



UNIVERSITY OF NIŠ
The scientific journal FACTA UNIVERSITATIS
Series: **Architecture and Civil Engineering** Vol.1, N° 4, 1997 pp. 457 - 471
Editors of series: *Dragan Veličković, Dušan Ilić*, e-mail: factacivil@bik.grafak.ni.ac.yu
Address: Univerzitetski trg 2, 18000 Niš, YU
Tel: (018) 547-095, Fax: (018)-547-950

WOHNUNGSBAU IM 21. JAHRHUNDERT

UDC: 728.1"20"

Eckhard Reyer, Wolfgang Willems, Simone Dinter

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum, Germany, Tel.: 0234-7006184, Fax: 0234-7094553, e-mail: fl@reyer3.kon.bi.ruhr-uni-bochum.de

Abstract. *This article discusses the consequences of intensifying the wintry heat insulation demands on the constructional design of the heat transfer surface. The discussion is based on the expected development of the German thermal insulation regulations (GTIR). The new GTIR leads, compared with today's standards, to a superproportional increase in the thickness of the thermal insulation layers of external building components. The effect of this new developments on the energetic boundary states and on the sound protection will also be discussed. Special attention will be given to the choice of environmentally fair building materials. This will be done in accordance to primary energy content, the capability of recycling, permanency, toxicity in the case of fire etc. The advantage of timber building constructions (e.g. demolition of timber buildings requiring low energy consumption, wood as a regenerative building material with a closed CO₂-circuit) will be additionally presented.*

1. EINLEITUNG

Mit der für 1999 avisierten Novellierung der heute gültigen Wärmeschutzverordnung WSVO 95 [1] ist eine deutliche Erhöhung der Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz verbunden. Die Nichtlinearität zwischen Wärmedämmstoffeinsatz in einem Bauteil und dem damit korrespondierenden Wärmedämmvermögen eines Bauteils zwingt uns zu Überlegungen, auf welche Art und Weise die einzelnen wärmeübertragenden Bauteile einer Gebäudehülle (primär Außenwand und Dach, Trennwände zu nichtbeheizten Räumen usw.) in ihrer Konstruktion sinnvoll zu modifizieren sind. Dabei spielt besonders auch der Konflikt zwischen Wärmedämmung und Schallschutz eine entscheidene Rolle.

Received December 26, 1997

2. HEIZENERGIEKONZEPTION DER ZUKUNFT

Zu Beginn des Jahres 1995 trat in der Bundesrepublik Deutschland die - gegenüber der bis dato gültigen Wärmeschutz-Verordnung von 1982 novellierte - Wärmeschutzverordnung (WSVO 95) [1] in Kraft. Erklärtes Ziel dieser WSVO ist es, den zur Beheizung von Gebäuden - im wesentlichen von Wohn - und Verwaltungsgebäuden - erforderlichen Energiebedarf im Hinblick auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen und die Schonung der primär fossilen Energieträger deutlich zu vermindern.

Die in dieser WSVO 95 [1] hinsichtlich des maximal zulässigen Jahres-Heizwärmebedarfs formulierten Anforderungen, die auf das ehemalige Niveau sogenannter Niedrigenergiehäuser (Abkürzung: NEH) angehoben wurden, stellen sich im europäischen Vergleich jedoch als wenig zukunftsweisend und eher mittelmäßig dar, vgl. Bild 1 (BRD).

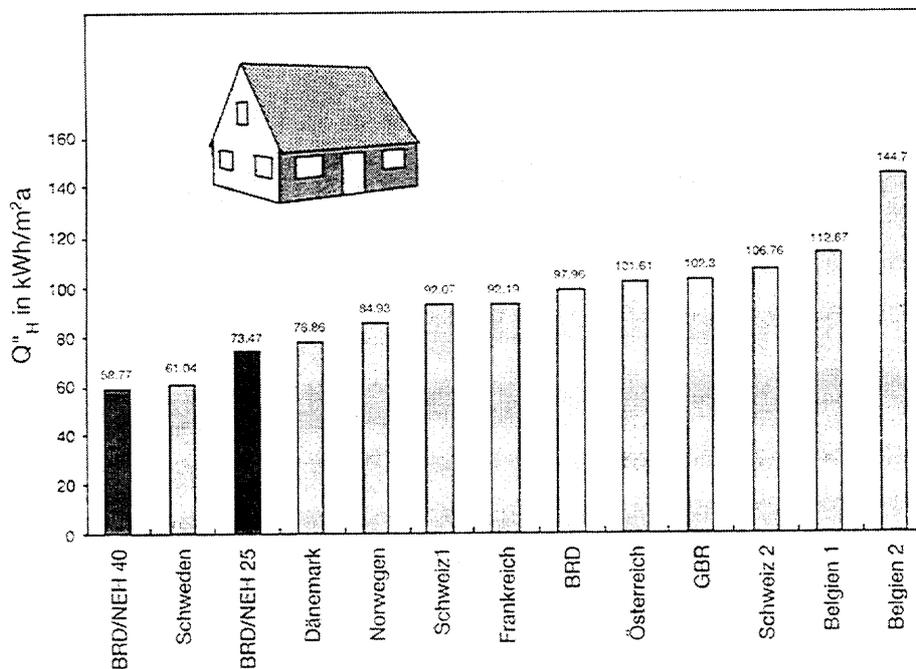


Bild 1. Vergleich der Anforderungen an die Begrenzung des Heizenergiebedarfs einiger europäischer Staaten am Beispiel eines Einfamilien-Niedrigenergiehauses, vgl. auch [2].

Spricht man heute nach Inkrafttreten der WSVO 95 [1] von NEH, so ist dieser Begriff zwangsläufig zu relativieren. Im „Gesetz zur Förderung des Wohnungseigentums“ beispielsweise wird darauf hingewiesen, daß eine gesetzlich verankerte Niedrigenergiehauszulage dann gewährt wird, wenn auf der Grundlage der WSVO 95 ein um 25% niedrigerer Heizenergiebedarf nachgewiesen wird. Darüberhinausgehende Anforderungen sehen die Einordnung des Begriffes NEH bei rund 60% der in der WSVO 95 verankerten Grenzwerte.

Am Beispiel eines Einfamilienhauses wird gezeigt, daß diese NEH im Vergleich mit einigen europäischen Nachbarn bezüglich des zulässigen Heizwärmebedarfs dann geringfügig über (bei 25% Reduzierung = BRD/NEH 25) bzw. geringfügig unter (bei 40% Reduzierung = BRD/NEH 40) den zulässigen Maximalwerten des europäischen „Anforderungs-Spitzenreiters“ Schweden (Bild 1) liegen, vgl. dazu auch [2].

Um dieses aktuelle Defizit zu beheben, werden in einer weiteren Novellierung der Wärmeschutzverordnung - voraussichtlich im Jahre 1999 in Form einer Energiesparverordnung - die Anforderungen hinsichtlich des zulässigen Jahresheizwärmebedarfs noch einmal deutlich verschärft werden, wobei erstmals neben den bisherigen Komponenten „Transmissionswärmebedarf“, „Lüftungswärmebedarf“, „Solare und Innere Wärmegewinne“ auch heizanlagentechnische Beurteilungskriterien in das Nachweisverfahren aufgenommen werden werden.

3. KONSEQUENZEN FÜR BISHER BEWÄHRTE KONSTRUKTIONEN

3.1. Kausale Zusammenhänge

Diese deutliche Verschärfung der Anforderungen an das Wärmedämmvermögen der wärmeübertragenden Bauteile - hier sind im wesentlichen Dächer und Außenwände zu nennen - wird zwangsläufig zu modifizierten Konstruktionen und damit zu einer Veränderung der gängigen Entwurfskonzeptionen führen. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, daß bei einer linearen Reduzierung der Transmissionswärmeverluste (lineare Absenkung des Wärmedurchgangskoeffizienten k [Abkürzung: k -Wert]) sich der Aufwand wärmeschutztechnischer Maßnahmen überproportional steigert und daß parallel dazu dann Konflikte mit Aspekten des Schallschutzes, mit Bauvorschriften usw. entstehen.

3.2. Außenwände

3.2.1. Allgemeines

Bei den massiven Außenwandkonstruktionen wird eine Erfüllung der Anforderungen, die bei einer Novellierung der WSVO 1999 zu erwarten sein werden, bei Zugrundelegung sinnvoller Bauteilabmessungen nur noch durch einen mehrschaligen Wandaufbau, d.h. durch weitgehende Zuordnung einzelner Bauteilschichten zu ihren jeweiligen bauphysikalischen bzw. statischen Anforderungen, zu gewährleisten sein.

Im folgenden werden die vier repräsentativsten Außenwandtypen (hinsichtlich ausführlicherer Darstellungen vgl. auch [3]) unter bauphysikalischen Gesichtspunkten - insbesondere hinsichtlich ihres Wärmedämmvermögens (k -Wert) und des damit kausal verbundenen Schallschutz-Maßes R'_w - im Sinne grundsätzlicher Tendenzen dargestellt.

3.2.2. Einschalige monolithische Mauerwerkswand

Bild 2 zeigt den Regelquerschnitt einer einschaligen monolithischen Wand aus hochwärmedämmendem Mauerwerk, z.B. aus Ziegeln oder Porenbetonbausteinen sowie

in graphischer Form die in Abhängigkeit von Steinrohddichte und Wanddicke rechnerisch erreichbaren Kennwerte des winterlichen Wärmeschutzes (k -Werte nach DIN 4108) und der Luftschalldämmung (R'_w nach DIN 4109) am Beispiel einer Wand aus Porenbeton.

Es ist deutlich zu erkennen, daß monolithische Wände bei geeigneter Konstruktion, d.h. bei großen Querschnitten und niedriger Steinrohddichte, in der Lage sind, gute k -Werte in der aktuellen Größenordnung von $0,4 \leq k < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu erfüllen. Zur Einschätzung der Größenordnung: Nach WSV0 [1] wird für Außenwände nach dem vereinfachten Verfahren (WSVO 95 Anl. 1 Abs. 7) ein maximaler k -Wert von $k = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, vgl. entsprechende Horizontale in der Graphik (Bild 1), gefordert. Die dazu erforderliche sehr niedrige Steinrohddichte ρ führt dann jedoch nicht immer zu befriedigenden schallschutztechnischen Ergebnissen.

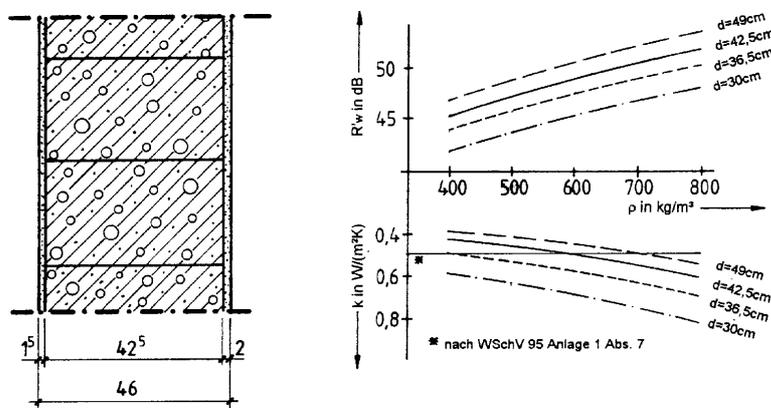


Bild 2. Regelquerschnitt und graphische Darstellung zugehöriger wärme- und schallschutztechnischer Kennwerte in Abhängigkeit der Dicke d und der Rohddichte ρ des Mauerwerks, vgl. auch [4]

Als zusätzlicher schallschutztechnischer Problempunkt monolithischer Wände aus hochwärmedämmendem Mauerwerk mit großem Querschnitt erweisen sich häufig die konstruktionsbedingt geringen Elastizitätsmoduln der Steine senkrecht zur Wandfläche: Diese führen in der Regel zu Dickenresonanzen, die eine drastische Verminderung der sich nach Norm rechnerisch ergebenden massenabhängigen Luftschalldämmmaße R'_w zur Folge haben. Eine Quantifizierung dieser Verminderung ist nicht pauschal möglich.

Werden im Rahmen einer zukünftigen Energiesparverordnung - auf dem Niveau von BRD/NEH 25 oder BRD/NEH 40 (vgl. Bild 1) - die Anforderungen an das Wärmedämmvermögen (ausgedrückt durch den k -Wert) auf zu erwartenden Werte im Bereich von $0,15 \leq k \leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angehoben, wird eine einschalige monolithische Außenwand diesen Anforderungen nicht mehr gerecht werden können. Beispiel: Die monolithische ausgeführte Außenwand eines Gebäudes mit Niedrigenergiehaus(NEH)-Charakter, d.h. mit einem k -Wert von beispielsweise $k = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, würde selbst bei extrem hochwärmedämmendem Mauerwerk mit einer Wärmeleitzahl von $\lambda = 0,16 \text{ W}/(\text{mK})$ eine Wanddicke von rd. 60 cm erfordern!

3.2.3. Einschalige Mauerwerkswand mit Wärmedämm-Verbundsystem

Bild 3 zeigt den Regelquerschnitt einer einschaligen Wand aus schwerem Kalksandstein ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) mit einem Wärmedämm-Verbundsystem (im weiteren mit WDVS abgekürzt) aus Mineralfaser und einem schwerem mineralischen Putzsystem (weitere Ausführungsmöglichkeiten sowie Details sind in [3] dargestellt).

Wie aus der nebenstehenden Graphik in Bild 3 zu erkennen ist, werden in dieser Konstruktion ab einer rechnerischen Dämmschichtdicke von rund 6,5 cm k-Werte von $k \leq 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erzielt. Bei heute gängigen Dämmschichtdicken von rund 10 cm lassen sich problemlos k-Werte von rund $0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erzielen. Eine Begrenzung der k-Werte nach unten erfolgt zur Zeit im Rahmen der bauaufsichtlichen Zulassung in Form einer Beschränkung der maximal zulässigen Dämmschichtdicke auf 12 cm, die den Anforderungen eines Niedrigenergiehauses unter Umständen nur bedingt gerecht werden kann: Hier besteht also deutlicher Handlungsbedarf, die zulässigen Wärmedämmschichtdicken in den bauaufsichtlichen Zulassungen - z.B. durch ergänzende Prüfungen - zu erhöhen.

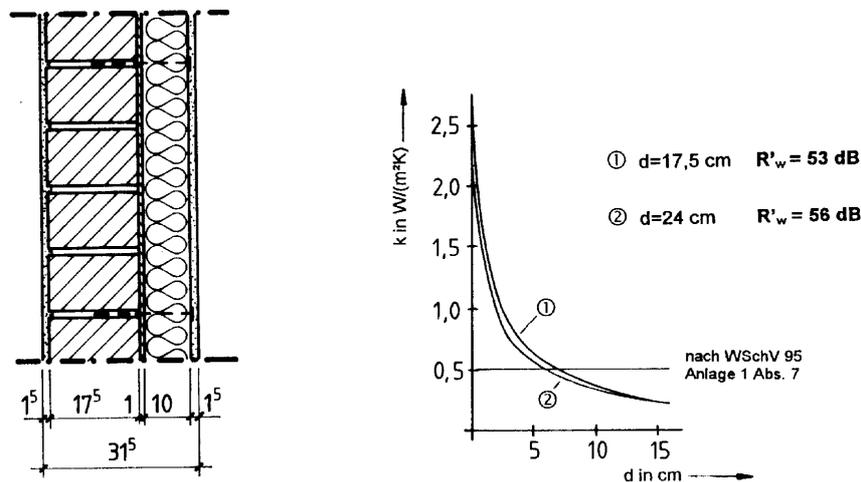


Bild 3. Regelquerschnitt und graphische Darstellung zugehöriger wärme- und schallschutztechnischer Kennwerte in Abhängigkeit der Dicke d des Mauerwerks

Durch die Zuordnung der einzelnen bauphysikalischen Anforderungen an einzelne Bauteilschichten lassen sich die unterschiedlichen Anforderungen weitgehend optimieren. Das Luftschalldämm-Maß R'_w ist bei diesen Konstruktionen primär abhängig von der flächenbezogenen Masse der tragenden Mauerwerksschale. Der Einfluß des WDVS wird in Abhängigkeit der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht und der flächenbezogenen Masse seines Putzsystems mit einem Korrekturwert in der Größenordnung von bis zu 5 dB berücksichtigt. Im vorliegenden Beispiel ergeben sich unter Berücksichtigung eines Korrekturwertes von +2 dB rechnerische Luftschalldämm-Maße von $R'_w = 53 \text{ dB}$ bei $d = 17,5 \text{ cm}$ bzw. von $R'_w = 56 \text{ dB}$ bei $d = 24 \text{ cm}$. Eine ausführliche Darstellung ist z.B.

[3] und [5] zu entnehmen.

Zur Beurteilung des Brandschutzes spielt neben der Feuerwiderstandsdauer der tragenden Wand das Brandverhalten (Brennbarkeit) der Dämmschicht die entscheidende Rolle; der Nachweis der Brennbarkeit ist dem entsprechenden Prüfzeugnis zu entnehmen. Das beispielhaft dargestellte einschalige Mauerwerk aus schwerem Kalksandstein mit einem WDVS aus Mineralfaser und schwerem Putzsystem ist bei einseitiger Brandbeanspruchung als F 180-A einzustufen.

3.2.4. Zweischaliges Mauerwerk mit Hinterlüftung und zusätzlicher Wärmedämmung

Bild 4 zeigt den Regelquerschnitt einer zweischaligen Wand mit einer Innenschale aus schwerem Kalksandstein ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$), einer hinterlüfteten Außenschale aus Klinkern und einer zusätzlichen Wärmedämmschicht (i.d.R. Mineralfaserdämmstoff).

Wie die nebenstehende Graphik in Bild 4 zeigt, sind mit den üblichen Dämmstoffdicken auch bei dieser Konstruktion trotz der Verwendung schweren Mauerwerks gute k-Werte zu erreichen: In diesem Beispiel ergibt sich ein Wert von $k = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Infolge der auf statischen Gesichtspunkten basierenden Begrenzung des Schalenabstandes auf 15 cm und einer Mindestluftschichtdicke von 4 cm ist die freie Wahl der Dämmstoffdicke und damit das Spektrum erreichbarer niedriger k-Werte jedoch eingeschränkt.

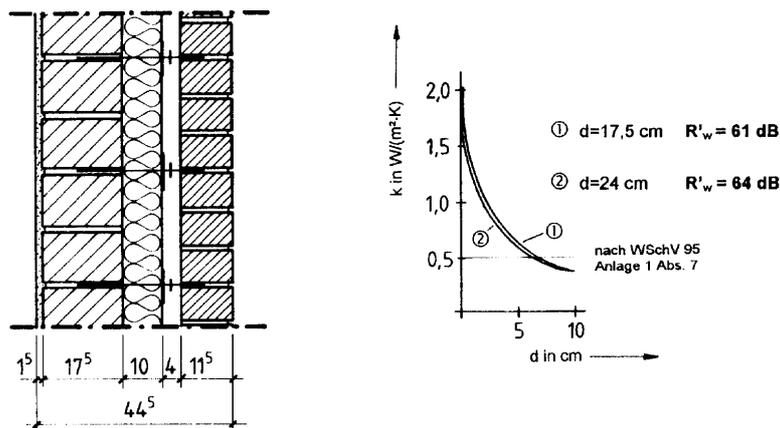


Bild 4. Regelquerschnitt und graphische Darstellung zugehöriger wärme- und schallschutztechnischer Kennwerte in Abhängigkeit der Dicke d des Mauerwerks

Das Luftschalldämm-Maß R'_w ist bei dieser Konstruktion aufgrund der schalltechnisch günstigen Zweischaligkeit um mindestens 5 dB größer als das einer gleichschweren (Massen der Innen- und Außenschale zusammen!) einschaligen Wand. Für das dargestellte Beispiel ergeben sich somit rechnerische Luftschalldämm-Maße von $R'_w = 61 \text{ dB}$ bei einer Dicke der Tragschale von 17,5 cm bzw. von $R'_w = 64 \text{ dB}$ bei $d = 24 \text{ cm}$.

3.2.5. Einschalige Mauerwerkwand mit hinterlüfteter Bekleidung und zusätzlicher Wärmedämmung

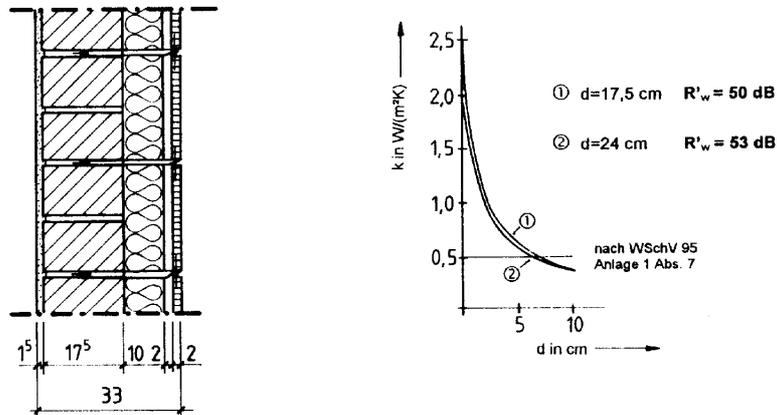


Bild 5. Regelquerschnitt und graphische Darstellung zugehöriger wärme- und schallschutztechnischer Kennwerte in Abhängigkeit der Dicke d des Mauerwerks.

Bild 5 zeigt den Regelquerschnitt einer zweischaligen Wand mit einer Tragschale aus schwerem Kalksandstein ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$), einer hinterlüfteten Bekleidung aus Keramik, Beton oder Naturstein, Glas, Faserzement, Holz oder Metall und einer zusätzlichen Wärmedämmschicht, die in der Regel aus Mineralfaserdämmstoff besteht. Hinsichtlich des winterlichen Wärmeschutzes ist die hier beispielhaft dargestellte Konstruktion - wie die nebenstehende Graphik zeigt - mit der zweischaligen Außenwand (s.o.) vergleichbar: es ergibt sich hier ein Wert von $k = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Eine Begrenzung der Dämmstoffdicke (und damit eine vorgegebene Begrenzung des k -Wertes) ist durch die Norm nicht gegeben, die Standsicherheit der Konstruktion ist nachzuweisen.

Das Luftschalldämm-Maß R'_w ergibt sich bei dieser schallschutztechnisch einschaligen Konstruktion in direkter Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der Tragschale ohne zusätzliche Korrekturwerte entsprechend der Rechenvorschrift für die einschalige monolithische Wand. Damit ergibt sich für das dargestellte Beispiel ein rechnerisches Luftschalldämm-Maß von $R'_w = 50 \text{ dB}$ bei einer Dicke der Tragschale von $d = 17,5 \text{ cm}$ bzw. von $R'_w = 53 \text{ dB}$ bei $d = 24 \text{ cm}$.

3.3. Dächer

3.3.1. Flachdächer

Bei den in der Regel luftdicht konzipierten Flachdächern (d.h. übliche Ausführung mit einer Tragschale aus Stahlbeton) wird die Dämmschichtdicke entsprechend der sich nach der jeweils gültigen WSVO [1] ergebenden Wärmedurchgangskoeffizienten k (k -Werte) gegenüber den heute üblichen Größenordnungen deutlich erhöht werden.

Bild 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Flachdaches sowie in graphischer Form die in Abhängigkeit der Dämmschichtdicke d rechnerisch erreichbaren Kennwerte des

winterlichen Wärmeschutzes (k-Wert).

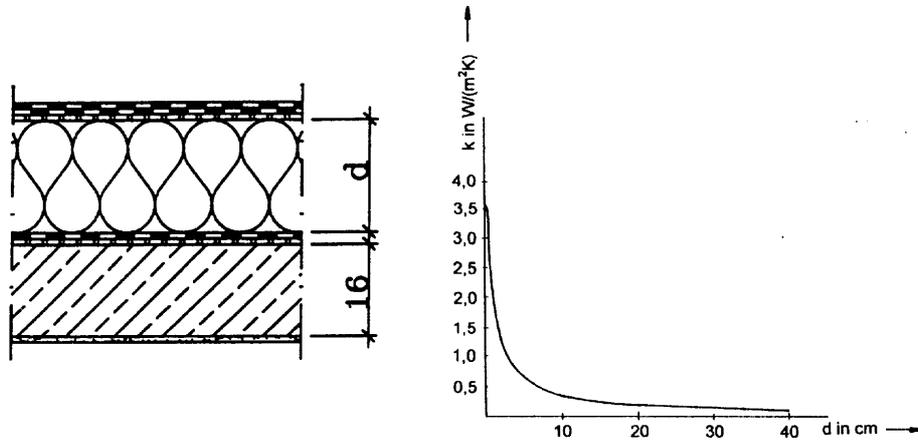


Bild 6. Prinzipieller Aufbau und graphische Darstellung der zugehörigen wärmeschutztechnischen Kennwerte (k-Werte) in Abhängigkeit der Dicke d der Wärmedämmschicht

Beim Flachdach besteht grundsätzlich keine Einschränkung hinsichtlich der möglichen Dämmschichtdicke (aerodynamischen Randbedingungen wie Sogspitzen etc. ist gegebenenfalls konstruktiv zu begegnen), jedoch wird die Dämmschichtdicke energetisch begrenzt. Indikator ist in diesem Zusammenhang die sogenannte Netto-Primärenergieeinsparung E_{netto} .

Die Netto-Primärenergieeinsparung E_{Netto} der Wärmeschutzmaßnahme ergibt sich aus der Differenz der infolge der eingesetzten Wärmedämmung kumulierten Primärenergieeinsparung bei der Beheizung des Gebäudes und aus dem Primärenergieinhalt des verwendeten Dämmstoffes.

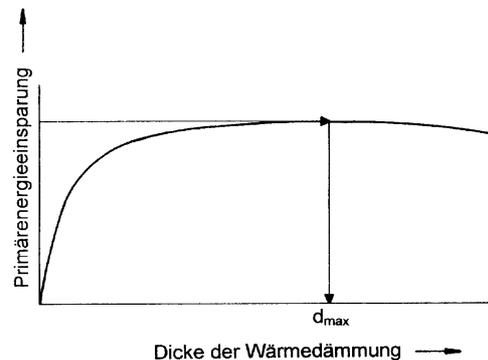


Bild 7. Netto-Primärenergieeinsparung in Abhängigkeit der Dämmschichtdicke, Kennzeichnung der energetisch maximal zulässigen Dämmschicht d_{max}

Bild 7 zeigt als Prinzipskizze in graphischer Form die in Abhängigkeit der

Dämmschichtdicke d rechnerisch erreichbare Netto-Primärenergieeinsparung E_{Netto} , wobei sich deutlich eine energetisch maximal zulässige Dämmschichtdicke d_{max} abzeichnet. Ein Beispiel soll die Größenordnung dieses Maximalwertes verdeutlichen: Die energetisch maximal zulässige Dämmschichtdicke d_{max} eines Stahlbetonflachdaches mit einer Dämmschicht aus Polyurethan (PUR 30) beträgt bei Voraussetzung einer Dämmstoff-Lebensdauer von rd. 30 Jahren und unter Berücksichtigung der durchschnittlichen klimatischen Randbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland $d_{\text{max}} = 28$ cm.

3.3.2. Geneigte Dächer

Bei geneigten Dächern in Holzbauweise (für Außenwände in Holzbauweise gelten sinngemäß im wesentlichen dieselben Aussagen) kommen - ähnlich wie bei den Flachdächern - Konstruktionen mit deutlich erhöhtem Anteil an Wärmedämm-Material zum Einsatz. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem die Vollsparrendämmung sowie die zusätzliche Zwischenlattung- bzw. Installations-ebenenendämmung, bei denen jedoch infolge von Änderungen des Wasserdampftransportes gegenüber den konventionellen Konstruktionen differenzierte bauphysikalische Nachweise erforderlich werden. Von zusätzlicher und nicht zu unterschätzender Bedeutung ist bei diesen Konstruktionen in Holzbauweise die Gewährleistung einer luftdichten Konstruktion, die ebenfalls neue Betrachtungsweisen und Konstruktionsregeln erfordert.

4. ÖKOLOGISCHE BETRACHTUNGEN

4.1. Graue Energie

Unter Grauer Energie wird im allgemeinen diejenige Energie verstanden, die sich durch Materialgewinnung, Materialbearbeitung, Transport etc. kumuliert.

Bei einer energetischen Bilanzierung eines Gebäudes über die gesamte Nutzungsdauer wird - insbesondere bei Niedrigenergiehäusern - die im Zuge der Gebäudeerstellung in das eigentliche Bauwerk in Form von Grauer Energie eingebrachte Energie umso deutlicher ins Gewicht fallen, je geringer sich der zur Beheizung von Wohngebäuden erforderliche Energiebedarf einstellt. Für unterschiedliche Bauweisen (Massivbauweise, Holzrahmenbauweise) von Niedrigenergiehäusern soll am Beispiel der Außenwände (Dachaufbauten werden auch bei Niedrigenergiehäusern in Massivbauweise im allgemeinen als zimmermannsmäßige Holzkonstruktion ausgeführt) nachfolgend ein Vergleich der jeweils einzubringenden Grauen Energie angeführt werden.

Bild 8 zeigt für vier unterschiedliche Außenwandtypen (monolithische Mauerwerkswand, Mauerwerkswand mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS), Mauerwerk mit Kerndämmung, Holzrahmenbauwand) Bezugswerte für den jeweiligen Bedarf an Grauer Energie in Abhängigkeit des Wärmedämmvermögens (k -Wert) der einzelnen Bauteile.

Der Bezugswert ermittelt sich dabei aus dem Quotienten der Grauen Energie von jeweils betrachteter Außenwand zu Außenwand mit dem niedrigsten Wert (hier: Holzrahmenbauwand mit $k = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

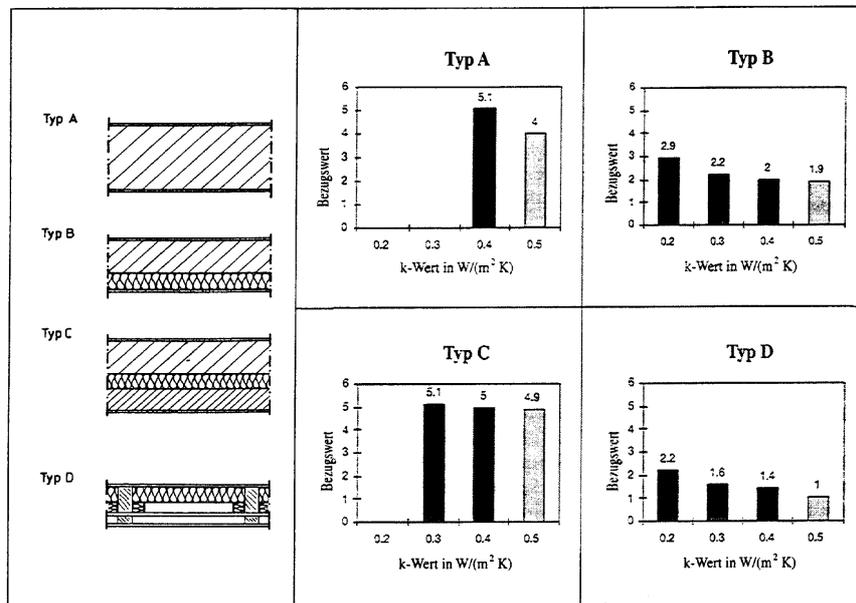


Bild 8. Angabe von Bezugswerten hinsichtlich des Bedarfs an Grauer Energie von vier unterschiedlichen Außenwandtypen (Darstellung als Horizontalschnitte) in Abhängigkeit des k-Wertes

Typ A: Monolithische Außenwand aus Gasbetonplansteinen; Typ B:

Mauerwerkswand aus Kalksandsteinen und expandiertem Polystyrol; Typ C:

Mauerwerk mit Kerndämmung; Typ D: Holzrahmenbauwand aus Holzrahmen

7/14 mit ineralfaserdämmung und hinterlüfteter Wetterschutzschale ($k \geq 0,3$

$W/(m^2K)$) bzw. Holzrahmen 8/20 mit Mineralfaserdämmung ($k < 0,3 W/(m^2K)$)

4.2. Dämmstoffauswahl

4.2.1. Allgemeines

Bei der Betrachtung zukünftiger Dach- und Außenwandkonstruktionen (vgl. vorhergehende Abschnitte) zeigt sich, daß bei der zu erwartenden Verschärfung der Anforderungen an das Wärmedämmvermögen in Zukunft zum einen die Gewährleistung eines zeitgemäßen Wärmedämmniveaus von Gebäuden fast ausschließlich nur durch separate Wärmedämmschichten ermöglicht werden kann und daß zum anderen der Bedarf an Wärmedämm-Material dann zwangsläufig überproportional steigen muß. Die Ursache liegt - wie oben schon angeführt - darin begründet, daß zur linearen Verminderung des k-Wertes eine überproportional größere Dicke der Wärmedämmschicht s erforderlich wird. Zur Veranschaulichung der Verhältnisse ein Beispiel: Die Verbesserung eines k-Wertes um $0,1 W/(m^2K)$ von $k = 0,6 W/(m^2K)$ auf $k = 0,5 W/(m^2K)$ erfordert eine Erhöhung der Dämmschichtdicke um $\Delta s = 1$ cm, die Verbesserung von $k = 0,3 W/(m^2K)$ um $0,1 W/(m^2K)$ auf $k = 0,2 W/(m^2K)$ [= NEH-Niveau] erfordert dagegen eine Erhöhung der Dämmschichtdicke um $\Delta s = 7$ cm.

4.2.2. Materialien

Die sich traditionell auf dem Markt befindlichen Wärmedämmstoffe (sie werden im folgenden wertfrei als „konventionelle“ Dämmstoffe bezeichnet) werden infolge eines immer sensibleren Umweltbewußtseins durch sogenannte „ökologische“ Dämmstoffe ergänzt. Bei den sogenannten „konventionellen“ Dämmstoffen handelt es sich im wesentlichen um künstlich hergestellte Produkte. Als Hauptvertreter im Sinne der größten Marktanteile dieser Gruppe sind für die Dämmung der Gebäudeaußenhülle die Materialien Mineralfaser, die in Form zerfaserter Steinschmelze mit Kunstharz als Bindemittel hergestellt wird, expandierter (und im Bereich erdberührter Bauteile auch extrudierter) Polystyrol-Hartschaum auf Erdölbasis sowie Schaumglas, das hauptsächlich auf den nahezu unbegrenzt vorhandenen Rohstoffen Quarzsand, Kalifeldspat, Kalzium und Natriumcarbonat basiert zu nennen.

Bei den sogenannten „ökologischen Dämmstoffen“ ist grundsätzlich hinsichtlich ihres Ursprungs zu differenzieren: man unterscheidet im allgemeinen zwischen den natürlichen - bzw. regenerativen - Dämmstoffen und denjenigen Dämmstoffen, die aus Rezyklierprozessen stammen. Zu den ersteren zählen beispielsweise Wärmedämmstoffe aus Baum- oder Schafwolle, aus Flachs, Schilfrohr oder Kokosfaser, die - ggf. unter Zugabe von Borsalz oder Ammoniumsulfaten - zu Vliesen o.ä. weiterverarbeitet werden. Als Dämmstoffe auf der Basis von Rezyklierprozessen sind hier vor allem Zelluloseprodukte (in Form von Schütt- bzw. Einblasgut oder Platten) aus Altpapier sowie Altglasgranulate zu nennen.

Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang zwei Beurteilungskriterien:

- Korrelation von Materialwahl und Amortisationszeit unter energetischen Gesichtspunkten
- Verhalten der Dämmstoffe unter Brandbelastung

Eine Übersicht über den größten Teil der zur Zeit auf dem Markt angebotenen Dämmstoffe gibt [6].

4.2.2.1. Korrelation von Materialwahl und Amortisationszeit

Unter der Amortisationszeit wird hier diejenige Zeitspanne verstanden, in der durch Verwendung einer Wärmedämmschicht Heizenergie in Höhe der investierten Grauen Energie eingespart wird. Bei Zugrundelegung der Heizgradtagzahl für Würzburg entsprechend WSVO 95 ergeben sich beispielsweise für die Wärmedämmschicht (Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,040$ bis $0,045 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Dicke $d = 12 \text{ cm} \Rightarrow$ annähernd gleiches Wärmedämmvermögen aller nachfolgend aufgeführten Außenwandvarianten!) einer zweischaligen Außenwand mit Klinkerschale bei Verwendung von Schafwolle und Kork als „Ökologische Dämmstoffe“ sowie Mineralwolle und Polystyrol-Hartschaum als „Konventionelle Dämmstoffe“ folgende überschlägigen Amortisationszeiten T_A :

| | |
|-----------------------------|-------------|
| T_A Schafwolle | = 1 Monat |
| T_A Mineralwolle | = 2 Monate |
| T_A Kork | = 5 Monate |
| T_A Polystyrol-Hartschaum | = 12 Monate |

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Aussage „Ökologischer Dämmstoff“ = kurze Amortisationszeit und „Konventioneller Dämmstoff“ = lange Amortisationszeit nicht zutreffend ist, auch wenn sie für eine Vielzahl von Produkten tatsächlich gilt.

4.2.2.2. Verhalten unter Brandbelastung

Während für die Konventionellen Dämmstoffe die Fragen der Brennbarkeit, der Entwicklung toxischer Substanzen im Brandfall usw. weitestgehend beantwortet werden können, besteht auf dem Gebiet der sogenannten Ökologischen Dämmstoffe noch nachhaltiger Forschungsbedarf.

Beispiele:

- Wie wird dauerhaft die Herabsetzung der Brennbarkeitsklasse von B3 auf B2 bzw. B1 gewährleistet?
- Welche - toxischen - Substanzen entstehen im Brand- bzw. Löschzustand?

5. HOLZBAUWEISE

Eine positive Beeinflussung der Energiebilanz eines Wohngebäudes - d.h. Einsparung von Energie - liegt in der Möglichkeit, Baustoffe und/oder Bauteile wiederzuverwenden, ohne dabei wiederum größere Energiemengen einsetzen zu müssen. Bauteile, die durch chemischen Verbund einzelner Werkstoffe hergestellt werden, entziehen sich im allgemeinen den Recyclingsmöglichkeiten - hier besteht im günstigsten Fall die Möglichkeit des Downcyclings, also der Aufbereitung zu minderen Zwecken (z.B. Aufbereitung mineralischer Wandbaustoffe zu Füllmaterialien im Straßenbau). Ist die Möglichkeit eines Re- oder auch Downcyclings nicht gegeben, müssen Baustoffe unter Einsatz von Energie deponiert und unter weiterem Einsatz von Energie neu bereitgestellt werden, was zu einer weiteren, unerwünschten Zunahme der CO₂-Belastung führt.

Gebäude in Holzbauweisen bieten in diesem Zusammenhang grundsätzliche Vorteile, vgl. auch [7]:

1. Bei der Errichtung von (Wohn-)Gebäuden erfolgt die Verbindungen einzelner Bauteile in der Regel mit mechanischen Verbindungsmitteln (Klebungen können hier vernachlässigt werden). Diese erlauben im Falle des Gebäuderückbaus eine prinzipiell vollständige Demontierbarkeit aller Bauteile und somit die gewünschte Recyclingfähigkeit ohne größeren Energieeinsatz
2. Ist eine Recyclingfähigkeit der Holzbauteile nicht mehr gegeben, kann das Holz zum biologischen Abbau deponiert oder verbrannt werden. Eine Verbrennung ist dem biologischen Abbau jedoch vorzuziehen, da es sich zum einen um prinzipiell gleichwertige Prozesse handelt (in beiden Fällen wird CO₂ freigesetzt) und zum anderen bei der Verbrennung nutzbare Energie zur Verfügung gestellt wird, die dann bei nicht regenerativen Energiequellen eingespart werden kann.
3. Beim Rohstoff „Holz“ handelt es sich um einen nachwachsenden Rohstoff. Eine Verwendung von Holz anstelle anderer Baustoffe bedeuten damit eine Schonung unserer Ressourcen.
4. Das Material „Holz“ weist - im Gegensatz zu anderen Stoffen - einen

geschlossenen Kohlenkreislauf auf und beteiligt sich damit nicht an einer Intensivierung der CO₂-Emissionen.

Ein weiterer Aspekt der Energieeinsparung ist die Minimierung des Bruttoflächenbedarfs (= Flächenbedarf bezogen auf die Außenabmessungen der Wohngebäudegrundfläche) bei vorgegebenen Nettoflächenbedarf (= Flächenbedarf bezogen auf die Innenabmessungen der Wohngebäudegrundfläche). Durch Minimierung des Bruttoflächenbedarfs werden die wärmeübertragenden Umschließungsflächen verkleinert, ergeben sich kleinere Deckenstützweiten und niedrigere Auflasten und damit geringeren Materialbedarf der tragenden Teile, geringere Erschließungsflächen etc.

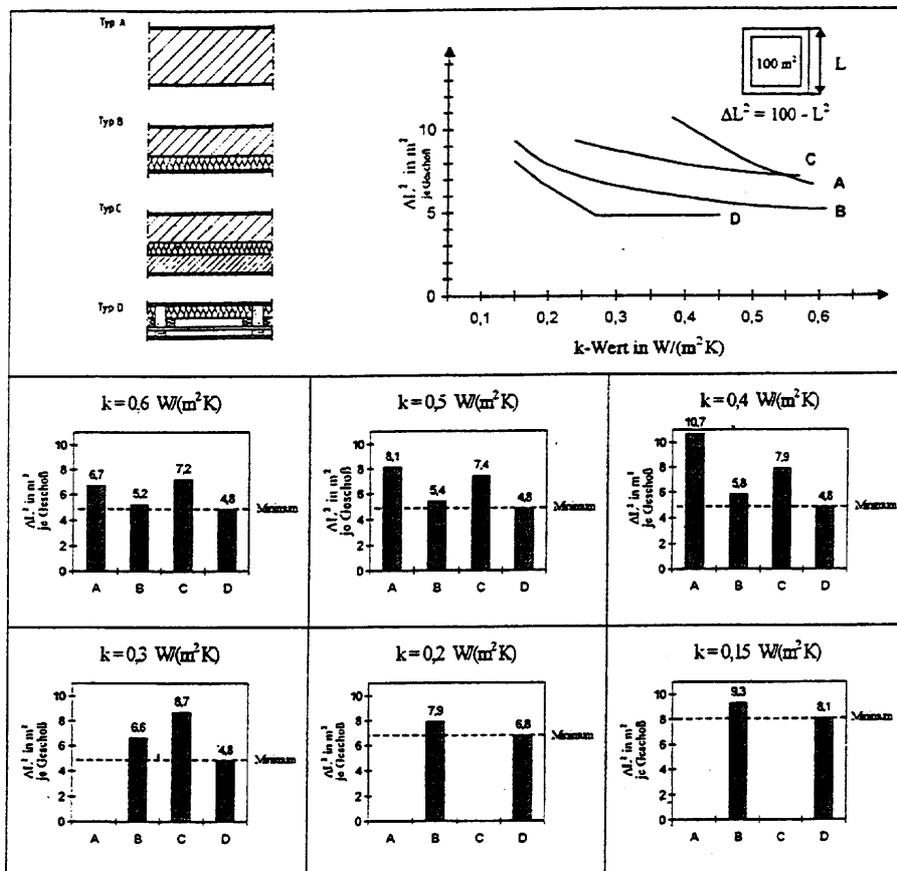


Bild 9. Darstellung des Wertes ΔL^2 ($\Delta L^2 =$ Differenz von Brutto- zu angenommenem Nettoflächenbedarf von 100 m²) in Abhängigkeit des k-Wertes für vier Außenwandquerschnitte von NEH (Typ A: Monolithischen Außenwand, Typ B: Mauerwerkwand mit WDVS, Typ C: Mauerwerk mit Kerndämmung, Typ D: Holzrahmenbauwand, ausführliche Beschreibung vgl. Unterschrift zu Bild 8)

Bild 9 zeigt am Beispiel von vier unterschiedlichen Außenwandtypen (Typen A bis D

entsprechend Bild 8) die jeweilige Differenz ΔL^2 von Brutto- zu Nettoflächenbedarf (angenommener Nettoflächenbedarf: 100 m^2) in Abhängigkeit des Wärmedämmvermögens - dargestellt durch den k-Wert - der einzelnen Außenwände.

Auch hier können bzgl. der Holzrahmenbauwand sehr deutlich zwei positive Aussagen getroffen werden:

1. Die Holzrahmenbauwand weist (knapp gefolgt von der Mauerwerkswand mit WDVS) im Vergleich zu den anderen Außenwandbauarten bei jeweils gleichem k-Wert den deutlich geringsten Brutto-Flächenbedarf auf.
2. Es lassen sich nur mit den zwei Außenwandbauweisen Holzrahmenbauwand und Mauerwerkswand mit WDVS die im Sinne einer Minimierung der Transmissionswärmeverluste in NEH sehr niedrigen k-Werte bis hin zu $k = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ realisieren. Für andere Wandbauweisen werden die maximal erreichbaren k-Werte entweder durch genormte Konstruktionsbeschränkungen (Schalenabstand bei zweischaligen Mauerwerk (Typ C) auf maximal 15 cm beschränkt) oder durch zu große Querschnittsdicken (monolithisches Mauerwerk, Typ A) begrenzt.

Unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung durch Minimierung des Bruttoflächenbedarfs sind diese Außenwandbauweisen (Holzrahmenbauwand - oder adäquate Holzbauweisen - und Mauerwerkswand mit WDVS) zu präferieren.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag läßt sich in folgenden Punkte zusammenfassen:

- Die Nichtlinearität zwischen Wärmedämmstoffeinsatz in einem Bauteil und dem damit korrespondierenden Wärmedämmvermögen eines Bauteils zwingt uns bei dem zu erwartenden weiteren Ansteigen der Wärmeschutzanforderungen (Minimierung der Transmissionswärmeverluste) zu Modifikationen der bisher bewährten Konstruktionen der wärmeübertragenden Bauteile einer Gebäudehülle (Außenwände, Dächer, Trennwände).
- Das Angebot an konventionelle Dämmstoffe wird durch sogenannte ökologische Dämmstoffe infolge eines immer sensibler werdenden Umweltbewußtseins deutlich erweitert. Es ist jedoch zu beachten, daß diese ökologischen Dämmstoffe bezüglich Brennbarkeit, Toxizität der Brandgase, Ressourcen etc. kritisch hinterfragt werden sollten.
- Die Holzbauweise beeinflußt die Energiebilanz eines Wohngebäudes positiv, da die Holzbauteile die gewünschte Recyclingfähigkeit ohne größeren Energieeinsatz aufweisen, sie biologisch abbaubar oder verbrennbar sind, zur Schonung der Ressourcen beitragen und durch ihren geschlossenen Kohlenstoffkreislauf nicht zur Intensivierung der CO_2 -Emission beitragen.

LITERATUR

1. *Wärmeschutzverordnung 1995*. Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden,

- Inkrafttreten am 1.1.1995
2. Reyer, E., Willems, W., Flertmann, Chr.: *Ökologisches Bauen - Mode oder Wissenschaft?* RUBIN, Heft 2/96, Seiten 1 bis 6, Bochum 1996
 3. Reyer, E., Willems, W.: *Außenwände*, Beitrag in "Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen", Hrsg. E. Cziesielski, Seiten 283-401, B.G. Teubner Verlag, 3. erweiterte und überarbeitete Auflage (ISBN 3-519-25015-2), Stuttgart 1997
 4. Reyer, E., Willems, W.: *Außenwände - ein bauphysikalischer Vergleich*, Eurobau, Heft 4/5, Seiten 13 bis 15, Sächsischer Baumarkt Verlagsgesellschaft mbH, Leipzig 1996
 5. Reyer, E., Willems, W.: *Massive Wände mit WDVS - Bestimmung des Luftschalldämm-Maßes R_w'* , Bericht zum Vortrag am 12. Mai 1997 im Deutschen Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, Seiten 1 bis 6
 6. Reyer, E., Willems, W., Flertmann, Chr.: *Kompendium der Dämmstoffe*, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik, Heft 14 (ISSN 0942-5918 mit ISBN 3-8167-4654-3), IRB-Verlag, Stuttgart, Juni 1997
 7. Reyer, E., Willems, W.: *Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise*, 1996 International Symposium of CIB W67, August 4th to 10th, proceedings pages 355 to 360, Wien 1996

IZGRADNJA STANOVA U 21. VEKU

Eckhard Reyer, Wolfgang Willems, Simone Dinter

U radu je dat prilog projektovanju termoizolacija u uslovima njihovih povećanih zahteva u uslovima zimske temperature i posledicama kada ima takvo projektovanje površinskih slojeva za prenos toplote. Razmatranje se zasniva na očekivanom inoviranju nemačkih standarda za toplotnu izolaciju (GTIR). Novi standardi GTIR, u poređenju sa današnjim standardima, vode ka ekstraproporcionalnom povećanju debljine slojeva za termičku zaštitu koju predstavljaju spoljne komponente na objektu. Efekti inoviranja standarda za energetska granična stanja i na zaštitu od zvuka su takođe razmatrani. Posebna pažnja biće posvećena izboru prikladnih građevinskih materijala u odnosu na lokaciju objekta i u saglasnosti sa primarnim energetskim sadržajem, trajnošću, kao i posledicama od požara. Prednost objekata izgrađenih od drveta biće prezentirana u sledećim radovima.