

Ware warmtestromen zichtbaar maken

# Het doel: echte warmterevoolutie

Is een succesvolle warmterevoolutie eigenlijk haalbaar met de "algemeen aanvaarde regels van de techniek" die momenteel in de bouwsector van toepassing zijn? | Robert Fleisch

6

In de wetenschap wordt al decennia lang controversieel gediscussieerd over het vraagstuk van de U-waarde en dus over het nut van extreme isolatie van gebouwen. Zolang echter geen consensus kan worden bereikt over deze kwestie die tot een wijziging van de huidige praktijk zou leiden (algemeen aanvaarde regels van de technologie), zullen de normen niet worden bijgewerkt. Normen en de onderliggende richtlijnen kunnen dus nooit alle feiten die al beschikbaar zijn omvatten, wat betekent dat ze slechts de samenvatting van de wensen van de opstellers van de normen op dat moment weergeven.

Maar omdat bouwnormen een essentiële wettelijke basis vormen, ontstaat er automatisch een "kip-ei" probleem, wat innovaties voortdurend tegenwerkt. Als gevolg daarvan kunnen normen hun fundamentele taak om "het juiste gebruik van een object te handhaven" op de lange termijn slechts ontoereikend vervullen en zo innovaties belemmeren of voorkomen. Eén van de effecten van dit beleid is dat het "energieprestatiecertificaat" (vereenvoudigd stationair rekenmodel voor de fictieve berekening van de warmtevraag) meer invloed heeft gehad op de waarde van een gebouw dan op de eco-efficiëntie ervan.

› ING. ROBERT FLEISCH, MSC

Oprichter van trustproject gmbh  
F&E in de energie-, hulpbronnen- en milieubeheersector (i3 Institut),  
rf@trust-projects.at

## Warmtegeleidingsvermogen versus warmtegeleidingsvermogen

De stationaire toestand wordt alleen bereikt als een stof aan verschillende temperaturen aan de buitenkant wordt blootgesteld en de temperatuurgradiënt aan de binnenkant al gelijkmatig over de dikte van het object is verdeeld. Anders wordt het de overgangs-toestand genoemd. Omdat de aardse bouwrealiteit echter altijd beide toestanden veroorzaakt (verschillende verhoudingen afhankelijk van het bouw materiaal), kunnen stationaire verhoudingen worden omschreven als "alternatieve feiten" t.o.v. de overgangsrealiteit. In het verleden was het niet mogelijk om de overgangsomstandigheden te berekenen, maar softwareprogramma's (bijv. WUFI van het Fraunhofer-instituut) zijn nu de facto voor iedereen toegankelijk. De basis van de gangbare berekeningsmethoden is het specifieke warmtegeleidingsvermogen ( $\lambda$ ), dat echter al een groot potentieel aan misverstanden met zich meebrengt (chimaera).

Dit komt omdat het de hoeveelheid warmte beschrijft die binnen een seconde door een homogene kubus met een zijlengte van 1 meter kan gaan bij een temperatuurverschil van 1 Kelvin zodra de opslagcapaciteit is uitgeput (opslag gevuld).

$$\lambda = \alpha * c * \rho \quad [w/mK]$$

Tegelijkertijd stelt het de berekende product van de warmtegeleidingsvermogen, de opslagcapaciteit en de dichtheid voor. Dichtheid en specifieke opslagcapaciteit zijn verantwoordelijk voor het tijdsverschil tussen een verandering van de temperatuur en het bereiken van een stationaire toestand van het materiaal - een feit dat in de stationaire toestand niet in aanmerking wordt genomen (ook niet bij de EnEV). Daarnaast wordt ook de permanente uitwisseling van infraroodstraling tussen gebouwen en hun omgeving volledig buiten beschouwing gelaten. Om de warmteoverdrachtscoëfficiënt = warmtestroom door een vast materiaal (met een willekeurige dikte per m<sup>2</sup>) uit de specifieke warmtegeleiding te voorspellen, moet de warmteoverdrachtsweerstand vooraf worden bepaald.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad m^2 K/W$$

Bild: trust-projects gmbh

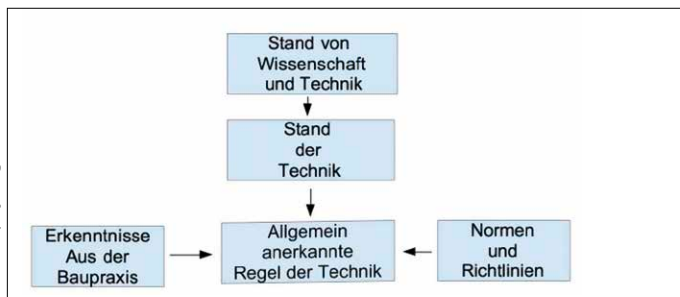


Fig. 1

Bild: trust-projects gmbh

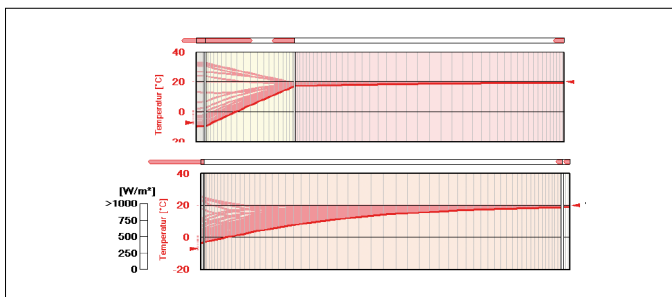


Fig. 2: De vergelijking van een art nouveau bakstenen muur (boven) met een moderne bakstenen muur met WdVS toont geen stationaire omstandigheden gedurende de dag

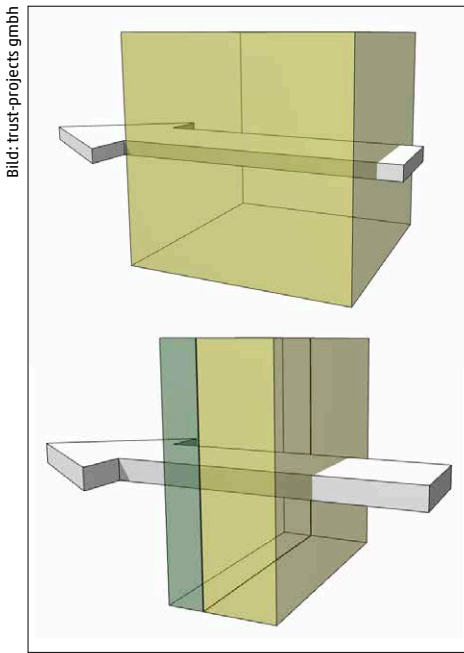


Fig. 3: Warmtestroom Q bij 1 graad temperatuurverschil en 1 meter zijlengte wordt gesymboliseerd door een pijl (bovenste foto), warmtestroom Q bij 1 graad temperatuurverschil t.o.v. de som van de warmteoverdrachtscoëfficiënten (onderste foto).

De warmteoverdrachtscoëfficiënt van een vaste stof is omgekeerd evenredig met zijn warmteoverdrachtsweerstand en dus evenredig met zijn dikte in verhouding tot zijn specifieke warmtegeleidingsvermogen.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{d} \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Bij meerlaagse componenten is de totale weerstand de som van de weerstanden van de afzonderlijke materiaallagen.

$$U = \frac{1}{R1 + R2 + R3} \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Het moet dus duidelijk zichtbaar zijn dat een herleiding van de warmteoverdrachts-coëfficiënt naar een theoretisch warmte-geleidingsvermogen wiskundig mogelijk is, maar grotendeels "zinloos" is, omdat dit in werkelijkheid alleen zou gelden voor de onderliggende structuur (materiaal, laagdikte etc.) - en dus alleen als een theoretische vergelijkingswaarde kan dienen. Bovendien vindt, zodra het geen echte vaste stof is, maar een minstens semi-transparante component (luchtkamers), de warmteoverdracht niet alleen plaats door warmtegeleiding(cd) maar ook door straling(r) en convectie(cv)

warmtegeleiding maar uit de warmte-geleidingscoëfficiënten van de afzonderlijke transportwegen.

$$U = h_{cd} + h_{cv} + h_r \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Aangezien de warmteoverdrachtscoëfficiënten van straling en convectie zich niet lineair t.o.v. de dikte van het materiaal verhouden, leidt ook in dit geval een herleiding naar het warmtegeleidingsvermogen alleen tot "alternatieve feiten", alhoewel dit wiskundig gezien wel mogelijk is.

$$\hat{\lambda} = U \cdot d$$

Deze praktijk wordt echter toegepast op elk conventioneel isolatiemateriaal en ook op alle andere bouwonderdelen (bakstenen, cellenbeton, enz.) die lucht insluiten, met het argument dat de afwijkingen van het "gemiddelde" warmtegeleidingsvermogen ten opzichte van de werkelijkheid aanvaardbaar zijn.

Figuur 4 (EPS) illustreert de wissel-werking tussen de afzonderlijke warmte-overdrachtsmechanismen, waarbij met betrekking tot de warmtestraling de warmte-geleiding zelf al als een alternatief feit naar voren komt. Deze zijn afhankelijk van de rasterdichtheid van het materiaal, maar grotendeels onafhankelijk van de dikte. Een lichtstraal wordt ook beïnvloed door de breedte van een opening en niet door de dikte van het materiaal van de opening. Anderzijds is het duidelijk dat wanneer het materiaal twee keer zo dik is, de stralings-component niet automatisch wordt ge-halveerd, zodat een geleiding met W/mK strikt genomen op alternatieve onzin uitdraait.

Bij stilstaande lucht is met deze situatie al rekening gehouden:

- de luchtwarmte geleiding is 0,026 W/mK
- door het samenspel van alle warmte-

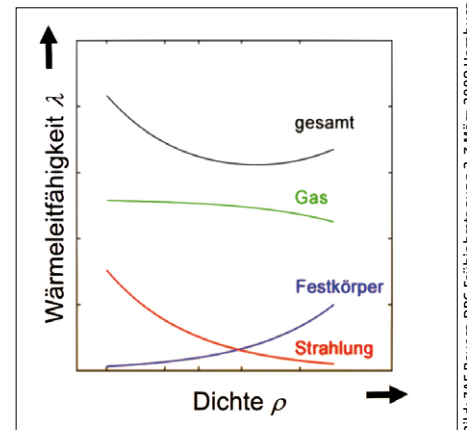


Fig. 4: Warmtetransport door semi-transparant Bouwstoffen (Schäume, EPS)

transportpaden geven de warmteoverdrachtsweerstand tabellen echter slechts 0,18 m<sup>2</sup> K/W aan, bijna onafhankelijk van de dikte (2 tot 10 cm).

Bij een dikte van 5 cm resulteert dit in een warmteoverdrachtscoëfficiënt van 5 in plaats van 0,5 W/m<sup>2</sup>K, wat een factor 10 is.

Deze situatie wordt verduidelijkt door een standaardmeting die in 2017 in opdracht van MA39 in Wenen is uitgevoerd. Hier werden stilstaande lucht, bubbelfolies en reflecterende films onder identieke omstandigheden relatief gezien gemeten. Hiervoor werden monsterdozen met 5 cm luchtruimte in een plaatapparaat gemeten volgens de normen.

De betreffende LPT-17 reflecterende folie is gecertificeerd voor een stationaire warmteoverdrachtsweerstand van 1,6 m<sup>2</sup>K/W (slechts 168 uur na het begin van de meting) - d.w.z. significant hoger dan de "luchtlagen tussen kale metalen" in figuur 6.

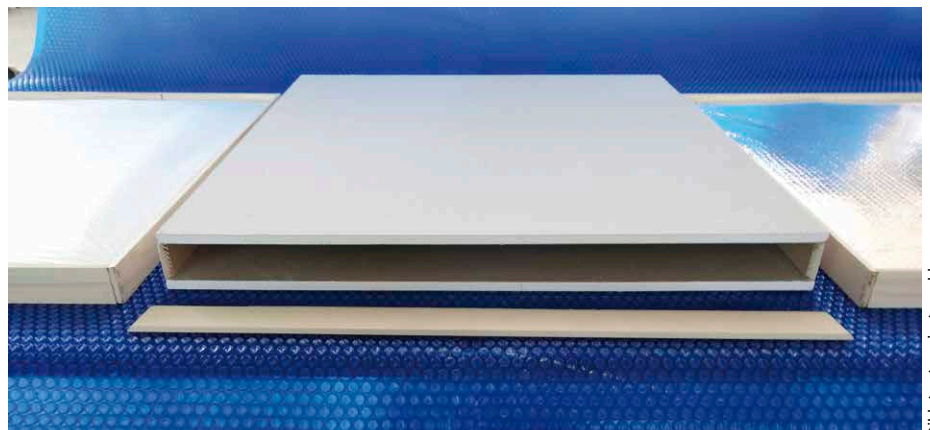


Fig. 5: Testexemplaar van LPS GmbH: buitenafmetingen: 800 x 800 x 76,4 mm; binnenafmetingen: 780 x 780 x 51,4mm. Het linker insteekframe is 32 mm in het midden, met 8 luchtkussen- en 9 vlakke folies; de rechter is 32 mm LPT-17 in het midden, met 8 luchtkussen- en 9 IR-reflectiefolies.

Gemeten warmteoverdracht:

1. meting 31,8 W/m<sup>2</sup> – alleen lucht
2. meting 15,0 W/m<sup>2</sup> – 3 cm luchtkussen- en vlakke folie aan de binnenkant van de luchtruimte
3. meting 5,9 W/m<sup>2</sup> – 8 luchtkussen- en
4. 9 reflecterende folies aan de binnenkant van de luchtruimte
- 5.

Verhouding tussen warmtestraling en warmtegeleiding uit bovenstaande metingen:

1. meting 7,87 :1
2. meting 1,58 :1
3. meting 0,15 :1

Hieruit blijkt duidelijk dat

- deze onbehandelde bubbel- en vlakke folies al fungeren als meerdere stralingsbeschermende schermen (Baehr H. D.; Stephan K.; Wärme- und Stoffübertragung 2019, Springer-Vieweg.de; ISBN 978-3-662-58440-8)

- de reflecterende folies bijna volledig de uitwisseling van straling onderdrukken
- een dergelijk materiaal bereikt een theoretisch warmtegeleidingsvermogen van minder dan 0,02 W/mK in stationaire toestand

Duidelijke en realistische bevindingen kunnen daarom alleen worden verkregen door een directe vergelijking van "typische" wand-constructies (isolatietechnieken), waarbij de warmtestromen van overgangssituaties direct worden vergeleken in het vergelijkings-laboratorium. Zo kan aan een reflecterend materiaal een feitelijke warmteweerstand van 3 m<sup>2</sup>K/W en dus ook een theoretisch warmte-geleidingsvermogen van 0,01 W/mK op reproduceerbare wijze (LPT-17) worden toegekend.

**Seriële toepassing van infrarood temperatuurbarrières lang voor de ontwikkeling van MW, PS en PU**

Samen met de meet- en rekenwaarden van koperen omhulsels (Walter Gropius uit de jaren dertig) levert dit een interessante relatie op, want door de technologische verwantschap was te verwachten dat de bevindingen van de koperen omhulsels grotendeels zouden samenvallen met die van de reflecterende materialen. Zo dachten collega's bijna 90 jaar geleden duidelijk al na over de factor tussen stationaire waarneming en de dynamische werkelijkheid.

Een 24-uurs vergelijking van de stationair voorspelde transmissie (ΔT=10 K) met echte meetwaarden van de nachtelijke straling (> 100 W/m<sup>2</sup> door het ZAMG-Centraal Instituut voor Meteorologie) maakt duidelijk dat de gekende maar grotendeels

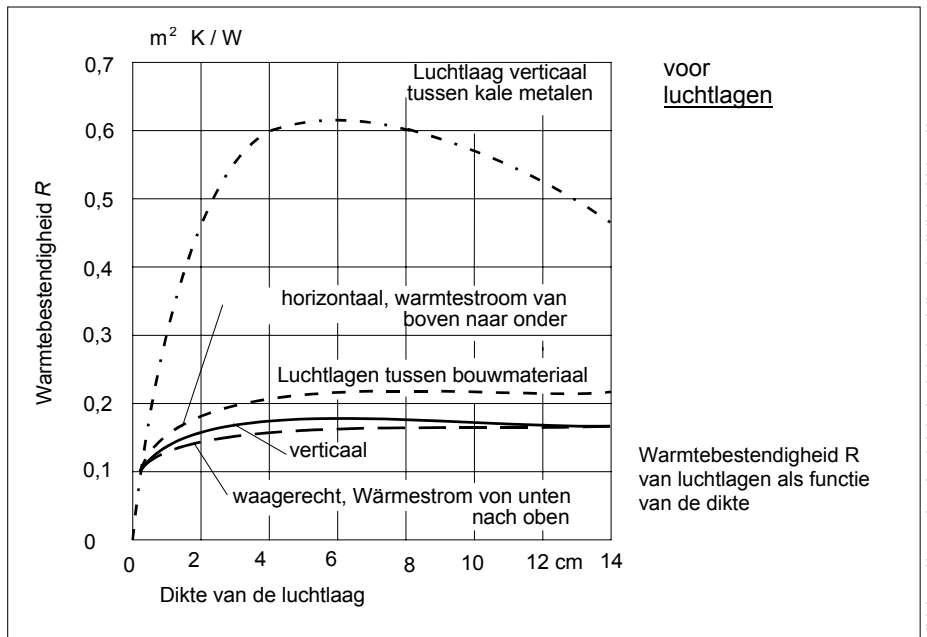


Fig. 6: Warmtetransport door verschillende stationaire luchtlagen

niet-overwogen lange-golfstralingsuitwisseling tussen gebouwen en hun omgeving (soms meer dan 1 kWh/m<sup>2</sup> per nacht) de verhoudingen van de huidige warmte-isolatie doctrine in twijfel moet trekken. Dit is een essentieel aspect, dat onvermijdelijk de vraag doet rijzen: Hoe "alternatief" is de feitsituatie eigenlijk, waarop de vandaag de dag erkende regels van de technologie zijn gebaseerd?

- stationaire voorspelling minerale wol (0,2 W/m<sup>2</sup> \* 10K \* 24h = 48 Wh/m<sup>2</sup>),
- stationaire prognose Reflectiemateriaal (0,33 W/m<sup>2</sup> \* 10K \* 24h = 80 Wh/m<sup>2</sup>),
- nachtelijke straling (teilw. > 100 W/m<sup>2</sup> \* 12h = 1,2 kWh/m<sup>2</sup>)

Een merkbaar potentieel voor "alternatieve feiten" binnen de "algemeen aanvaarde regels van de technologie" is daarom vrij duidelijk, omdat in deze regels een

onvolledig algemeen begrip van warmte is ontstaan, wat de oorzaak is van het falen van de warmtereolutie. Het optimale rendement van het gebouwomhulsel wordt uiteraard niet noodzakelijkerwijs bepaald door een individuele maatregel, maar veeleer door de interactie (de optelling, versterking of verzwakking) van verschillende bouwmaterialen / bouwsystemen en hun specifieke eigenschappen (geleiding, opslag, straling, emissie, reflectie), waardoor een kritisch totaaloverzicht onontbeerlijk is. De huidige kennis geeft al duidelijk aan dat, net als de opslagcapaciteit, het lange golf warmtestralings-/ reflectiegedrag een significante invloed heeft op de snelheid (dynamiek) van de temperatuurverandering binnen de omhulsels van gebouwen en dus ook binnen gebouwen. Hoewel de interacties

	specifische Wärmeleitfähigkeit W/mK $\lambda = \alpha * c * p$	theoretische Wärmeleitfähigkeit W/mK $\lambda = \frac{d}{R}$	Dicke m	WärmeDurchgangs Widerstand m <sup>2</sup> K/W $R = \frac{d}{\lambda}$	relatieve WärmeDurchgangs Widerstand	faktische WärmeDurchgangs Widerstand m <sup>2</sup> K/W $R = \frac{1}{h_{d,i} + h_{e,i} + h_e}$	WärmeDurchgangs Koeffizient W/m <sup>2</sup> K $U = \frac{1}{R}$
Dämmstoff Mineralwolle	0,040		0,200		5,00		0,20
Reflexionsstoff		0,019	0,030			1,55	0,65
Kupferhaus		0,077	0,120			1,56	0,64
Vollziegel	0,730		2,200		3,01		0,33
Reflexionsstoff Direktvergleich		0,010	0,030			3,00	0,33

Fig. 7: De warmteoverdrachtweerstand (1,55 m<sup>2</sup>K/W) van het koperen omhulsel, bepaald volgens de norm, komt overeen met de stationaire meetwaarde van het reflecterende materiaal LPT-17 vanaf 2017 (1,56 m<sup>2</sup>K/W). De vergelijkende gegevens uit 1931 (222 cm baksteenmuurequivalent) vallen samen met de vergelijkende overgangslaboratoriummeting van het reflectiemateriaal (3 m<sup>2</sup>K/W).

Bid: trust-projects gmbh

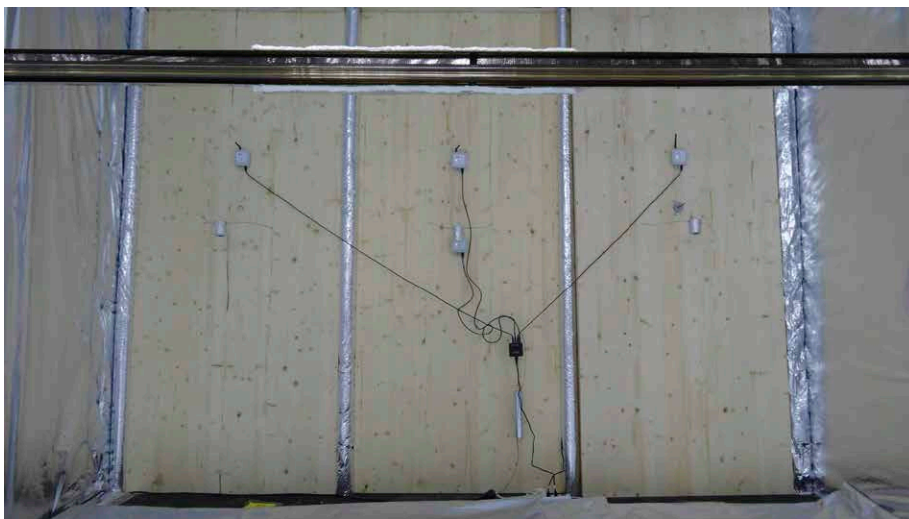


Fig. 8: Europa's grootste Hot-Box in Handenberg (AUT) met Cloud-sensoren van greenTEG uit Zwitserland: Drie identieke wandelementen naast elkaar (1,25 x 3m) voor een directe vergelijking van de resultaten met dynamische temperatuur-, warmtestroom- en vochtigheidsmetingen

complex zijn, moeten deze aspecten eerst goed met elkaar in overeenstemming worden gebracht om een daadwerkelijke en duurzame (sociaal, ecologisch en economisch) optimale efficiëntie te bereiken. Vier decennia ervaring hebben aangetoond dat goede resultaten kunnen worden bereikt met reflecterende materialen in de versterking van massieve muren, evenals de "energetische optimalisatie" van stilstaande luchtlagen, wat ook wordt bewezen door de koperen omhulsels sinds 1931. Energie- en hulpbronnen-efficiëntie vereist daarom altijd een open blik op het hele systeem (ook al kan worden

aangenomen dat niet alle aspecten volledig correct kunnen worden ingeschat) en de juiste maatstaf om zin en onzin (niet haalbare waardevermindering van efficiëntie-maatregelen) op de juiste manier af te wegen. De warmteoverdrachtsweerstand is altijd belangrijker dan het warmtegeleidings-vermogen. Zolang rekenprogramma's (software voor fictieve vraagberekening) alleen de invoer van de warmtegeleidings-vermogen van bouwmaterialaallagen toestaan, is er echter geen duurzaam inzicht in de warmte te verwachten. Tot op heden zijn er blijkbaar verschillende "alternatieve feiten" in de

normen opgenomen (effect zonder opslagmassa enz.), die nu haaks staan op een hedendaags begrip van het globale systeem. Het is daarom onmogelijk voor het "achterban" om snel en accuraat de juiste "efficiëntiemix" van massieve constructie, lichtgewicht constructie en de verschillende technologieën voor warmtebehoud te identificeren met de op dit moment geldende "erkende regels van de technologie". Deze onverdraaglijke situatie voor duurzaamheidswetenschappers is de belangrijkste drijfveer voor ons zelfstandig onderzoek.

Met de ervaring van het XXL-Vergelijkingslaboratorium, dat we in het leven hebben geroepen om drie echte muurelementen snel en direct met elkaar te vergelijken, willen we nu gebouwen in heel Europa uitrusten met sensoren om de online database te vullen, die echte warmtestromen voor iedereen zichtbaar kunnen maken en gestandaardiseerd datamateriaal kunnen leveren als basis voor een echte warmterevolutie (zonder alternatieve feiten en nepnieuws).

De wereldwijde klimaatverandering en betaalbare huisvesting vereisen een succesvolle verandering van paradigma's in de richting van het behoud van materialen, energie, technologische en financiële middelen. Duurzame eco-efficiëntie vereist het gebruik van infrarood als sleutel tot een echte warmterevolutie, omdat temperatuur-barrières die uitsluitend op basis van natuurlijke wetten functioneren een significant positief effect hebben op alle drie de manieren van warmte-energieoverdracht. <

**DAMPF-, FEUCHTIGKEITS- UND TEMPERATURBARRIERE Lu..po.Therm®, LPT-1 bis LPT-21**  
 Die kaskadenartige INFRAROT-Reflektion funktioniert „vollständig ohne Dämmstoffe“

The advertisement features a roll of LPT-17 insulation material on the left, with dimensions 1,5m x 2,5m x 12,8m. In the center is a diagram of a house cross-section showing the insulation applied to the roof (DACH), walls (WAND), floor (BODEN), ceiling (DECKE), basement floor (KELLERDECKE), and balcony (BALKON). The diagram indicates a thickness of 10m for the insulation. On the right, there is an illustration of an igloo, symbolizing the insulating properties of the product. The website www.LupoTherm.com is listed vertically on the right side.

Dünn, leicht, luftdicht, trocken, flexibel, schadstofffrei, elektromogabschirmend und ökoeffizient.