

# **LAGE ENERGIE GEBOUWEN ONTWERP EN UITVOERING**

**prof. HUGO HENS, ir. GRIET VERBEECK**

Laboratorium Bouwfysica

Departement Burgerlijke Bouwkunde

K.U.-Leuven

Kasteelpark Arenberg 51

3001 Leuven

[hugo.hens@bwk.kuleuven.ac.be](mailto:hugo.hens@bwk.kuleuven.ac.be)

[griet.verbeeck@bwk.kuleuven.ac.be](mailto:griet.verbeeck@bwk.kuleuven.ac.be)

## **Samenvatting**

Bouwen en gebouwen gebruiken is verantwoordelijk voor ongeveer 40% van het jaarlijks primair energieverbruik in België en in Europa. Vandaar het belang van Lage Energie Gebouwen, d.w.z. woongebouwen waarvan het jaarlijks primair energieverbruik voor ruimteverwarming onder  $60 \text{ MJ/m}^3$  duikt, warm water per bewoner minder dan de helft aan energie vraagt dan gemiddeld en bewust gekozen wordt voor energiezuinige huishoudtoestellen en energiezuinige verlichting.

Energiezuinigheid is bij lage energie gebouwen een ontwerpbepalende prestatie. Het begin bij het schetsontwerp waar de compactheid, de wijze van schakelen, de oriëntatie van de woonruimten en de bufferfunctie van de hulpruimten belangrijke ijkpunten vormen. Bij het voorontwerp steken de glasoppervlakte, de isolatiekwaliteit en de installaties voor ruimteverwarming, warm tapwater en ventilatie de neus aan het venster. Hoeveel glas waar en welk glas? Peil van warmte-isolatie? Wijze van ventileren? Hoe verwarmen? Wat met duurzame energie? Totale kosten? Even zoveel vragen die om een antwoord vragen. Niet het overtuigd zijn, maar een becijferd antwoord moet daarbij de basis voor een gerichte beslissing zijn. In het uitvoeringsontwerp tenslotte draait het om de bouwkundige en installatiedetails. Geen koudebrugwerking, prima luchtdichtheid, duurzame vochthuishouding, juist gedimensioneerde installatieonderdelen, enz.

Tenslotte kan een slordige uitvoering een goedbedoelde detaillering een stevige tik met de hamer geven. Vandaar het belang van een nauwgezette controle tijdens de werken, maar ook van een experimentele toetsing van de prestaties op een bij toeval gekozen aantal woningen met verplichting tot aanpassing in geval de opgelegde eisen niet worden gehaald.

## **Abstract**

The construction and usage of buildings is responsible for some 40% of the primary energy consumption in Belgium and in Europe. Hence the importance of low energy buildings, i.e.

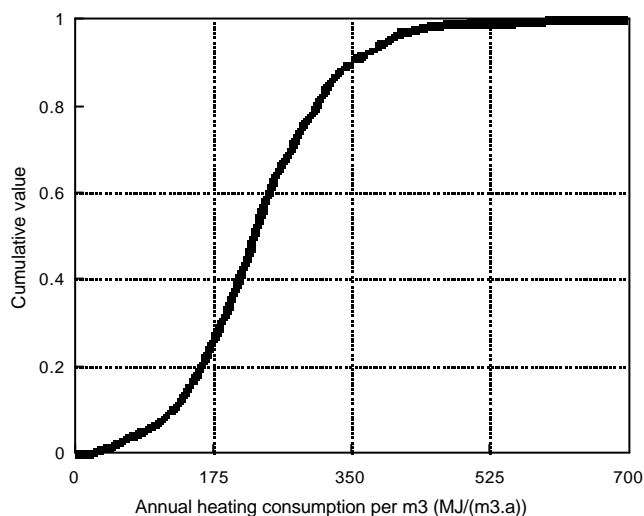
buildings that consume less than 60 MJ/m<sup>3</sup> primary energy for space heating, that have a hot water energy demand that is only half the value per inhabitant in an average dwelling and that get energy efficient appliances and energy efficient lighting.

Energy efficiency figures as a solution shaping performance when designing low energy buildings. It already starts at the early design stage with compactness, building typology, orientation of the living spaces, buffering by functional spaces as important elements. At the predesign stage decisions have to be taken about the glazed surface, the insulation performance and the type of building services for heating, hot water production and ventilation. What surface and what type of glazing? Glas orientation? Level of thermal insulation? How to ventilate? How to heat? What with renewable energy? Total costs? Sustainability and durability? Only some of the questions to be answered. In all these, not conviction and believe but engineering based calculation and comparison of results is the only way to come to sound decisions. At the final design stage, attention turns to the avoidance of thermal bridging, to a good air-tightness, a long lasting moisture tolerance and a correct detailing of all services.

When all is done well, poor workmanship at the construction site still may falsify a lot of the intentions embedded in the design documents. This not only necessitates an in depth control at the site but also an agreement on a correct commissioning protocol for a randomly chosen set of finished dwellings, with the duty to refit things if the measured controls show a lack in performance, compared to the requirements.

## Inleiding

Bouwen en gebouwen gebruiken is verantwoordelijk voor maar liefst 40% van het jaarlijks primair energieverbruik in België en in Europa. Niet omdat het niet anders kan maar wel omdat, zeker in Vlaanderen, het gebouwenbestand energetisch slecht scoort. Dat de verbruikscijfers aan de hoge kant liggen toont figuur 1, de somcurve van het gemeten jaarlijks verbruik voor verwarming per m<sup>3</sup> beschermd volume in 964 woningen, omgerekend naar het typejaar voor Ukkel. Gemiddeld verbruik voor verwarming: 233 MJ/(m<sup>3</sup>.a), standaarddeviatie: 96.4 MJ/(m<sup>3</sup>.a), minimum: 12 MJ/(m<sup>3</sup>.a), maximum: 967 MJ/(m<sup>3</sup>.a).



*Figuur 1 Gemeten jaarlijks energieverbruik voor verwarming in 964 woningen. Somcurve*

Ondanks deze slechte score is voor de meeste consumenten energie geen prioriteit. Te goedkoop. Verwarming vertegenwoordigt een bedrag kleiner dan de jaarlijkse telefoonrekening. Het gaat om peanuts in vergelijking met de jaarlijkse reis. Enkel voor wie het financieel moeilijk heeft kan de energierekening de druppel zijn die de beker doet overlopen.

Maatschappelijk ligt de zaak anders. Zeker het verbruik van fossiele dragers heeft vervelende milieugevolgen, waaronder uitputting van de fossiele dragers, verzuring van het milieu en een mogelijke globale opwarming van het klimaat de meest bedreigende zijn. Een integrale substitutie door duurzame energie is niet realistisch. In vergelijking met fossiele dragers en kernenergie hebben duurzame dragers een zeer lage energiedichtheid, waardoor ze veel opvangoppervlakte vragen. Bovendien is het aanbod stuurbaar noch leveringszeker. Vandaar dat er hoogstens sprake kan zijn van een vervangingspercentage en rationeel energiegebruik het fundamentele leitmotiv blijft.

Bij gebouwen zou Lage Energie de referentie moeten worden. Globale prestatie-eisen:

- **Jaarlijks primair verbruik voor ruimteverwarming lager dan 60 MJ/m<sup>3</sup>;**
- **Koeling integraal passief;**
- **Jaarlijks primair verbruik voor warm tapwater per bewoner 50% van het grootschalig gemiddelde;**
- **Energiezuinige huishoudtoestellen als standaardkeuze**
- **Energiezuinige verlichting.**

Ruimteverwarming en passief koelen bepalen bij lage energie mee het ontwerp en de uitvoering van een woongebouw.

### Ontwerpparameters

Alvorens in detail na te gaan hoe het zit met de relatie ontwerp / uitvoering / energieverbruik is het nodig een alomvattend beeld te hebben van de ontwerpparameters die van invloed zijn op het energieverbruik voor ruimteverwarming en de mogelijkheden tot passieve koeling. Voor ruimteverwarming vat tabel 1 ze samen. Tabel 2 doet dat voor passief koelen.

Tabel 1 Energieverbruik voor ruimteverwarming, invloedsparameters

Groep	Parameter	Invloed (overige parameters gelijk)
<b>1. Het ontwerp</b>	<b>Compactheid</b>	Het energieverbruik daalt als het ontwerp compacter is
	<b>Planschikking</b>	Het energieverbruik daalt bij een aangepaste planschikking
	<b>Aard, grootte, oriëntatie en helling van de beglazing</b>	Het energieverbruik stijgt doorgaans als er meer glas wordt toegepast. Ze daalt als het glas een hogere Zonnetoetreding Absoluut kent en er meer glas W-Z-O staat
	<b>Warmte-isolatie van de schil</b>	Het energieverbruik daalt naarmate de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van de verliesoppervlakte daalt
	<b>Warmteopslag</b>	Het energieverbruik wordt amper beïnvloed door de mogelijkheden tot warmteopslag
	<b>Luchtdichtheid</b>	Het energieverbruik daalt met betere luchtdichtheid
<b>2. De installatie</b> Wordt gekenmerkt door twee rendementen.	<b>Systeemrendement</b>	Het energieverbruik daalt naarmate het systeemrendement hoger ligt
	<b>Productierendement</b>	Het energieverbruik daalt naarmate het productierendement hoger ligt

Tabel 2 Passief koel houden, invloedsparameters

Groep	Parameter	Invloed (overige parameters gelijk)
<b>3. Het ontwerp</b>	<b>Warmte-isolatie</b>	Hoe beter de warmte-isolatie, des te beter de passieve koeling
	<b>Beglazing</b>	Hoe kleiner de glasoppervlakte, des te beter de passieve koeling
	<b>Zonwering bij de beglazing</b>	Het beter het glas door zonwering wordt afgeschermd, des te beter de passieve koeling

	<b>Nachtventilatie</b>	Het beter de mogelijkheden tot nachtventilatie, des te beter de passieve koeling
	<b>Warmteopslag in de binnenwanden</b>	Het toegankelijker de binnenwanden voor warmte (=grotere admittantie), des te beter de passieve koeling
	<b>Warmtetrageheid van de schil</b>	Hoe moeilijker de warmte via de schil naar binnen komt, des te beter de passieve koeling

In de twee tabellen staat één dissonant: de glasoppervlakte. Bij verwarming zorgt meer glas naar het oosten, zuiden en westen voor extra zonnewinsten, zij het dat ook de verliezen toenemen en meer glas daardoor niet per definitie positief is. Ten aanzien van passief koelen is veel glas echter zonder meer een nadeel, dat door een maatregel als 'een efficiënte zonwering' gecounterd zal moeten worden. Alle andere ontwerpparameters naar verwarming en koeling toe zijn bouwkundig probleemloos te combineren.

### Het ontwerp

Ontwerpen start bij een correct programma van eisen. Daarin staan alle prestaties waaraan het woongebouw dient te voldoen (functioneel, ruimtelijk, esthetisch, bouwmechanisch, bouwfysisch, enz.). In geval van Lage Energie zijn de vier boven geformuleerde eisen daar een deel van.

### Schetsontwerp

De ruimtelijk uitwerking start bij het schetsontwerp. Naar energie toe zijn de voornaamste beslissingen die in die fase genomen worden: compactheid, planschikking, oriëntatie van de ruimten.

**Compactheid** definiëren we als de verhouding tussen het beschermd volume ( $V$ ), d.w.z. het buitenwerks gemeten volume van alle ruimte waarin de gebouwgebruiker thermisch comfort wenst of moet kunnen hebben, en de verliesoppervlakte ( $A_T$ ), d.w.z. de buitenwerks gemeten gesloten oppervlakte rondom het beschermd volume. De verliesoppervlakte omvat de scheiding tussen binnen en buiten, tussen binnen en de bodem en tussen binnen en alle niet verwarmde aangrenzende ruimten. Niet inbegrepen zijn de scheidingen met aangrenzende beschermde volumes:

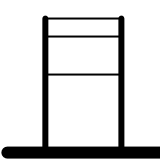
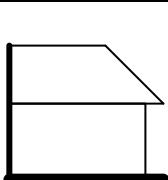
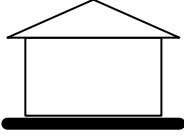
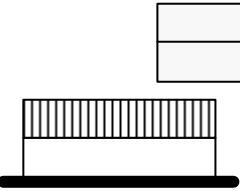
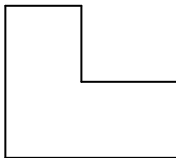
$$C = \frac{V}{A_T} \quad (1)$$

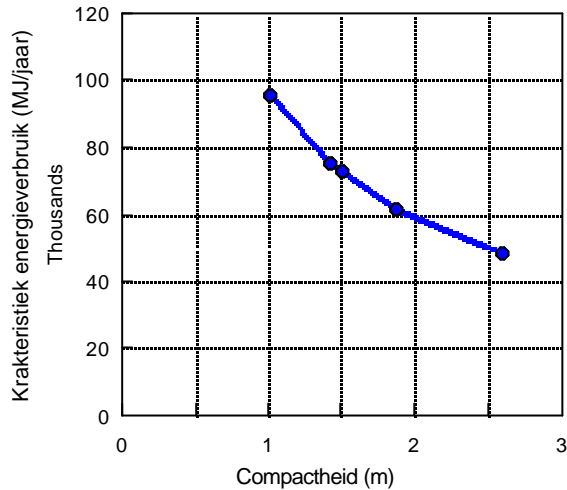
Hoe compacter een woongebouw bij een gegeven beschermd volume des te lager het energieverbruik voor verwarming. Dat wordt geïllustreerd in tabel 3 en figuur 2. De woningen uit de tabel en de figuur hebben alle een beschermd volume van  $750 \text{ m}^3$ . De isolatieingrepen verschillen niet (spouwmuur,  $U=0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  / daken,  $U=0.37 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  / argongevuld, lage e dubbel glas / houten ramen / vloer op volle grond,  $R=1.62 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ). Luchtdichtheid:  $n_{50}=5 \text{ h}^{-1}$ . Alle worden natuurlijk geventileerd, Als centrale verwarming hebben we een systeem met lage temperatuurketel, die ook voor de

bereiding van het warm tapwater instaat, radiatoren, centrale regeling en de ketel en alle leidingen binnen het beschermd volume.

De invloed van de compactheid is aanzienlijk. Tussen meest en minst compact stijgt het energieverbruik met 97%. Zouden we deze toename nadien teniet willen doen door woning 5 evenredig beter te isoleren, dan is maar liefst een twee keer lagere gemiddelde  $U_m$ -waarde dan woning 1 nodig.

Tabel 3 De vijf woningen

Geval		Compactheid m
Rijenwoning	Z  N	2.60
Hoekwoning	Z  N	1.88
Alleenstaande woning 1	Z  N	1.51
Alleenstaande woning 2	Z  N	.39
Alleenstaande woning 3	Z  N	1.01



*Figuur 2 Vijf woningen met alles hetzelfde tenzij de compactheid. Energieverbruik voor verwarming (berekend met de EPW)*

**Compactheid is anders gezegd zeer belangrijk.** Spijtig genoeg trekt de gemiddelde ontwerper er zich weinig van aan. Toch doet een grotere compactheid ook de kostprijs van een gebouw dalen. Vandaar de terechte uitspraak dat lage energie gebouwen goedkoop zijn.

**Planschikking** speelt een rol, gewoon omdat een verkaveling van het volume in aparte ruimten en een goede schikking van die ruimten toelaat zonnewinsten zinvol te gebruiken en deel te verwarmen. Drie deuren tussen buiten aan de ene en buiten aan de andere kant remt bovendien te grote infiltratieverliezen af, terwijl hulpruimten op het noorden voor een buffereffect zorgen. Toch is planschikking als ontwerpparameter minder belangrijk dan de compactheid.

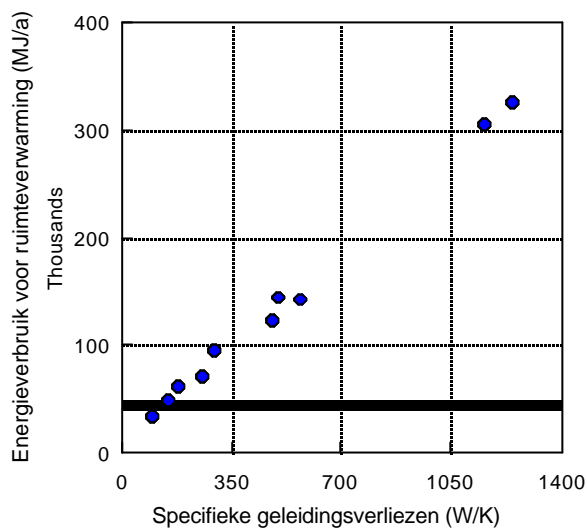
**Oriëntatie van de verschillende ruimten.** Handel logisch. De nachtzone op het zuiden is niet direct een doordachte keuze, tenzij het niet anders kan. De dagzone O-Z-W is dat uit hoofde verwarming wel. Naar passieve koeling ligt één en ander moeilijker en krijgt zonwering een prominentere rol.

### Voorontwerp

#### Bouwkundig

Op weg naar lage energie komen tijdens het voorontwerp de beslissingen over glasoppervlakte, isolatiekwaliteit en installaties eraan. Vragen daarbij zijn: Hoeveel glas waar en welk glas? Peil van warmte-isolatie? Luchtdichtheid? Wijze van ventileren? Hoe verwarmen? Wat met duurzame energie.? Totale kosten? Duurzaamheid?

Wat betreft **oriëntatie, glasoppervlakte en aard van de beglazing** is de juiste de invalshoek: de totale glasoppervlakte niet groter dan 1/5 à 1/6 van de vloeroppervlakte, in zoverre zinvol en mogelijk het grootste deel van dit totaal O-Z-W, gasgevuld lage e dubbel glas of beter, goed isolerende raamprofielen. Is zonwering nodig, dan enkel buitenzonwering.



Figuur 3 Woning 1 en 5. Verband tussen warmte-isolatie en primair energieverbruik voor verwarming. De zwarte lijn geeft de grenswaarde voor Lage Energie Woningen (berekend met EPW)

**Warmte-isolatie** is bouwkundig het scherpste en meest economische wapen. Door een betere isolatie dalen de specifieke geleidingsverliezen ( $H_T$ ). Tussen deze en het verbruik voor verwarming bestaat een lineair verband. De helling van dit verband hangt af van de andere keuzen die werden gemaakt. Voor de rijwoning 1 en de vrijstaande woning 5 uit tabel 3 is het effect van een betere isolatie in detail nagegaan. Figuur 3 geeft het resultaat. Rechte door de tien punten:

$$E_{\text{verw}} = 11428 + 253 H_T, r^2=0.996 \quad (\text{MJ/a}) \quad (2)$$

Bij de 5 woningen betekent 'Lage Energie' voor verwarming:  $750 \cdot 60 = 45000$  MJ/a primair, wat neerkomt op minder dan  $1420 \text{ m}^3$  aardgas per jaar. Zoiets vraagt om specifieke geleidingsverliezen, gelijk aan of lager dan  $133 \text{ W/K}$ . Bij de rijwoning 1 geraken we daar met een gemiddelde U-waarde  $0.46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , of nog, bij een peil van warmte-isolatie K30. Vrij gemakkelijk te halen. Bij de alleenstaande woning 5 is een gemiddelde U-waarde  $0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nodig, d.w.z. een peil van warmte-isolatie K18. Een zware opgave! Alle ramen een U-waarde  $0.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , spouwmuren met  $U=0.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , daken  $U=0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , vloeren een equivalente U-waarde  $0.11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ! Of, de winst dient bij 5 elders gezocht. Hoe dan ook, bij lage energie wordt best gemikt op een peil van warmte-isolatie K25, met als bovengrens van de U-waarden per bouwdeel de cijfers van tabel 4.

Tabel 4 Bovengrens van de U-waarden per bouwdeel bij Lage Energie

Scheidingsconstructie	Nieuwbouw $U_{\text{max}}$ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Gevels	0.25
Daken	0.20
Ramen	1.50

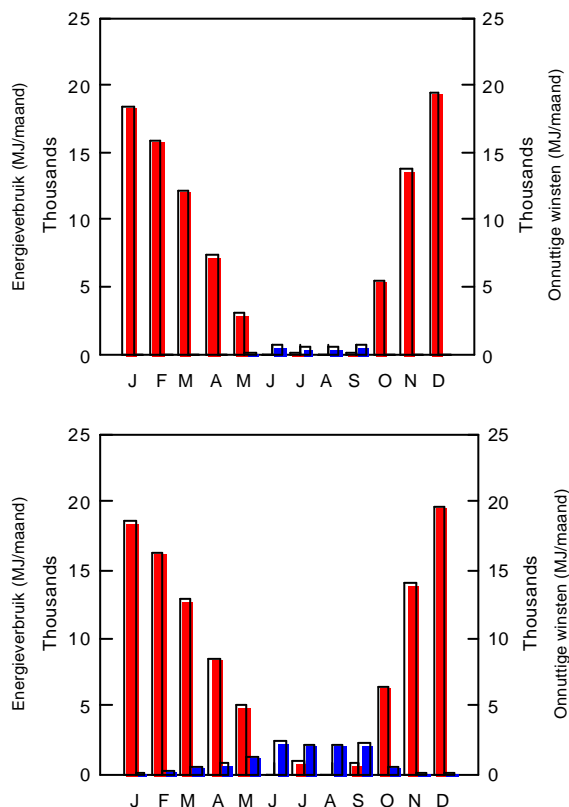
Vloeren op volle grond	0.55
Vloeren boven kelder of kruipkelder	0.40
Vloeren die binnen van buiten scheiden	0.25
Scheidingsmuren tussen wooneenheden	1.00

Voor verwarming zijn **warmteopslag en warmtetrageid**, d.w.z. de keuze tussen zwaar en licht bouwen, factoren van tweede orde. Ter staving geeft tabel 5 het jaarlijks primair verwarmingsverbruik voor woning 5, een eerste keer ontworpen met een betonnen vloer- en dakplaat en gemetselde binnen- en buitenwanden, een tweede keer integraal in houtskeletbouw.

Tabel 5 Woning 5 (K40), jaarlijks energieverbruik voor verwarming, invloed warmteopslag

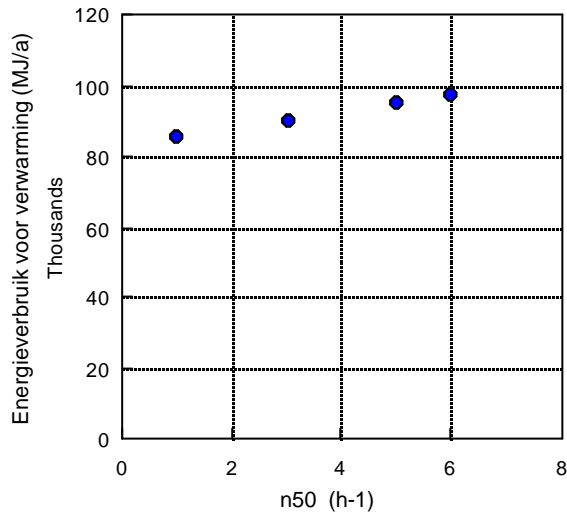
Geval	$E_{\text{verw}}$ MJ/a	? $E_{\text{verw}}/E_{\text{verw}}$ %	Onnuttige winsten MJ/a	? winst/Winst %
Zware bouw	95 420	0	2303	0
Lichte bouw	102 810	+7.7	12145	427

De onnuttige warmtewinsten daarentegen schieten bij een lichte bouw de hoogte in. Ten aanzien van passief koel houden blijkt warmteopslag wel degelijk belangrijk, zij het dat we stevig kunnen bijsturen met een goede zonwering. Figuur 4 toont het maandverloop van het primair verbruik voor verwarming als van de onnuttige winsten. Om bij de lichte bouw hetzelfde verbruik te noteren als bij de zware, zou een peil van warmte-isolatie K36 nodig zijn in plaats van K40.



Figuur 4 Woning 5, K40, links zware bouw, rechts lichte bouw (berekend met EPW)

Een uitstekende **luchtdichtheid** is een voorwaarde voor goed thermisch comfort en voor een zinvol toepassen van winterse gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Zoals figuur 6 toont, blijft het effect op het primair verbruik voor verwarming echter beperkt. De winst die wordt gemaakt tussen  $n_{50}=5 \text{ h}^{-1}$  en  $n_{50}=1 \text{ h}^{-1}$  staat gelijk aan een daling van het peil van warmte-isolatie met 6.5 eenheden, van K40 naar K33.5.



*Figuur 5 Woning 5, K40. Het verband tussen de luchtdichtheid en het energieverbruik voor verwarming. (berekend met EPW)*

Alleen, luchtdicht bouwen onderstelt de nodige aandacht voor het ventilatieontwerp. Of een gebouw luchtdicht zal zijn heeft daarenboven alles te maken met de continuïteit en goede detaillering van de luchtdichte laag in de schil en met de verzorgde uitvoering ervan, d.w.z. met bekommernissen die pas in het uitvoeringsontwerp op de eerste rij staan.

### **Installaties**

Als installaties met consequenties naar energieverbruik toe, hebben we: het ventilatiesysteem, de verwarmingsinstallatie en de bereiding van warm tapwater.

Qua **ventilatie** zijn de opties: natuurlijk (A), inblaas (B), afzuig (C), gebalanceerd (D). Bij een zeer compacte woningbouw is 'lage energie' met natuurlijke ventilatie haalbaar, zonder zeer strenge eisen aan de luchtdichtheid ( $n_{50} \leq 5 \text{ h}^{-1}$  doet het). Vergeleken met natuurlijke ventilatie zorgen noch inblaas, noch afzuigventilatie voor besparing. Daarvoor ligt het verbruik van de ventilatoren te hoog. Zie tabel 6. Evenmin vormt bij een zeer compact ontwerp de verwarmingsinstallatie een breekpunt. Een lage temperatuur ketel met radiatoren en een centrale regeling volstaan.

Tabel 6 Woning 5 (K40,  $n_{50}=3 \text{ h}^{-1}$ ). Jaarlijks energieverbruik, invloed van het ventilatiesysteem

<b>Geval</b>	<b>E<sub>verw</sub></b> MJ/a	<b>E<sub>ventilator</sub></b> MJ/a	<b>E<sub>prim,ventilator</sub></b> MJ/a	<b>Primair x-2</b> MJ/a
1. Natuurlijke ventilatie, slechte kwaliteit van de installatie	90440	0	0	5510
2. Natuurlijke ventilatie, RTO's klasse P4, luchtdichte afvoerpijpen	84930	0	0	0
3. Afzuigventilatie, slechte kwaliteit van de installatie	102910	2260	5650	23630
4. Afzuigventilatie, RTO's klasse P4, luchtdichte afvoerpijpen	85590	950	2375	3035

Tabel 7 Woning 5 (K24). Lage energie en beter, jaarlijks energieverbruik

<b>Ventilatie</b>	<b>Verwarmingsinstallatie</b>	<b>E<sub>verw</sub></b> MJ/a	<b>E<sub>verw,primair per m<sup>3</sup></sub></b> MJ/(m <sup>2</sup> .a)
$n_{50}=3 \text{ h}^{-1}$ , natuurlijke ventilatie, RTO's klasse P4, luchtdichte afvoerpijpen	Aardgas, condensatieketel, radiatoren, variabele temp., decentrale regeling	<b>43410</b>	<b>57.9</b>
$n_{50}=3 \text{ h}^{-1}$ , natuurlijke ventilatie, RTO's klasse P4, luchtdichte afvoerpijpen	Warmtepomp, vloerverwarming, variabele temp., decentrale regeling	18480	61.6
Gebalanceerde ventilatie, wtw, rendement 70%, perfecte uitvoering	Aardgas, lage tempertuurketel, radiatoren, variabele temp., decentrale regeling	<b>25660</b>	<b>34.2</b>
Afzuigventilatie, RTO's klasse P4, luchtdichte afvoerpijpen	Aardgas, condensatieketel, radiatoren, variabele temp., decentrale regeling	<b>23950</b>	<b>31.9</b>

Bij weinig compacte woningbouw wordt alles wat selectiever. Opteren we voor zeer luchtdicht ( $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ ) en een winterse gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning, dan is er wat betreft verwarming speelruimte. Kiezen we daarentegen voor behoorlijk luchtdicht ( $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$ ) en natuurlijke ventilatie, dan zijn een condensatieketel, variabele watertemperatuur en een decentrale regeling niet te ontlopen. Als alternatief is er de warmtepomp, zij het dat hier de omrekening naar primaire energie roet in het eten gooit (tabel 7). Opgelet! Een gebalanceerd ventilatiesysteem vraagt ruimte voor de warmteterugwineenheid (dicht bij het aanzuigpunt) en voor de verdeelpijpen naar en van de diverse kamers.

Warm water? Aan de eis 'de helft van het energieverbruik dat gemiddeld per bewoner wordt genoteerd', kan maar worden voldaan door op een zonneboiler over te schakelen. De totale kosten daarvan liggen hoog en de keuze is economisch verre van optimaal. Bouwkundig vraagt de plaatsing ervan een hellend vlak, ZO-Z-ZW georiënteerd, met een helling tussen 40 en 60°. Voor een doorsnee eengezinswoning volstaan 4 tot 6 m<sup>2</sup>

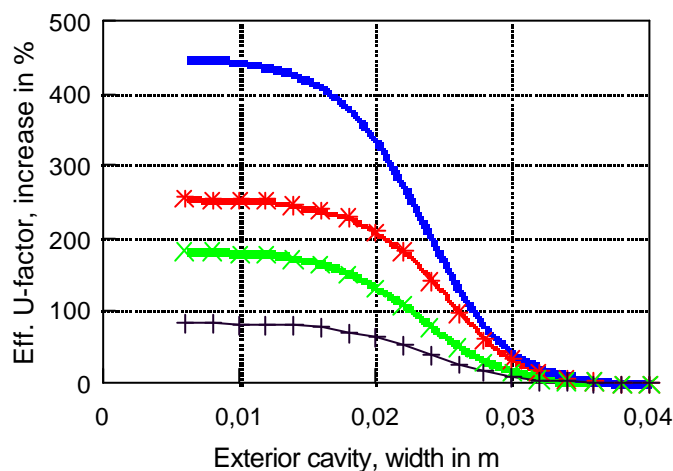
zonnepaneel. Fotovoltaïsche cellen tenslotte zijn voorlopig een speeltje. Economisch niet te verantwoorden, behept met een hoge ingebouwde energie en een nogal beperkte levensduur.

### Uitvoeringsontwerp

Eens het voorontwerp klaar, zouden alle belangrijke beslissingen ten aanzien van 'lage energie' genomen moeten zijn. Wat blijft zijn de bouwkundige uitwerking en de uitvoering.

### Warmte-isolatie

Detailleer spouwmuren zo dat het risico op een slordig plaatsing van de vulling minimaal is. Immers, hebben we aan beide zijden van de isolatie een luchtlaag en worden de twee luchtlagen verbonden door gapende voegen tussen de isolatieplaten, dan zorgen winduitspoeling en thermische trek ervoor dat de U-waarde van de wand stevig de hoogte inschiet, als figuur 6 en tabel 8 illustreren. Vandaar: voorkeur voor wat zachtere isolatiematerialen, of, beter nog, zachter achteraan, vrij hard vooraan. Eerst het binnenspouwblad optrekken, dan isoleren en pas daarna het buitenspouwblad metselen. Alle slabben vooraf op de juiste hoogte in het binnenspouwblad inwerken. Ook bij buitenisolatie moet men erop letten dat tussen isolatie en achterliggende wand geen lucht kan stromen. Idem bij hellende daken. Vul daar de ruimte tussen onderdak en onderzijde van de sporen volledig op.



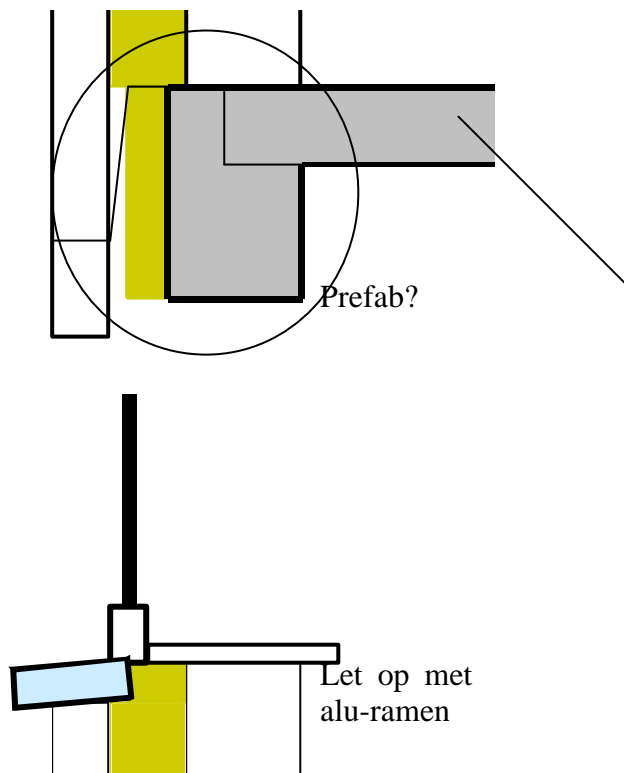
Figuur 6 Spouwmuur,  $U=0.2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , restspouw 4 cm. Toename van de U-waarde in functie van de gemiddelde afstand tussen deelvulling en binnenspouwblad (enkel winduitspoeling).

Tabel 8 Spouwmuren in het VLIET proefgebouw, gemeten effectieve U-waarden

Spouwmuur <b>Goede uitvoering:</b> vulling correct aangedrukt tegen het binnenspouwblad, geen open voegen <b>Slordige uitvoering:</b> luchtlaag achter vulling, open voegen tussen de platen	Vulling		Ontwerp U-waarde $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$	Gemeten U-waarde $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$			
	Deel	Vol		Eerste winter		Tweede winter	
				SW	NE	SW	NE
1. Slordige uitvoering		MW	0.22	0.37	0.32	0.39	0.33

2. Goede uitvoering		MW	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21
3. Slordige uitvoering	XPS		0.21	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
4. Goede uitvoering	XPS		0.21	0.23	0.21	0.23	0.21
5. Slordige uitvoering		XPS	0.21		<b>0.51</b>	<b>0.60</b>	<b>0.79</b>
6. Goede uitvoering		XPS	0.20	0.21		0.22	0.22

Teken de isolatie in de schil als een continue thermische snede, die nergens van vlak verspringt. Op die wijze wordt koudebrugwerking vermeden. Dat vraagt om het nodige denkwerk bij lateien, dagkanten, dorpels, balkons, dakranden en funderingen. Figuur 7 toont een voorbeeld van hoe het bij lateien en dorpels zou moeten.



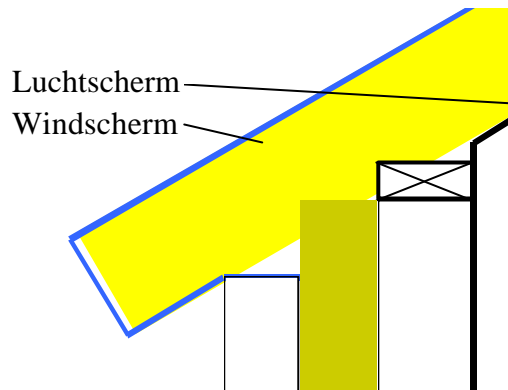
Figuur 7 Spouwmuur: latei en dorpel met correcte thermische snede

### Luchtdichtheid

Luchtdichtheid betekent niet alleen dat we luchtin- en exfiltratie door gevels en daken beperken, maar ook dat we langse stroming van binnenlucht en winduitspoeling in gevels en daken tegengegaan. De op te leggen prestatie-eis hangt samen met het gebruikte ventilatiesysteem. Bij systeem A, natuurlijke ventilatie, en de systemen B en C mikt men best op  $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$  waarbij  $n_{50}$  het ventilatievoud van het woongebouw bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pa voorstelt. Bij gebalanceerde ventilatie met warmte terugwinning is dat  $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ . Het controleren van de luchtdichtheid is eenvoudig. Het volstaat een opblaasproef uit te voeren.

Net zoals we ons in de schil een continu isolatievlak voorstellen, met thermische sneden bij alle details, zo ook dienen we in de schil een luchtdichtheidsvlak, luchtscherm genoemd, bij voorkeur direct tegen het binnenoppervlak, te introduceren. Daarnaast is er een

winddichtheidsvlak, windscherm genoemd, aan de buitenzijde van de warmte-isolatie nodig (figuur 8). Beide dienen continu te zijn, ook ter plaatse van overgangen tussen bouwdelen en bij alle details. Terug vraagt dat een herdenken van heel wat 'traditionele' oplossingen.



Figuur 8 Lucht- en windscherm

### **Uitvoering**

Tijdens de uitvoering vragen de punten, die bij het uitvoeringsontwerp om speciale oplossingen vroegen, alle aandacht. De warmte-isolatie moet overal zorgvuldig, goed aangedrukt en goed sluitend worden geplaatst. Aan de lucht- en winddichting dient de nodige aandacht en tijd te worden besteed: overlappingsen tussen luchtdichte folies dichttappen, folies op muren en dakramen aansluiten met kleefpasta, voegen tussen ramen en muuropeningen aan de binnenzijde dichtkitten, enz.

### **Besluit**

Lage energie is geen onhaalbare eis. Letten op de compactheid, prima isoleren (K25), de lucht- en winddichtheid verzorgen, een kwaliteitsvol ventilatiesysteem inbouwen (van natuurlijk tot gebalanceerd zijn mogelijk), in functie van het ventilatiesysteem de verwarmingsinstallatie kiezen en ontwerpen, een zonneboiler voorzien, de details koudebrugvrij oplossen. In het bestek dient verder aangestipt welke experimentele evaluaties zullen gebeuren en wat de eraan gekoppelde sancties zijn.

Meer dan bij geïsoleerde gebouwen is bij uitvoering een strikte controle van de isolatiewerken en het lucht- en winddicht maken nodig. Bij oplevering komen de evaluaties. Een meting van de luchtdichtheid van gebouw en ventilatiesysteem (voor afzuig, inblaas en gebalanceerd), een winterse IR-opname van de schil en een bepaling van het schoorsteenzijdig ketelrendement zijn het minimum dat moet worden geëist. Extra's: het verbruik gedurende twee jaar opvolgen, een coheating uitvoeren, enz.

Halen we met alle voorgestelde maatregelen lage energie? Neem het centrale gebouw van de wijk 'Waterstraat' te Houtvenne (figuur 9). Gemeten energieverbruik in de twaalf appartementen tussen 1 februari 2001 en 31 januari 2002: zie tabel 9. De gemeten waarde ligt een stuk onder 60 MJ/(m<sup>3</sup>.a), namelijk 42.2 MJ/(m<sup>3</sup>.a). Die waarde moet wel nog gecorrigeerd op extra systeem en productieverliezen. In totaal zorgen die voor 19.4% extra,

d.w.z. 50.4 MJ/(m<sup>3</sup>.a), 16% minder dan de grenswaarde voor lage energie. En dat, ondanks het feit dat de gebalanceerde ventilatie het amper doet.

Tabel 9: Primair energieverbruik voor verwarming in de twaalf appartementen

<b>Gebouw</b>	<b>Beschermd volume</b>	<b>Primair verbruik verwarming (febr 01-jan 02)</b>	<b>Genormaliseerd verbruik</b>	<b>Genormaliseerd verbruik per m<sup>3</sup></b>
	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>MJ</b>	<b>MJ/a</b>	<b>MJ/(a.m<sup>3</sup>)</b>
Twaalf appartementen.	3360	119556	141850	42.2



Figuur 9 Wijk Houtvenne-Waterstraat, centraal blok

### Literatuur

1. Hens H., 2002, Toegepaste Bouwfysica en Installaties: energieverbruik, verwarming, ventilatie, ACCO, 219 p.
2. Vleugels T., 2001, Bouwfysische en energetische studie van een energiezuinige sociale woonwijk van Zonnige Kempen, Eindwek K.U.-Leuven

3. Anon., 2000, Woonwijk Kleine en Grote Waterstraat te Hulshout-Houtvenne, Bouwfysische evaluatie, Laboratory of Building Physics, Report 2000/16 (2), 12 p. (In Dutch)
4. Anon., 2001, Woonwijk Kleine en Grote Waterstraat te Hulshout-Houtvenne, Bouwfysische evaluatie, Laboratory of Building Physics, Rapport 2001/17, 17 p. (In Dutch)
5. Derden T., Verhoeven K., 2001, Energieverbruik en bouwkwaliteit in lage energie woningen, Eindwerk K.U.-Leuven
6. Adams W., Vos W., 2002, Het concept lage-energie-woning: optimale en meest rendabele beslissingen, Eindwerk K.U.-Leuven
7. Staepels L., 2002, Onderzoek in situ naar het rendement van een gebalanceerde ventilatie met warmterecuperatie, Eindwerk K.U.-Leuven
8. Seeuws B., 2002, Energieverbruik en Energieprestatie van Lage-Energiewoningen, Eindwerk K.U.-Leuven
9. Hens H, G. Verbeeck, L. Stijnen, B. Tomasetig, 2002, Energy consumption in a low energy estate: confronting measurements with overall data and prediction, Proceedings of the 11<sup>th</sup> symposium for Building Physics, Dresden
10. LBF (Laboratory for Building Physics, KU-Leuven), CD-ROM with energy consumption data, Leuven, 2002
11. Hens H., Stijnen L., Tomasetig B., 2002, Low Energy Estate-Confronting Design Intentions with Measurements, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Symposium on Building Physics in the Nordic Countries (Gustavsen, A. and J.V. Thue, Editors), NTNU, Trondheim, Norway