

Nachhaltige Sanierung von Schulbauten

The Sustainable Rehabilitation of School Buildings

Roberto Gonzalo

Neben dem eigenen Wohnhaus ist die Schule das Gebäude, in dem Kinder und Jugendliche ihre meiste Zeit verbringen. Nachhaltigkeit, Ökologie und Energieeffizienz sind unter dieser Prämisse sowohl als erstrebenswerte Ziele einer Schulbausanierung als auch als willkommenen Unterrichtsgegenstand zu betrachten. In das pädagogische Konzept der Schule integriert, wird das Bewusstsein der Schüler für diese Themen sensibilisiert und damit in die Gesellschaft transportiert. Auch wenn es nicht die vordergründige Aufgabe von Architektur ist, können bei einer nachhaltigen Sanierung Zusammenhänge des Energieverbrauchs dargestellt werden. Denn nur wenn die Schüler verstehen, wie Ursachen und Wirkungen miteinander vernetzt sind, entwickeln sie eine bewusstere Haltung gegenüber unserer Umwelt. Jenseits der tatsächlich zu erzielenden Energieeinsparungen wird das Gebäude »Schule« zu einer Art Informationsbörse, in der künftige Entscheidungsträger und Erben der Klimakrise Ideen und Handlungen erproben, diskutieren und austauschen können (Abb. 3). Aus dieser Perspektive ist eine ganzheitliche Betrachtung des Begriffs Nachhaltigkeit unabdingbar. Neben der energetischen Optimierung fällt darunter auch ein breites Spektrum ökologischer Maßnahmen, wie etwa Materialien und Bautechniken mit Bedacht zu wählen, Möglichkeiten der Wiederverwertung zu beachten, graue Energie zu reduzieren, mit Ressourcen und Wasserhaushalt umsichtig umzugehen, versiegelte Flächen rückzubauen und natürliche Energiequellen einzubinden. Die Betrachtung darf außerdem keine punktuelle Bestandsaufnahme sein, sondern muss die dynamische Vernetzung von Lebenszyklen berücksichtigen. Nachfolgend werden die Aspekte behandelt, welche bei der Sanierung einer Schule deren Energiebilanz beeinflussen.

Kommunale Aufgabe

In den vergangenen Jahren hat eine entscheidende Entwicklung im gesellschaftlichen Bewusstsein stattgefunden. Der Handlungsbedarf, die vom Menschen verursach-

ten klimatischen Einflüsse zu korrigieren bzw. ihre Auswirkungen einzudämmen, wird nun wahrgenommen. So haben sich die Ziele für die Reduktion der CO₂-Emissionen seit der Konferenz von Rio in den 1990er-Jahren ständig verschärft. Neben den nationalen Anstrengungen sind zahlreiche Initiativen auf kommunaler Ebene entstanden. Klimabündnisse und ähnliche regionale Vereinbarungen setzen sich für die nachhaltige Reduktion von Kohlendioxidemissionen ein. Diese Ziele können auf zwei Wegen erreicht werden: entweder durch emissionsarme Energien als Ersatz fossiler Energieträger oder besser noch durch reduzierten Energieverbrauch. Letzteres lässt sich durch den optimierten Einsatz von Energien erreichen (Effizienzprinzip). Dabei wird wie beim Ersatz durch alternative Energien der grundlegende Verbrauch nicht geändert, sondern nur der Wirkungsgrad verbessert. Alternativ dazu wird die eigentliche Notwendigkeit der Energieverwendung geprüft, wodurch der Bedarf an der Quelle optimiert wird (Suffizienzprinzip).

Die Planung und Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zwingt die Kommunen zu einem strukturierten Energiemanagement. Optimierung der Energieversorgung und Nutzung regenerativer Energien, Energieeffizienz im baulichen Sektor sowie bei Transport und Mobilität sind die wichtigsten Säulen eines Aktionsplans. Bekanntlich fällt ein großer Anteil des Energieverbrauchs auf die Gebäudenutzung. Das Erreichen der Ziele zur CO₂-Reduktion führt deshalb zwangsläufig über den Weg der Gebäudesanierung. Private Bauherren werden durch Sonderkredite (z. B. über die KfW-Förderbank) oder andere Subventionsprogramme zum Handeln motiviert. Die Kommunen sind ebenfalls darauf angewiesen, ihre Liegenschaften, darunter Schulen, im Sinne der Zukunftsfähigkeit energetisch nachzubessern. Auch hier wird in vielfacher Form subventioniert, wie zurzeit mit dem Konjunkturprogramm, von dem innerhalb der nächsten zwei Jahre ca. 7 Milliarden Euro in die Sanierung von Kindertagesstätten und Schulbauten fließen. Diese Investitionen sollen so-



wohl die baulichen als auch die energetischen Standards der Bildungseinrichtungen verbessern. Zudem nimmt die Gemeinde ihre Vorbildfunktion wahr. Denn bauliche Maßnahmen und Technologien werden der Öffentlichkeit präsentiert, Wirtschaftlichkeit und technischer Fortschritt auf den Prüfstand gestellt, wichtige Erfahrungen gesammelt und bewertet. Die Angst vor Neuem, Unerprobtem wird dabei abgebaut. Umso wichtiger ist es deshalb, diese Projekte sorgfältig und überlegt durchzuführen.

Sanierungswürdig und sanierungsfähig

Schulen bilden als Sonderbauten im Bereich der Sanierungen besondere Situationen. Typologisch bieten sich viele Gestaltungsmöglichkeiten an, nicht nur im funktionalen und strukturellen, sondern auch im formalen Bereich. Dabei stellt sich die Frage nach dem angemessenen Umgang mit dem Bestand. Im Entscheidungsprozess einer Sanierung sind dabei zwei Aspekte zu überprüfen: die Sanierungswürdigkeit und die Sanierungsfähigkeit. Der erste Aspekt bezieht sich auf objektive wie subjektive Werte der Bestandsgebäude, die für den Erhalt der Bausubstanz von Bedeutung sind und zur Entscheidung für oder gegen eine Sanierung führen. Denkmalgeschützte Bauten stellen in dieser Hinsicht klare Anforderungen, da die Auflagen für die Sanierung definiert sind und sich größtenteils der Entscheidungsgewalt von Architekt oder Bauherr entziehen. Schwieriger ist die Situation bei vielen nicht denkmalgeschützten Gebäuden, welche oft von einer einprägsamen, gestalterischen Ausstrahlung gezeichnet sind. Bei Bauten der 1970er-Jahre wird die klare strukturierte Anordnung meistens in der Gestaltung hervorgehoben: elementierte Fassaden, Stahlbetonrahmen mit vorstehenden Schotten oder Decken, vorgehängte Fassaden aus Betonfertigteilen. Diese aus energetischer und konstruktiver Sicht schwer lösbaren Aufgaben verlangen nach einer adäquaten Architektursprache in der Sanierung. Die ursprüngliche Gestaltung mit ähnlichen Materialien nachzuahmen, führt in den meisten Fällen zu einer Verfälschung des

Roberto Gonzalo promovierte 1989 an der TU München mit dem Thema Passive Nutzung der Sonnenenergie und ist Mitinhaber des Architekturbüros Pollok+Gonzalo in München. Er ist Autor diverser Veröffentlichungen, darunter »Energieeffiziente Architektur«, 2006.

Roberto Gonzalo was awarded a doctorate in 1989 at the University of Technology, Munich, for his work on the passive use of solar energy. He is a partner in the architectural practice Pollok+Gonzalo in Munich and is also the author of various publications, including "Energieeffiziente Architektur", 2006.

- 1 Erweiterung der Birken-Grundschule in Berlin von huber staudt architekten, 2008. Im Neubau sind neben weiteren Klassenräumen Küche und Mensa untergebracht.
- 2 Cafeteria für das Luisengymnasium in München von bodensteiner fest architekten stadtplaner, 2008. Zwei bisher als Ladengeschäfte genutzte Bereiche wurden zur Schul-Cafeteria umgebaut.

- 1 *Extension of Birken Primary School in Berlin, 2008, by huber staudt architects. The new tract contains additional classrooms as well as a kitchen and dining hall.*
- 2 *Cafeteria for the Luisen Grammar School in Munich, 2008, by bodensteiner fest architects and urban planners. Two former shops were converted to create this school cafeteria.*

Erscheinungsbildes. Eine Alternative wäre die Rettung der konzeptionellen gestalterischen Intention, jedoch mit einer neuen Interpretation in der Materialität. Nicht selten ist es sogar möglich, mit neuen Baustoffen und Techniken den ursprünglichen formalen Zielen näher zu kommen (s. S. 902ff.: Sanierung der Grundschule Rolandstraße in Düsseldorf).

Unter dem Begriff der Sanierungsfähigkeit werden die funktionalen und baulichen Eigenschaften des Gebäudes beurteilt. Auch energetische Gesichtspunkte fallen in diese Kategorie. Die Reichweite der Maßnahmen von der Entkernung über den Teil- oder Komplettabriss bis zum Neubau werden definiert. Dabei wird überprüft, ob eine erfolgreiche Sanierung angemessen und wirtschaftlich wäre. Bei dem Versuch, ein zeitgemäßes Raumprogramm im Bestand unterzubringen, wird häufig eine Erweiterung erforderlich. Dort werden Funktionen angeordnet, die ansonsten schwer integrierbar sind wie z. B. eine Mensa (Abb. 1).

gig von den Eigenschaften des Bestands und dessen Sanierungsfähigkeit ist meistens trotz Optimierung von Planung, Technik und Konstruktion dieser Standard nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand zu realisieren. Dennoch sollte er das Ziel sein: In der Planung sind die Verhältnismäßigkeiten und Wirkungen der eingesetzten Mittel im Detail abzuwägen. Es sind solche Maßnahmen auszuwählen, welche die Energiebilanz am wirksamsten beeinflussen und die Betriebskosten nachhaltig über einen langen Zeitraum senken. Gerade wenn bauliche Instandhaltungen oder Sanierungen ohnehin notwendig sind, sollte die Energieoptimierung der Bauteile angestrebt werden. Schwierig ist die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen, wenn diese abschnittsweise erfolgt und dabei nicht autark funktionierende Gebäudeteile beinhaltet oder wenn die Sanierung nur vereinzelte Elemente wie Fensterersatz, Dacherneuerung oder Austausch der Heizungsanlage umfasst. Diese Maßnahmen sollten immer im Rahmen

einer Gesamtplanung entstehen und die weiteren Schritte bis zur vollständigen Sanierung beachten. Eine energetisch unzureichende Ausführung muss vermieden werden, wie z. B. schwache Dämmung oder Fenster mit konventionellen Verglasungen oder Rahmen. Diese Maßnahmen lassen sich nachträglich nur durch Abbruch und Ersatz verbessern. Die Lebenserwartung der Sanierung zeigt, ob die Investitionen langfristig wirtschaftlich sind. Dabei sind die zu erzielenden Einsparungen so groß (Faktor 10 und mehr), dass sich in der Regel eine Amortisation durch Senkung der Betriebskosten leicht errechnen lässt. Bei einem üblichen Energieverbrauch von über 200 bis 300 kWh/m²a im Bestand sind Einsparungen von bis zu 90 % möglich. Laut Energieinstitut Vorarlberg, das Kommunen bei der Sanierung von Schulen berät, lässt sich bei einer wirtschaftlichen Optimierung der Sanierungsmaßnahmen eine Reduktion des Heizenergiebedarfs auf 20 bis 30 kWh/m²a erzielen. Die Mehrkosten dafür

Sanierungsstandards und Wirtschaftlichkeit

Bei Sanierungsmaßnahmen muss der angestrebte Standard festgelegt sein. Die verschärfte Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) wird ab dem 1. Oktober in Kraft treten, die dort beinhalteten Grenzwerte sind dann bindend. Ferner wird seit dem 1. Juli 2009 auch für Nichtwohngebäude ein Energieausweis verlangt und bei öffentlichen Gebäuden mit Publikumsverkehr soll der Verbrauch für die Besucher transparent gemacht werden. Bereits in drei Jahren wird die EnEV nochmals überarbeitet, ihre Anforderungen werden weiter verschärft. Das macht deutlich, dass eine Sanierung mit nachhaltigen Zielen im energetischen Sinne sich nicht mit den Anforderungen der EnEV begnügen kann. Der Niedrigenergiestandard oder die Einhaltung der Anforderungen für Neubauten sind in den meisten Fällen baulich, technisch und wirtschaftlich relativ leicht zu erreichen und sollten als minimales Ziel gelten. Die höheren Anforderungen des Passivhausstandards sind dagegen bei Sanierungen schwieriger zu erfüllen. Abhän-



- 3 Schule mit ökologischem Entwurfskonzept in Washington von Kieran Timberlake, 2006, s. S. 920ff. Nachhaltige Sanierungsmaßnahmen wie die Photovoltaikanlage auf dem Dach sind in den Lehrplan integriert.
- 4, 5 Energetische Sanierung einer Volksschule in Lochham bei München, Pollok+Gonzalo, 2008. Thermografische Aufnahmen geben Aufschluss über Problemstellen der Bestandsfassade.
- 3 *Middle school with biological design concept in Washington, DC, 2006, by Kieran Timberlake (see pp. 920ff). Sustainable rehabilitation measures, like the photovoltaic plant on the roof, have been integrated into the teaching plan.*
- 4, 5 *Energy refurbishment of an elementary school in Lochham near Munich, 2008, by Pollok+Gonzalo. Thermographic images indicate the problem areas in the existing facade.*

liegen bei etwa 5 bis 8 % und damit deutlich niedriger als ursprünglich in den Gemeinden erwartet.¹ Die Wirtschaftlichkeit von Mehraufwand und erzielter Einsparung ist schwer zu errechnen, weil die Entwicklung der Energiekosten sich nicht prognostizieren lässt. Doch selbst bei optimistischen Annahmen sind meistens die Amortisationen in der Lebensdauer der Maßnahme zu realisieren. Als Zusatzeffekt gibt es die Sicherheit der zukünftigen Energieversorgung. Diese Ansicht haben sich einige Städte und Kommunen zu eigen gemacht. Die Stadt Frankfurt am Main z. B. hat den Passivhausstandard für neue Baumaßnahmen verpflichtend eingeführt. Ende 2004 entstand in Frankfurt die erste zertifizierte Passivhausschule Deutschlands (Abb. 7). Im Betrieb und bei Messungen sind die zu erwartenden Ergebnisse bestätigt worden. Auch für Sanierungen hat die Stadt diesen Standard als Ziel gesetzt: »Bei Sanierungen von städtischen Gebäuden sind Passivhauskomponenten einzusetzen (Dämmung, Fenster, Lüftung mit Wärmerückgewinnung > 75 %). Der Passivhausstandard ist anzustreben. Sollte dieser Standard nicht erreicht werden können, ist dies zu begründen.«²

Änderung der räumlichen Bedürfnisse

Aufgrund ihres Alters und der intensiven Nutzung ist die Mehrzahl der bestehenden Schulgebäude aus baulicher, funktionaler

und energetischer Sicht sanierungsbedürftig. Sie erfüllen nur ungenügend die in den letzten Jahren verschärften Normen und Vorschriften in Bereichen wie Brand-, Wärme- oder Arbeitsschutz. Hinzu kommen die Änderungen im pädagogischen Konzept, welche die meisten bestehenden Einrichtungen auch funktional obsolet machen. Denkmalgeschützte Gebäude stellen zahlenmäßig einen geringen Teil des zu sanierenden Bauvolumens dar. Der größte Anteil der sanierungsbedürftigen Schulbauten stammt aus den 1960er- und 1970er-Jahren als Folge der geburtenstarken Jahrgänge. Nach einer Nutzungsdauer von fast 50 Jahren und bedingt durch die damals angewandten Bautechniken und Konstruktionsstandards besteht bei fast allen Bauten dieser Periode ein erheblicher Sanierungsbedarf. Aufgaben sind nun, die noch brauchbare Bausubstanz zu sichern, den Energieverbrauch zu senken und den funktionalen Erfordernissen eines modernen Schulbetriebes Rechnung zu tragen (Abb. 15). Diese Gebäude haben kaum die Hälfte ihrer Lebenserwartung erfüllt und sind weder so alt noch funktional so schlecht, um ihren Abriss und Neubau ohne Bedenken zu rechtfertigen. Eine Sanierung verlängert die Lebensdauer der Bausubstanz und die weitere Nutzung der vorhandenen Infrastruktur. Das Gebäude als Ganzes wird recycelt und der Energieaufwand für seine Herstellung über

einen längeren Zeitraum verteilt. Die häufig notwendige Entkernung bei einer Generalsanierung erlaubt innerhalb des gerasterten Systems dieser Bauten eine neue Raumaufteilung. Durch die bessere Ausnutzung der vorhandenen Bereiche wird beheizte Fläche gespart – eigentlich die effizienteste Maßnahme, Energie zu sparen.

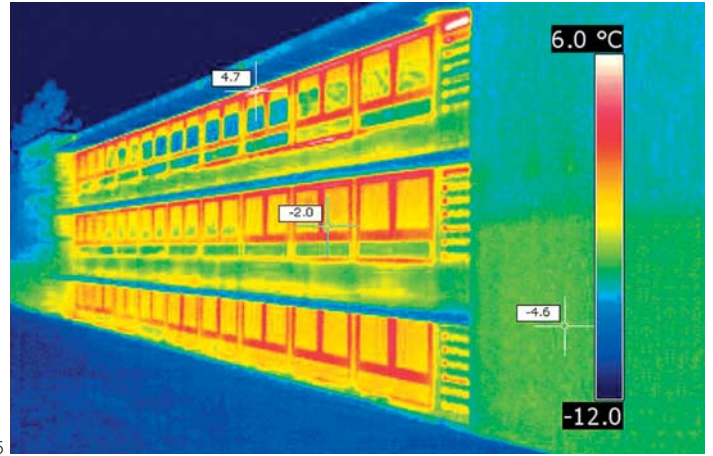
Zeitgemäße Lernprogramme haben veränderte räumliche Bedürfnisse zur Folge: Neben den Klassenzimmern eignen sich Räume mit verschiedenen Größen für die Arbeit mit kleineren Gruppen, Besprechungen, Mediation etc. sowie Räume mit spezifischen Ausstattungen wie beispielsweise Computerräume. Die Tendenz zu Ganztagschulen oder die größere Nachfrage nach Nachmittagsbetreuung stellt einen zusätzlichen Raumbedarf dar. Da sich Lehrpläne bis in den Nachmittag ausdehnen, gibt es das Problem der Essensversorgung in der Mittagszeit, wozu das traditionelle Angebot eines Kiosks oft nicht ausreicht. Eine Cafeteria, die warmes Essen ausgeben kann, oder eine Mensa werden damit feste Bestandteile eines Schulraumprogramms (Abb. 2). Auch die Möblierung und technische Ausstattung haben sich wesentlich verändert (vernetzte Computer, Projektionsmittel etc.). Bei der technischen Nachrüstung ist eine moderne Steuerung von energiesparenden Systemen für Beleuchtung, Lüftung, Sonnenschutz und Wärmeübergabe sinnvoll.

Schwachpunkte des Bestands

Typische Probleme bei der Schulsanierung in Bezug auf energetische Schwachpunkte sind u.a.:

- herausragende, ungedämmte Betondecken und Pfeiler (Wärmebrücken)
- ungedämmte Bodenplatten
- Wärmebrücken bei Bauteilanschlüssen
- thermisch nicht entkoppelte Rahmen von Fenstern und Türen
- Fenster oder Fenstertüren ohne Wärmeschutzglas und mit defekten Dichtungen
- fehlende Luftdichtigkeit bei Fenstern; in der Folge stört Zugluft, obwohl es an Frischluft fehlt





– Thermostatventile an Heizkörpern sind häufig nicht vorhanden; zu hohe Temperaturen werden durch das Öffnen der Fenster reguliert

Die genannten Eigenschaften mindern den Raumkomfort und beeinflussen die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit von Lehrern und Schülern negativ. Im Folgenden werden Maßnahmen dargestellt, um diese Defizite zu beheben.

Energetische Aspekte der Sanierung

Auch für die energetische Sanierung von Schulbauten finden die mittlerweile verbreiteten Prinzipien für eine energieeffiziente Gebäudesanierung Anwendung.³ Nachfolgend werden daraus diejenigen Aspekte fokussiert, die sich auf die Besonderheiten der Bautypologie Schule beziehen. Die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen und ihre Bewertung erfolgt auf der Grundlage einer Bestandsanalyse. Dazu gehört eine Energiebilanz mit einer Wertung der Gewinne und Verluste. Aus dieser lassen sich Prioritäten ablesen sowie konstruktive und gestalterische Folgen ableiten. Thermografische Bilder bieten dazu wertvolle Informationen, um Schwachstellen in der Gebäudehülle zu finden (Abb. 4, 5).

»Wenn die kurzlebigen Teile eines Baus zugänglich und veränderbar sind, verlängert sich dessen gesamte Lebensdauer«⁴ (Richard Rogers). Die Integration der Technik sowie Sanierungsmaßnahmen für den Rohbau, den Aufbau und die Einrichtungen sollen diesem Prinzip der Trennung nach verschieden langer Lebensdauer der Bauelemente folgen. Dadurch kann optimal auf die einzelnen Anforderungen eingegangen werden.

Schulen bestehen aus unterschiedlichen Bereichen, sowohl in ihren räumlichen und funktionalen Eigenschaften als auch in den Nutzungszeiten (Klassenzimmer, Werkräume, Flure, Pausenhalle, Sporthalle, Bibliothek, Verwaltung, Cafeteria). Entsprechend variieren die raumklimatischen Anforderungen an Luftwechsel, Belichtung, Sonnenschutz und Temperatur. Obwohl die Klassenzimmer maßgeblich für die Entwicklung

und Beurteilung der energetischen Sanierungsmaßnahmen sind, sollte natürlich auch auf die Bedürfnisse der anderen Bereiche eingegangen werden.

• Transmissionswärmeverluste

Eine lückenlose Dämmung der Gebäudehülle hat selbstverständlich absolute Priorität. In den meisten Fällen ist diese auch die wirtschaftlichste Sanierungsmaßnahme. Die Definition der thermischen Grenze des beheizten Volumens zeigt den benötigten Verlauf der Dämmung. Problematisch sind von außen nicht leicht zugängliche Flächen wie Kellerwände oder erdberührende Bodenplatten. In diesen Fällen ist eine Innendämmung meistens die einzige Alternative. Neue Materialien wie Calciumsilikatplatten oder Vakuumpaneele bieten dafür Lösungsmöglichkeiten. Wärmebrücken bei Bauteilen, welche die thermische Grenze durchstoßen wie Pfeiler, Unterzüge und herausragende Betonschotten führen aufgrund erhöhter Wärmeverluste oft zu Bauschäden. Deshalb verdienen sie besondere Aufmerksamkeit (Abb. 8–10).

Für eine ausreichende Belichtung ist ein hoher Verglasungsanteil der Fassade erforderlich. Folglich spielen qualitative dichte Fenster eine wichtige Rolle in der Energiebilanz. Fenster im Passivhausstandard erlauben auch ohne darunter liegendem Heizkörper einen angenehmen Fensterplatz ohne Kälteabstrahlung oder Luftzug.

• Lüftungswärmeverluste

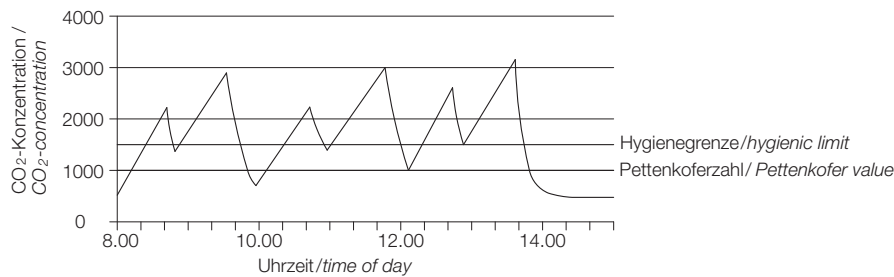
Die hygienische Luftqualität von Klassenräumen wird hauptsächlich durch ihren CO₂-Gehalt bemessen. Nach den gültigen Normen soll ein Wert von 1500 ppm nicht überschritten werden. Nach Pettenkofer ist bereits bei mehr als 1000 ppm mit einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens zu rechnen. Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationschwäche und Minderung der Leistungsfähigkeit sind die Folgen. Messungen in Schulen belegen immer wieder, dass die manuelle Fensterlüftung zur Erhaltung der hygienischen Qualitätskriterien untauglich ist. Eine Überschreitung der Grenzwerte um das

Mehrfache ist eher die Regel als die Ausnahme. Dazu kommen die erhöhten Wärmeverluste durch die freie Lüftung (Abb. 6).

Eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist eine geeignete Lösung, um sowohl die Luftqualität nach Anforderungen der Hygiene und des Komforts zu gewährleisten als auch die Lüftungswärmeverluste auf ein Minimum zu reduzieren. Die große Anzahl an Personen in einem Raum (ca. 30 Schüler auf 60 m²) hat einen raschen Anstieg des CO₂-Gehalts zur Folge und macht einen höheren Luftwechsel erforderlich. Die von der DIN 1946 früher geforderten 30 m³/h pro Person haben sich jedoch als zu hoch erwiesen, wie Messungen des CO₂-Gehalts in verschiedenen Neubauten und Sanierungen bestätigen.

Nach der EN 13779 ist ein Luftvolumenstrom von ca. 20 m³/h pro Person ausreichend, um eine akzeptable Luftqualität zu erreichen, wodurch Lüftungsanlagen kleiner dimensioniert werden können.

Voraussetzungen für eine energieeffiziente Lüftung sind ein geringer Stromverbrauch pro Luftvolumen, mindestens 75% Wärmerückgewinnung und eine lückenlose Gebäudehülle. Anschlüsse von Bauteilen und vor allem die Montage der Fenster müssen luftdicht ausgeführt sein. Um die Betriebskosten zu reduzieren, sollte die Lüftung zeitlich intermittierend und bedarfsgerecht betrieben werden. Die einfachste Lösung wäre eine Zeitsteuerung der Betriebszeiten. Diese kann allerdings weder Änderungen in der Raumbelastung noch Unterrichtsausfälle berücksichtigen. Besser ist eine Verknüpfung mit einer Präsenz- oder CO₂-abhängigen Regelung des notwendigen Luftwechsels. Die für die Lüftung notwendigen Technikflächen unterzubringen stellt bei den meisten Sanierungsprojekten ein schwer lösbares Problem dar. Bei Gebäuden mit Flachdächern eignet sich die Dachfläche zum Aufstellen der Lüftungsanlage. Dezentrale Geräte vereinfachen Planung und Installation, ermöglichen ein individuelles Einstellen und Betreiben der Geräte, verursachen allerdings einen höheren Wartungsaufwand. Entgegen verbreiteten Vorurteilen ist auch



6

bei einer kontrollierten Lüftung das Öffnen von Fenstern im Winter durchaus möglich, jedoch nicht nötig. Der kalte Luftzug, der entsteht, bewegt den Nutzer zum baldigen Schließen des Fensters. Fenster mit Drehfunktion ohne Kippstellung unterstützen eine bewusste manuelle Lüftung, auch im Sommer. Eine ständig gekippte Stellung wird dadurch vermieden.

- Interner Wärmebeitrag und Belichtung
Verglichen mit dem Wohnungsbau ist die Belegung einer Schule um den Faktor 10 größer. Damit steigt sowohl der notwendige Luftwechsel als auch der interne Wärmebeitrag. Ca. 30 Schüler und ein Lehrer liefern 2 kW, was beim Passivhausstandard zur Beheizung eines Raums ausreicht. Der Wärmebeitrag ist jedoch nicht konstant, sondern unterliegt extremen zeitlichen Schwankungen im Jahresverlauf (Ferien), in der Woche (Feiertage, Wochenende) und im Tagesverlauf (Unterrichtszeiten, Pausen, Ausfallstunden). Für eine effektive Nutzung des variie-

renden Wärmebeitrags sind eine genaue Abstimmung zwischen Heizung und Lüftung sowie eine Einzelraumregelung notwendig. Die künstliche Beleuchtung liefert zusätzliche Wärme, sollte aber im Sinne der Energieeinsparung durch eine natürliche Belichtung ersetzt werden. Tageslichtabhängige Steuerung des Kunstlichts und neue Beleuchtungssysteme benötigen fast 40 % weniger elektrische Energie als konventionelle Systeme. Aufmerksamkeit verdient der Sonnenschutz, damit Blendung oder Überhitzung vermieden werden, die natürliche Belichtung jedoch nicht eingeschränkt wird.

- Solarer Wärmebeitrag
Sonneneinstrahlung plus interner Wärmebeitrag führen bei energetisch optimierten Bauten häufig zur Überhitzung. Außerdem ist während des Unterrichts ein Eindringen der Sonne selten erwünscht. Wegen der intermittierenden Nutzung gibt es Zeiten, in denen die Sonnenwärme doch einen Wärmebeitrag liefern kann. Eine südorientierte Fas-

6 Typischer Verlauf der CO₂-Konzentration in Schulen bei Stoßlüftung. Bereits bei mehr als 1000 ppm (Pettenkofer-Zahl) können Symptome wie Müdigkeit und Kopfschmerzen auftreten. Die Hygienegrenze liegt bei 1500 ppm. Ohne kontrollierte Lüftung werden die Grenzwerte jedoch mehrfach überschritten.

6 Graph showing typical CO₂ concentrations in schools with periodic ventilation. More than 1,000 ppm (Pettenkofer value) can cause symptoms of fatigue and headaches. The hygienic limit is 1,500 ppm. Without a controlled form of ventilation, the limits are likely to be exceeded by a multiple factor.

sade bietet dafür gute Voraussetzungen. Mit einem regelbaren Sonnenschutz lässt sich relativ einfach während der Unterrichtszeit eine effiziente Verschattung erzielen und außerhalb dieser Zeit die Sonnenwärme gewinnen. Wichtig ist das Verständnis der Nutzer für die Bedienung, um auf eine Vollautomatisierung zu verzichten. Feste Verschattungseinrichtungen sind hierfür ungeeignet, da diese auf die wechselnden Zustände nicht reagieren können. Bewegliche Lamellen mit einer differenzierten Einstellungsmöglichkeit im oberen Bereich haben sich als eine günstige und effektive Alternative erwiesen (Abb. 11–14).

Die Nutzung der Sonnenenergie für die Warmwasserbereitung spielt bei Schulen eher eine untergeordnete Rolle. Mit Ausnahme der Sporthallen ist der Wasserverbrauch normalerweise zu gering, um eine thermische Solaranlage zu rechtfertigen. Die großen Dachlandschaften eignen sich jedoch für die Installation von Photovoltaik-elementen. Die damit erzeugte Energie dient aber nicht der Deckung des eigenen Verbrauchs, sondern wird ins Netz eingespeist. Diese Entkopplung vom Verbrauch verdeutlicht die Priorität der baulichen Sanierungsmaßnahmen bei der Verwendung von Investitionsmitteln. Photovoltaikanlagen können außerdem fremdfinanziert werden, z.B. als Bürgersolaranlagen. Die Kommunen schließen hierbei Überlassungsverträge mit privaten Investoren, welche die Solaranlage installieren und betreiben.⁵

- Heizung und Kühlung
Der Unterschied in der Wärmebilanz zwischen Wärmegewinnen und -verlusten muss durch Heizen oder Kühlen ausgeglichen werden. Mit einer energieeffizienten Sanierung wird der Energiebedarf in den meisten Fällen auf einen Bruchteil des vorigen Bedarfs reduziert. Die vorhandene Heizungsanlage ist dann extrem überdimensioniert und wird in der Regel durch effizientere, emissionsärmere Systeme ersetzt. Hier bietet sich der Einsatz alternativer Energieträger an. Auch die Wärmeverteilung über Heizkörper ist dem geringeren Bedarf nach



7



8

- 7 Grundschule und Kindertagesstätte in Frankfurt-Riedberg von 4a Architekten, 2004; erste Passivhausschule Deutschlands.
- 8–10 Sanierung eines Kindergartens aus den 1970er-Jahren in Lochham bei München, Pollok+Gonzalo, 2003. Durch den Einbau einer Vakuumdämmung wird die ursprüngliche Aufbauhöhe des Fußbodens beibehalten. Eine innenliegende Dämmung aus Mineralwolle mindert die Wärmebrücken der Betonschotten.

- 7 *Primary school and day nursery in Riedberg, Frankfurt, 2004, by 4a Architects; the first passive-energy-standard school in Germany*
- 8–10 *Rehabilitation of 1970s' kindergarten in Lochham near Munich, 2003, by Pollok+Gonzalo. The integration of vacuum insulation allowed the original thickness of the floor finishings to be retained. Internal mineral-wool insulation counteracts thermal bridges in the concrete cross-walls.*



9

der Sanierung nicht mehr angemessen und wird üblicherweise bei der Renovierung der Heizungsanlage ebenfalls erneuert. Ähnlich wie bei der Lüftung ist eine schnelle Reaktion des Heizsystems wichtig, sowohl auf äußere klimatische Einflüsse als auch auf Änderungen in der Nutzung. Einzelraumregelungen sollten ein Zeitprogramm und eine Temperaturregelung erlauben. Auch auf eine natürliche Lüftung im Sommer ist zu achten. Bei einer Außentemperatur über 30°C im Schatten trägt jedoch eine manuelle Lüftung über Fenster nur wenig zur Kühlung bei. Hier sollte die Baumasse eine Pufferung von Temperaturspitzen ermöglichen. Witterungs- und einbruchssichere Oberlichter oder Klappen müssen dann nachts für eine Auskühlung der Speicher-masse sorgen. Da in den meisten Sanierungen die Fassaden oder zumindest die Fensterflächen erneuert werden, ist eine gezielte Aufteilung und Positionierung der Öffnungsflügel ziemlich gut planbar. Ein vorgeschaltetes Erdregister kann ebenfalls der Som-

mersituation dienen und dadurch eine Temperierung über die mechanische Lüftung ermöglichen.

Nutzerverhalten

Eine energetische Sanierung bedingt immer eine Verhaltensänderung der Nutzer. Lüftungsgewohnheiten, Sonnenschutz, Belichtung und Heizung verlangen eine Eingewöhnung und ein Verständnis für das System. Trotz umfangreicher Dokumentation der Maßnahmen und Einweisung sind eine begleitende Kommunikation und eine optimierte Einstellung der Technik auf die Verhaltensmuster des Nutzers erforderlich. Gebäude mit einem hervorragendem Wärmeschutz und einem extrem niedrigen Verbrauch oder sogar Passivhausstandard reagieren sehr flexibel gegenüber Abweichungen im Betrieb. Die Komplexität der modernen Einrichtungen übersteigt allerdings die normalen Kompetenzen eines Hausmeisters. Auch das Schulpersonal braucht in der Anfangsphase eine fachliche Beratung, damit die geplanten Energiemaßnahmen effizient gesteuert werden. Eine messtechnische Begleitung und Einpendelung ist über einen Zeitraum von mindestens zwei bis drei Jahren nach der Realisierung einzuplanen, um die angestrebten Ergebnisse zu erreichen. Dadurch wird ein Gewinn in mehrfacher Hinsicht erzielt: Neben Einsparungen bei den Betriebskosten werden bessere Lernbedingungen für die Schüler und Arbeitsbedingungen für die Lehrer durch eine thermisch ausgeglichene Atmosphäre hergestellt, sowie ein Verhaltensmuster für nachhaltiges Handeln im Bewusstsein geprägt. Neben dem ökologischen Beitrag bewirkt die energieeffiziente Sanierung eine Reduktion der Betriebskosten und Sicherheit in der Energieversorgung. Aufwendungen für Instandhaltungen gehen zurück und der Haushalt wird dadurch langfristig entlastet. Doch der vielleicht wichtigere, wenn auch nicht berechenbare Vorteil einer energetischen Sanierung liegt in der erwiesenen Verbesserung der Unterrichtsbedingungen und damit in der Aussicht auf eine nachhaltige Wirkung auf Schüler und Lehrer.

Apart from their homes, the place where children and young people spend most time is at school. In view of this, environmental compatibility, energy efficiency and sustainability are not only desirable goals for such buildings; they also provide a useful means of instruction and can heighten pupils' consciousness of the issues involved. Only when young people understand the relationship between cause and effect can they develop a greater awareness of the environment. In this way, the school can become a place for the exchange of information, where future decision-makers and the heirs of the climate change can test ideas (ill. 3). In this respect, a holistic understanding of the term "sustainable" is imperative. In addition to an optimization of energy use, it embraces a broad range of environmental measures, such as the careful selection of materials and technology, assessing the scope for recycling, reducing the use of grey energy, exploiting natural sources of energy, the careful use of resources and water, and the reduction of sealed external surfaces.

Communal responsibilities

In recent years, society has become aware of the need to rectify – or at least limit – the influence human activities have on the climate. Since the UNCED conference held in Rio de Janeiro in 1992, targets for the reduction of emissions have been progressively tightened. Alongside national efforts, numerous initiatives have been taken at communal level; for example, alliances for climate protection and a permanent reduction of carbon-dioxide emissions. These goals can be attained in two ways: either through the use of low-emission sources of energy instead of fossil fuels; or better still, through a reduction of energy consumption altogether. The latter can be achieved through an optimized use of energy (efficiency principle). Alternatively, the justification for using energy in the first place can be examined (sufficiency principle). In planning and implementing the required measures, local and regional authorities have to ensure a structured energy management. Optimization of the supply and the use of regenerative forms of energy, energy efficiency



10



11

- 11–14 Hauptschule in Klaus-Weiler-Fraxern/A, Dietrich-Untertrifaller Architekten, 2003. Effizienter Sonnen- und Blendschutz durch außenliegende Aluminiumlamellen mit differenzierter Lichtumlenkung; direkter Lichteinfall über sich selbst verschattendes Fensterband.
- 12 Fassadenschnitt Klassenraum Maßstab 1:20

- 11–14 Secondary school in Klaus-Weiler-Fraxern, Austria, 2003, by Dietrich-Untertrifaller Architects. Efficient solar and anti-glare screening, using external aluminium louvres with varied angles for light deflection. Direct entry of daylight through self-shading window strip
- 12 Section through facade of classroom scale 1:20

in the building sector, as well as questions of transport and mobility are the most important cornerstones of such programmes. A large proportion of energy consumption is attributable to the use of buildings. In seeking to reduce CO₂ emissions, therefore, rehabilitation is a must, for which grants and subsidies are available to private building owners. But local government, too, is obliged to improve the energy balance of its buildings and maintain their viability for the future through refurbishment. Again, subsidies are available for this purpose. In conjunction with the present economic support programme in Germany, for example, approximately €7 billion will flow into the rehabilitation of crèches, kindergartens

and schools over the next two years to improve the constructional and energy standards of the relevant buildings.

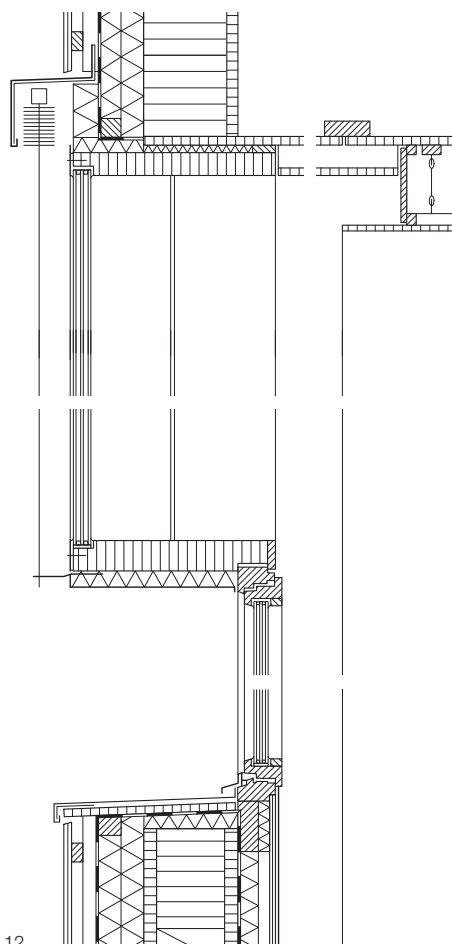
Rehabilitation: worthwhile and feasible? Schools are special structures. They cover a broad typological range, not just functionally and structurally, but in formal respects, too. Prior to any refurbishment, two aspects have to be considered: whether the measures are worthwhile, and whether they are feasible. Whether a refurbishment is worthwhile will depend on the objective and subjective values of the structure in question. Buildings protected by conservation order, for example, pose strict demands, since the measures that may be implemented are clearly defined. The situation can be even more difficult with buildings that are not listed, but that have a distinct design character. Many schools dating from the 1970s have a clearly structured layout and were erected with prefabricated facade units, projecting concrete frame structures, or curtain wall facades. Imitating the original design leads to a fake appearance. One alternative is to preserve the design concept, but with a reinterpretation of the materials (see p. 902). The second aspect (i.e. whether a rehabilitation is feasible or not) will depend on the functional and constructional character of the building. Energy questions also play a role here. The potential measures range from gutting the building to demolition and new construction, and one has to weigh up whether a structure can be successfully and economically rehabilitated. In many cases, an extension will be necessary to accommodate functions that it would be difficult to integrate into the existing building (e.g. a dining hall; ill. 1).

Rehabilitation standards and economics The requisite standard of any rehabilitation work has to be defined in advance. Higher energy-saving standards will take effect in Germany (EnEV) from 1 October 2009, and the requirements will be tightened further in three years time. In most cases, the low-energy standard and the observance of requirements for new buildings are not excessively demanding and should be regarded as

a minimum goal. The higher requirements of the passive-building standard are more difficult to implement with rehabilitation work and can usually be achieved only with a relatively great outlay. Even so, this standard should remain the ultimate goal. Measures should be chosen that have the greatest effect on the energy balance and that sink operating costs over a long period of time. When refurbishment measures are necessary anyway, every attempt should be made to optimize the energy balance of the individual elements. It is difficult to implement such measures if they are to be executed in a number of stages and are related to sections of a building that are not functionally independent or if the refurbishment involves only individual elements, like the replacement of windows or heating plant, or the renewal of roofing. Measures of this kind should always form part of an overall plan, the ultimate goal of which is a complete refurbishment. The expected life of a rehabilitation will show whether the investment will pay off. Usually, the potential savings are so great that the outlay will be amortized by lower operating costs. If the energy consumption in the existing building is more than 200–300 kWh/m²a, as is commonly the case, savings of up to 90 per cent are possible

According to the Energy Institute in Vorarlberg, Austria, which advises on the rehabilitation of schools, economically optimized refurbishment measures can reduce heating-energy needs to 20–30 kWh/m²a. The additional costs for these measures – roughly 5–8 per cent – were clearly below what the communal authorities expected.¹ A further bonus is that the future energy supply is secured. A number of municipal authorities have taken this to heart. In Frankfurt am Main, for example, new construction work has to comply with passive-energy building standards, and at the end of 2004, the first school in Germany to meet these criteria was created there (ill. 7). Frankfurt has also made this standard its goal for refurbishment work.

Changed spatial needs
In view of their age and the intense use to which they have been put, most existing



12



13

school buildings are in need of refurbishment constructionally, functionally and in terms of their energy efficiency. They scarcely comply with the stricter building standards introduced in recent years; furthermore, many changes have taken place in pedagogic concepts. The great majority of these buildings date from the 1960s and 70s.

The goal of any refurbishment must be to preserve the serviceable substance, to reduce energy consumption and to take account of modern educational needs (ill. 15). Refurbishment extends the life of the fabric and the use of the existing infrastructure. In this way, the building as a whole is recycled, and the energy invested in its construction is spread over a longer period. If the interior of a grid structure is gutted, a new division of the internal space will usually be possible. Energy can be saved through a more efficient exploitation of the existing space, which amounts to a reduction of the heated area.

Modern teaching programmes have different spatial requirements. In addition to conventional classrooms, rooms of various sizes are needed for smaller groups, for discussions, and for specific uses such as computer work. The trend to full-time teaching in Germany (instead of only during the morning and early afternoon) and the demand for afternoon care of children have created further spatial needs. In addition, it has become increasingly necessary to provide lunchtime meals (ill. 2).

School furnishings and technical equipment have also changed considerably, and in updating a building, the modern control of lighting, ventilation, sunshading and thermal transmission has to be taken into account.

Weak points of existing structures

Problems typically encountered in the rehabilitation of school buildings in the context of energy efficiency include:

- projecting floor slabs and columns that are not insulated (thermal bridges)
- non-insulated base floor slabs
- thermal bridges at junctions between elements
- window and door frames that are not thermally isolated

- windows and glazed doors without thermally insulating glass and with defect seals
- windows that are not airtight
- a lack of thermostats on radiators (overheating is then regulated by opening windows). These aspects can reduce spatial comfort and affect the concentration of teachers and pupils alike, which, in turn, can have a negative influence on their work.

Energy aspects of rehabilitation

For the rehabilitation of schools in terms of energy use, a number of generally accepted principles have been established.³ The measures to be implemented should be evaluated through an analysis of the existing structure, including an energy balance. This will allow certain priorities to be set that will facilitate an assessment of the constructional and design measures. Thermographic images are a valuable source of information in determining weak points in the outer skin (ills. 4, 5).

“When the short-life components of a building are easily accessible and changeable, the life of the whole is prolonged.”⁴ Refurbishment measures and the integration of technology should ideally follow this principle of dividing the elements according to their expected life. Spatially and functionally, schools consist of different realms, which are used for various lengths of time (e.g. classrooms, workrooms, corridors, sports halls, libraries, offices, cafeteria, etc.). This imposes certain conditions for the spatial climate, the lighting, sunshading and indoor temperature. Although the classroom is the principal space in any energy refurbishment, the needs of other areas have to be taken into account, too.

- Heat losses through thermal transmission

Complete insulation of the outer skin of a building has absolute priority, and this is usually the most economic step in any refurbishment. The thermal boundary of the heated volume defines the position of the insulation. Areas that are not easily accessible from the outside, like basement walls or floor slabs in contact with the ground, can be problematic. In such cases, the only option may be internal insulation. Newly developed materials like

Literatur

- ¹ Ploss, Martin: Das Servicepaket Nachhaltig Bauen in der Gemeinde, Energieinstitut Vorarlberg, max 50, Nr.38 4/2009
- ² Hochbauamt Frankfurt am Main: Die Kultur der Freiheit, StVVB §2443 vom 6.9.2007 in: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen, 2009
- ³ Gonzalo, Roberto: Energieeffiziente Sanierung: Prinzipien – Aufgaben – Möglichkeiten, Detail 11/2006
- ⁴ Rogers, Richard: Architektur: ein Plädoyer für die Moderne, 1993
- ⁵ Verein Ergon e.V.: bundesweit prämiertes Konzept für die Bildung von Bürgersolaranlagen, www.unseregemeinsamesache.de

calcium-silicate slabs or vacuum panels provide a solution here. Structural elements, like columns, beams and walls, that project from the face of the building may form thermal bridges that lead to great heat losses and damage. Special attention is necessary in these cases (ills. 8–10). To provide adequate daylighting, large areas of glazing are necessary. Airtight windows, therefore, play an important role in the energy balance. Windows designed to the passive-energy standard ensure a comfortable indoor environment.

- Thermal losses through ventilation
The hygienic quality of the air in classrooms is measured mainly in terms of the CO₂ content.



14

- 15 Erweiterung und Sanierung Grundschule Schulzendorf von zanderroth architekten, 2007. Bestand und Erweiterung sind mit einer einheitlichen Fassade mit verbesserter Wärmedämmung umhüllt (Dokumentation in DETAIL 11/2007).
- 16 Umgestaltung Erika-Mann-Grundschule in Berlin. Architekten: Die Baupiloten, 2008. Gemeinsam mit den Schülern entstand ein Konzept zur Umgestaltung der Schulflure zu attraktiven Aufenthaltsflächen.
- 15 *Extension and rehabilitation of Schulzendorf Primary School, 2007, by zanderroth architects. The ensemble, consisting of existing buildings and extensions, is enclosed within a uniform facade with increased thermal insulation (documentation in DETAIL 11/2007).*
- 16 *Redesign of Erika Mann Primary School in Berlin, 2008; architects: Die Baupiloten. A concept was developed in conjunction with the pupils for the redesign of the school corridors to turn them into attractive recreational areas.*



15

According to Pettenkofer, people's sense of well-being can be reduced when values rise above 1,000 ppm. Measurements made in schools show that manual window ventilation is not suitable for maintaining these standards. It also leads to thermal losses (ill. 6). The appropriate solution is a controlled form of ventilation with heat recovery. A large number of people in a room (e.g. 30 pupils in an area of 60 m²) cause the CO₂ content of the air to increase rapidly, making a faster air-change rate necessary. German regulations now require a rate of approximately 20 m³/h per person to ensure acceptable air quality. The conditions for energy-efficient ventilation are a low use of electricity per m³ of airflow, heat recovery of at least 75 per cent and an airtight building skin. To reduce operating costs, the system should run intermittently according to needs. The most effective method is to link air-change operations directly with CO₂ levels (i.e. with the numbers of persons present). Accommodating the requisite ventilation technology is a problem in most rehabilitation

schemes. If the building has a flat roof, the plant can be housed there. Decentralized installations can facilitate the planning and assembly, but they also mean a greater degree of maintenance.

- Internal heat loads; lighting
Compared with housing, the occupation of a school building is greater by a factor of ten, which means that internal heat loads and the requisite air change are greater. Approximately 30 pupils and a teacher generate 2 kW, which would be adequate to heat a space built to passive-energy standards. The heat loads are subject to great variations, however – for example, during holidays, at weekends and even during the day. For an effective exploitation of these heat sources, a precise balance between heating and ventilation as well as regulation on a room-by-room basis are necessary. Further heat is contributed by artificial lighting, but in the context of energy savings, natural lighting should be exploited instead, as far as possible. Daylight-related control of artificial lighting and new lighting systems mean that almost 40 per cent less electrical energy is needed than for conventional installations. Sunshading and anti-glare systems should be carefully designed so as not to reduce natural lighting levels.

- Solar heat loads
Insolation and internal thermal loads often lead to overheating in buildings that have an optimized form of construction. The entry of sunlight is rarely desirable when classrooms are in use, although with intermittent activities, there are times when solar radiation can make a positive contribution. Regulable sunshading provides an efficient form of screening during lessons, allowing solar gains to be made at other times. Sunblinds with adjustable louvres and scope for varied settings at the top have proved most effective (ills. 11–14). In schools, the use of solar energy for heating water is less important. With the exception of sports halls, the need for hot water is too limited to justify solar plant. On the other hand, the large roof areas lend themselves to the installation of photovoltaic elements. The energy

generated in this way is not used for internal needs, but is fed into the electricity network.

- Heating and cooling
The difference in the thermal balance between heat gains and losses has to be made up by means of heating and cooling. In most energy-efficient refurbishment schemes, energy needs are reduced to a fraction of the former level. The existing heating plant is then likely to be greatly overdimensioned and should be replaced by more efficient, low-emission systems. The radiators and the distribution runs may also be too large and will probably have to be renewed, too. A natural form of ventilation is desirable in summer, but when external temperatures rise above 30 °C, window ventilation does not provide sufficient cooling. Instead, the mass of the building should act as a buffer against peak temperatures. Night-time cooling of this thermal storage mass can be achieved by opening roof lights or flaps. A geothermal grid can also be helpful in summer, allowing temperature control via the mechanical ventilation.

User behaviour

Energy refurbishment always calls for a change of attitude and behaviour on the part of the users of a building, who must learn to understand the system. Specialist advice on how to use the facilities in an efficient manner will be necessary, therefore, as well as an optimal tuning of the technology. Buildings with a high level of thermal efficiency and low energy consumption can react very sensitively to variations in the operation. Technical readings should be taken and adjustments made over a period of at least two to three years after the execution of a scheme to ensure that the desired results are maintained. The benefits will make themselves felt, though: as well as ensuring savings in operating costs, the outlay for maintenance will be reduced. Equally important is the improvement in teaching and learning conditions that can be achieved through a thermally balanced indoor climate. In this way, too, an awareness of the advantages of sustainability and environmental protection can be developed.



16