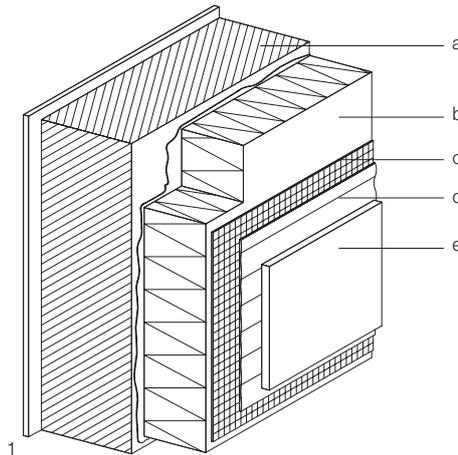


Grundlagen und Entwicklungen bei Wärmedämmverbundsystemen zur Einführung der EnEV 2009

The Principles of Compound Thermal-Insulation Systems. New Developments in the Light of Revised German Energy Regulations, 2009

Matthias Pätzold,
Florian Musso



- 1 Prinzipaufbau Wärmedämmverbundsystem
a tragende Wandkonstruktion
b Wärmedämmung auf Kleberschicht
c Armierungsgewebe
d Armierungsputz
e Oberputz

- 1 *Constructional principle of composite thermal-insulation systems*
a *Load-bearing wall*
b *Thermal insulation with adhesive layer*
c *Reinforcing mesh*
d *Reinforcing rendering*
e *Top coat of rendering*

Am 1. Oktober 2009 tritt die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 in Kraft. Sie schreibt Planern neue Berechnungsmethoden und engere Grenzwerte für die Dimensionierung von Dämmwerten der Gebäudehülle vor: Der Primärenergieverbrauch von Neu- oder Umbauten muss im Vergleich zur EnEV 2007 um 30 % niedriger sein. Dem Architekten und Planer bleibt der Spielraum, im Referenzgebäudeverfahren einzelne Bereiche der Gebäudehülle in einem eng gesetzten Rahmen weniger gut zu dämmen, wenn er mit Kompensationsmaßnahmen die übrigen Außenbauteile überdurchschnittlich gut dämmt. Der U-Wert der einzelnen Bauteile muss den Werten des Referenzgebäudes gerecht werden. Lag nach der EnEV 2007 die Mindestdämmanforderung der Außenwand des gesamten Gebäudes im Neubaubereich bei einem mittleren U-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, muss jetzt jedes Bauteil einen Referenzwert von bis zu $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen (Abb. 2).¹ Da Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), auch Thermohaut oder Vollwärmeschutz genannt, den Markt für Neubauten mit ca. 58 % und für thermische Sanierungen mit einem Anteil von nahezu 75 % beherrschen, kommt ihnen bei der Umsetzung der EnEV 2009 eine entscheidende Rolle zu. WDVS sind in Kombination mit Massiv-, Holz- oder Stahlbau möglich, die dünnsten Wände sind aufgrund der zusätzlichen Gefachedämmung im Holz- oder Stahlbau realisierbar.

Zulassungen national und international

Obwohl man mittlerweile von Langzeiterfahrungen sprechen kann, gelten Wärmedämmverbundsysteme nicht als »geregelte Bauarten«. Für WDVS gibt es weder »anerkannte Regeln der Technik« noch nationale oder europäische Normen, die in die nationalen Bauregellisten aufgenommen wurden. So wird der Nachweis der Verwendbarkeit durch eine »Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung« (AbZ) geführt. Die Zulassung wird ausschließlich vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin vergeben und beinhaltet sämtliche im System enthaltenen Bauteile und Verarbeitungshilfsmittel wie Kleber, Dübel, Dämmstoff, Armierungsschicht, Putz und gilt baurechtlich gesehen somit als »Bauart« (Abb. 1). Anstatt des Verfahrens am DIBt kann auf europäischer Ebene eine »europäische technische Zulassung« (ETZ) erteilt werden, die in den jeweiligen Ländern durch Normen oder, wie in Deutschland, durch eine nationale Verwendungszulassung die Anwendung regelt.

Wärmedämmverbundsysteme sind in der Regel Komplettlösungen, bei denen eine individuelle Ausbildung der Ausführungsdetails an das Gebäudekonzept oft nur mit einem Haftungsausschluss möglich ist. Das WDVS ist ein so genanntes »geschlossenes System«, das seine Zulassung verliert, verwendet man nur eine fremde Komponente.²

Vorteile von WDVS

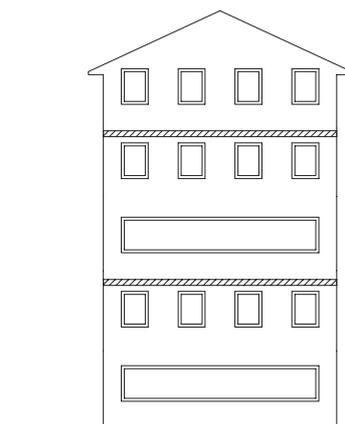
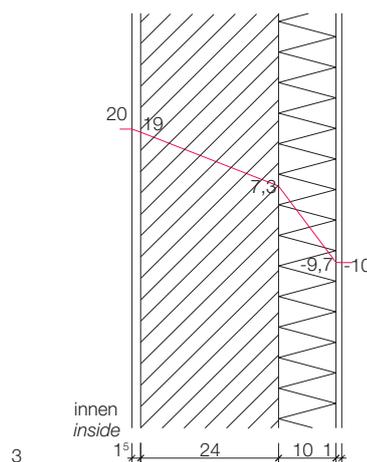
- Wärmedämmverbundsysteme sind einfach auf der Baustelle verarbeitbar. Die Dämmplatten werden vor Ort zugeschnitten, Aufmaß und Werkstattpläne erübrigen sich. Aufwändige Maschinen oder Werkstätten sind nicht erforderlich, anstelle hoch qualifizierter Handwerker können angelernte Arbeitskräfte eingesetzt werden.
- Die Erstellungskosten sind vergleichsweise niedrig. Im Gegensatz zu hinterlüfteten Fassaden mit einem Erstellungspreis ab ca. $145,- \text{ €/m}^2$ können WDVS mit ausschließlich verklebten Polystyrolämmplatten zu einem Preis von ca. $85,- \text{ €/m}^2$ angeboten werden.
- Der Wegfall der Hinterlüftungsebene spart 4 bis 10 cm Wandstärke. Im Vergleich zu einer hinterlüfteten Wand beispielsweise mit einer 25 mm Deckleistenschalung summiert sich diese Einsparung bei einer Außenwandlänge von 12 m auf einen Quadratmeter Konstruktionsfläche.

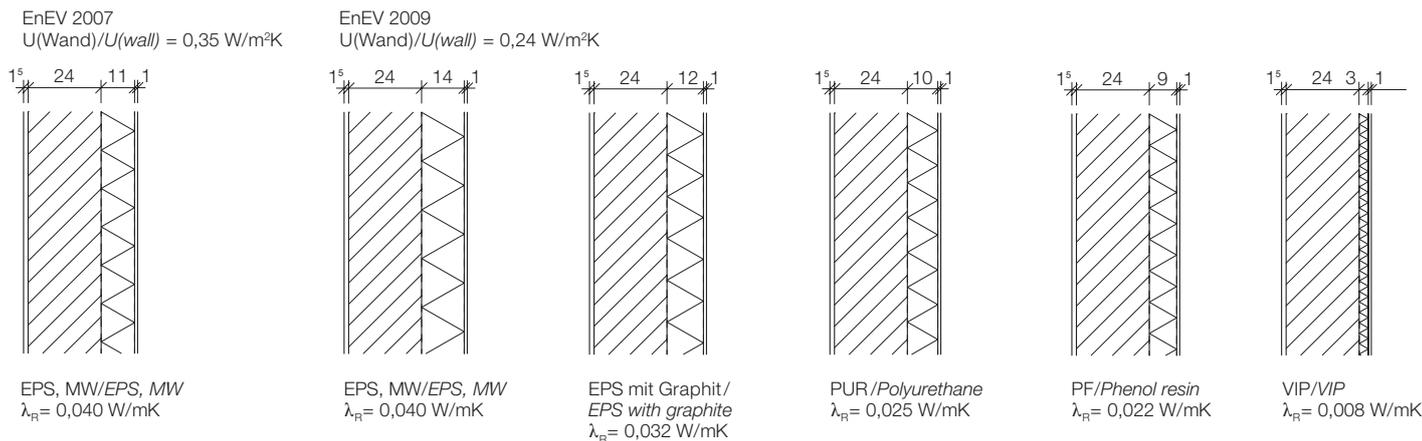
Nachteile von WDVS

- Gestaltungsmöglichkeiten durch die abschließende Endbeschichtung und Standardanschlüsse eingeschränkt
- hohler Klang beim Dagegenklopfen
- bei Dünnputzen verminderte mechanische Widerstandsfähigkeit
- Pilz- und Algenbewuchs kann optisch das Erscheinungsbild beeinträchtigen.

- 2 erforderliche Dämmstärken unterschiedlicher Dämmstoffe für folgenden Wandaufbau: Kalkgips 15 mm, Hochlochziegel 240 mm $\lambda_R = 0,58 \text{ W/mK}$, Dämmung variabel, Außenputz 15 mm
a nach EnEV 2007 $U(\text{Wand}) = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
b nach EnEV 2009 $U(\text{Wand}) = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
3 Glaserdiagramm: Ermittlung der Tauwassermenge
4 Brandriegel aus Mineralwolle in EPS-Dämmung
5 Einteilung der Brandklassen nach bestehender DIN 4102-1 und der neuen DIN EN 13 501-1

- 2 *Requisite values for various insulation materials for the following wall construction: 15 mm lime plaster; 240 mm vertically cored brickwork ($\lambda_R = 0,58 \text{ W/mK}$); insulation (various); 15 mm rendering*
a *EnEV 2007 $U(\text{wall}) = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$*
b *EnEV 2009 $U(\text{wall}) = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$*
3 *Glaser diagram: determining condensation*
4 *Mineral-wool (MW) fire-resistant strips in EPS*
5 *Fire-class divisions according to existing German standard DIN 4102-1, and the new DIN EN 13501-1*





2a

2b

- Durch Planungs- oder Verarbeitungsfehler kann Feuchtigkeit in den Wandaufbau eindringen, die nicht abgelüftet werden kann. Unbemerkt führt diese in Dämmung und konstruktiven Bauteilen zu Bauschäden und Minderung der Dämmleistung.
- Der Verbund der Komponenten erschwert das Trennen in die Ausgangsstoffe und damit Recycling bzw. Entsorgung.

Tauwasserbildung

Ziel bei der Planung einer Außenwand mit Wärmedämmverbundsystemen ist eine hohe Wärmedämmung bei geringem rechnerischen Tauwasserausfall. In der Heizperiode sind Wasserdampfdruck und Temperatur innen hoch und außen niedrig. So entsteht im Wandquerschnitt ein starkes Wasserdampfdruckgefälle. Laut Regelwerk ist ein berechneter Tauwasseranfall im Wandaufbau in der Heizperiode bis zu dem Feuchtigkeitsgehalt zulässig, der komplett in den Sommermonaten verdunsten kann. Die Tauwasserfreiheit bei mehrschichtigen Außenwandaufbauten ist dann gesichert, wenn der Wasserdampfdiffusionswiderstand nach außen hin abnimmt und so die Feuchtigkeit nach außen diffundieren kann. Nach dem »Glaser-Diagramm« kann die ausfallende Tauwassermenge ermittelt werden (Abb. 3). Die genaue Berechnung der Tauwassermenge ist nur mit einer dynamischen Tauwasserberechnung möglich.³

Schallschutz

Durch die Wärmedämmung auf der Trägerwand entsteht ein schwingungsfähiges Masse-Feder-System, das die akustischen Eigenschaften der Trägerwand verändert. Abhängig von der Lage der Resonanzfrequenz, Art und Dimension der Systemkomponenten des Wärmedämmverbundsystems kann sowohl eine Verbesserung als auch eine Verschlechterung der Schalldämmung eintreten. Ziel des DIBt ist es, eine einheitliche schalltechnische Bemessung und Systematik für Berechnungsmodelle für die Normung und Zulassung aller am Markt erhältlichen WDVS zu erreichen.

Brandschutz

Systeme mit Wärmedämmung aus mineralischen Dämmstoffen und zum Teil mineralischen Putzen sind grundsätzlich nach DIN 4102-1 (DIN 4102-1) »nicht brennbar« und der Baustoffklasse A zugeordnet. Organische Wärmedämmstoffe und Kunstharzputz bzw. Silikonharzputz können die Baustoffklasse »schwer entflammbar« B1 erreichen. Im Zuge der europäischen Harmonisierung der Normen werden die Baustoffe nach DIN EN 13501-1 (DIN 13501-1) in die Euroklassen A bis E aufgeteilt. Die DIN 13501-1 kann jedoch nur bedingt bei Wärmedämmverbundsystemen angewendet werden (Abb. 5). Bei entflammaren Dämmstoffen, wie beispielsweise EPS mit Dicken von

mehr als 100 mm muss mindestens in jedem zweiten Geschoss ein horizontal laufender Brandriegel als Mineralwolle-Lamellenstreifen mit einer Höhe von 200 mm angeordnet werden. Der vollflächig zu verklebende Brandriegel ist so anzuordnen, dass ein maximaler Abstand von 0,5 m zwischen Unterkante Sturz und Unterkante Brandriegel eingehalten wird (Abb. 4). Dem Brandüberschlag zu Nachbargebäuden ist durch vertikal angeordnete Brandriegel vorzubeugen.

Untergrundvorbehandlung

Der Untergrund kann aus massiven Wandmaterialien oder dem Gefache von Skelettkonstruktionen bestehen. Bei gut haftenden Untergründen wird der Dämmstoff abhängig von Material, Windzone und Einbauhöhe und -lage (DIN 1055 Teil 4) geklebt, gedübelt und verklebt, oder bei großen Ebenheitstoleranzen und schlechter Haftung auf Schienensystemen befestigt. Vor Aufbringen des Dämmstoffs ist die Fassade von losen Bestandteilen und Unebenheiten zu befreien und vor einer Klebung mit einer Grundierung zu beschichten.

Wärmedämmung

Nach DIN 4108 (DIN 4108) gelten Baustoffe, deren Wärmeleitfähigkeit λ kleiner 0,1 W/mK ist, als Wärmedämmstoff. Aufgrund der hohen technischen Anforderungen im Fassadenbereich, wie zum Beispiel Winddruck,

bauaufsichtliche Anforderung Building authority requirements	europäische Baustoffklassen gem. DIN EN 13501-1, Ausgabe 6-2002 European building material classes see DIN EN 13501-1, ed. 6/2002	Baustoffklassen gem. DIN 4102-1 Building material classes in accord. with DIN 4102-1	Zeit bis zum Flash-Over im Room Corner-Test Time to flashover in "Room Corner Test"
nicht brennbar Non-combustible	A1	A1	kein Flash-Over; Brennwert ≤ 2 MJ/kg No flashover; gross calorific value ≤ 2 MJ/kg
nicht brennbar Non-combustible	A2	A2	kein Flash-Over; Brennwert ≤ 2 MJ/kg No flashover; gross calorific value ≤ 2 MJ/kg
schwer entflammbar Fire resistant	B	B1	kein Flash-Over No flashover
schwer entflammbar Fire resistant	C	B1	10–20 Min. 10–20 mins.
normal entflammbar Flame resistant	D	B2	2–10 Min. 2–10 mins.
normal entflammbar Flame resistant	E	B2	0–2 Min. 0–2 mins.
leicht entflammbar 5 Inflammable	F	B3	keine Leistung festgestellt No resistance determined



6



7



8

geringe Wasseraufnahmekapazität und geringe Entflammbarkeit, kann nur ein Teil der am Markt angebotenen Wärmedämmstoffe für WDVS eingesetzt werden (Abb. 11).

- synthetische organische Dämmstoffe:
 - Polystyrol-Hartschaum (EPS und XPS)
 - Polyurethan-Hartschaum (PUR)
 - Phenolharz-Hartschaumdämmung (PF)
- natürliche organische Dämmstoffe:
 - Holzweichfaserplatten (WF)
 - Backkork (BK)
 - Schilf
- anorganische Dämmstoffe:
 - Mineralschäume (MS, auch Kalziumsilikat-Hydrate genannt)
 - Mineralwolle (MW) aus Glas oder Stein

Ablösung bisheriger Wärmeleitgruppen
 Dämmstoff-Putzsysteme mit Holzwolleleichtbauplatten (HWL) sind nach DIN 1101 und 1102 geregelt und gelten nicht als Wärmedämmverbundsystem. Polystyrol-Hartschaum und Mineralwolle sind die üblichsten Dämmstoffe mit einer durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit von 0,032 bis 0,040 W/mK. Nach den 1992 durch den Fachverband für Wärmedämmstoffe eingeführten Wärmeleitgruppen kann z. B. Mineralwolle, die der Wärmeleitgruppe von 040 zuzuordnen ist, eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,036$ W/mK besitzen. Durch die Neueinführung des europäischen Produktnormwesens wird diese bisher gebräuchliche Einteilung der Wärmedämmstoff-

fe in Wärmeleitgruppen mit der groben Abrundung in 0,005 W/mK-Schritten abgelöst. Die Wärmedämmstoffe werden nun mit einem Sicherheitsbeiwert aufgrund der Prüfnorm gemäß DIN 4108-4 in Schritten von 0,001 W/mK-Schritten klassifiziert. Bei der Angabe der Wärmeleitfähigkeit wird differenziert in den λ_D -Wert (Lambda-Design-Wert), der durch Messung ermittelt wird, und den λ_R -Wert (Lambda-Rechen-Wert), der zur Ermittlung des Gesamtdurchgangskoeffizienten hinzugezogen werden muss. Der Koeffizient zwischen λ_D und λ_R muss bei eigenständigen Messung der Werte durch den Dämmstoffhersteller 1,2 betragen. Wenn die Messungen zertifiziert

	Wärmedämmung <i>Thermal insulation</i>	Wärmeleitzahl <i>Coefficient of thermal transmittance</i> W/mK	Wasserdampfdiffusionswiderstand <i>Resistance to vapour diffusion</i> sd	Putzsystem <i>Rendering system</i>	Putzaufbau <i>Rendering thickness</i>	Armierungsgewebe <i>Reinforcing mesh</i>	Hellbezugsgrenzwert min. <i>luminosity</i>	Baustoffklasse <i>German material class</i>
anorganisch synthetische Rohstoffe <i>Anorganic synthetic raw materials</i>	Mineralwolle <i>Mineral wool</i>	0,035–0,040	1–2	Silikatputz <i>Silicate rendering</i>	dünn <i>thin</i>	Glasfaser <i>Glass fibre</i>	20	A2
	Mineralwolle-Lamellenplatte <i>Mineral wool strip sheeting</i>	0,040–0,045	1–2	Silikatputz Mineralischer Putz <i>Silicate rendering</i> <i>Mineral rendering</i>	dünn dünn <i>thin</i> <i>thin</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	15 20	A2 A2
	Mineralschaumplatte <i>Mineral-foam sheeting</i>	0,045–0,050	5–20	Mineralischer P. Silikatputz <i>Mineral rendering</i> <i>Silicate rendering</i>	dünn dünn <i>thin</i> <i>thin</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	25 20	A2 A2
organisch synthetische Rohstoffe <i>Organic synthetic raw materials</i>	Polystyrol-Hartschaumplatte <i>Polystyrene rigid-foam sheeting</i>	0,030–0,040	20–100	Silikatputz Silikonharzputz Mineralischer Putz <i>Silicate rendering</i> <i>Silicone-resin rendering</i> <i>Mineral rendering</i>	dünn dünn dünn <i>thin</i> <i>thin</i> <i>thin</i>	Glasfaser Kohlefaser Glasf. (4x) <i>Glass fibre</i> <i>Carbon fibre</i> <i>Glass fibre (4x)</i>	20 12 15	B1 B1 B1
	Polyurethan-Hartschaumplatte <i>Polyurethane rigid-foam sheeting</i>	0,020–0,030	30–150	Polyurethan <i>Polyurethane</i>	dünn <i>thin</i>	Glasfaser <i>Glass fibre</i>	20	B2
	Phenolharz-Hartschaum <i>Phenol-resin rigid foam</i>	0,022–0,030	10–50	Silikonharzputz Mineralischer Putz <i>Silicone-resin rendering</i> <i>Mineral rendering</i>	dünn dünn <i>thin</i> <i>thin</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	20 20	B1 B1
natürliche Rohstoffe <i>Natural raw materials</i>	Holzweichfaserplatte <i>Wood-fibre sheeting</i>	0,040–0,055	5–10	Silikonharzputz Mineralischer Putz <i>Silicone-resin rendering</i> <i>Mineral rendering</i>	dünn dünn <i>thin</i> <i>thin</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	20 20	B2 B2
	Backkork <i>Granulated cork slabs</i>	0,040–0,045	5–10	Mineralischer Putz Lehmputz <i>Mineral rendering</i> <i>Loam rendering</i>	dick dick <i>thick</i> <i>thick</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	20 20	B2 B2
	Schilf <i>Reed products</i>	0,055–0,060	2	Mineralischer P. Lehmputz <i>Mineral rendering</i> <i>Loam rendering</i>	dick dick <i>thick</i> <i>thick</i>	Glasfaser Glasfaser <i>Glass fibre</i> <i>Glass fibre</i>	20 20	B2 B2



9



10

oder fremdüberwacht sind, kann der Koeffizient nur 1,05 betragen. Dämmstärken von 2 bis 40 cm sind erprobt und zugelassen. Heute üblich sind aufgrund des ausgewogenen Preis-/Leistungs-Verhältnisses Stärken von 10 bis 16 cm.

Entwicklungen bei Dämmstoffen

Aktuelle Materialentwicklungen bei Dämmstoffen zielen darauf ab, einige der Nachteile von Wärmedämmverbundsystemen abzuschwächen oder aufzuheben. Neu entwickelte Mineralschaumplatten mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_r = 0,045$ W/mK dämmen zwar nicht so gut wie Polystyrol-Hartschaum oder Mineralwolle, dafür entfällt der für WDVS typische hohle Klang, der Aufbau ist durchgehend mineralisch und fest (Abb. 6). Die Platten sind jedoch wegen ihrer Sprödigkeit anfällig bei der Verarbeitung. Seit einigen Monaten hat eine Holzweichfaserdämmstoffplatte eine bauaufsichtliche Zulassung, die durch ein Fertigungsverfahren u. a. unter Zusatz von Wasser die Fasern durch das Anlösen von Lignin verklebt und mit $\lambda_r = 0,042$ W/mK gute Dämmeigenschaften aufweist. Durch die besonders geringe Rohdichte sind die Platten leichter zu tragen und bei der Montage einfacher zu handhaben (Abb. 7).

Modellvorhaben mit vor Ort geschäumter Wärmedämmung, dem so genannten In-situ-Schaum, z. B. aus PUR, haben keine verwertbare Weiterentwicklung initiiert. Die Tendenz zu dickeren Wandaufbauten könnte in Zukunft durch besser dämmende Materialien gebremst werden. Mittlerweile werden bei der Produktion von weißem EPS zur Verbesserung der Wärmedämmeigenschaft 2–3 Volumenprozent Graphit zugesetzt, was den Platten den charakteristischen schwarzweiß gesprenkelten ($\lambda=0,33$ W/mK) bzw. grauen ($\lambda=0,32$ W/mK) Farbton verleiht (Abb. 8). Graphit reduziert den Strahlungsanteil der Temperaturwanderung im Wärmedämmstoff durch Infrarot-Absorption.⁴

Eine weitere Verbesserung der Dämmwirkung lässt sich mit Phenolharz-Hartschaumplatten (PF) erzielen mit einem λ_r von nur

0,022 W/mK (Abb. 9). Das neu entwickelte Material wird auch preislich zunehmend konkurrenzfähig. Ausgangsprodukt ist der organische Rohstoff und das Phenoplast Bakelit, auch Resolhartschaumdämmung genannt. Phenol-Harz-Hartschaumdämmung ist dampfdiffusionsoffen. Im Vergleich zu EPS und Mineralwolle erfordern die weniger flexiblen Platten mehr Sorgfalt bei der Verarbeitung. Verglichen mit Vakuumdämmpaneelen (VIP), die bei der Verletzung der luftdichten Aluminiumhülle einen Großteil ihrer Wirkung einbüßen, sind sie aber einfacher zu verarbeiten und weniger fehleranfällig. VIP haben seit Juli 2007 eine Allgemeine bauaufsichtlicher Zulassung (Abb. 10). Mit einem λ_r von 0,008 sind sie die effektivsten aber auch teuersten Dämmstoffe und daher auf spezielle Anwendungen beschränkt. Schaltbare Wärmedämmung (SWD) oder transluzente Wärmedämmung (TWD) sind als WDVS-Komponenten auf außergewöhnliche Anforderungsprofile zugeschnitten und derzeit noch selten in der Anwendung.

Befestigung – kleben oder dübeln?

Der für Wärmedämmverbundsysteme am häufigsten verwendete Dämmstoff Polystyrol kann bis zur Hochhausgrenze von 22 m bei gut haftendem Untergrund geklebt werden, darüber hinaus ist eine Dübelung notwendig.

Mineralwolleplatten sind grundsätzlich immer zu verdübeln und zu verkleben. Eine Ausnahme bilden die 20 cm breiten Lamellenplatten aus Steinwolle, bei denen z. B. als horizontale Brandriegel innerhalb einer EPS-Dämmung i. d. R. eine Verklebung zur Befestigung ausreicht. Die Dämmplatten oder -lamellen müssen mit versetzten Vertikalfugenstößen ähnlich einem Mauerwerksverband verlegt werden, um Risse im Putz zu vermeiden (Abb. 12). Bei Mineralfaserplatten verlaufen die Fasern parallel zur Fassadenfläche, bei Steinlamellen verlaufen die Fasern zur Fassade senkrecht. Ist der Untergrund uneben, spröde und kommen noch zusätzliche Windlasten hinzu, so ist der Dämmstoff zu verdübeln, eventuell sogar mit einem Schienensystem zu veran-

- 6 Mineralschaumplatte (MS)
- 7 Holzweichfaserplatte (WF)
- 8 Polystyrol-Hartschaumplatte mit Graphit-Anteil (EPS)
- 9 Phenolharz-Hartschaumplatte (PF)
- 10 Vakuuminisationspaneel (VIP)
- 11 Beispiele für technisch zulässige Kombinationen unterschiedlicher Komponenten von WDVS

- 6 Mineral-foam sheeting
- 7 Wood-fibre board
- 8 Polystyrene rigid-foam sheeting with graphite content (EPS)
- 9 Phenol-resin rigid-foam sheeting (PF)
- 10 Vacuum insulation panel (VIP)
- 11 Examples of technically accepted combinations of different components for composite thermal-insulation systems

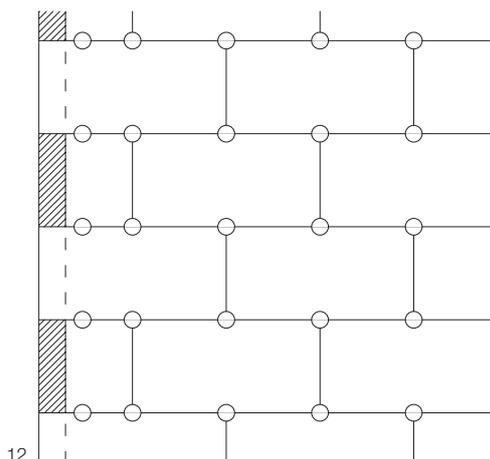
kern. Üblich sind 4–6 Dübel herkömmlicher Bauart pro Quadratmeter. Ungewollte Erhebungen auf der Dämmlagenoberfläche werden zur Herstellung eines verklebungsfertigen Untergrunds durch Raspeln egalisiert.

Schraubdübel, Schlagdübel mit Kunststoffköpfen sind gebräuchlich.⁵ Die so genannten Thermodübel mit einer Dämmstoffkappe für den Kunststoffkopf können systembedingt eingebaut werden, sind vom Wärmedurchgangskoeffizienten her besser und zeichnen sich im Frost-/Tauverhalten nicht als Teller an der Fassade ab (Abb. 13).⁶ Neu entwickelte Schraubdübel haben ebenso einen verbesserten U-Wert und können den Abstand des Wärmedämmstoffs zur vorhandenen Fassade bei Ebenheitstoleranzen mittels Drehung korrigieren (Abb. 14, 15). Löcher müssen vorgebohrt werden, der verdübelte Dämmstoff muss nicht zusätzlich verklebt werden.⁷

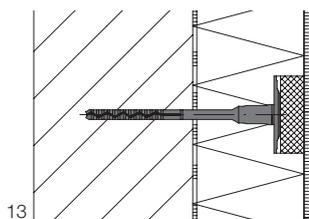
Armierung: Gewebe und Putz

Passend zu dem jeweiligen WDVS werden Gewebebahnen, Kantenschutz- und Anschlusschienen angeboten. In der Zulassung des DIBt wird vom Hersteller angegeben, wie Gewebelagen auf Flächen, Kanten und Ecken überlappend angebracht werden müssen, um Spannungsrisse zu vermeiden (Abb. 16–18). In der Armierungsschicht wird das Armierungsgewebe vollflächig im oberen Drittel der Schichtdicke eingebettet. Speziell verstärkte oder gedoppelte Gewebe können Fassaden im mechanisch belasteten Erdgeschossbereich schützen. Glasfasergewebe sind die Regel, durch ein neu entwickeltes Armierungsgewebe als Kombination aus Glas- und Kohlefasern kann die mechanische Schutzwirkung zusätzlich gesteigert werden.⁸ Elektrischen Strom leitende Gewebe schützen den Raum vor elektromagnetischer Strahlung (Elektrosmog).

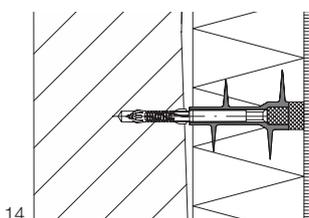
Die Armierung wird in den Armierungsputz vollflächig eingelegt. Diese Verbundschicht bildet die schützende Schale für den Wärmedämmstoff. Armierungsputz muss exakt auf den Oberputz, das Armierungsgewebesystem und den Dämmstoff abgestimmt werden.



12



13



14

Oberputz – organisch oder mineralisch?

Bei aktuellen Kunstharzputzen ist der Kunstharzanteil nicht mehr so hoch wie noch vor einigen Jahren, der Aufbau ist dementsprechend nicht mehr so dampfdicht. Auch die so genannten mineralischen Putze wie Edelputz und der sehr dampfdiffusionsoffene Silikatputz haben jedoch gewisse Kunstharzbestandteile zur verbesserten Haftung und zur besseren Beständigkeit von Farben beige-mischt. Wesentliche Vorteile von Kunstharzputz liegen in der hohen wasserabweisenden Wirkung, Schlagregendichtheit und hoher Verformbarkeit. Die seit zehn Jahren eingesetzte Quick-Set-Technologie® bewirkt, dass der Putz innerhalb von vier Stunden schlagregensicher ist oder bei Außentemperaturen zwischen 0–5°C verarbeitet werden kann.⁹ Silikonharzputz zeichnet sich durch eine geringere Rissempfindlichkeit aus, lässt sich bei Kornbeimischungen < 1,5 mm jedoch schlechter verarbeiten und ist teuer. Für den Sockelbereich werden Zement-Kunstharzmischungen als Dichtschlämme angeboten. Auf mineralischem Armierungsputz darf sowohl ein mineralischer Deckputz als auch ein organischer Deckputz wie Silikonharzputz aufgebracht werden. Organischer Armierungsputz darf nur mit einem ebenfalls organischen System überdeckt werden. Die Deckschicht wird als System in einem ca. 7 mm dünnen Deckputz ausgeführt. Der ebenso übliche, robustere Dickputz hat eine Aufbaustärke von ca. 15 mm (Abb. 11).

Durchgefärbt oder angestrichen?

Der Putz ist je nach Anforderung oder gestalterischen Aspekten durchgefärbt oder wird mit einem Egalisierungsanstrich versehen. Dunkler Putz kann durch eine stärkere Aufheizung das Abtrocknen von Feuchtigkeit an besonnten Seiten beschleunigen und damit Algenbewuchs vorbeugen, ist aber durch die Aufheizung bei direkter Sonneneinstrahlung stärker rissgefährdet. Die Rissgefährdung aufgrund der Aufheizung der Fassade durch dunkle Farbgebung wird von den Herstellern durch die Angabe der Hellbezugsgrenzwerte angegeben (Abb. 11). Bei einer Bandbreite von Schwarz mit einem

Hellbezugswert von Null nach oben ansteigend können je nach Putz- oder Armierungssystem dunkle Farbtöne bis zu einem Wert von 12 möglich sein. Eine Freigabe dieser dunklen Farbgebungen durch den Hersteller ist von der Fassadenausrichtung zur Sonne, Verschattungen oder spiegelnden Oberflächen der Umgebung, die die Putzfassade durch Reflexionen aufheizen, abhängig. Es werden farblich auf das Oberputzsystem angepasste Silikat-, Dispersions- oder Silikonharzfarben angeboten. Bei dunklen Fassaden kann durch eine zusätzliche Beschichtung der Gefahr des »Auswaschens« der Pigmente und somit der Bildung von grauen Schlieren vorgebeugt werden.

Vermeidung von Algenbildung

Ebenso wie den Putzsystemen sind den Anstrichen Substanzen beigemischt, die die Pilz- und Algenbildung verringern. Eine immer noch gebräuchliche Maßnahme für das Hinauszögern der Pilz- und Algenbildung sind chemische und fungizide Zusätze, die durch geringe, aber nachgewiesene Ausschwemmung in das Grundwasser ökologisch bedenklich sind. Neueste Entwicklungen und die Wiederentdeckung alter Techniken bieten heute geeignetere Maßnahmen. Seit Längerem werden etwa Beschichtungen oder Putze mit dem so genannten »Lotusblatteffekt« angeboten. Dieser unterstützt das Abperlen von Wasser in Verbindung mit Staub und Ruß nach dem Prinzip des Lotusblatts. Die Hydrophobierung, d. h. das Abrollen von Wassertropfen, wird durch eine mit bloßem Auge glatte, jedoch mikroskopisch raue Oberfläche unterstützt. Einen vergleichbaren Effekt erzielen Putze und Beschichtungen mit Titandioxid-Bestandteilen nach dem Prinzip der Photokatalyse (s. Detail 5/2009 S. 502ff.). Die abgelaufenen Schlieren bleiben jedoch vermehrt in den Vertiefungen oder Vorsprüngen hängen. Untersuchungen des Fraunhoferinstituts in Valley haben gezeigt, dass mit Nanotechnologie erzeugte metallische Beimischungen im Putz in wolkenfreien Nächten ein Abstrahlen der Wärme reduziert. Die Verringerung der langwelligen Emission



15

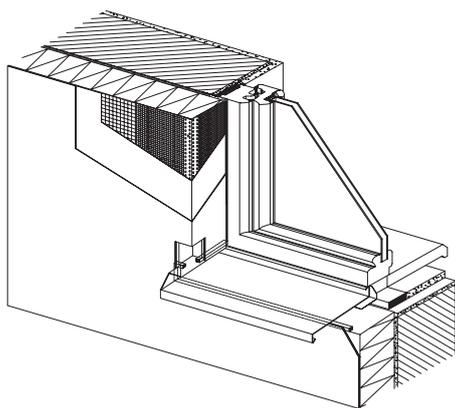
wird durch infrarot-aktive Farben erreicht. Durch diesen so genannten IR-Effekt sammelt sich Tauwasser nicht mehr längerfristig auf der Putzoberfläche, wodurch die Algen- und Pilzbildung um etwa die Hälfte reduziert wird. Die Algen- und pilzfördernde Oberflächenfeuchte kann zusätzlich durch einen hydrophil ausgebildeten 10–15 mm starken Dickputz¹⁰ vermindert werden, der das Tauwasser aufsaugt. Eine hohe Speicherkapazität der Wärmedämmung in Kombination mit mineralischem Dickputz mit dem Ziel einer langsamen Abkühlung der Außenseiten der Wände hemmt die Tauwasserbildung auf der Oberfläche und somit die Algenbildung im Tag-/Nacht-Wechsel. Die Wärmespeicherefähigkeit von Dickputz kann zusätzlich durch die Beimischung von Latentwärmespeichermaterial (Phase Change Material, PCM), z. B. mikroverkapselte Wackkügelchen, in den Außenputz erhöht werden (s. Detail 6/2005 S. 660ff.).

Anschlüsse

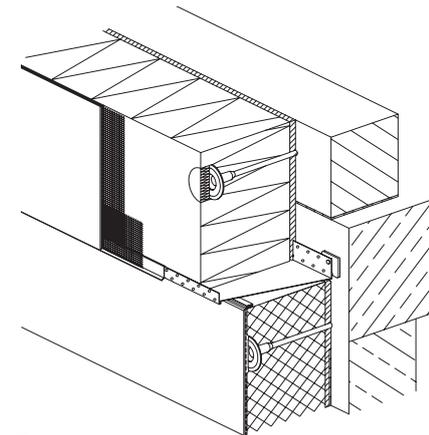
Äußere Fensterbänke, »Bordprofile«, wurden systemspezifisch aus Aluminium-, Kunststoff-, Stahl- oder Edelstahl entwickelt. In den Anschlüssen eingelegte UV-beständige und dampfdiffusionsoffene Komprimierbänder unterschiedlicher Komprimierfähigkeit dichten das Bauteil ab (Abb. 16). Im Sockelbereich verhindern in den Dämmstoff eingefräste thermisch getrennte Aluminium- oder Edelstahlprofile das Aufsteigen von Feuchtigkeit aus der erdberührten Perimeterdämmung in die Fassadendämmung (Abb. 17).

Ausblick

Während die EnEV 2009 im Oktober eingeführt wird, befindet sich die EnEV 2012 bereits in Bearbeitung und soll den Primärenergieverbrauch von Gebäuden um weitere 30% verringern helfen. Wärmedämmverbundsysteme werden daher auch in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen. Es ist die Aufgabe der Industrie und Forschung, verbesserte Recyclingmöglichkeiten für WDVS zu entwickeln. Am Architekten liegt es, das gestalterisch umzusetzen, was WDVS im Wesen der Konstruktion inhaltlich bedeuten.



16



17

On 1 October 2009, new energy-saving regulations (EnEV 2009) came into force in Germany. These lay down different methods of calculation and tighter limits for the dimensioning of the insulation values of building skins. The primary-energy consumption of new or converted structures has to be 30 per cent lower than the values defined in the energy regulations dating from 2007. The minimum U-value required for the outer wall of a new building is now $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ill. 2).

Since compound thermal-insulation systems command a roughly 58 per cent share of the market in the new-building sector and almost 75 per cent in the case of thermal refurbishments, they play an important role in implementing the revised regulations. Composite thermal-insulation systems can be used in combination with solid, timber and steel forms of construction. Although longer-term experience is available, systems of this kind are subject neither to recognized technical rules nor to national or European standards. Proof of acceptability in Germany takes the form of a general supervisory permit, and acceptance can be granted solely by the German Institute for Building Technology (DIBt) in Berlin. All constructional elements and ancillary products contained in the system have to be listed and constitute a "construction type" (ill. 1). As an alternative to the DIBt process, one can obtain "European technical acceptance", the application of which is regulated in individual countries by national standards or, as in Germany, by a national permit. A composite thermal-insulation system is a so-called "closed system" that loses its right of acceptance if a single alien component is used. The advantages of such systems include the fact that they can be simply implemented on site, and construction costs are relatively low. In contrast to rear-ventilated facades, which start at about $\text{€}145/\text{m}^2$, composite thermal-insulation systems can consist simply of adhesive-fixed polystyrene insulation slabs and cost from about $\text{€}85/\text{m}^2$. Finally, the elimination of a ventilated cavity reduces the wall thickness by roughly 4–10 cm, thereby gaining additional floor area. The disadvantages of such systems include the fact that design

scope is limited, and the wall has a hollow sound if one knocks on it. Mechanical resistance is reduced if thin-plaster coatings are used, and the growth of fungi or algae can impair the appearance.

Errors in the planning or execution of the work can allow moisture to penetrate into the unventilated wall construction, causing damage and reducing the effectiveness of the insulation. Finally, a composite form of construction makes it difficult to separate the individual elements later for recycling and disposal.

Condensation, sound insulation, fire protection

The aim of planning an external wall as a composite thermal-insulation system is to ensure a high degree of insulation with a low level of condensation. During the heating period, vapour pressure and temperatures are high internally and low externally. As a result, there will be a large drop in vapour pressure in the cross-section of the wall. Condensation in the wall construction is allowed during the heating period up to a certain level, namely up to the moisture content that is able to evaporate completely during the summer months. The amount of condensation occurring can be determined from the Glaser diagram (ill. 3). In applying thermal insulation to the load-bearing wall, there is a potential danger of changing its acoustic properties. The DIBt is seeking to implement a standardized method of calculating these properties in the context of composite thermal-insulation systems. Systems containing mineral thermal insulation are in principle "non-combustible", according to German standards. Organic thermal insulation materials as well as synthetic products like silicone-resin plaster can comply with the flame-resistant category. In the course of harmonizing European standards, materials will be divided into Euro-classes A to E. The German standard is only partially applicable for composite thermal-insulation systems (ill. 5). In the case of inflammable materials such as expanded polystyrene with a thickness greater than 100 mm, horizontal fire-resisting strips of mineral-wool 200 mm high must be built in above openings and positioned in

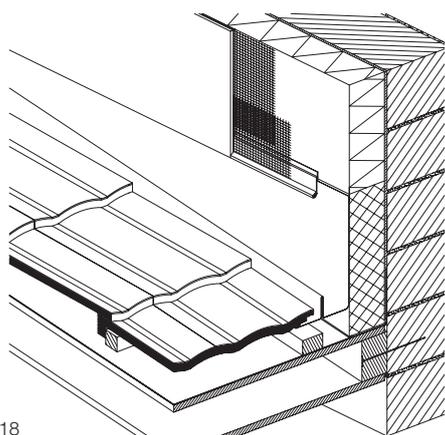
- 12 Dübelsbild der Wärmedämmung mit versetzten Stößen an der Gebäudeecke
 - 13 Thermodübel mit gedämmtem Teller
 - 14, 15 Spiraldübel zum Ausgleich unebener Untergrundflächen; Spiralfuchs Fa. Hilti
 - 16 Fensteranschluss, Verstärkung der Armierung an den Laibungskanten, Kompribänder zwischen Putz und Fensterblech
 - 17 Sockelanschluss mit Trennblech zwischen Perimeterdämmung und Fassadendämmung
-
- 12 Staggered joints of insulation slabs and positions of dowels for fixing thermal insulation at corner of building
 - 13 Thermo-dowel with insulated cap
 - 14, 15 Spiral dowel for levelling out unevenness in base surface: Spiralfuchs by Hilti company
 - 16 Window abutment with joint sealing strips and additional reinforcement
 - 17 Abutment with plinth with sheet-metal division

such a way that the maximum distance between the bottom edge of the lintel and the bottom edge of the strip is 50 cm (ill. 4). The spread of fire to neighbouring buildings should be prevented by vertical fireproof strips.

The supporting structure in composite forms of construction can consist of solid walling or a skeleton-frame. The fixing of the insulation will depend on the actual material, the height at which it is applied and the wind zone. It can be adhesive fixed, dowelled and glued, or – if the surface is very uneven or has a poor adhesive quality – fixed to a system of rails.

Thermal insulation

According to German standards, building products with a thermal conductivity λ of less than 0.1 W/mK are regarded as thermally insulating materials. In view of the great technical requirements that occur in the facade area not all thermal-insulation products available on the market are suitable for use in composite thermal-insulation systems (ill. 11). Three main categories are acceptable: synthetic organic insulation materials (including polystyrene, polyurethane and phenol-resin rigid foams); natural organic insulation materials (wood-fibre sheets, granulated cork slabs, reed products); and anorganic insulation (mineral foams or calcium-silicate hydrates, and mineral wool made from glass or stone). Polystyrene rigid foam and mineral wool are the most common insulation materials and have an average thermal conductivity of $0.032\text{--}0.040 \text{ W/mK}$. In stating the conductivity factor, a distinction is made between the lambda design value (λ_D), determined by measurement, and the lambda calculated value (λ_R), which has to be used to evaluate the overall energy conductivity coefficient. Insulation thicknesses of 2–40 cm have been tested and accepted. Thicknesses of between 10 and 16 cm are usual today because of their balanced cost-performance relationship. Newly developed mineral-foam slabs with a thermal conductivity of $\lambda_R = 0.045 \text{ W/mK}$ do not insulate as well as polystyrene rigid foam or mineral wool, but the typical hollow sound associated with composite insulation systems is obviated with the use of these new materials.



18

The construction is entirely mineral in content and solid (ill. 6), but the sheets are easily damaged when being worked.

For some months now, a soft wood-fibre insulation slab has been recognized by the relevant building authorities. The manufacturing process involves, among other things, the addition of water, which partially dissolves the lignin and binds the fibres adhesively together, creating good insulation properties with $\lambda_R = 0.042 \text{ W/mK}$. The low relative density means that the slabs are lighter in weight and thus easier to carry and assemble (ill. 7).

In the production of white expanded polystyrene, graphite can be added (2–3 per cent by volume) to improve the insulation properties. This lends the sheets their characteristic black-and-white mottling ($\lambda = 0.33 \text{ W/mK}$) or a grey coloration ($\lambda = 0.32 \text{ W/mK}$) (ill. 8). A further improvement in the insulating effect can be achieved with phenol-resin rigid-foam sheets with a λ_R value of only 0.022 W/mK (ill. 9). This newly developed material is becoming increasingly competitive economically, too. Compared with vacuum insulation panels (VIPs), which lose much of their effectiveness if the airtight aluminium skin is damaged, the phenol-resin sheets are also simpler to work and less subject to defects. Since July 2007, VIPs have enjoyed general constructional acceptance, and with a λ_R value of 0.008 , they are the most effective – though also the most expensive – insulation material (ill. 10).

The most commonly used material in composite thermal-insulation systems is polystyrene, which can be adhesive fixed up to a height of 22 m, given a suitable background. Beyond this height, dowel fixing is necessary. Screwed dowel fixings and mechanically fired dowels with plastic heads are commonly employed today. So-called “thermo-dowels” with insulated caps can also be used, depending on the system (ill. 13). Newly developed screw dowels have an improved U-value and can help to correct the spacing of the insulation from an existing facade (ills. 14, 15).

Rendering, pigmentation and finishings
The main advantages of synthetic-resin rendering are its water-repellent properties, its re-

¹ EnEV vom 30.4.09 § 3 Anforderungen an Wohngebäude, Anlage 1, Tabelle 1, § 4 Anforderungen an Nichtwohngebäude, Anlage 2, Tabelle 1, § 9 Änderung, Erweiterung und Ausbau von Gebäuden, Anlage 3 Tabelle 1

² www.dibt.de/deutsch/index.html

³ www.bph.hbt.arch.ethz.ch/filep/index_nn6.html

⁴ Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., Rosenkranz, T.: Baustoff Atlas, München, 2005

⁵ Reichel, A., Hochberg, A., Köpke, C.: Putze, Farben, Beschichtungen, München, 2004

⁶ www.sto.de

⁷ www.hilti.de

⁸ www.alsecco.de

⁹ Riedel, W., Oberhaus, H., Frössel, F., Haegele, W.: Wärmedämmverbundsysteme. Von der Thermo-haut bis zur transparenten Wärmedämmung, Stuttgart, 2007

¹⁰ Krus, M., Sedlbauer, K.: Mikroorganismen an Fassaden – Ursachen und Vermeidungsstrategien, Valley, 2008

sistance to slanting rain and its plasticity. In modern products, the resin content is somewhat lower and the rendering is no longer quite as moisture-proof as it used to be. Silicone-resin rendering is distinguished by a lower tendency to cracking, although with a fine-grain aggregate smaller than 1.5 mm , it is more difficult to work and is more expensive. For the plinth areas of buildings, cement and synthetic-resin mixtures are available to form a dense slurry coat. On top of reinforced mineral rendering one can apply a mineral-based top coat or an organic layer; e.g. silicone-resin rendering. Organic reinforcing layers may be covered only by an organic system, however. The top coat is executed as part of the system in a roughly 7 mm thin layer. Also common is a more robust layer of rendering with a thickness of approximately 15 mm (ill. 11). Rendering can be pigmented or finished with paint. Dark-coloured materials have a tendency to absorb more heat when exposed to the sun and to dry out more quickly. This helps to prevent the growth of algae, but the finish is also more likely to crack when subject to solar heat. To counteract this, manufacturers define limiting values for the luminosity (ill. 11).

Appropriate silicate, emulsion or silicone-resin paints can be applied to the surface in accordance with the top-coat of rendering. In the case of dark-coloured facades, the application of an additional coating can help to avoid the danger of the pigments being “washed out” and the formation of streaks. Chemical additives in rendering and paint are still a common means of retarding the growth of fungi and algae, but it has been proved that small amounts of these ecologically undesirable substances are washed out by rain and find their way into the groundwater. Modern developments and the rediscovery of old techniques offer more acceptable alternatives to chemical additives. Coatings or rendering types with a so-called “lotus-leaf effect” have been available for some time now, whereby beads of water run off the surface in a similar way to that occurring on a lotus leaf. A comparable effect is achieved with rendering and coatings that have a titanium dioxide content, based on the principle of photocatalysis (see

Matthias Pätzold ist wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Entwerfen, Baukonstruktion und Baustoffkunde der TU München und Teilhaber von Pätzold + Schmid Architekten, München.

Florian Musso ist Ordinarius für Entwerfen, Baukonstruktion, Baustoffkunde der TU München und Teilhaber von LorenzMusso architectes, Sion (CH).

Matthias Pätzold is a research assistant in the Department for Design, Building Construction and Building Materials of the University of Technology, Munich. He is also a partner of Pätzold + Schmid Architects, Munich. Florian Musso is professor for design, building construction and building materials of the University of Technology, Munich, and a partner of LorenzMusso Architects in Sion, Switzerland.

18 Dachanschluss mit Abschlussblech und überlappender Armierung

18 Roof abutment with metal flashing and overlapped reinforcement

also Detail 5/2009, p. 502). Run-off marks are more pronounced in the hollows or on projecting areas, however. Investigations carried out by the Fraunhofer Institute in Valley show that metallic admixtures in rendering help to reduce thermal radiation from walls on clear nights. The reduction of long-wave emissions is achieved through the use of infrared active colours. As a result, condensation no longer gathers for longer periods on the surface of the rendering, thereby reducing the formation of algae and fungi by half. Surface moisture can be further reduced by a $10\text{--}15 \text{ mm}$ layer of hydrophilic rendering, which absorbs condensation. Insulation with a high thermal-storage capacity in combination with a thick layer of mineral rendering also reduces the formation of condensation on the surface and thus the development of algae. The thermal storage capacity of thick external rendering can be increased by adding a phase-change material – a latent thermal-storage product – such as micro-capsules of wax.

Junctions and abutments

External window sills and kerbs have been developed for specific systems in aluminium, plastic, steel and stainless steel. UV-resistant and moisture-diffusing joint-sealing strips are inserted at junctions to seal off the construction element (ill. 16). In the plinth area, thermally detached aluminium or stainless-steel sections prevent moisture rising into the facade insulation from the insulation in contact with the earth (ill. 17).

Even as the new German energy regulations (EnEV 2009) came into effect in October, a revised version for 2012 was already being prepared. This should help to reduce the consumption of primary energy in buildings by a further 30 per cent. Composite thermal-insulation systems will, therefore, continue to play a major role in the future. Industry and research must develop improved scope for recycling the materials that make up composite systems, and it is up to architects to implement such systems in their designs and to show the implications they have for the future of construction.