Einsatz von TWD an Schulgebäuden in präfabrizierter Bauweise

Fassadensanierung

In den neuen Bundesländern wurden ab Ende der sechziger Jahre im Rahmen der Errichtung von Wohnsiedlungen auch Schulen in industrialisierter Bauweise errichtet. Da die Schulen häufig direkt in die Wohngebiete integriert wurden, erfolgt die Wärmeversorgung in den meisten Fällen über Fernwärme. Nur in den ländlichen Gebieten und außerhalb der „Plattenbausiedlungen" wird die Wärmeversorgung über eine zentrale Warmwasserheizung vorgenommen, die kohle-, gas- oder ölbefeuert ist. Allen Schulen gemeinsam ist ein hoher Heizwärmeverbrauch von über 200 kWh/m²a infolge von Materialeinsparung bei der Bauausführung, mangelhafter Bauausführung, fehlender Wartung sowie manuell geregelter Heizungssysteme. Daher ist eine energetische Sanierung der Schulgebäude dringend erforderlich.

Um den Heizwärmeverbrauch zu reduzieren, ist neben Dämmaßnahmen an der Fassade, im Dach und am erdanschließenden Bereich der Austausch der verschließenden Fenster erforderlich. Im Heizungsbereich kann mit neuen Steuer- und Regeleinrichtungen die Wärmeverteilung im Gebäude wesentlich verbessert werden.

Mit einer konventionellen wärmetechnischen Sanierung kann bei vertretbaren Kosten der Heizwärmebedarf bereits auf 65 kWh/m²a reduziert werden. Ersetzt man an der südorientierten Gebäudefassade mit einschichtigen Leichtbetonelementen die konventionelle durch eine transparente Wärmedämmung (TWD), so kann der Heizwärmebedarf um weitere 10 bis 12 kWh/m²a minimiert werden.

Im Rahmen der vom *BMBF* geförderten energetischen Sanierungsprojekte wurde an zwei „Gangtyp"-Schulen erstmals TWD eingesetzt. Neben den energetischen Aspekten wurde die konstruktive Ausführung der TWD-Module sowie der Fassadenunterkonstruktion untersucht. Durch Optimierungen in der Modul- und Fassadenunterkonstruktion konnte zudem eine Kostenreduzierung für die TWD-Fassade erreicht werden.

Beschreibung der Gebäude

Die Gebäude der Paul-Robeson-Schule in Leipzig und der Nordschule in Wurzen (Abb. 1 und 2) aus den siebziger Jahren zeigen einen analogen Aufbau. Es sind in Montagebauweise mit Leichtbeton-Einschichtelementen errichtete, viergeschossige Gebäude – 81 m lang, 9 m breit und 14 m hoch. Sie besitzen an der südlichen Fassadenseite 24 Klassenzimmer. Die elf Normalklassenzimmer haben eine Grundfläche von je 54 m², die Fachräume und Giebelzimmer von je 81 m². Die Raumhöhe beträgt 3 m.

Die Normalklassenzimmer besitzen nur an der Südseite, die Fachräume und Giebelzimmer zusätzlich an der Nordseite Fenster. Der Fensteranteil der Süd- und Nordfassade beträgt etwa 60 %. Die Giebelseiten sind fensterlos. Hinter der Nordfassade befinden sich die Korridore und die Sanitärräume. Die Nutzfläche beträgt 4.100 m². Die erforderliche Frischluftzufuhr in das Gebäude erfolgt durch Fensterlüftung.

In der Paul-Robeson-Schule Leipzig wird die Wärmeversorgung über eine gasbetriebene Warmwasserheizung und in der Nordschule Wurzen über Fernwärme vorgenommen. Vor der Sanierung lag der Heizwärmeverbrauch in der Paul-Robeson-Schule bei 225 kWh/m²a und in der Nordschule Wurzen bei 300 kWh/m²a.

Die Sanierungsmaßnahmen

In die Sanierung der Gebäude wurden die folgenden Maßnahmen einbezogen:

- Wärmedämmung des Dachs (Gefälledämmung) und Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von $k \geq 0{,}7$ W/m²K auf $k \leq 0{,}2$ W/m²K,
- Wärmedämmung der Fassade und Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von $k \geq 1{,}6$ W/m²K auf $k \leq 0{,}4$ W/m²,
- Einsatz effizienter Verglasungen und Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von $k \geq 2{,}8$ W/m²K auf $k \leq 1{,}4$ W/m²K,
- Perimeterdämmung im erdanschließenden Bereich und Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von $k \geq 2{,}3$ W/m²K auf $k \leq 0{,}5$ W/m²K,
- Einsatz transparenter Wärmedämmung an der südorientierten Fassade,
- Verschattung der Südfenster,
- zentrale Steuerung und Regelung für die Heizung (Einzelraumtemperatursteuerung) und Einbeziehen der Verschattung der Fenster und der TWD-Fassade in die Regelung.

Simulationsrechnungen für die Nordschule in Wurzen zeigen, daß der Heizwärmebedarf in dem konventionell sanierten Typenschulgebäude (100 mm dicke mineralischen Wärmedämmung mit $k_{Brüstung} = 0{,}29$ W/m²K) um 68 % reduziert werden kann. Die Dämmaßnahmen entsprechen den Anforderungen der WSchVO 95. Wird an der Südfassade anstelle der mineralischen ca. 300 m² transparente Wärmedämmung eingesetzt, kann eine Verringerung des Heizwärmebedarfs gegenüber dem Ausgangszustand um 74 % erreicht werden /1/.

In der Paul-Robeson-Schule Leipzig konnte der Heizwärmeverbrauch des Gebäudes durch eine Komplettsanierung inklusive transparenter Wärmedämmung gegenüber dem Ausgangszustand um ca. 70 % gesenkt werden /2/. Tab. 2 stellt den Heizwärmeverbrauch im unsanierten und sanierten Gebäude dar. Zum Vergleich ist der mittels dynamischer Simulation ermittelte Heizwärmebedarf für das sanierte Gebäude angegeben.

Der tatsächlich erreichte Heizwärmeverbrauch stimmt recht gut mit dem theoretisch ermittelten Bedarf überein – wenn die klimatischen Umgebungsbedingungen mit den in der Simulation berücksichtigten langjährigen Mittelwerten korrespondieren. Die Abweichungen von diesen Mittelwerten in der Heizperiode 1995/96 hinsichtlich niedrigerer Außentemperaturen und höherer Gradtagzahlen führen dazu, daß der Heizwärmebedarf in dieser Heizperiode über dem theoretisch ermittelten Wert liegt.

Die Heizungssysteme

Das Heizungssystem in der Paul-Robeson-Schule blieb im wesentlichen erhalten. Die Steuerung der Kesselanlagen und die Regelung der Heizkörper wurden jedoch erneuert.

Um den Heizungswärmebedarf den solaren Gewinnen über die Fassade besser anpassen zu können, wurde die Vorlauftemperatur auf 70 °C herabgesetzt. Alle Klassenräume erhielten eine Einzelraumtemperatursteuerung, um eine nutzungsabhängige Wärmeversorgung zu gewährleisten. Von den bisher vorhandenen zwölf Gliederheizkesseln (Nennleistung je 116 kW) werden nach der Sanierung maximal zwei für die Wärmeversorgung der Schule und der Turnhalle benötigt. Insge-

Maßnahme	$k_{Brüstung}$ [W/m²K]	Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	Anteil [%]
unsaniert	1,60	199	100
komplett saniertes Gebäude, gesamte Brüstung: 100 mm mineralische Dämmung	0,29	64	32
kompl. san. Gebäude (N-, O-, W-Seite: wie oben, Südseite: 280 m² TWD)	0,29 0,90	52	26

Tab. 1: Heizwärmebedarf eines Gangtyp-Schulgebäudes bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten (Simulation für Nordschule Wurzen)

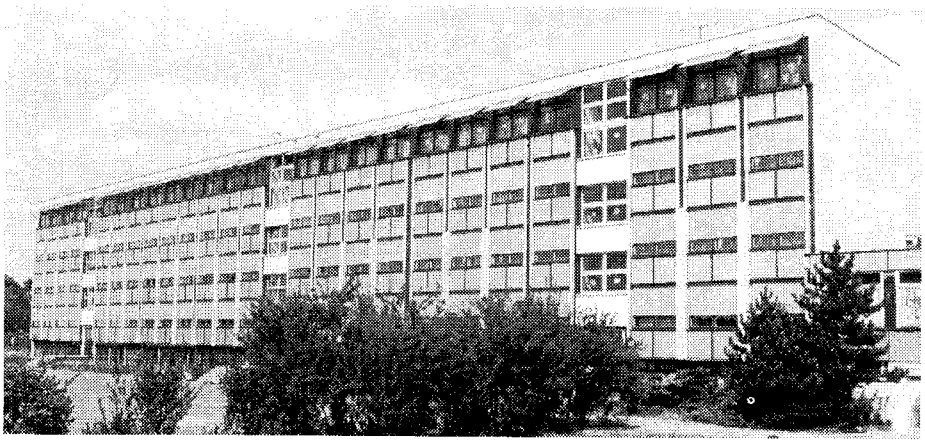


Abb. 1: Paul-Robeson-Schule Leipzig – Südfassade mit transparenter Wärmedämmung
Fotos: Fraunhofer ISE

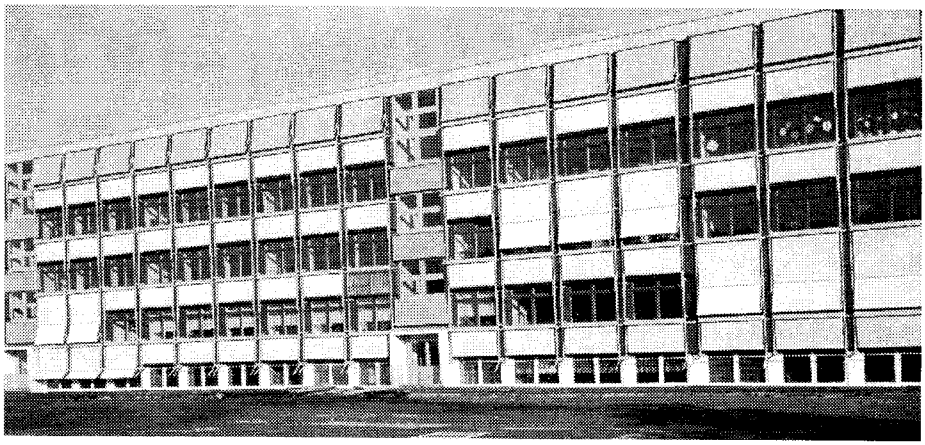


Abb. 2: Nordschule Wurzen – Südfassade mit transparenter Wärmedämmung

samt sind in der Schule vier Heizkreise (Schule, Sporthalle, Kesselhaus, Hausmeisterwohnung) angeordnet /3/.

Die mit Fernwärme versorgte Nordschule Wurzen hat eine Anschlußleistung von 340 kW. Drei Heizkreise (Schule, Hausmeisterwohnung, Sporthalle) stehen zur Verfügung. Das gesamte Heizungssystem wurde erneuert. Alle Räume sind an die Einzelraumtemperaturregelung angeschlossen /4/. Dabei erfolgte die Installation der Heizkörper an der Südfassade in den meisten Fällen außerhalb der TWD-Wände, um die solaren Gewinne besser nutzen und über die Wand einen ungestörten Wärmefluß in den Raum gewährleisten zu können.

Die TWD-Fassade an der Paul-Robeson-Schule

Ausgehend vom Stand der manuellen Fertigung der TWD-Module zu Beginn der neunziger Jahre kamen an der Schule Leipzig zweiseitig verglaste Holzrahmenkonstruktionen mit integrierten Verschattungseinheiten zum Einsatz. Als transparentes Dämmaterial wurde Kapillarmaterial aus PMMA eingesetzt.

Die TWD-Module (Abmessung: 2,50 m x 1,24 m x 0,17 m) sind mittig mit einem Holzsteg stabilisiert. Zur Einhaltung der Brandschutzanforderungen nach DIN 4102 wurde als vordere Abdeckung ein Drahtspiegelglas verwendet. Die integrierte Verschattung besteht aus einem Rollo mit Doppelbehang, der elektrisch angetrieben wird (16-V-Motor).

Die TWD-Module wurden in einer Vorhangfassade installiert. Jeweils beidseitig des Brüstungselementes wurden Lisenen aus Leimholzprofilen von der ersten bis zur vierten Etage im Abstand von 2,5 m als lastverteilende Unterkonstruktion angebracht. Die Module wurden vor den schwarz gestrichenen Brüstungselementen zwischen den Lisenen verschraubt und nach außen als Wetterschutz mit einer Blechabdeckung versehen. Die Zwischenräume über den Plattenfugen wurden mit Mineralwolle gedämmt. Die neuen Fenster wurden mit in die Vorhangfassade aufgenommen.

Um eine problemlose Anbindung an die opak gedämmte Attika zu erreichen, endete die Vorhangfassade im Solbankbereich der vierten Etage und die Fenster in dieser Etage verblieben in der alten Leibung. Abb. 3 stellt den Horizontal- und Vertikalschnitt der TWD-Fassade dar /3/.

Während des Betreibens der transparent gedämmten Fassade hat sich gezeigt, daß die innenliegenden Verschattungen der Module bei ständiger Nutzung erhöhte Störanfälligkeiten aufweisen, die zu einem 8 bis 10 %igen Ausfall

	Heizwärmeverbrauch [kwh/m²]
unsaniert	225
Simulation	57
Heizperiode 1994/95	57
Heizperiode 1995/96	88

Tab. 2: Paul-Robeson-Schule Leipzig – Heizwärmeverbrauch im unsanierten und sanierten Zustand im Vergleich zum theoretisch ermittelten Heizwärmebedarf

pro Jahr führen. Die Ursache: das Verklemmen der Fallschienen. Das führt zu einem Schieflaufen der Rollos und schließlich zu ihrem völligen Ausfall.

Da sich infolge der Temperaturbelastung die Abschaltungspunkte der Endlagenschalter der Rollos verschoben hätten, führte das „Überlaufen" des Endabschaltpunktes zum Faltenwurf der Behänge und ebenfalls zum Verklemmen der Fallschienen. Um einen größeren Ausfall der Verschattungseinheiten zu verhindern, wurde die Fassade nur im Sommer verschattet und im Winter geöffnet gehalten.

Modul- und Fassadenkonstruktion an der Nordschule Wurzen

Die noch stark manuell orientierte Fertigung der TWD-Module mit innenliegender Verschattung und die aufwendige lastverteilende Fassadenunterkonstruktion bei der Installation der Module an der Paul-Robeson-Schule führte zu hohen Systemkosten von über 1.350 DM/m².

Aus den Erfahrungen dieses Projekts ließ sich jedoch ableiten, daß bei einer Optimierung der Modulkonstruktion der maschinelle Fertigungsgrad der Module erhöht und damit die Kosten um mindestens 40 % gesenkt werden können. Weiterführende Arbeiten ermöglichten eine verbesserte Systemausführung für die Module und die Fassadenunterkonstruktion /5/. Die Vorteile der Optimierung:

- Eine externe Verschattung der TWD-Module führt zu einer Verringerung der Bautiefe der Module und damit zu einer Gewichtsreduzierung. Die Verschattung kann architektonisch besser in die Fassadengestaltung integriert werden. Gewährleistungsansprüche und Reparaturen sind einfacher zu handhaben. Die bisher vorhandene Störanfälligkeit durch das Verklemmen der Fallschienen ist ausgeschlossen.
- Die neue Konstruktion der Module ermöglicht eine maschinelle Fertigung mit standardisierten Bauteilen. Material- und Fertigungskosten können reduziert werden. Modultransport und Montage werden infolge der Gewichtsreduzierung erleichtert.
- Die Module werden infolge des geringeren Gewichts ohne lastverteilende Unterkonstruktion an der Fassade der Montagebauten mit Einschicht-Leichtbetonelementen installiert. Sie sind für alle Wandaufbauten geeignet und können nach Anleitung sogar im Selbstbau montiert werden.

Zur Anwendung kamen Holzrahmenmodule (Abmessung: 1,30 m x 1,20 m), die sich infolge ihres Gesamtgewichts von ca. 72 kg/Element ohne zusätzliche Hilfsmittel von Hand montieren lassen. Ihre Befestigung ist ohne lastverteilende Unterkonstruktion in quasi direkter Montage auf der Leichtbetonaußenwand möglich. Abb. 4 zeigt den prinzipiellen Modulaufbau.

Die Rahmenkonstruktion hat auf allen vier Seiten Bohrungen zur Be- und Entlüftung des Scheibenzwischenraumes. Damit wird die Bildung von Kondensat auf den Scheibeninnenseiten unterdrückt bzw. minimiert.

Die End- bzw. Zwischenstücke über den Plattenfugen sind Rahmenelemente der gleichen Profilierung wie die TWD-Module, jedoch unter Verwendung von Mineralwolle als Dämmstoff und Sperrholz zur Beplankung. Die Außenseite wird zusätzlich mit Alu-Blech verkleidet.

Die TWD-Module als „vorgehängte" Fassadenteile wurden abschnittsweise direkt im Brüstungsbereich befestigt. Wegen der vorhandenen erheblichen Montageungenauigkeiten zwischen den einzelnen Brüstungselementen war eine horizontal orientierte Lastabtragung vorgesehen. Hierzu wurde je Element ein U-Profil im unteren Bereich des Brüstungselements angeordnet, welches mit Hilfe verschiedener Langlochkombinationen und Justierschrauben flucht- und höhengerecht montiert werden konnte.

Die TWD-Module und Zwischenstücke wurden danach in der Anordnung Endstück/Modul/Zwischenstück/Modul/Modul/usw. auf die Horizontaltraverse aufgestellt, durch Justierschrauben auf planmäßige Höhe gebracht und mittels einer Verbindung am Kopf der Elemente gegen Abkippen und andere horizontale Belastungen gesichert.

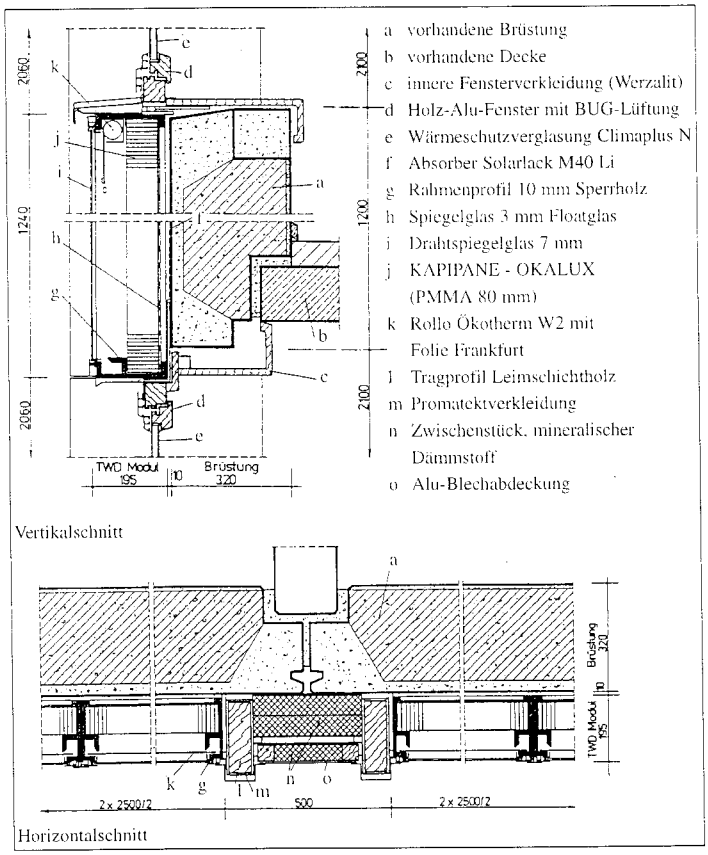


Abb. 3: Paul-Robeson-Schule Leipzig – Vertikal- und Horizontalschnitt durch die Fassade (Konstruktionszeichnungen: Leipzigprojekt)

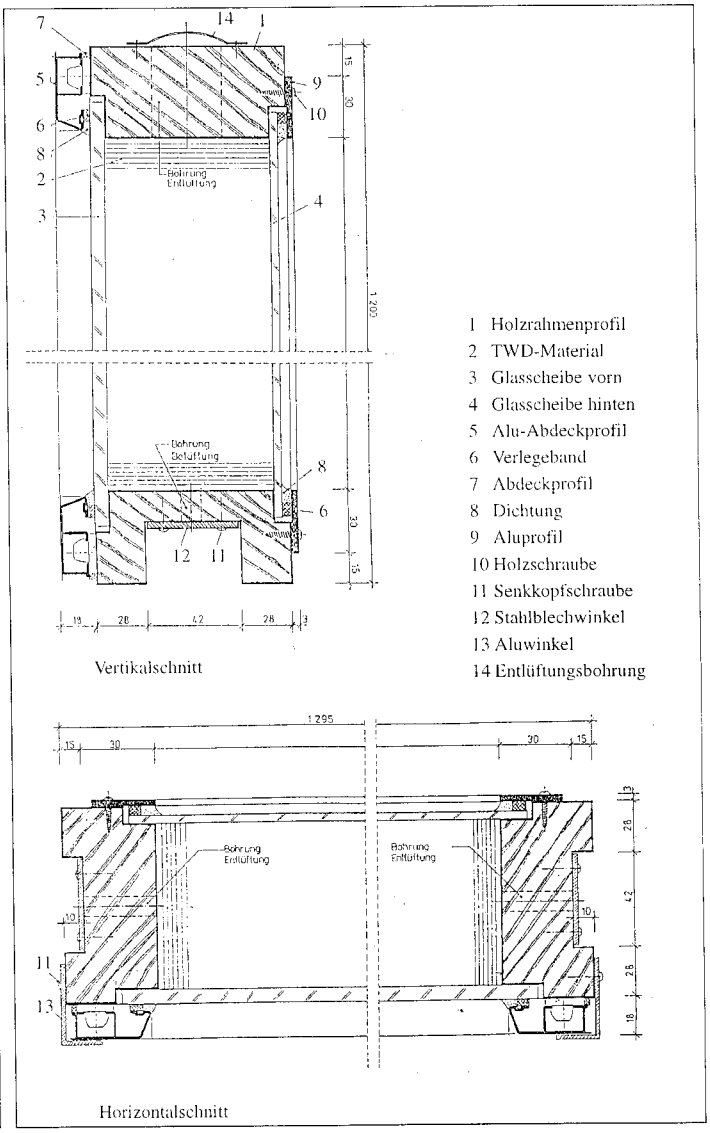


Abb. 4: Nordschule Wurzen – Horizontal- und Vertikalschnitt der maschinell gefertigten TWD-Module

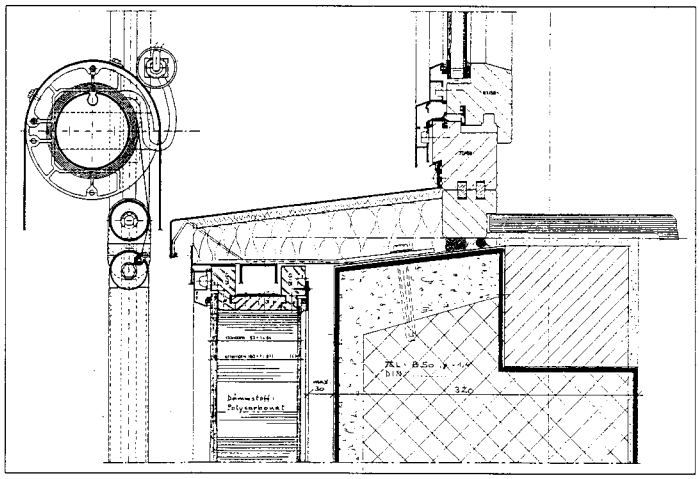


Abb. 5: Nordschule Wurzen – Vertikalschnitt durch die TWD-Fassade mit installierter Verschattung

Der sommerliche Überhitzungsschutz der TWD-Fassade wird durch eine außenliegende Verschattung in Form elektrisch betriebener Rollos mit entsprechendem textilen Behang realisiert. Um einen ausreichenden Sonnenschutz auch für die nach Süden orientierten Unterrichtsräume sicherzustellen, wurden an der Nordschule Wurzen beide Funktionen in einer mechanischen Anlage zusammengefaßt. Durch eine spezielle Steuerung können die Funktionen getrennt realisiert werden.

Zur Verschattung wurden jeweils ein TWD-Brüstungsbereich und das Fenster der darunterliegenden Etage mit einer Markisolette verschattet. Der senkrecht ausfahrende Teil der Markisolette verschattet das TWD-Modul und wird danach vor dem Fenster ausgestellt.

Die Anlage beinhaltet Komponenten einer „Zwangsteuerung" und der „individuellen" Einflußnahme. Zwangsgeregelt sind dabei der Einfluß von Wind und Regen zum mechanischen Schutz der Verschattungsanlage sowie das 24-Stunden-Gleitmittel der Außentemperatur (Sommer-/Wintereinstellung) zur Regulierung der Modulverschattung. Individuell geregelt werden kann der Sonnenschutz.

Es ist grundsätzlich möglich, für alle Modulreihen bei entsprechendem Bedarf die Verschattung zu aktivieren und für alle Fenster den Sonnenschutz individuell über Schlüsseltaster zu realisieren. Entgegen herkömmlichen Bauarten ist in dieser Anlage die Tuchwelle an der Oberkante der Brüstung und nicht im Sturz installiert (Abb. 5) /4/.

Raul-Robeson-Schule in Leipzig: Energetische Ergebnisse

Zur energetischen Bewertung der Sanierungsmaßnahme an der Paul-Robeson-Schule wurden die klimatischen Umgebungsbedingungen wie Einstrahlung und Außentemperatur sowie Wand- und Raumtemperaturen und Wärmeflüsse über die Wand untersucht /4/. (Ergebnisse aus der Nordschule Wurzen liegen derzeit noch nicht vor, da die baulichen Maßnahmen erst im Januar 1997 abgeschlossen und die Meßtechnik im April 1997 installiert wurde.) Nach Abschluß der Sanierungsmaßnahme haben sich durchschnittliche Raumtemperaturen von 22 bis 23 °C eingestellt. Das resultiert aus dem Anteil der direkten solaren Gewinne über die Fenster in der Übergangszeit und dem zu träge reagierenden Heizungssystem. Da die Sonne auch in den Nachmittagsstunden auf die Fassade trifft und zu dieser Zeit die nicht benutzten Klassenräume nicht gelüftet werden, bildet sich ein „Wärmestau". Dieser wird infolge des guten Dämmzustandes des Gebäudes in der Nacht nicht abgebaut. Die Raumtemperaturen gehen nur in der einstrahlungsarmen Jahreszeit nachts unter 20 °C zurück.

Mit zunehmender Einstrahlung steigen die Raumtemperaturen infolge der direkten solaren Gewinne über die Fenster um 1 bis 2 K an. Um im Sommer eine räumliche Überwärmung zu vermeiden, müssen die Verschattungseinrichtungen der Fenster auch außerhalb der Nutzungszeiten konsequent geschlossen gehalten werden. Abb. 6 stellt die mittleren monatlichen Raumtemperaturen in den Heizperioden 1993 /94 bis 1995/96 am Beispiel des Raumes 114 dar. Die übrigen Räume verhalten sich analog.

Ebenfalls am Beispiel des Raumes 114 werden die Wandtemperaturen in Verbindung zur Raum- und Außentemperatur für die Heizperiode 1994/95 untersucht. Die mittlere Monatstemperatur der Außenwandoberseite (Absorber) hinter der transparenten Wärmedämmung liegt selbst bei ungünstigen Außentemperaturen im Januar etwa 20 K über der Umgebungstemperatur. In der Zeit der nutzbaren Solargewinne werden durchschnittlich Temperaturdifferenzen zu der mittleren Umgebungstemperatur bis zu 27 K erzielt.

Die Wandinnenseite der opak gedämmten Nordwand liegt in ihrer Oberflächentemperatur bis zu 4 K unter der vergleichbaren TWD-Wandinnenseite.

Infolge der Wärmeflüsse über die transparent gedämmte Wand sind in der Heizperiode die Temperaturen der Wandinnenseite bis zu 2 K über der Raumtemperatur. Dadurch tritt ein positiver Einfluß der transparenten Wärmedämmung auf das Raumklima und die Verbesserung des Behaglichkeitsgefühls auf. Abb. 7 stellt eine Übersicht der diskutierten Wandtemperaturen dar.

Vergleicht man die Wärmeflüsse durch die transparent und opak gedämmten Wände, so stellt man fest, daß in der Energiebilanz über die Heizperioden die opak gedämmten Wände reine Verlustwände darstellen. Transparent gedämmte Wände zeigen in der Heizperiode Wärmegewinne. Abb. 8 stellt die Wärmebilanzen der transparent und opak gedämmten Wände in den Heizperioden 1993/94 bis 1995/96 dar.

Entsprechend der Definition wird ein Wärmefluß von innen nach außen als positiver Wert wiedergegeben. Somit werden Wärmegewinne von außen nach innen mit einem negativen Vorzeichen versehen. Die für den Raum 17 in der Heizperiode 1995/96 dargestellten Wärmeverluste der TWD-Wand (positiver Wert) resultieren aus der wegen eines Defekts geschlossenen Verschattungsanlage. In diesem Fall zeigt das transparente Dämmsystem dem opaken System vergleichbare Eigenschaften.

Betrachtet man den Raum 114, so wurden in der Heizperiode 1994/95 durch die transparent gedämmte Wand Wärmeverluste von 76,5 kWh/m² Aperturfläche vermieden. In der Heizperiode 1995/96 betrugen die vermiedenen Wärmeverluste sogar 99,6 kWh/m² TWD-Fassade. Damit tragen die transparent gedämmten Wände auch bei den vorhandenen mittleren Raumtemperaturen von 23 °C (gefordert waren 20 °C) wesentlich zur Minimierung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes bei.

TWD mit guten Ergebnissen

Die Ergebnisse des ersten Demonstrationsprojekts zeigen somit, daß durch die TWD-Wände in einer Heizperiode Wärmeverluste bis zu 100 kWh/m² TWD-Fassade vermieden werden können. Die Wärmegewinne können zum Ausgleich anderer Wärmeverluste, z. B. der Lüftungswärmeverluste, genutzt werden. Die Raumtemperaturen betrugen im Durchschnitt 22 bis 23 °C. Die Temperatur der transparent gedämmten Wände lagen in der Heizperiode meist über der Raumtemperatur. Das Behaglichkeitsgefühl der Nutzer konnte dadurch verbessert werden.

Durch eine konzeptionelle Änderung der Fassadengestaltung mit einer separaten Verschattung der TWD-Module wurde die Voraussetzung für deren maschinelle Fertigung unter Verwendung standardisierter Bauteile erreicht. Dadurch

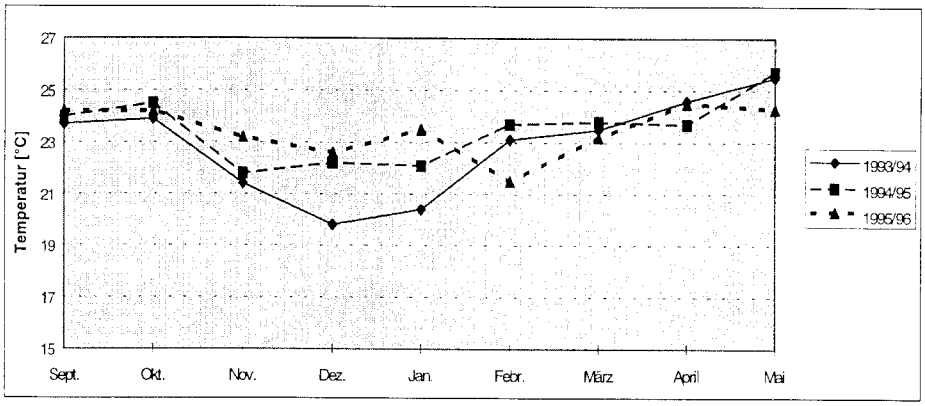


Abb. 6: Paul-Robeson-Schule Leipzig – Mittlere monatliche Raumtemperaturen in den Heizperioden 1993/94 bis 1995/96 am Beispiel des Raums 114

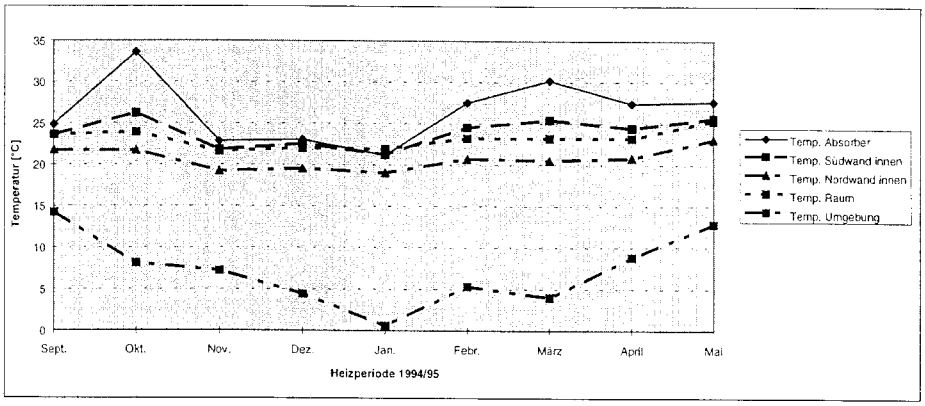


Abb. 7: Paul-Robeson-Schule Leipzig – mittlere monatliche Wandtemperaturen der transparent und opak gedämmten Wände im Raum 114 im Vergleich zur Raum- und Umgebungstemperatur in der Heizperiode 1994/95

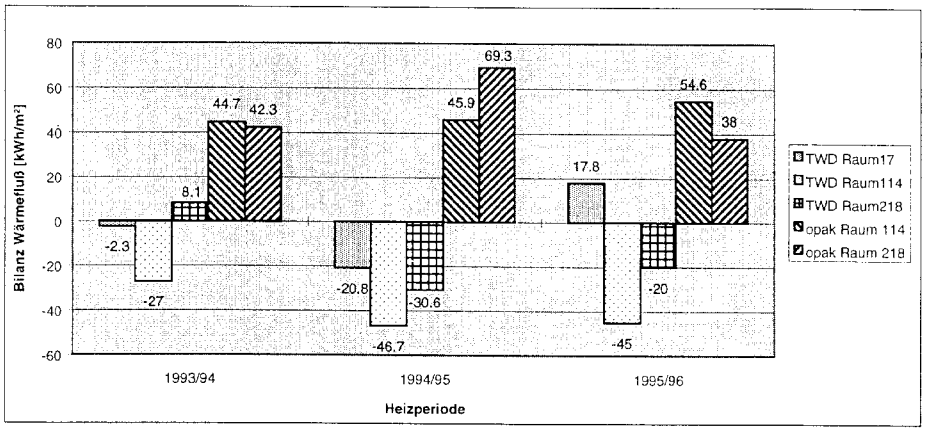


Abb. 8: Paul-Robeson-Schule Leipzig – Energiebilanz der transparent und opak gedämmten Wände in den Heizperioden 1993/94 bis 1995/96

konnten die Systemkosten einschließlich Montage und Verschattung auf unter 1.000 DM/m² gesenkt werden.

Mit der Entwicklung der maschinell herstellbaren TWD-Module ist ein flexibler Einsatz der Module bei der Sanierung präfabrizierter Gebäude mit Leichtbetoneinschichtelementen möglich. Die angewandte Fassadenunterkonstruktion führt zu einer einfachen und problemlosen Montage ohne zusätzliche Hilfsvorrichtungen.

Die externe Verschattung der Module bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Fassadengestaltung. Damit wurden die Voraussetzungen für eine Breitenanwendung der passiven Solarenergie im Rahmen der Solararchitektur geschaffen.

Christel Russ, Rainer Buchmann, Alexander Düsterhöft

Literatur

/1/ Russ, C., Pöschel, K.; Sanierungskonzepte für Typenschulen in den neuen Bundesländern, Tagungsband Siebtes Symposium für Thermische Solarenergie, Staffelstein April 1997, S. 431-435

/2/ Russ, C. Energetische Sanierung einer Schule unter Verwendung transparenter Wärmedämmung - Modellvorhaben Paul-Robeson-Schule Leipzig, Schlußbericht zum BMBF-Forschungsprojekt 0329224D, Februar 1997

/3/ Russ, C. Hoffmann, V. U., Energetische Sanierung einer Schule unter Verwendung transparenter Wärmedämmung - Modellvorhaben Paul-Robeson-Schule Leipzig, Schlußbericht zum BMBF-Forschungsprojekt 0329224A, November 1994

/4/ Russ, C. Kappert, M., Krulick, G., Einsatz maschinell gefertigter TWD-Module in einer optimierten Fassadenkonstruktion an Montagebauten mit Leichtbetonelementen, Zwischenbericht 1996 zum BMBF-Forschungsprojekt 03229224G, Februar 1997

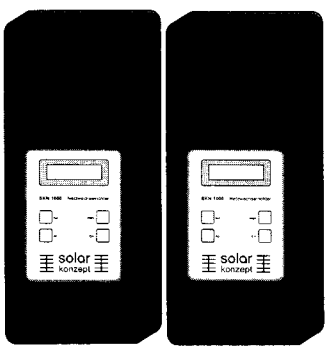
/5/ Russ, C., Düsterhöft, A., Buchmann, R., Entwicklung von Standardmodulen mit transparenter Wärmedämmung zur Sanierung von Fertigteilgebäuden mit Einschichtplatten in Montagebauweise, Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsprojekt 0329224E, Dezember 1996

In der nächsten Ausgabe der SONNENENERGIE folgt ein Beitrag über die energetische und lichttechnische Sanierung der Regelschule Erfurt.

Über die Autoren:

Dipl.-Ing. Rainer Buchmann ist Leiter des Architektur- und Ingenieurbüros Matthes und Buchmann in Leipzig. *Dipl.-Phys. Alexander Düsterhöft* ist Geschäftsführer der Holz- und Leichtmetallbau GmbH Leipzig. *Dr. Christel Russ* ist Mitarbeiterin am Fraunhofer ISE in der Gruppe Solares Bauen.

SKN 1000 ! NEU !
String-Kaskade
SKN 1010/1020: 1,0 / 1,7 kW
LCD-Display, RS 232 / 485
Bedienkomfort, Datenlogger
trafolos, effizient, η > 96%
VDEW-und CE-Konformität
anreihbar: 17 cm Breite/Gerät



solar konzept
Friedrich-Ebert-Str. 23 51429 Bergisch Gladbach
Tel.: 02204-84 40 40 Fax: 02204-84 40 44