Drijfveer is de 20/20/20 doelstelling van de EU, d.w.z. de betrachting om tegen 2020 Europa wijd 20% minder energie te verbruiken dan in een als gebruikelijk scenario, het aandeel duurzaam in de totale energieproductie op te drijven tot 20% en de CO<sub>2</sub>-emissies met 20% te drukken ten opzichte van 1990. Terugblikkend naar 1992 en kijkend naar 2021 schetsen de tabellen 1, 2 en 3 de geplande evolutie aan eisen voor de residentiële nieuwbouw (Vlaamse regering, 2013).

Daarnaast dient sinds 1 januari 2012 de berekende netto energiebehoefte voor verwarming beperkt te worden tot wat het laagste scoort in kWh per vierkante meter vloeroppervlakte: 70 of 100-25C met C de compactheid van het woongebouw (zie termen en definities in Addendum I).



Figuur 2. België, emissie aan broeikasgassen in megaton CO<sub>2</sub> equivalenten (bron: Belgium GHG emissions inventory)

Tabel 1. Maximale warmtedoorgangscoefficiënt ( $U_{\max}$ ) van bouwdeelen en minimale warmte-weerstand ( $R_{\min}$ ) van deze op de grond zonder het isolerende effect ervan in geval van nieuw- en vernieuwbouw (vanaf 1 januari van het aangegeven jaar).

Bouwdeel	$U_{\max}(W/(m^2.K)) / R_{\min}(m^2.K/W)$							
	jaar	1992	2006	2010	2012	2014	2015	2016.
Verliesoppervlakte								
Ramen als geheel		3.5	2.5	2.5	2.2	1.8	1.8	1.5
Het glas			1.6	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1
Daken en bovenste plafonds		0.6	0.4	0.3	0.27	0.24	0.24	0.24
Opake geveldelen		0.6/1.0	0.6	0.4	0.32	0.24	0.24	0.24
Gordijngewels als geheel		3.5	2.9	2.9	2.2	2.0	2.0	2.0
Het glas			1.6	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1
Muren onder het maaiveld		/ 1	/ 1	/ 1	/1.3	0.4/1.5	0.4/1.5	0.24
Vloeren								
<i>In contact met de buitenlucht</i>		0.6	0.6	0.6	0.35	0.3	0.3	0.24
<i>Boven niet vorstrijke ruimten</i>		0.6	0.4 / 1	0.4 / 1	0.35 /1.3	0.3 /1.75	0.3 /1.75	0.24
<i>Boven vorstrijke ruimten</i>		0.9	0.4 / 1	0.4 / 1	0.35 /1.3	0.3 /1.75	0.3 /1.75	0.24
<i>Op volle grond</i>		1.2	0.4 / 1	0.4 / 1	0.35 /1.3	0.3 /1.75	0.3 /1.75	0.24
Buitendeuren en poorten		3.5	2.9	2.9	2.2	2.0	2.0	2.0
Andere								
Gemene muren		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6
Scheidingsmuren tussen appartementen		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Muren in contact met kelders en kruipkelders buiten het beschermde volume		/ 1	/ 1	/ 1	/1.2	/1.4	/1.4	0.24

Tabel 2. Peil van warmte-isolatie (K-peil) (telkens vanaf 1 januari).

1992	1993	2006	2010	2012	2014	2015	2016...
65	55	45	45	40	40	40	40

Tabel 3. Peil van primair energieverbruik (E-peil) (telkens vanaf 1 januari).

2006	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2021..?
100	80	70	60	50	40	35	30

Sinds 1 januari 2014 moet daarenboven via installatie van een zonneboiler, fotovoltaïsche zonnecellen (PV), een warmtepomp, gebruik van biomassa, aansluiting op stadsverwarming of participatie in een project rond duurzame energie een minimum aandeel hernieuwbare energie in het primaire verbruik zitten. Bovendien mogen gemeenten in de toekomst nog striktere eisen opleggen (E-peil 10, 0..?).



Blijft de vraag of dit versneld verstrengen de verhoopte extra energiebesparing en afname in CO<sub>2</sub>-emissies zal opleveren, laat staan economisch zinvol is. Volstaat het adagio 'Europa wil het' om feiten, die uit onderzoek naar voor komen, te negeren? Te weinig aandacht gaat bijvoorbeeld naar bewonersgedrag of naar hoe het zit met duurzame energie op wijkniveau.

Vandaar voorliggend rapport, waarbij eerst op bewonersgedrag en gewoonten, hun effect op het eindverbruik voor verwarming bij woongebouwen en de grootschalige gevolgen daarvan wordt ingezoomd, om daarna te kijken naar de onverwachte effecten van een enthousiast omarmen van PV om tot zogenaamde netto nulenergie wijken te komen.

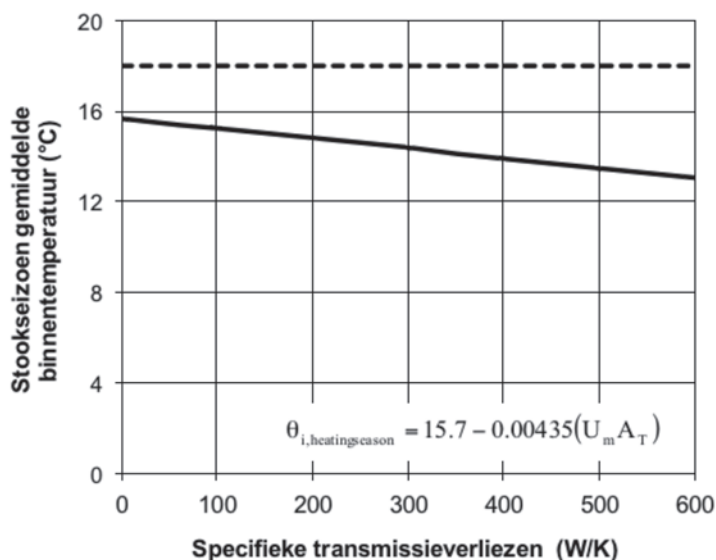
## 2. Bewonersgedrag bij woongebouwen

### 2.1 Wat?

Mensen verlangen diensten. Bij woongebouwen is dit onder andere een goed thermisch comfort, wat, door de eindenergie ervoor nodig, geld kost. Naast leefgewoonten bepaalt prijsbewustzijn daardoor mee wat als 'goed' wordt aanzien. Is 'dag en nacht comfortabel in de ganse woning' te duur, d.w.z. vraagt dit teveel eindenergie en moet men die zelf betalen, dan stellen velen zich met minder tevreden. Ervaart men na het uitvoeren van energiebesparende maatregelen de stookkosten als veel lager, dan blijkt de kans groot dat ook het verwarmingsgedrag wijzigt en het globaal minder zuinig wordt. Om die aanpassing in gedrag en verbruik aan te duiden gebruikt men in de literatuur vaak de term 'rebound'.

### 2.2 Feiten die wijzen op een specifiek bewonersgedrag

Van 47 verschillende woningen, gebouwd tussen 1921 en 1986, is nagegaan bij welke gemiddelde binnentemperatuur over het stookseizoen de referentieberekening volgens de energieprestatie regelgeving (EPB, 2006) eenzelfde verwarmingsverbruik gaf als gemeten, deze laatste na omrekening naar het referentiejaar uit de regelgeving. Zie figuur 3 met in abscis de specifieke transmissieverliezen, waarbij een hogere waarde op of een grotere verliesoppervlakte bij zelfde isolatiekwaliteit of een slechtere isolatie bij zelfde verliesoppervlakte duidt. De gevonden waarden liggen gemiddeld lager dan 18°C, de uniforme binnentemperatuur aangenomen in de energieprestatie rekenmethode (EPB, 2006), en daalt bij hogere specifieke transmissieverliezen. Dit wijst op een grotere impact van bewonersgedrag bij woningen met een grotere verliesoppervlakte en zelfde warmte-isolatie of een vergelijkbare verliesoppervlakte maar slechtere warmte-isolatie.



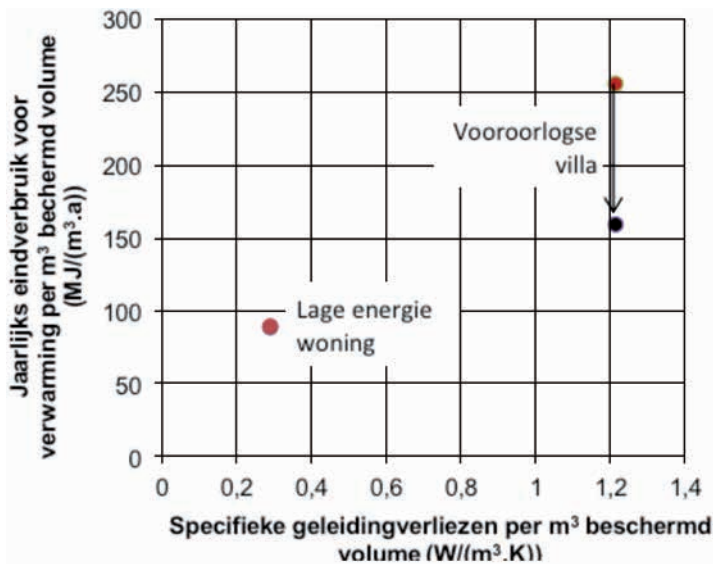
Figuur 3. Vergelijking van de 18°C constant uit de EPB, met de meest waarschijnlijke rechte tussen de stookseizoengemiddelde binnentemperatuur en de specifieke transmissieverliezen

Tussen 1972 en 2008 werd gedurende langere tijd de luchttemperatuur gemeten in de woon-, slaap- en badkamer van niet tot amper geïsoleerde rij-, hoek- en alleenstaande sociale en andere woningen (Hens, 2010). Tussen 2002 en 2006 gebeurde hetzelfde in geïsoleerde rij-, hoek- en alleenstaande woningen (Vandepitte, 2006). Voor de resultaten, zie tabel 4. In de slaapkamers liggen de gemeten temperaturen gemiddeld lager en zijn ze afhankelijker van de buitentemperatuur dan in de woonkamers. Dit wijst op alleen verwarmen als nodig, d.w.z. specifiek bewonersgedrag.

Tabel 4. Gemeten temperaturen ( $q_i$ ) in woon-, slaap- en badkamers.

	Aantal data	$\theta_i = a + b\theta_e$		Correlatiecoëfficiënt
		a (°C)	b (-)	
Niet geïsoleerde woningen, weekgemiddelden				
Woonkamers	283	19.5	0.11	0.06
Slaapkamers	338	13.8	0.32	0.26
Badkamers	37	16.5	0.34	0.43
Geïsoleerde woningen, daggemiddelden				
Woonkamers	39	19.3	0.22	0.89
Slaapkamers	78	15.6	0.42	0.95
Badkamers	39	19.9	0.20	0.82

Een niet-geïsoleerde vooroorlogse villa, compactheid 1.6 m, gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt 1.94 W/(m<sup>2</sup>.K), en een alleenstaande lage energie woning, compactheid 1.35 m, gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt 0.4 W/(m<sup>2</sup>.K), hadden beide radiatorverwarming, bij de lage energiewoning met thermostaatkranen op de radiatoren en een hoog rendement gasketel. Aan de bewoners werd gevraagd de woning gedurende 6 weken integraal te verwarmen en dan terug hun alledaagse stookgewoonten aan te houden. Figuur 4 toont het bijhorende verbruik per kubieke meter beschermd volume na omrekening naar het referentiejaar.



Figuur 4. De twee woningen, gedeeltelijk en integraal verwarmd

Terwijl in de lage-energiewoning amper verschil te zien is tussen beide, leiden de alledaagse stookgewoonten bij de villa tot 39% minverbruik. Blijkbaar neemt, naarmate een woning beter geïsoleerd is, de impact van bewonersgedrag af.

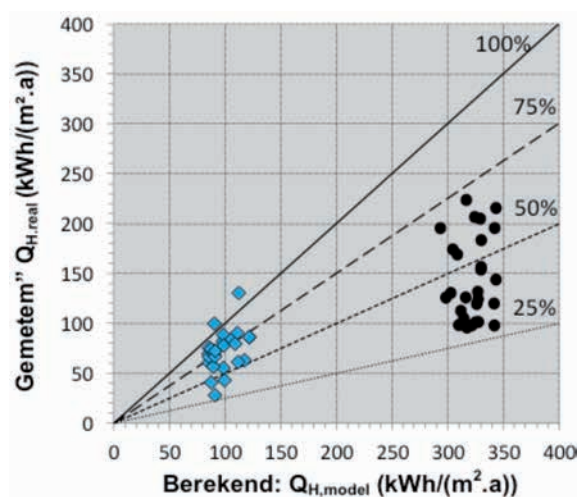
Bij twee sociale woonwijken, CS1 en CS3, werd het gemeten eindverbruik voor verwarming (symbool  $Q_{H,real}$  in kWh/(m<sup>2</sup>.a),  $Q_{heat,a,meas}$  in MJ/(m<sup>3</sup>.a)) vergeleken met wat de energieprestatie regelgeving voorspelt (symbool  $Q_{H,model}$  in kWh/(m<sup>2</sup>.a),  $Q_{heat,a,ref}$  in MJ/(m<sup>3</sup>.a)), zie tabel 5 en figuur 5 (Delghust et al, 2013). Als gezegd staat volgens de regelgeving het beschermde volume het ganze stookseizoen op 18°C, terwijl, tenzij gemeten wordt, de luchtdichtheid bij ontstentenis is vastgelegd op  $n_{50} = 12/C$  met C de compactheid en  $n_{50}$ , het ventilatievoud bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pa (zie termen en definities en EPB, 2006).

Tabel 5. De woonwijken CS1 en CS3: luchtdichtheid, eindverbruik voor verwarming.

Wijk		Aantal woningen	K-peil	E-peil	$n_{50}$ $h^{-1}$	$Q_{heat,a,ref}$ MJ/( $m^3 \cdot a$ )	$Q_{heat,a,meas}$ MJ/( $m^3 \cdot a$ )
CS1	Gemiddeld	36	-	-	12	386	173
	Standaarddeviatie					16	50
	Mediaan				10		
	25% grenzen				9-13		
	95%-grenzen				8.5-31		
CS3	Gemiddeld	26	45	100	3	119	86
	Standaarddeviatie					14	29

De wijk CS1 telde 36 woningen, gebouwd in de jaren 1960, alle met niet geïsoleerde spouwmuren, een pannendak, enkel glas en vrij luchttek, zie de hoge waarde voor  $n_{50}$  (tabel 5), terwijl verwarmen gebeurde met een gaskachel in de woonkamer en elektrische radiatoren in de badkamer en soms de slaapkamers. De wijk CS3 omvatte 26 goed luchtdichte woningen, gebouwd tussen 2006 en 2008. Alle hadden centrale verwarming op aardgas en een afzuigventilatie. Isolatiepeil en peil van primair energieverbruik voldeden aan de eisen van 1/1/2006, K45 en E100.

Bij beide ligt het gemeten gemiddelde eindverbruik voor verwarming ( $Q_{heat,a,meas}$ ) lager dan berekend ( $Q_{heat,a,ref}$ ), al is het procentuele verschil groter bij de wijk CS1 dan bij wijk CS3.



Figuur 5. Sociale wijken CS1 en CS3, gemeten (zwarte cirkeltjes voor CS1, blauwe ruitjes voor CS3) versus berekend eindverbruik voor verwarming (beide in kWh per vierkante meter vloeroppervlakte). De lijnen 25, 50, 75 en 100% staan voor gemeten een kwart, de helft, enz. van berekend.

Op zoek naar een verklaring is eerst gekeken naar de bewoners. De gemiddelde leeftijd in CS1 bleek hoger en de scholingsgraad lager dan in CS3. Verder werden in CS1 de slaapkamers amper en de badkamers doorgaans enkel bij gebruik verwarmd, wat in wijk CS3 minder het geval was. De woonkamers in CS1 bleken dan weer warmer (tot 28°C!) en meer uren per week verwarmd dan in CS3. In beide stonden overdag de meeste slaapkamerramen in ventilatiestand. Soms was dit ook het geval bij de keukens in CS1. Hoe dan ook, alle vaststellingen vertonen een behoorlijke spreiding, wat doet besluiten dat reboundgedrag statistisch benaderd dient te worden, al blijkt eenduidig dat de impact ervan op het verbruik voor verwarming groter is bij amper dan bij behoorlijk geïsoleerde woningen, zie tabel 6

Verder zijn uit een staal van 537 nieuwbouwwoningen er 325 gekozen voor eenzelfde vergelijking tussen gemeten en berekend. Daarbij ging het om 195 vrijstaande, 91 dubbel- en 13 rijwoningen. Gemiddeld bedroeg de vloeroppervlakte 257 m<sup>2</sup> met als uitschieters 63 en 788 m<sup>2</sup>. Het E-peil varieerde van lager dan 40 tot 70. Liefst 83% van de woningen had gebalanceerde ventilatie en bij 46% was 6 tot 90 m<sup>2</sup> PV geïnstalleerd. Anders gezegd, woningen bewoond door families, die tot de hogere inkomensklasse behoren (UGent, 2013) (tabel 6).

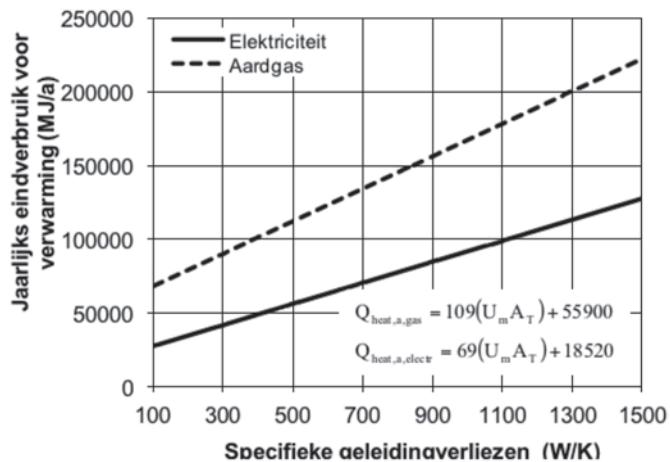
Tabel 6. Woningkenmerken.

E-peil	≤ 40	40-50	50-60	60-70	Totaal
Aantal	70	86	183	199	537
Woningtype	Vrijstaand		Half open		Rij
%	68		28		4
Oppervlakte	Gemiddeld				
m <sup>2</sup>	257 (extremen: 63 en 788 m <sup>2</sup> )				
Ventilatiesysteem	Natuurlijk	Toevoer	Afzuig	Gebalanceerd	
%	0.95	1.91	13.7	83.4	
Verwarming	Warmtepomp		Andere		
%	22		78		
PV	Wel		Niet		
%	46		54		

Gemiddeld lag in de woningen met verwarming op aardgas het berekende eindverbruik 27% hoger dan gemeten, zij het met een grote spreiding. Op zoek naar verklaringen is eerst gekeken naar de gebouwkenmerken. Zo bleek de luchtdichtheid, gemeten in een deel van de woningen, lager dan de waarde bij ontstentenis uit de EPB. Bij gebruik van deze gemeten waarde schoof de berekende waarde richting gemeten. Ook het rendement van de condensatieketels toonde onzekerheid terwijl het verbruik voor warm tapwater afweek van de waarde volgens de EPB. Bleef, het niet verwarmen van de slaapkamers. Dit verklaarde tot 25% van het verschil tussen gemeten en berekend. Of, terug was duidelijk dat ook bij lage energie woningen de bewonersgewoonten voor een, zij het kleinere, afname van het eindverbruik voor verwarming zorgden.

Bij 201 met aardgas of stookolie en 16 direct elektrisch verwarmde woningen kon het prijseffect van de energiedrager op het bewonersgedrag geanalyseerd. In Vlaanderen was en is

directe elektrische verwarming per kWh eindverbruik een stuk duurder dan stoken op aardgas of stookolie. Figuur 6 toont het resultaat. Bij eenzelfde specifiek geleidingverlies wordt gemiddeld in de direct elektrisch verwarmde woningen minder verbruikt. Zijn 201 woningen een mooi getal om statistiek op los te laten, 16 woningen zijn dat niet. Toch lijkt een en ander erop te wijzen dat hogere energiekosten tot zuiniger stoken aanzetten. Natuurlijk kan het dat de 16 gezinnen in de direct elektrisch verwarmde woningen toevallig kleiner waren dan gemiddeld in de 201 met aardgas of stookolie verwarmde woningen, al leek dit niet het geval.



Figuur 6. Jaarlijks eindverbruik voor verwarming, aardgas en directe elektriciteit

## 2.3 Bewonersgedrag statistisch

### 2.3.1 Reboundfactor

Wil men gemiddeld op eenduidige wijze de impact van bewonersgedrag begroten, dan wordt, zoals bij de twee wijken CS1 en CS3 en de 325 woningen, in elk land als referentie best het jaarlijkse eindverbruik voor verwarming, berekend volgens de er geldende energieprestatie methodiek ( $Q_{heat,a,ref}$  in MJ/a) genomen. Daarop wordt dan een zodanige reductie toegepast dat de uitkomst samenvalt met het gemeten eindverbruik, zij het wel na normering voor wat gemeten werd via omrekening naar het aantal graaddagen in het referentiejaar voor de binnentemperatuur uit de regelgeving ( $Q_{heat,a,meas,norm}$ ):

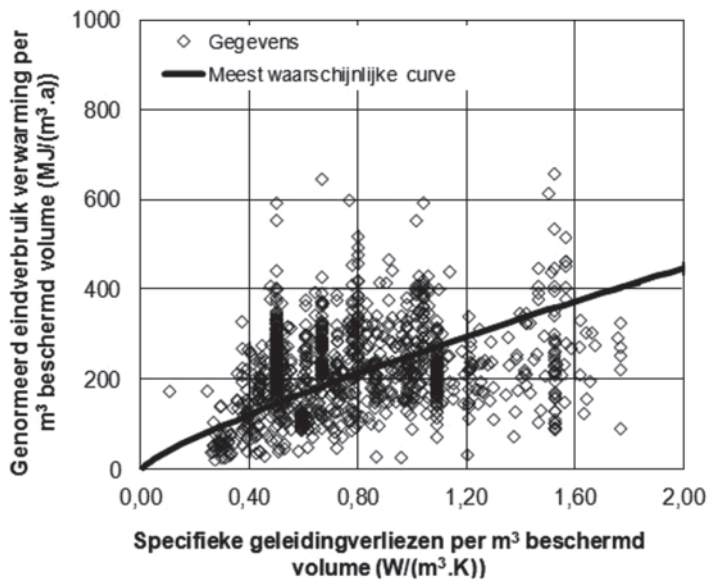
$$Q_{heat,a,meas,norm} = (1 - a_{rebound}) Q_{heat,a,ref} \quad (\text{MJ/a}) \quad [1]$$

In deze vergelijking staat  $a_{rebound}$  voor wat gemeenzaam de reboundfactor wordt genoemd. Hoe dichter die bij 1 ligt, des te meer verlagen stookgewoonten het genormeerde gemeten eindverbruik in vergelijking met de berekende referentie.

### 2.3.2 Vlaanderen

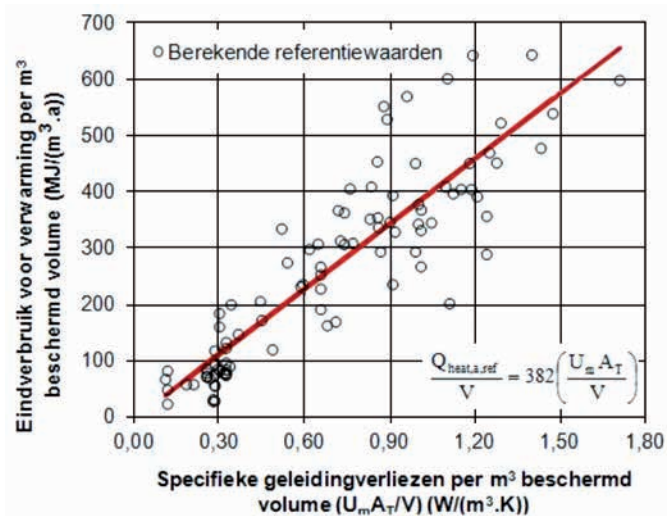
Om statistisch bruikbaar te zijn wordt de reboundfactor gekoppeld aan een variabele, die bij woongebouwen vrij correct te berekenen valt, te weten: het specifieke transmissieverlies per kubieke meter beschermd volume. Dit laatste neutraliseert meteen de impact van verschillen in volume. Om dan de reboundfactor te begroten is een relatie nodig tussen deze variabele en het genormeerde gemeten jaarlijkse eindverbruik voor verwarming enerzijds en het jaarlijkse eindverbruik voor verwarming volgens de EPB anderzijds.

Ter beschikking stond het genormeerde gemeten eindverbruik, het specifieke geleidingverlies en het beschermde volume van 1050 andere wooneenheden dan de net besproken 2 sociale wijken en 325 nieuwbouwwoningen. Met deze 1050 is figuur 7 geconstrueerd, waarbij de ruitjes de meetwaarden per kubieke meter beschermd volume voorstellen en de lijn een meest waarschijnlijke curve erdoor geeft.



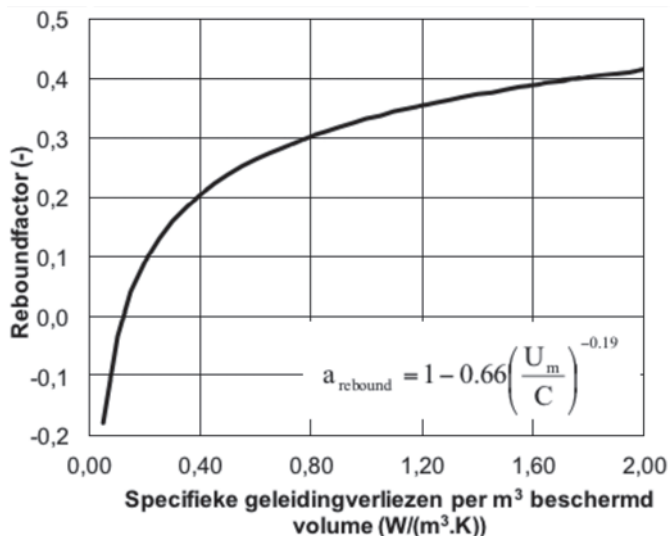
Figuur 7. Wolk met het genormeerde, gemeten eindverbruik in 1050 woningen van alle slag

Audits op 95 bestaande woningen lieten toe het jaarlijkse eindverbruik, berekend volgens de energieprestatie-regelgeving, te koppelen aan het specifieke geleidingverlies, beide per kubieke meter beschermd volume. Voor het resultaat, zie figuur 8. De cirkeltjes geven de rekenresultaten, de volle lijn de meest waarschijnlijke rechte.



Figuur 8. De referentie

Uit beide volgde als statistisch waarschijnlijke reboundfactor de curve van figuur 9.



Figuur 9. Vlaanderen, rebound factor statistisch



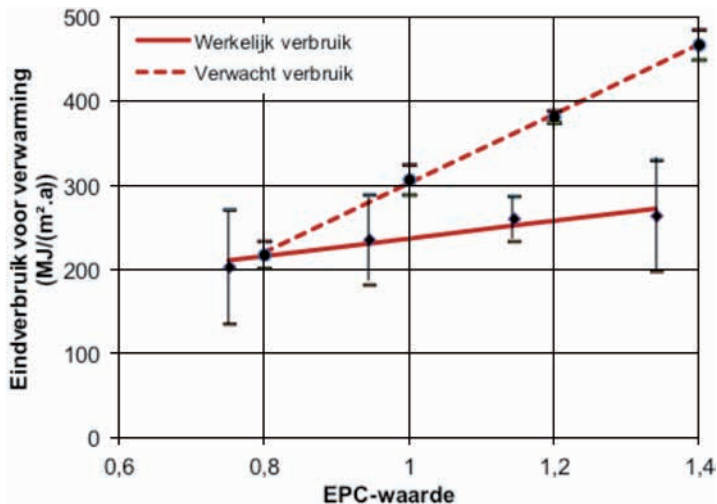
Eruit blijkt dat het effect van bewonersgedrag inderdaad afneemt naarmate woongebouwen energetisch beter zijn, zoals het geval was bij de vooroorlogse villa, de lage-energiewoning en de woonwijken CS1 en CS3 (tabel 7).

Tabel 7. De woonwijken CS1 en CS3: reboundfactor.

Wijk	Aantal woningen	$a_{\text{rebound}}$	
		Gemiddeld	Standaarddeviatie
CS1 (niet geïsoleerd)	36	0.55	0.13
CS3 (K45, E100)	26	0.27	0.22

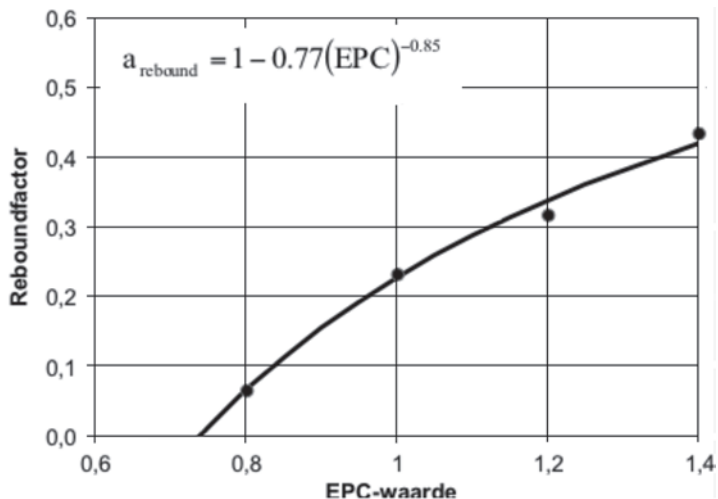
### 2.3.3 Nederland

In 2011 werd het eindverbruik in 200 000 woningen vergeleken met wat het energieprestatiecertificaat voorspelde (Itard, 2012). Dit hanteert als kwaliteitsgetal de EPC-waarde, de verhouding tussen het berekende primaire energieverbruik en een referentie. Het resultaat was figuur 10 met in abscis de EPC-waarde en in ordinaat het berekende en gemeten eindverbruik voor verwarming, inbegrepen de spreiding op de genoteerde waarden.



Figuur 10. Nederland, verschil tussen berekend en werkelijk eindverbruik (Itard, 2012)

De besparing, gekoppeld aan de steeds strengere EPC-eisen, bleek veel kleiner dan berekening aangaf. Reden is ook hier het bewonersgedrag. Aan de hand van beide rechten kan een meest waarschijnlijke reboundfactor in relatie tot de EPC-waarde berekend, zie figuur 11.

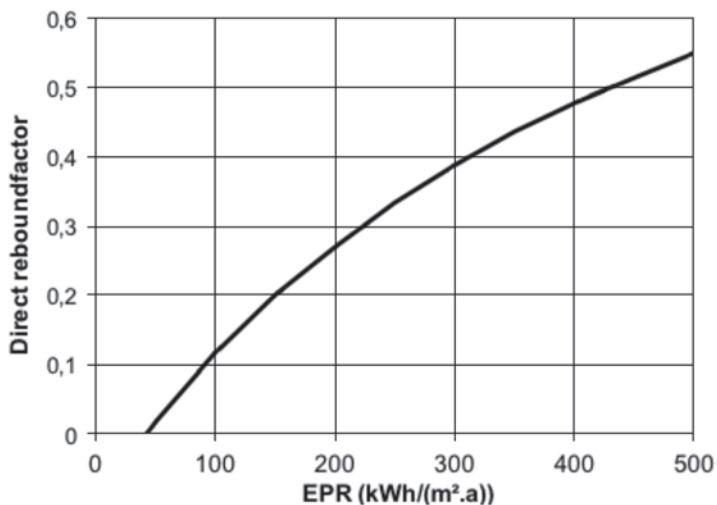


Figuur 11. Nederland, reboundfactor statistisch

Opnieuw blijkt statistisch het effect kleiner naarmate woongebouwen energetisch zuiniger zijn (EPC lager). Guerra-Santín et al, 2010, gingen na wat speelt. Zo bleek het aantal uren dat meerdere ruimten verwarmd worden belangrijker dan hoe hoog de temperatuur er was ingesteld. Ook gaf de combinatie ‘programmeerbare thermostaat en balansventilatie met warmte-terugwinning’ minder besparing dan de combinatie ‘manuele thermostaat en afzuigventilatie’. Blijkbaar denken bewoners dat een programmeerbare thermostaat het zonder meer beter doet, terwijl men afzuigventilatie meer dan balansventilatie uitschakelt. Gepensioneerden toonden minder reboundgedrag. Logisch, gezien zij dikwijls de ganse dag thuis zijn. Merkwaardig was ook dat meer ramen langer open houden niet tot meer, maar eerder tot minder eindverbruik leidde. Reden bleek dat in kamers met open ramen de verwarming afstond.

#### 2.3.4 Duitsland

Ook in Duitsland wordt de reboundfactor statistisch gekoppeld aan de energieprestatie-berekening. Deze combineert het jaarlijkse primaire energieverbruik voor verwarming met dat voor warm tapwater, beide per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte (Sunikka-Blank et al, 2012), figuur 12.



Figuur 12. Duitsland, reboundfactor statistisch

Terug neemt statistisch het effect van bewonersgewoonten af naarmate woongebouwen energetisch efficiënter zijn (EPR lager).

### 2.3.5 *Verenigd Koninkrijk (UK)*

De standaard rekenmethode in Engeland en Wales maakt bij de binnentemperaturen een onderscheid tussen de dagzone en de overige ruimten. Tijdens de week wordt de dagzone van 7 tot 9 en van 16 tot 23 uur, tijdens de weekends van 7 tot 23 uur op 21°C ondersteld. De overige ruimten worden tijdens diezelfde tijdsintervallen 18°C warm genomen.

Huebner et al, 2013, bespreekt de resultaten van temperatuurmetingen in de woonkamers van 248 woningen. Deze tonen een grote spreiding in aantal uren en temperaturen tijdens week en weekend met als gemiddelde 10 uren op 19.5°C, d.w.z. lager dan 21°C. Over de overige ruimten zeggen de auteurs niets maar uit gegevens verzameld door Sanders, 1996, blijkt dat deze amper verwarmd werden. Kelly, 2011, wijst erop dat ook in de UK het verschil tussen berekend en gemeten afneemt naarmate woningen energie-efficiënter zijn.

### 2.3.6 *Frankrijk*

Sunikka-Blank et al, 2012, stelden in Frankrijk een analoge impact van de bewonersgewoonten op het werkelijke eindverbruik voor verwarming vast.

## 2.4 Bewonersgedrag en de fysica?

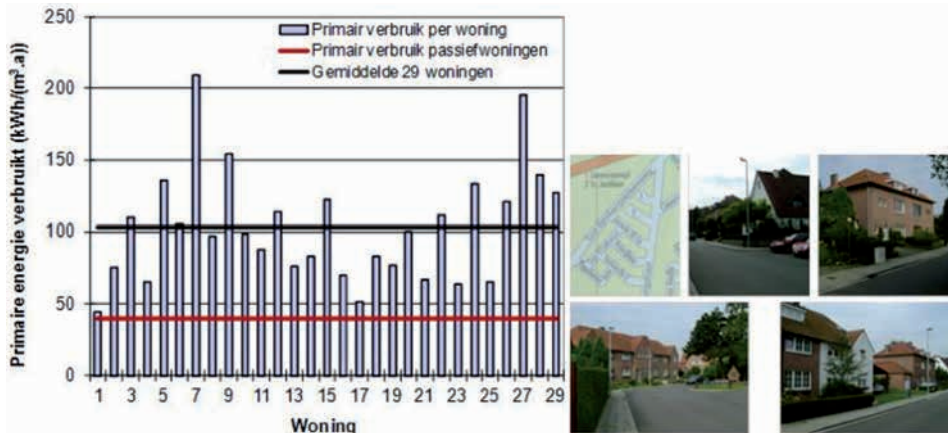
In de vier landen en de regio Vlaanderen zijn de voornaamste elementen van bewonersgedrag het niet tot beperkt verwarmen van de nachtzone, wat uit hoofde slaapcomfort geen problemen stelt, ja, zelfs gezond blijkt, en een dag/nacht en aanwezig/afwezig regeling. Ondanks dit wijdverspreid gedrag, gaan de rekenmethoden en de indicatoren, die de meeste regelgevingen, tenzij de UK, hanteren, uit van uniform en continu verwarmde woongebouwen. Als uit de statistische relaties voor de reboundfactor blijkt, neemt de bijhorende besparing nu af naarmate woongebouwen energie-efficiënter zijn. De verklaring volgt mee uit de fysische werkelijkheid. Zijn woongebouwen beter geïsoleerd, luchtdichter, kennen ze meer zonnewinsten en worden ze efficiënter geventileerd, dan gaat bij gedeeltelijk en intermitterend verwarmen de gemiddelde binnentemperatuur in de niet-verwarmde ruimten en tijdens het niet verwarmen de hoogte in, waardoor, als tabel 8 toont, het effect van de woongewoonten kleiner moet zijn.

Tabel 8. Eenvoudig gebouw, invloed fysisch van de energetische kwaliteit op het niet verwarmen van de nachtzone.

Woning	$U_m$ W/(m <sup>2</sup> .K)	$n_{50}$ h <sup>-1</sup>	Eindverbruik verwarming MJ/a		$a_{rebound}$ 1-(2)/(1) %
			EPB (1)	2 <sup>e</sup> niveau niet verwarmd (2)	
Kubus, 10 × 10 m, 2 verdiepingen, V = 600 m <sup>3</sup> , A <sub>T</sub> = 540 m <sup>2</sup> , zuid glas	1.48	12	204590	143060	30
	0.27	12	58870	50930	13
	0.27	3	38580	36310	6

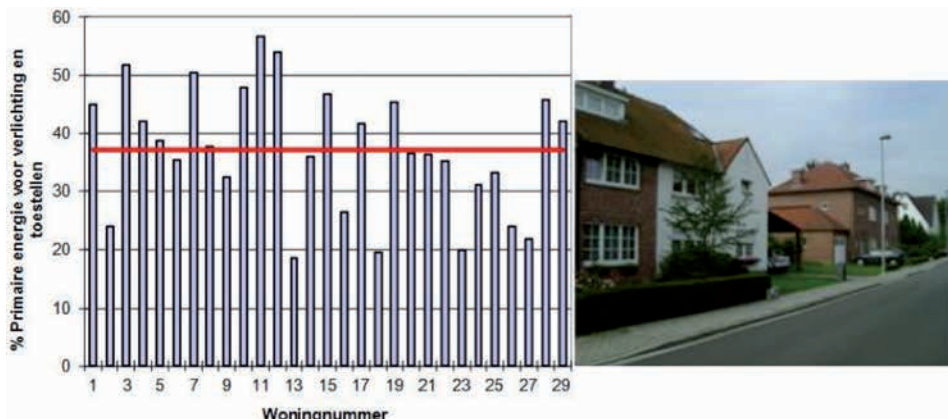
## 2.5 Gevolgen van bewonersgedrag

Een eerste en belangrijk gevolg is dat de bijkomende landelijke energiebesparing en de afname in uitstoot van broeikasgassen, waarop het strenger maken van de energieprestatiewetgeving rekt, kleiner zal uitvallen dan verwacht. Zo wordt bij passiefwoningen geclaimd dat het jaarlijkse primaire verbruik een factor 8 lager ligt dan bij niet-geïsoleerde woningen. Voor de 29 woningen uit figuur 13, alle daterend uit de jaren 1950, bleek dit een factor 2.6 te zijn. Daardoor lijkt het regionaal opleggen van te extreme eisen aan nieuw- en vernieuwbouw minder zinvol, omdat vergeleken met de bijkomende jaarlijkse energiebesparing in euro's, de extra bouwkosten te hoog zullen uitvallen om over de gebruiksduur door dezelfde bewoners in totale actuele waarde terugverdiend te raken.



Figuur 13. Primair energieverbruik in 29 woningen, gebouwd in de jaren 1950

Een tweede gevolg is dat, dank zij de stookgewoonten, verlichting en toestelgebruik doorgaans meer bijdragen aan het jaarlijkse primaire verbruik dan gedacht. Een idee van het gemiddelde jaarlijkse eindverbruik per toestel geeft tabel 9. In de kolommen 4 en 5 staan toeslagen, respectievelijk per effectief gezinslid en per vierkante meter woonoppervlakte (Hens, 2014). Uit meting bij de 29 woningen van figuur 13 bleek het aandeel van verlichting en toestelgebruik in het totale jaarlijkse primaire energieverbruik gemiddeld 38% te bedragen met een uitschieter naar boven van 56% en een laagste waarde van 18%, zie figuur 14.



Figuur 14. Aandeel verlichting en toestellen in het jaarlijkse primaire energieverbruik

Tabel 9. Gemiddeld jaarlijks elektriciteitsverbruik van verlichting en toestellen.

Apparaat	Energielabel	Basis kWh/a	Toeslag effectief gezinslid kWh/(a.pers)	Toeslag woon- oppervlakte. kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kookfornuis	A++	244	57	0,03
	A+	284	66	0,03
	A	382	89	0,05
	B	512	120	0,06
	C	650	152	0,08
Vaatwas	A	263	63	0,02
	C	360	86	0,03
Wasmachine	A	228	65	0,02
	C	300	86	0,03
Droogmachine	A	356	46	0,02
	C	440	57	0,03
Verlichting, gloeilampen		700	190	0,69
Verlichting, spaarlampen, LEDs		233	53	0,23
Koelkast	A+	138	44	0,03
	C	270	85	0,06
Diepvries	A+	205	68	0,03
	C	400	133	0,06
Koelkast met vriesvak	A+	274	86	0,06
	C	959	302	0,21
PC, kathode beeldscherm		150	0	0
PC, LCD beeldscherm		75	0	0
Andere		400	161	2,08

Een derde, wat onzekerder gevolg is dat, in geval populaire energiedragers als aardgas en stookolie goedkoper worden, wat voor olie sinds juli 2014 het geval is, en dit een aantal jaren aanhoudt, een meer verkwistend bewonersgedrag terug de regel kan worden. Daardoor zou het eindverbruik in het woningbestand stijgen en de doelstelling ‘extra besparen’ nog meer ondergesneeuwd raken. Zeker bij energiezuinige woningen bestaat het gevaar dat de bewoners de energiekost voor verwarming dan als zo laag zullen ervaren dat meer comfort de regel wordt.

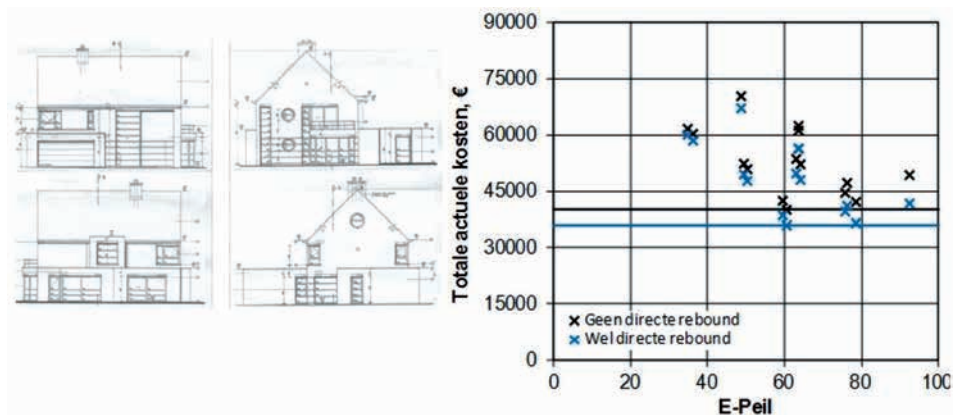
## 2.6 Wat met het economische optimum?

Het typische bewonersgedrag blijkt amper invloed te hebben op welke combinatie aan energiebesparende ingrepen economisch optimaal is, bij woongebouwen gedefinieerd als wat over 30 jaar bewoning door dezelfde een minimum in totale geactualiseerde kost oplevert.

Neem de woning van figuur 15. Zowel zonder als met het inrekenen van het statistisch gemiddelde bewonersgedrag blijkt een peil van primair energieverbruik E58-E61 optimaal, maar vallen, dank zij dit gedrag, de totale geactualiseerde kosten lager uit (KU Leuven, rapporten EPW-PUR, 2004). De bijhorende ingrepen zijn deze uit tabel 10. Geen is extreem.  $0.24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , de warmte-doorgangscoefficiënt, die de EPB vanaf 1/1/2016 oplegt, ligt dicht bij optimaal. Hetzelfde geldt voor het glas en de ramen. Opvallend is ook dat, als bij passiefwoningen, geen luchtdichtheid  $n_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1}$  nodig is en de installaties eenvoudig blijven.

Tabel 10. Woning figuur 15, wat voor E58-E61?

	Gevel	Plat dak	Hellend dak	Vloeren
Warmte-doorgangscoefficiënt ( $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )	0.26	0.33	0.26	6 cm isolatie
<i>Wettelijk vereist vanaf 1/1/2016</i>	<i>0.24</i>	<i>0.24</i>	<i>0.24</i>	<i>0.24</i>
Ramen en glas	Hout, argongevuld, lage emissie dubbel glas ( $U_{\text{glas}} = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , $U_{\text{raam}} = 1.5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ),			
Luchtdichtheid	$n_{50} 3 \text{ h}^{-1}$			
Verwarming	Centraal, aardgas, hoog rendement of condensatieketel, radiatoren met thermostaatkranen			
Ventilatie	Ontworpen systeem van natuurlijke ventilatie			



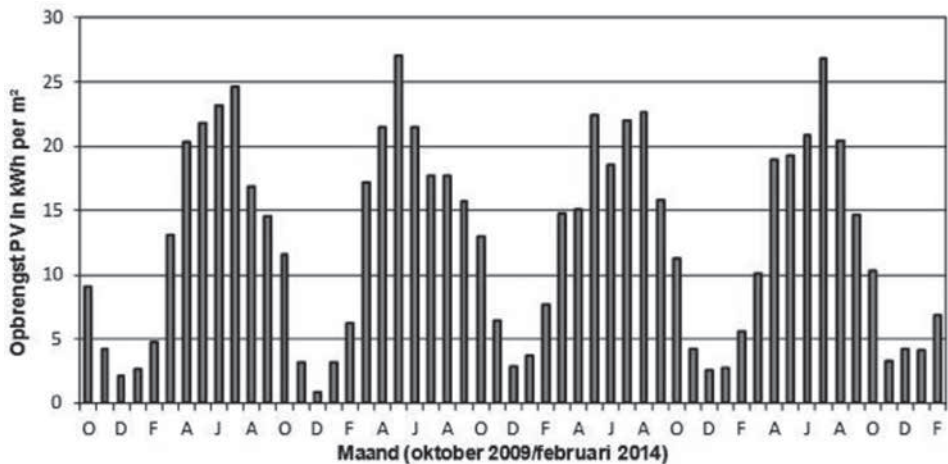
Figuur 15. Woning, totale geactualiseerde kosten en economisch optimaal E-Peak

### 3. Netto nul energie en PV op wijkniveau

#### 3.1 De EPB en netto nul energie (nZeB)

Als gedefinieerd op basis van de EPB (E-peil = 0) zijn netto nul energie woongebouwen (nZeB's) niet echt netto nul. Ten slotte dient enkel voldoende PV geïnstalleerd om bij het opgelegde gebruikspatroon het primaire verbruik voor verwarming, warm tapwater en de bijhorende hulpfuncties over het typejaar elektrisch te compenseren. Verlichting en toestelgebruik vallen erbuiten.

Nu produceert PV in het zonnarme winterklimaat van West Europa tijdens de maanden november, december, januari en februari amper elektriciteit (zie figuur 16). Zorgt een warmtepomp voor verwarming en wordt het warme tapwater met dagstroom bereid, dan compenseert deze lage winterse productie nog iets, maar verwarming met aardgas of stookolie heeft er quasi niets aan. Tijdens de warme jaarhelft wordt dan weer behoorlijk wat elektriciteit opgewekt maar dient niet verward. Een groot deel ervan gaat dan ook via de omvormer het net in terwijl een klein deel het netverbruik voor verlichting en toestelgebruik drukt, wat buiten de energieprestatie-regelgeving valt. Waarom maar een klein deel? Verlichting en toestelgebruik pieken doorgaans 's morgens en 's avonds, terwijl op zonnige dagen PV de meeste elektriciteit rond de middag produceert.



Figuur 16. PV, gemeten opbrengst per m<sup>2</sup> (dak met helling 40°, oriëntatie ZW)




Netto nul betekent volgens de EPB dat woongebouwen 's winters aardgas, stookolie en door het net geleverde elektriciteit verbruiken en 's zomers bij wat grotere PV installaties tot 70% van de dan vrij overvloedig opgewekte elektriciteit het net insturen. Daar kan dit, als het op wat grotere schaal gebeurt en afschakelen niet mogelijk is, tijdelijk voor een teveel aan stroom zorgen, die in het net dient opgeslagen. Hoewel het lokale net niet voor een dergelijke wisselende stroomtoevoer is ontworpen, stelt dit theoretisch geen probleem. Wel kunnen bij hoge PV-productie overspanningen ontstaan in “zwakke” lokale laagspanningsnetten door een onvoldoende capaciteit van de kabels en transformatoren, die het laagspanning met het middenspanning net verbinden.

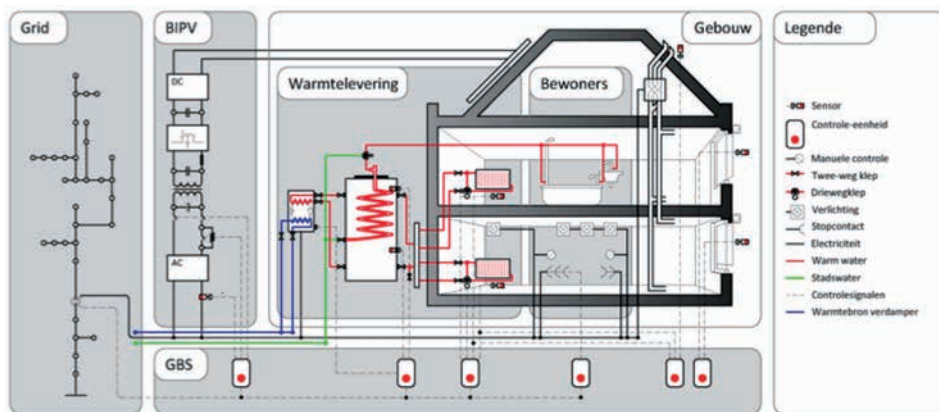
### 3.2 Gebouwen en elektrische netwerken

Met dit voor ogen is gesimuleerd wat gebeurt in een wijk met 33 alleenstaande netto nul woningen, die in theorie op jaarbasis evenveel elektrische energie produceren als aan primaire energie nodig is voor verwarming, ventilatie, warm tapwater, verlichting en toestelgebruik (Energie Instituut KU Leuven, 2011). Tabel 11 toont de 4 woningtypes uit de wijk met hun voornaamste kenmerken (Allacker, 2010).

Tabel 11. Gebouwkenmerken.

Woningkenmerken	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
				
Verwarmde vloeroppervlakte (m <sup>2</sup> )	127	98	149	123
Raam/vloer verhouding (-)	0.12	0.19	0.16	0.13
Compactheid (m)	1.23	1.10	0.81	1.18
Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt (W/(m <sup>2</sup> K))	0.15	0.17	0.16	0.16
Vermogen verwarming (W)	2600	2740	3220	3190

De isolatiedikten vallen samen met het economische optimum voor woongebouwen (Verbeeck, 2007). De woningen zijn zeer luchtdicht ( $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ ) en in elk zorgt een modulerende lucht/water warmtepomp, gekoppeld aan een buffervat, voor warm tapwater en ruimteverwarming. Een gebalanceerd ventilatiesysteem met lucht/lucht warmterugwinning, rendement 84%, staat in voor de bewuste ventilatie. Buitenzonwering en het openen van ramen voorkomt oververhitting. Actieve koeling is er niet, Alle PV-panelen kijken zuid onder een hoek van 34°. Figuur 17 schetst hoe de woningen onderling gekoppeld zijn



Figuur 17. Schematische voorstelling van het wijkmodel in de IDEAS omgeving (BIPV = Building Integrated PV, GBS = Gebouw Beheer Systeem)

Typisch voor België is een laagspanningsnet van het radiale type. Dit betekent dat elke gebruiker via één route gevoed wordt. Zonder PV zijn er enkel verbruikers, waardoor de spanning in het net daalt naar het einde van de lijn toe. Vandaar dat de voedingstransformator hoger ingesteld staat dan 230 volt, hier  $230\text{ V} + 2\% = 234,6\text{ V}$ .

De injectie van elektriciteit uit PV doet deze "normale" vermogenstroom afnemen en bij hoge PV-productie omkeren. Hierdoor stijgt de spanning in dit lokale net. Bij massale productie door PV kan dit tot overspanning leiden. Voor netgekoppelde PV schrijven de normen momenteel als limiet voor de nominale spanning voor:  $230\text{ V} + 6\% = 243,8\text{ V}$ . Bij overschrijding schakelen de omvormers PV af, waardoor hun productie aan hernieuwbare elektriciteit nul wordt.

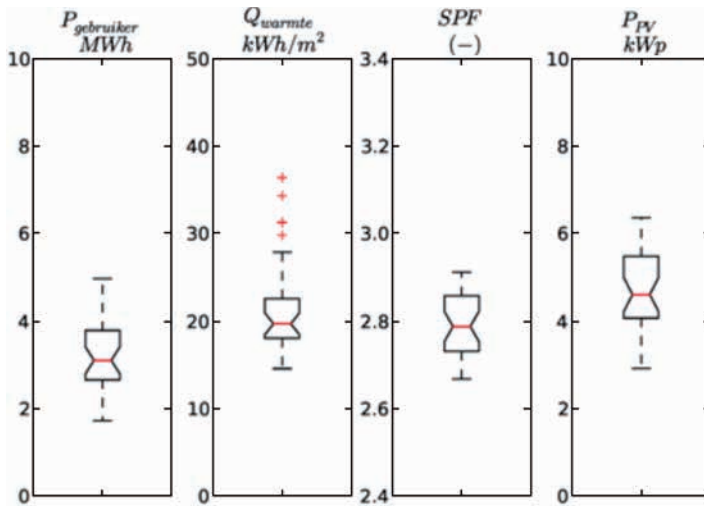
Dank zij een stochastische modellering van het woongedrag en van het gebruik van toestellen (Richardson et al, 2010) (FOD Economie, 2008) krijgt elke woning een eigen energieprofiel. Voor de elektriciteitsproductie door PV is gebruik gemaakt van meteogegevens op minuutbasis. Zo krijgt men een realistisch beeld van de tijdsafhankelijkheid van alle energiestromen (Baetens et al, 2012).

### 3.3 Energievraag en -productie

Figuur 18 toont links de jaarlijkse vraag naar elektriciteit voor verlichting en toestelgebruik en daarnaast deze voor ruimteverwarming en warm tapwater per vierkante meter verwarmde vloeroppervlakte. Als nummer drie volgt de seizoengemiddelde efficiëntie van de warmtepomp, terwijl rechts het geïnstalleerde piekvermogen aan PV staat, zo gekozen dat over het jaar de productie aan elektriciteit het primaire verbruik compenseert, wat gemiddeld neerkomt op een waarde van  $4,9 \pm 0,6\text{ kW}$ , met als extremen 2,2 en 7,1 kW. Dit vergt bij cellen met een piekvermogen

van 177 W per vierkante meter een oppervlakte aan PV van gemiddeld  $28 \pm 3 \text{ m}^2$  met als extremen 12 en  $42 \text{ m}^2$  PV. Natuurlijk dient vooraf nagegaan of daar voldoende dakoppervlakte voor ter beschikking staat.

Omwille van de continu andere weersomstandigheden, het aantal en het soort toestellen en het gebruikersgedrag zal niet elke netto nul ontworpen woning dat ook zijn. Dat maakt de graad van netto nul (nZeB-graad) variabel. Een graad 1 stelt woningen voor, waarbij PV exact het jaarlijkse elektriciteitsverbruik dekt, terwijl een graad 0.8 PV er 80% van levert.



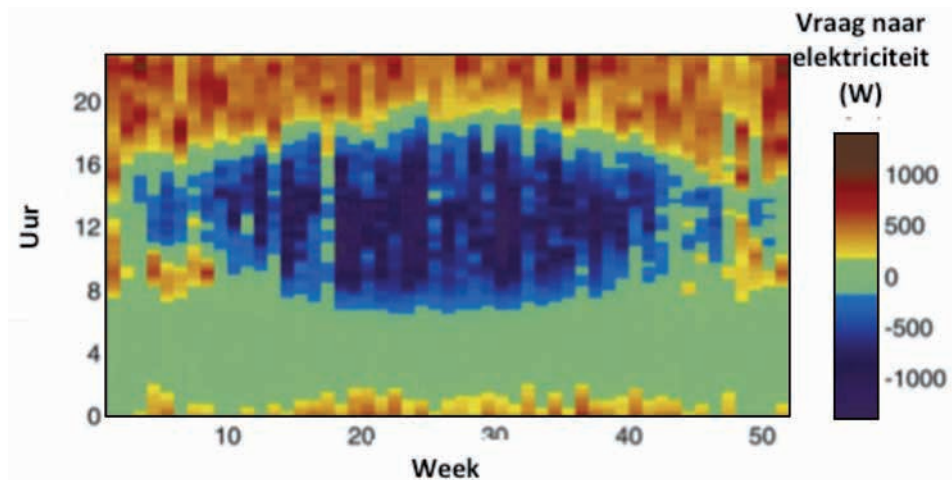
Figuur 18. Vraag naar elektriciteit voor toestelgebruik en verlichting ( $P_{\text{gebruiker}}$ ), warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater ( $Q_{\text{warmte}}$ ), seizoen gemiddelde efficiëntie van de warmtepomp (SPF), geïnstalleerd piekvermogen aan PV ( $P_{\text{PV}}$ , gemiddelde en spreiding).

### 3.4 Vraag naar en aanbod van elektriciteit niet in evenwicht

Evaluatie van dit evenwicht gebeurt via bepaling van de levering- ( $\gamma_s$ ) en vraagdekkinggraad ( $\gamma_D$ ). De leveringgraad drukt uit hoeveel van de elektriciteit door de PV-installatie geproduceerd in de woning zelf gebruikt wordt, d.w.z. staat voor het “eigenverbruik”, terwijl de vraagdekkinggraad zegt welke fractie van het totale primaire verbruik in de woning door de PV installatie wordt afgedekt, d.w.z. geeft de “eigenproductie” weer.

Algemeen heeft eender welke woning met weinig PV, neem een nZeB-graad 0,04, een hoge leveringgraad,  $0,92 \pm 0,05$ . Bijna alle geproduceerde elektriciteit wordt dan inderdaad in de woning zelf gebruikt, waardoor het net amper extra belast wordt. Bij werkelijk netto nul energie woningen, nZeB-graad 1, daarentegen zakt de leveringsgraad naar  $0,26 \pm 0,03$ , wat aangeeft dat

gemiddeld 74% van de geproduceerde elektriciteit het net ingaat. De bijhorende soms lage dagelijkse vraagdekkinggraden zijn een gevolg van de hoge warmtevraag 's winters en het feit dat tijdens de week veel bewoners overdag uit werken gaan en enkel van de avond tot de morgen daarop thuis zijn. Daardoor ligt de vraag het jaar door hoog als de zon niet schijnt. Ter illustratie schetst figuur 19 de richting van de stroom naar en van het net voor een netto nul energie woning (Reynders et al. 2013). Negatief (blauw in de figuur) betekent dat de woning elektriciteit levert aan het net, positief (rood in de figuur) dat die van het net komt.



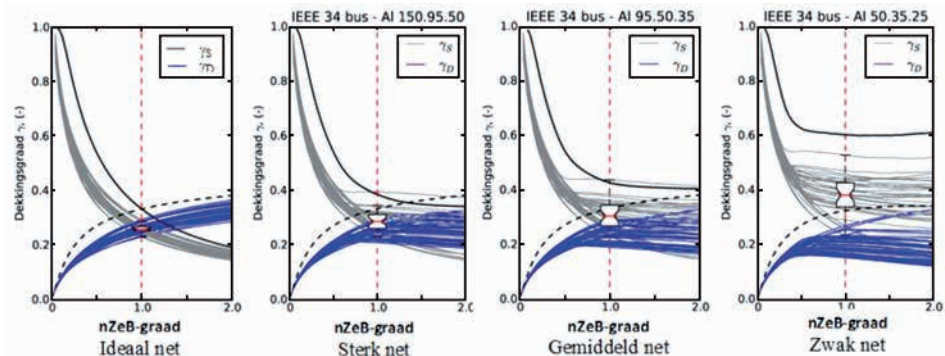
Figuur 19. Levering van elektriciteit uit en naar het net bij een netto nul energie woning met nZeB-graad 1 (positief, richting rood = uit het net, negatief, richting blauw = naar het net)

### 3.5 Invloed distributienet

Bij lokale distributienetten kunnen momentane verschillen in energievraag en productie, onder andere als gevolg van gebruikersgedrag, zorgen voor uitwisseling van elektrische energie tussen woningen. Afhankelijk van de netsterkte spelen daarbij twee beperkingen een rol: hogere spanning en extra kabelverliezen. De eerste mag de 6% niet overschrijden, de laatste mogen niet meer dan 1 à 2% bedragen. Daarnaast kan bij injectie van het surplus van alle PV in het voedingsnet op middenspanning de transformator tegen zijn maximum capaciteit aanbotsen. Figuur 20 toont de vraagdekkinggraden ( $\gamma_b$ ) op net- en woningniveau voor verschillende netconfiguraties in functie van de nZeB-graad van de woningen.

Op netniveau stijgt dank zij de uitwisseling van elektriciteit tussen de woningen de leveringgraad ( $\gamma_s$ ). Bij kleine PV-installaties, nZeB-graad 0,04, loopt die op tot 0,99, bij echt netto nul, nZeB-graad 1, tot 0,33. Ondanks deze verbetering tegenover geen uitwisseling tussen

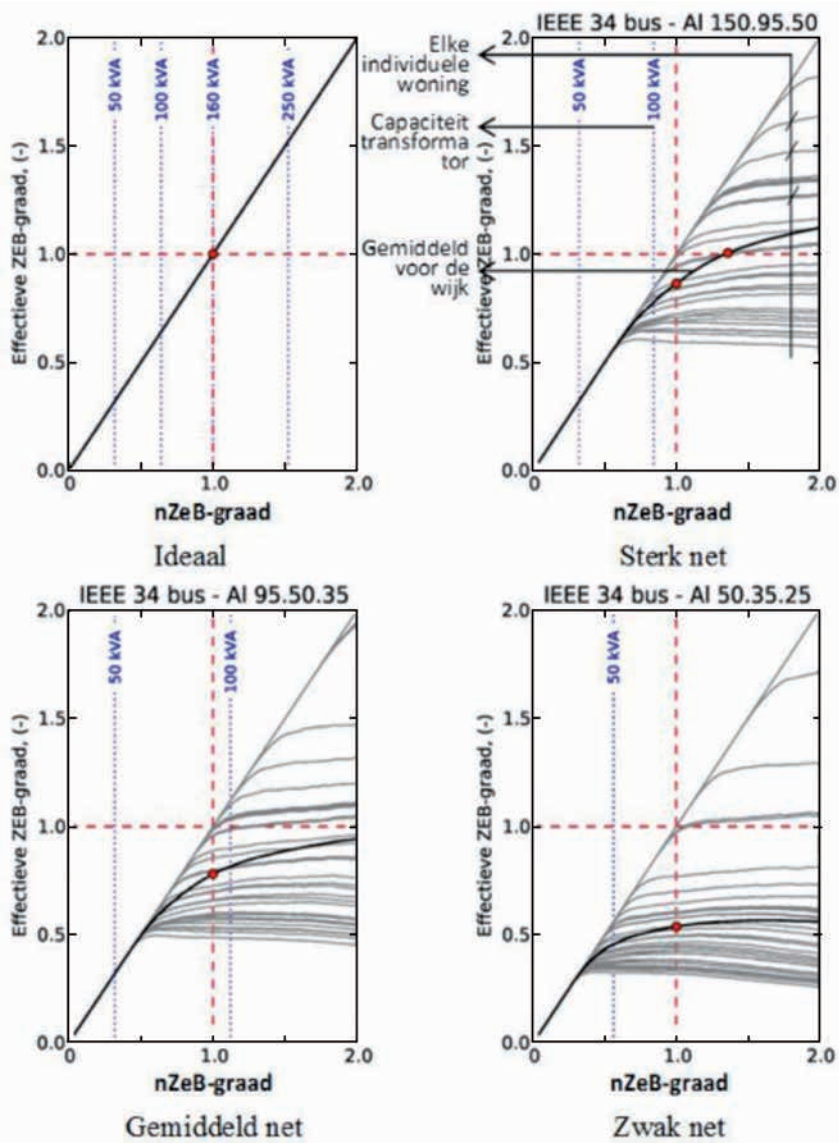
woningen dient nog steeds 67% van de door alle PV geproduceerde energie virtueel opgeslagen. Daardoor stijgt bij zwakke netten de spanning het sterkste, wat de omvormers in de woningen vlugger doet afslaan en de totale hoeveelheid geproduceerde elektriciteit drukt. Wat rest wordt dan wel weer gemakkelijker door het net herverdeeld, waardoor de leveringsgraad toch toeneemt.



Figuur 20. Levering- (g, grijs)- en vraagdekkingsgraden ( $\gamma_D$ , blauw) op wijk- en woningniveau voor verschillende netconfiguraties in functie van de ontworpen graad van netto nul energie (nZeB-graad). Het symbool in het midden toont de gemiddelde waarde en spreiding van de leveringsgraad per woning zo alle als echt netto nul ontworpen zijn.

Dit ziet men bijkomend geïllustreerd in figuur 21, welke de invloed van de netconfiguratie toont op het effectief bereik van netto nul op wijkniveau.

Bij een sterk net veroorzaakt het uitschakelen van de omvormers een verlies van 14% op net- en tot 41% op woningniveau. Bij een zwak net kan, wat PV effectief aan het net levert, terugvallen tot 53% bij een nZEB graad 1 voor alle woningen. Per woning wordt dit tot 33% en blijven er maar 3 van de 33 woningen als werkelijk netto nul over. Waar in de wijk een woning op het laagspanningsnet is aangesloten, kan dus belangrijke gevolgen hebben. Ver van de transformator, blijft een belangrijk deel van het geïnstalleerde PV vermogen onbenut. Dit verslechtert de globale economische rendabiliteit.



Figuur 21. Effectief bereiken van netto nul op wijkniveau in functie van de ontworpen graad van netto nul van de woningen. De verticale blauwe streeplijnen tonen de nodige transformatorcapaciteit.

### 3.6 Oplossingen

Om te vermijden dat het afschakelen van de omvormers door overbelasting van de transformatoren en het verdeelnet de lokaal PV-gegenereerde duurzame elektriciteit hypothekeert, dan lijkt een versterking van deze netten of een wijziging van de topologie de oplossing. Daarnaast kan bekeken worden hoe het verschil tussen vraag en aanbod zoveel als mogelijk te neutraliseren of op te vangen, bijvoorbeeld door bij woongebouwen de energievraag te verschuiven. Zo zou men de verhouding tussen winsten en verliezen kunnen aanpassen waardoor meer gekoeld dan verwarmd zou moeten worden. Zoiets doet de energievraag naar de maanden met veel meer zon verschuiven. Maar, actief koelen van woningen in een gematigd klimaat botst met wat veel logischer lijkt: door correcte bouwkundige keuzen zoals massief bouwen, een matig glasgebruik, zonwering waar nodig en 's nachts het massieve gebouw intens kunnen ventileren actieve koeling overbodig houden.

Een andere mogelijkheid bestaat erin met de geleverde elektriciteit warmte te produceren en die in elke woning in buffervaten op te slaan. Ook kan de elektriciteit in batterijen worden gestockeerd, waarbij slimme omvormers, wanneer nodig, de PV progressief aan- en afschakelen, de stroomproductie moduleren, enz.

Aangezien in zeer lage energie woningen verwarming nog weinig eindenergie vraagt wordt het misschien nuttiger de energievraag door toestelgebruik te verschuiven naar momenten van maximale PV-productie. Dit kan voor bepaalde toestellen, denk aan wasmachines, droogmachines, soms vaatwassers, diepvriezers, misschien koelkasten, maar niet voor verlichting en andere toestellen. Ook grijpt men daarmee in op de gebruiken en gewoonten van de bewoners, wat niet voor de hand ligt.

#### 4. Besluit

Dat bewonersgewoonten zorgen voor een gevoelige daling van het eindverbruik voor verwarming mag op zich positief genoemd. Het feit dat, naarmate woningen energetisch efficiënter worden, deze daling afneemt, zorgt er echter voor dat elk verder verstrengen van de wettelijke eisen tot minder besparing zal leiden dan gehoopt. Gelijktijdig wordt het procentuele aandeel verlichting en toestelgebruik, verbruiksposten die buiten de EPB-regelgeving vallen, steeds maar groter. Of nog, op de duur stuurt men de bouw- of verbouwingskosten verder de hoogte in, zonder dat er nog extra baten in de zin van een bijkomende belangrijke daling van de jaarlijkse energierekening, laat staan veel minder CO<sub>2</sub>-emissies, tegenover staan,

Zou de huidige besparingswedloop ertoe leiden dat netto nul energiewijken de referentie worden, waarbij installatie op elk juist georiënteerd dakschild van genoeg PV voor de nul zorgt, dan is de kans groot dat door overbelasting van het lokale elektrische verdeelnet, bij zonnig weer PV-daken afgeschakeld moeten worden, waardoor op wijkniveau netto nul fictie wordt. Om dit te vermijden zijn drie routes te bewandelen: het elektriciteitsverbruik in elke woning zoveel als mogelijk aanpassen aan het zanaanbod, wie PV installeert ertoe verplichten een slimme omvormer te plaatsen en batterijopslag te voorzien, en het lokale elektrische laagspanningsnet, inbegrepen de transformator tussen laag- en middenspanning, versterken. Het eerste is gratis, maar de gezinnen dienen wel hun leefgewoonten aan te passen, het tweede maakt PV flink wat duurder terwijl het derde de verdeelmaatschappijen op kosten jaagt.



## 5. Referenties

### 5.1 Standpunten

Markel L., Faulkner S., Helt R., 2015, Smart Inverter Standards to Manage Your Smart Building While Connected to the Smart Grid, Workshop 6 at the ASHRAE Winter Conference, Januari 24-28, Chicago.

Linear, 2014, Demand Response for Families, Energyville, 133 p.

### 5.2 Bewonersgedrag bij woongebouwen

Delghust M., Laverge J., Janssens A., Cnockaer E. Davidson T/, The real influence of energy performance levels on the heating demand in dwellings: case-study analyses on neighbourhoods. Proceedings Buildings XII, Clearwater Beach, Florida, December 1-5, 2013 (CD-Rom).

EPB, 2006, Bepalingsmethode van het peil van primair energieverbruik van woongebouwen, 116 p.  
Guerra-Santin O., Itard L. 2010, Occupants'behaviour: determinants and effects on residential heating consumption, , Building Research & Information, 38:3, pp 318-338.

Hens H., Verdonck B., 1997, Wonen, verwarmen, energie en emissies, rapport CO<sub>2</sub>-project Electrabel en SPE, deel 3 'Analyse van toepassingen', 53 p en bijlagen.

Hens H., Parijs W., Deurinck M., 2010, Energy consumption and rebound effects, Energy and Buildings, Volume 42, issue 1, pp 105-110.

Hens H., 2010, Applied Building Physics: Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties, Ernst & Sohn Verlag GmbH (a John Wiley Company), Berlin, London, New York, 288 p., ISBN 978-3-433-02962-6.

Hens H., 2014, Toegepaste bouwfysica: randvoorwaarden, prestaties, materiaaleigenschappen, ACCO, 292 p., ISBN 978-90-334-9508-3.

Huebner G, McMichael M., Shipworth D., Shipworth M., Durand-Daubin M., Summerfield A., 2013, Heating patterns in English homes: comparing results from a national survey against common model assumptions, Buildings and Environment , vol 70, pp 298-305.

Itard L, 2012, Werkelijk energiegebruik en gebruikersgedrag, lezing Nationale experts workshop, VITO, 1-6-2012.

Kelly, S., 2011, Do Homes that are More Energy Efficient Consume Less Energy?: A Structural Equation Model for England's Residential Sector. EPRG Working Paper No.1117, Cambridge Working Paper in Economics 1139, University of Cambridge.

KVAB, 2010, Energiezuinige gebouwen: van geïsoleerd over lage energie naar passief, nulenergie en plusenergie', KVAB Technische Wetenschappen, 22 p.

[http://www.kvab.be/downloads/stp/tw\\_energiezuinige\\_gebouwen\\_010210.pdf](http://www.kvab.be/downloads/stp/tw_energiezuinige_gebouwen_010210.pdf).

Afdeling Bouwfysica, Dept. Burgerlijke Bouwkunde, KU Leuven, 2004, rapporten EPW-PUR 1 tot 8.

Michaels R., Energy efficiency and climate policy, the rebound dilemma, Institute of Energy Research, California State University, 43 p.

- Sanders C., 1996, Heat, Air, Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts: Boundary Conditions, Final report Task 2 IEA Exco EBC Annex 24, 96 p.
- Sunikka-Blank M., Galvin R., 2012, Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, *Building Research & Information*, vol 40:3, pp 260-273.
- Vakgroep Architectuur en Stedenbouw, 2013, Onderzoek naar de relatie tussen het berekend energieverbruik in de EPB-aangifte en het reële energieverbruik op basis van enquêtegegevens, Onderzoek in opdracht van het Vlaams Energieagentschap, Eindrapport, UGent, FIW, 51 p.
- Vandepitte A., 2006, Analyse van binnenklimaatmetingen in woningen, Eindwerk UGent, 129 p
- VITO, 2014, Beknopt rapport van de energiebalans Vlaanderen, voorlopige versie 1990-2012, 74 p.
- Vlaamse regering, 2013, Besluit houdende wijziging van het Energiebesluit van 19 november 2010, wat betreft de energieprestaties van gebouwen, 16 p.

### 5.3 Netto nul energie en PV op wijkniveau

- Energie-Instituut, KU Leuven, 2011, Onderzoeksproject “Geoptimaliseerde energienetwerken in gebouwen” (ontwikkeling van de geïntegreerde simulatieomgeving IDEAS (*Integrated District Energy Assessment by Simulation*) in Modelica laat een gedetailleerde modellering van het huishoudelijke elektrische verbruik, de thermische installatie, lokale PV productie en elektriciteitsdistributie in gebouwde omgevingen toe).
- IEA International Energy Agency, 2010, Energy Technology Perspectives.
- Europees Parlement, 2040, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy performance of buildings (recast).
- Allacker, K., 2010, Sustainable building – The development of an evaluation method. PhD-thesis, KU Leuven.
- Verbeeck, G., 2007, Optimisation of extremely low energy residential buildings. PhD-thesis, KU Leuven.
- Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., and Clifford, C., 2010, Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model, *Energy and Buildings*, vol. 42, pp 1878-1887.
- FOD Economie, 2008, Bevolking – Private, grootte en collectieve huishoudens, technisch rapport.
- Baetens, R., De Coninck, R., Van Roy, J., Verbruggen, B., Driesen, J., Helsen, L., Saelens, D., 2012, Assessing electrical bottlenecks at feeder level for residential net zero-energy buildings by integrated system simulation. *Applied Energy*, vol 96, pp 74-83.
- CEN, prEN 15316-4-2, “Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-2 : Space heating generation systems , heat pump systems.”
- Reynders, G., Nuytten, T., Saelens, D., 2013,. Potential of structural thermal mass for demand-side management in dwellings, *Building and Environment*, vol 64, pp 187-199.

## Addendum 1: termen en definities

Beschermd volume	$V, m^3$	Het volume van een gebouw binnen de geïsoleerde gebouwschil, dat verwarmd (of gekoeld) wordt. Wordt buitenwerks gemeten.
Verliesoppervlakte van een gebouw	$A_T, m^2$	Staat voor de geïsoleerde gebouwschil waarlangs een gebouw warmte verliest naar of wint uit de omgeving. Wordt buitenwerks gemeten.
Compactheid	$C, m$	De verhouding tussen het beschermde volume en de verliesoppervlakte.
Warmtegeleidingcoëfficiënt	$\lambda, W/(m.K)$	Materiaaleigenschap. Geeft aan hoeveel warmte er per seconde en per vierkante meter door een laag met dikte 1 meter van een materiaal geleid wordt bij een temperatuurverschil tussen beide oppervlakken van 1 graad Kelvin. Hoe kleiner de waarde, hoe beter een materiaal isoleert. Isolatiematerialen hebben waarden, lager dan $0.065 W/(m.K)$ .
Warmteweerstand	$R, m^2.K/W$	Staat voor de dikte van een materiaallaag, gedeeld door haar warmtegeleidingcoëfficiënt. Geeft aan hoe groot de oppervlakte aan materiaal moet zijn om op 1 seconde bij een temperatuurverschil erover van 1 graad Kelvin één eenheid warmte erdoor geleid te krijgen. Voor luchtsponen of lagen met perforaties kan enkel een warmteweerstand gegeven worden.
Warmteovergangcoëfficiënt	$h, W/(m^2.K)$	Geeft aan hoeveel warmte er per seconde en vierkante meter door warmtestraling en convectiestroming tussen een oppervlak en de omgeving, die het ziet, uitgewisseld wordt bij een temperatuurverschil van 1 graad Kelvin.
Warmtedoorgangcoëfficiënt	$U, W/(m^2.K)$	Eigenschap die aangeeft hoe goed de warmte-isolerende kwaliteit van één vierkante meter wand is. Hoe kleiner de waarde, hoe beter een wand isoleert. De warmtedoorgangcoëfficiënt van een vlakke wand wordt gegeven door:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \left( \frac{d_j}{\lambda_j} \right) + \sum (R_k) + \frac{1}{h_2}}$$

met  $h_1$  en  $h_2$  de warmteovergangcoëfficiënten aan beide zijden tussen wand en omgeving,  $d_j$  de dikte van deze lagen in de wand waarvoor de warmtegeleidingcoëfficiënt ( $\lambda_j$ ) gegeven is en  $R_k$  de warmteweerstand van die lagen, waarvan enkel een warmteweerstand gekend is.

Warmteweerstand omgeving naar omgeving  $R_s, m^2.K/W$

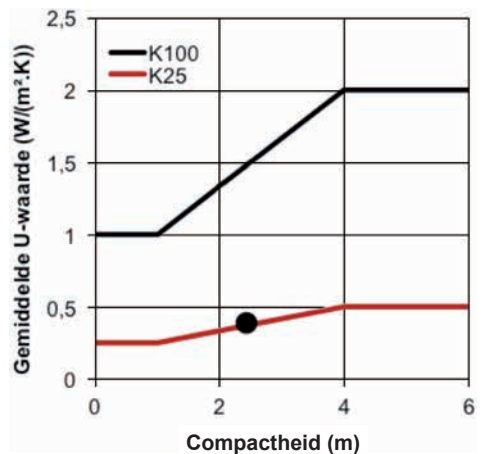
Is voor een bouwdeel het omgekeerde van de warmtedoorgangscoefficiënt, d.w.z.  $1/U$ . Geeft aan hoe groot de oppervlakte aan bouwdeel moet zijn om op 1 seconde bij een temperatuurverschil van 1 graad Kelvin tussen de omgevingen aan beide zijden één eenheid warmte erdoor geleid te krijgen.

Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van de verliesoppervlakte  $U_m, W/(m^2.K)$

Staat voor de som van de producten van de gewogen warmtedoorgangscoefficiënten van alle schildelen, die samen de verliesoppervlakte vormen, met de oppervlakte van elk, gedeeld door de totale verliesoppervlakte.

Peil van warmte-isolatie, K-peil genoemd  $K, \%$

Ingevoerd door de norm B62-301. Legt een verband tussen de compactheid van een gebouw en de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van de verliesoppervlakte. Een gebouw heeft een peil van warmte-isolatie K100 wanneer het punt met coördinaten  $(V/A_T, U_m)$  in bijgevoegde grafiek op de zwarte curve ligt. Ligt het eronder of erboven, dan geeft het snijpunt met de  $U_m$ -as van de curve, gelijkvormig aan en in elk punt evenredig met de K100 lijn, die erdoor gaat, het bijhorende peil van warmte-isolatie. Voor gebouwen met compactheid lager dan 1, is dit peil gelijk aan 100 keer de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van de verliesoppervlakte.



Luchtdichtheid	$n_{50}, h^{-1}$	De luchtdichtheid wordt courant uitgedrukt in het aantal keren per uur (n) het luchtvolume in een gebouw door buitenlucht vervangen wordt bij een luchtdrukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pascal. Vandaar: $n_{50}$ .
Specifieke transmissieverliezen	$H_T, W/K$	De warmteverliezen per seconde en per graad Kelvin door warmtetransmissie via de verliesoppervlakte.
MJ		Megajoule. Staat voor een verbruik van 277,8 watt gedurende 1 uur. Ter vergelijking, een mens verliest bij doorsnee activiteit elke seconde ongeveer 100 watt warmte, wat neerkomt op 0.36 MJ of 0.1 kWh per uur.
Netto energiebehoefte voor verwarming en koeling	$Q_{\text{heat,net,a}}, MJ/a$	Het jaarlijkse energieverbruik voor verwarming of koeling indien het rendement van de installatie 1 en het beschikbare vermogen oneindig groot zou zijn.
Bruto energiebehoefte voor verwarming en koeling	$Q_{\text{heat,gross,a}}, MJ/a$	Is gelijk aan de jaarlijkse netto energiebehoefte gedeeld door het jaargekoppelde systeemrendement.
COP		Coefficient Of Performance De verhouding tussen de nuttige energie voor koeling of verwarming die een warmtepomp levert en de energie die de compressor (bij een compressiewarmtepomp) of de thermische transformator (bij een absorptiewarmtepomp) daarvoor verbruikt.
SPF	-	Seasonal Performance Factor. Stelt de gemiddelde COP over een bepaalde periode (week, maand, stookseizoen, koelseizoen, jaar) van een warmtepomp voor, inbegrepen alle bijbehoren.
Rendement	$\eta, \%$	Staat voor de verhouding tussen de energie, die nuttig is, en de energie die verbruikt wordt. Rendementen zijn altijd kleiner dan 1. Soms worden kunstgrepen toegepast om die groter dan 1 te laten lijken. Bij verwarming en warm tapwater wordt klassiek een onderscheid gemaakt tussen systeem- en het productierendement. Dit laatste betreft de warmtebron, het eerste de installatie zonder de warmtebron. Het totale rendement is het product van beide.
Eindverbruik voor verwarming en koeling	$Q_{\text{heating,a}}, MJ/a$	Is gelijk aan de jaarlijkse bruto energiebehoefte gedeeld door het jaargekoppelde productierendement (ketel) of SPF-factor (warmtepomp).

Primair energieverbruik	$Q_{\text{prim,a}}$ MJ/a	Is gelijk aan het jaarlijkse eindverbruik, erbij opgeteld de energie, die jaarlijks nodig is om de energiedrager die het eindverbruik levert (kolen, aardgas, stookolie, elektriciteit, enz.) te produceren en tot bij de verbruiker te brengen.
EPB Peil van primair energieverbruik, E-peil genoemd	- E, %	Staat voor <u>E</u> nergie <u>P</u> restatie en <u>B</u> innenklimaat. Peil van primair energieverbruik. Begrip ingevoerd door de energieprestatie regelgeving. Is gelijk aan de verhouding tussen het berekende primaire energieverbruik voor verwarming, koeling, warm tapwater en verlichting (warm tapwater niet meegerekend bij kantoorgebouwen en scholen, verlichting niet meegerekend bij woongebouwen) en het primaire energieverbruik dat voor het betreffende gebouw als referentie geldt, uitgedrukt in procenten.
nZeB	-	Engels acroniem voor een netto nul energie gebouw. In termen van de energieprestatie regelgeving betekent netto nul een woongebouw met E-Peil nul. Daarbij wordt geen rekening gehouden met het toch niet onbelangrijke verbruik voor verlichting en toestellen. In de 'Directive 2010/31/EU staat nZEB voor 'N <u>e</u> arly <u>Z</u> ero <u>E</u> nergy <u>B</u> uilding', in de Vlaamse regelgeving Bijna <u>E</u> nergie <u>N</u> eutraal (BEN) genoemd.
n+eB	-	Engels acroniem voor een netto plus energie gebouw. In termen van de energieprestatie regelgeving betekent netto plus een woongebouw met E-Peil onder nul. Daarbij wordt terug geen rekening gehouden met het toch niet onbelangrijke verbruik voor verlichting en toestellen.

## Addendum 2: gebruikte formules

### Vlaanderen

Meest waarschijnlijke curve doorheen de 1050 gemeten eindenergieverbruiken voor verwarming, omgerekend naar het typejaar:

$$\frac{Q_{\text{heata,meas,norm}}}{V} = 255 \left( \frac{U_m A_T}{V} \right)^{0.81} \quad r^2 = 0.82 \quad (\text{MJ}/(\text{m}^3.\text{a}))$$

Meest waarschijnlijke rechte doorheen de 95 eindenergieverbruiken, berekend met de door de energieprestatie regelgeving opgelegde rekenmethode:

$$\frac{Q_{\text{heata,ref}}}{V} = 382 \left( \frac{U_m A_T}{V} \right) \quad r^2 = 0.94 \quad (\text{MJ}/(\text{m}^3.\text{a}))$$

Statistisch meest waarschijnlijke reboundfactor, afgeleid uit de bovenstaande twee vergelijkingen voor het gemeten en berekende eindverbruik:

$$a_{\text{rebound}} = 1 - 0.66 \left( \frac{U_m}{C} \right)^{-0.19} \quad (-)$$

### Nederland

Vergelijking voor de berekening van de EPC-waarde

$$\text{EPC} = 1 - \frac{1}{1.12} \left( \frac{Q_{\text{ota,calc}}}{330A_n + 65A_T} \right)$$

met  $Q_{\text{ota,calc}}$  het berekende primaire energieverbruik in MJ/a,  $A_n$  de vloeroppervlakte en  $A_T$  de schiloppervlakte, beide in  $\text{m}^2$ . In het berekende primaire energieverbruik zitten verwarming, warm tapwater, elektrische hulpenergie, verlichting, soms koeling en luchtbevochtiging, afgetrokken de berekende primaire energielevering door PV en toegevoegd een forfaitair primair energieverbruik voor zomercomfort zo geen actieve koeling wordt voorzien. Als statistisch meest waarschijnlijke reboundfactor heeft men:

$$a_{\text{rebound}} = 1 - 0.77(\text{EPC})^{-0.85}$$

### Duitsland

Vergelijking voor de berekening van de EPR-waarde

$$\text{EPR} = e_{\text{primär,heiz,a}} q_{\text{heizen,a}} + e_{\text{primär,w,a}} q_{\text{w,a}}$$

met  $q_{\text{heizen,a}}$  het eindverbruik voor verwarming en  $q_{\text{w,a}}$  dat voor de bereiding van warm tapwater, beide in kWh per jaar en per  $\text{m}^2$  vloeroppervlakte.  $e_{\text{prim,heiz,a}}$  en  $e_{\text{prim,w,a}}$  zijn de bijhorende primaire omrekenfactoren. Als statistisch meest waarschijnlijke reboundfactor heeft men:

$$a_{\text{rebound}} = 1.2 - \frac{1.3}{1 + \text{EPR}/500}$$

## RECENTE STANDPUNTEN (vanaf 2013)

17. Hendrik Van Brussel e. a. – *De maakindustrie, motor van welvaart in Vlaanderen*, KVAB, Klasse Technische Wetenschappen, 2013.
18. Hubert Bocken (ed.) – *De gerechtelijke hervorming. Een globale visie*, KVAB, Klasse Menswetenschappen, 2013.
19. Georges Van der Perre, Jan Van Campenhout e.a. – *Van Blended naar Open Learning? Internet en ICT in het Vlaams hoger onderwijs*, KVAB, Klasse Technische Wetenschappen, 2013.
20. Jan Velaers – *Federalisme/confederalisme, en de weg er naar toe...*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2013.
21. Karel Velle – *Archieven, de politiek en de burger*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2013.
22. Etienne Aernoudt, Dirk Fransaeer, Egbert Lox, Karel Van Acker – *Dreigende metaalschaarste? Innovaties en acties op weg naar een circulaire economie*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2014.
23. Roger Marijnissen, Francis Strauven – *Voor een verantwoord beheer van ons kunstpatrimonium*, KVAB/Klasse Kunsten, 2014.
24. Jan Eeckhout, Joep Konings – *Jeugdwerkloosheid*, Denkersprogramma Klasse Menswetenschappen, 2014.
25. Pascal Verdonck e. a. – *Medische Technologie, als motor voor innovatieve gezondheidszorg*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2014.
26. Charles Hirsch, Erik Tambuyzer e. a. – *Innovatief ondernemerschap via spin-offs van kenniscentra*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen en Technische Wetenschappen, 2014.
27. Giovanni Samaey, Jacques Van Remortel e. a. – *Informaticawetenschappen in het leerplichtonderwijs*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen en Jonge Academie, 2014.
28. Paul Van Rompuy – *Leidt fiscale autonomie van deelgebieden in een federale staat tot budgettaire discipline?* KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2014.
29. Luc Bonte, Paul Verstraeten e. a. – *Maatschappelijk verantwoord ondernemen. Meedoen omdat het moet, of echt engagement?* KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2014.
30. Piet Van Avermaet, Stef Slembrouck, Anne-Marie Simon-Vandenbergen – *Talige diversiteit in het Vlaams onderwijs: problematiek en oplossingen*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
31. Jo Tollebeek – *Metamorfoses van het Europese historisch besef, 1800-2000*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
32. Charles Hirsch, Erik Tambuyzer e.a. – *Innovative Entrepreneurship via Spin-offs of Knowledge Centers*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen en Technische Wetenschappen, 2015.
33. Georges Van der Perre en Jan Van Campenhout (eds.) – *Higher education in the digital era. A thinking exercise in Flanders*, Denkersprogramma KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2015.
34. Georges Van der Perre, Jan Van Campenhout e.a. – *Hoger onderwijs voor de digitale eeuw*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2015.

De volledige lijst met standpunten en alle pdf's kunnen worden geraadpleegd op  
[www.kvab.be/standpunten.aspx](http://www.kvab.be/standpunten.aspx)