

Anhang



ENERGIEEFFIZIENTE, ENERGETISCH NACHHALTIGE UND LERNFÖRDERLICHE

Sanierung von Schulgebäuden

Projektbericht

Anregungen für den Transfer in die Praxis

Impressum

Titel	<i>Energieeffiziente, energetisch nachhaltige und lernförderliche Sanierung von Schulgebäuden – Anhang</i>
Herausgeber	<i>Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart, www.um.baden-wuerttemberg.de</i>
Verfasser	<i>Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart</i>
Text und Redaktion	<i>Prof. Dr. Philip Leistner, Hans Erhorn, Johann Reiß, Michael Geiger Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart</i>
Gestaltung und Layout	<i>Jedermann-Verlag GmbH, Mittelgewannweg 15, 69123 Heidelberg</i>
Druck	<i>1. Auflage 10/2013</i>
Copyright	<i>Der Nachdruck ist – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.</i>
Download	<i>www.projekt-schulgebaeudesanierung.baden-wuerttemberg.de</i>

Inhalt

A	Den Sanierungsprozess steuern	4
A.1	Ermittlungsphase	4
A.2	Konzeptphase	5
A.3	Projektierungsphase	7
A.4	Umsetzungsphase	8
A.5	Inbetriebnahmephase	9
A.6	Betriebsphase	11
B	Informationen zu Schwerpunktthemen	13
B.1	Lüftung	13
B.2	Licht	15
B.3	Akustik	19
B.4	Ergonomie	23
B.5	Baulicher Wärmeschutz	23
B.6	Effiziente Energieversorgung	25
C	Erfahrungen aus den Projekten	27
C.1	Max-Planck-Gymnasium, Karlsruhe	27
C.2	Theodor-Heuss-Gymnasium, Freiburg	30
C.3	Schulzentrum West, Schwäbisch Hall	32
C.4	Bärbel-von-Ottenheim-Gemeinschaftsschule, Schwanau	35
D	Bildnachweise	38

A Den Sanierungsprozess steuern

Der gesamte Sanierungsprozess wurde in sechs Phasen aufgeteilt. Im Folgenden ist jede Phase kurz beschrieben, Merkposten sind in den zugehörigen Checklisten eins bis sechs zusammengestellt.

Download unter: www.projekt-schulgebaeudesanierung.baden-wuerttemberg.de

A.1 Ermittlungsphase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Bedarfsermittlung
Bestandsaufnahme
Zielsetzung**

**Entwicklungsplanung
Rahmenbedingungen
Zielsetzung (Pädagogik)**

**Bedarfs- und Bestands-
abgleich mit UVV Schulen
Zielsetzung (Ergonomie)**

In der ersten Phase des Sanierungsprozesses wird die Bestandssituation ermittelt und die grundlegenden Ziele (Vision) werden formuliert. Dazu ist eine Sammlung und Sichtung aller Bestandsunterlagen notwendig. Sie umfassen bauliche Unterlagen, wie z. B. Grundrisse, Schnitte, Ansichten und Detailpläne, aber auch weitere Dokumente wie Nachweise bezüglich Energiebilanz, Schallschutz und Brandschutz. Wichtig sind auch Strangschemen zur Heizungs- und Lüftungstechnik sowie zur Wasserversorgung und Elektroverteilung. Optional können auch verschiedene Erhebungen und Messungen durchgeführt und dokumentiert werden, wie z. B. der Nachhallzeit, des Tageslichtquotienten und der Luftqualität.

Der nächste Schritt besteht in der Aktualisierung vorhandener Unterlagen. Je nach Bedarf und Größe des Sanierungsvorhabens kann die Bestandsaufnahme entweder durch den Bauherrn selbst oder durch Fachplaner erfolgen. Diese Entscheidung obliegt dem Bauherrn. Die Bedeutung einer ausführlichen und detaillierten Untersuchung des Bestandes kann

nicht stark genug betont werden. Begehungen und der buchstäbliche Blick „hinter die Kulissen“ sind unumgänglich. Dieser Aufwand vermeidet teure Überraschungen bzw. unsichere Kostenschätzungen. Die am Bauwerk und der Anlagentechnik vorhandenen Mängel werden betrachtet, dokumentiert und bewertet. Dies gilt auch für die Verhältnisse in den Räumen. Anhand der Checkliste 1 lassen sich die einzelnen Schritte kontrollieren. Die einzelnen Raumnutzungen sowie die Betriebszeiten und die Energieverbräuche der letzten Jahre werden ebenfalls zusammengestellt. Ein Vergleich mit Verbrauchswerten in Richtlinien ermöglicht eine energetische Einstufung des Gebäudes.

In jedem Fall sollten Fördermöglichkeiten in Betracht gezogen werden. Infrage kommen die Förderprogramme der Bundes- und Landesministerien und gegebenenfalls von einzelnen Stiftungen. Dabei sind auch Förderprogramme für unterschiedliche Schulformen zu berücksichtigen (z. B. Förderungen bei Ganztagschulen).

Eine Sortierung der Maßnahmen nach ihrer Sanierungsdringlichkeit ist zu empfehlen. Damit lässt sich das weitere Vorgehen leichter planen. Mithilfe einer Priorisierung werden z. B. funktionale und optische Mängel der Dringlichkeit nach geordnet. Im weiteren Verlauf sollen bereits die Ziele diskutiert werden. Ein Ziel kann beispielsweise ein bestimmter Energiestandard sein (z. B. Plusenergie-Gebäude) oder bestimmte Anforderungen an Raumgrößen und Raumqualitäten (z. B. angepasste Gruppenräume, getrennte Arbeitsbereiche für Lehrerinnen und Lehrer, behindertengerechte Zugänge und Klassenräume, ergonomisches Mobiliar). Neben der Ästhetik der baulichen Umsetzung können aber auch eine besonders wirtschaftliche Umsetzung und der Einsatz von nachhaltigen Baustoffen ein vorrangiges Ziel darstellen.

Grundsätzlich sind die Anforderungen an die Sicherheit in Schulen an die Unfallverhütungsvorschrift Schulen (GUV-V S1) gebunden. Die darin genann-

ten Schutzziele sind verbindlich und müssen stets eingehalten werden. Zukunftsweisende Konzepte betrachten darüber hinaus die ganze Schule als Lern- und Lebensraum und berücksichtigen bei der Gebäudegestaltung Aspekte wie

- Strukturierung (Größen, Anordnung) von Klassenzimmern, Fluren und dergleichen,
- Schaffung zusätzlicher Aufenthalts- und Rückzugsmöglichkeiten, z. B. Räume der Stille,
- aufeinander abgestimmte Gestaltung von Farbe, Licht, Mobiliar und Pflanzen,
- Räume für Team- und Einzelarbeit für Schülerinnen und Schüler und für Lehrkräfte.

Detailinformationen dazu sind z. B. in der Informationsbroschüre „Klasse(n) – Räume für Schulen“ der Gesetzlichen Unfallversicherung (GUV-SI 8094) enthalten. Die Beteiligung aller Nutzer und auch der Eltern bei diesem Gestaltungsprozess hat sich in vielen Fällen als wertvoll erwiesen.

A.2 Konzeptphase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Alternativen bewerten
Kostenschätzung
Ziele priorisieren**

**Ziele priorisieren
Planungsbeteiligung
Alternativen bewerten**

**Prioritäten festlegen
Kostenschätzung
Konzepterstellung**

Die Zusammenstellung eines fach- und gewerkeübergreifenden Planungsteams noch vor der eigentlichen Planung erweist sich als sinnvoll. Einzelne Planer sind nicht immer in der Lage, das vollständige Expertenwissen bereit zu stellen. Auch ein gewisses „Revierdenken“ beim Planungsprozess ist verbreitet. Insbesondere bei sehr speziellen Fragen ist die Einbeziehung von Spezialisten unumgänglich. Insgesamt lassen sich so hohe Qualitätsstandards sicherstellen, letztlich die Kosten reduzieren sowie ganzheitliche Konzepte entwickeln und umsetzen.

Für die Konzepterstellung sind aktuelle Kenntnisse über vorhandene und möglicherweise geänderte gesetzliche Anforderungen unverzichtbar. In zahlreichen Gesetzen und Verordnungen ist geregelt, welche baulichen und energetischen Anforderungen vom Bauherrn berücksichtigt werden müssen. Gerade die Änderungen von Regelungen können zu überraschenden und kostenwirksamen Konsequenzen führen. Anders ausgedrückt, die Hoffnung auf weitgehenden Bestandsschutz kann sich als trügerisch erweisen. Deshalb sind insbesondere

sicherheitsrelevante Bestimmungen, wie z. B. hinsichtlich des Brandschutzes, und ihre Folgen für die Sanierung unbedingt zu beachten und zu bewerten. Darüber hinaus lassen sich die Energieeinsparverordnung (EnEV), das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) sowie viele weitere Normen zitieren. Die in der Ermittlungsphase gesetzten Ziele werden nun hinsichtlich ihrer Umsetzung auch unter finanziellen und zeitlichen (Länge und Lage der Bauphase) Gesichtspunkten priorisiert. Dabei ist auch der Energiestandard festzulegen und zu spezifizieren. Diese Priorisierung muss natürlich in den nächsten Phasen richtungsweisend weiterverfolgt werden. Optional können weitere Ziele definiert werden, wenn z. B. Mindeststandards übertroffen werden sollen. Aspekte in diesem Sinne sind Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Flächeneffizienz, Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung. Dabei kann auch der Einsatz innovativer, vielleicht sogar ortsbezogener Technologien von Interesse sein.

Die Entwicklung von baulichen und anlagentechnischen Konzepten erfordert eine ganze Reihe von Zielspezifikationen, die nach und nach in unterschiedliche Lösungsansätze einfließen. Dabei werden auch die zahlreichen Wechselbeziehungen zwischen den Teilkonzepten offenkundig. So betrifft die Energieeffizienz nicht nur die Fassade, die Haustechnik und die Beleuchtung, sondern natürlich auch die Behaglichkeit, Ergonomie und selbst die Akustik. Der Austausch von Isoliergläsern durch bessere Dreifachverglasungen kann z. B. den Schallschutz verschlechtern, bei Gebäuden in lärmintensiven Innenstädten ein sehr ärgerlicher „Nebeneffekt“. Zugleich sind Detailfragen an dieser Stelle zu behandeln, wie z. B. Überlegungen zu energieeffizienten Elektrogeräten wie Drucker, Kopierer und Computer.

Die bauliche Konzeption des Gebäudes und der Räumlichkeiten ist natürlich von zentraler Bedeutung für die bedarfsgerechte Nutzung nach aktuellen Regeln, einschließlich der heute zu beachtenden Ganztagsbetreuung, Inklusion und dergleichen. Die Konzeptentwicklung sollte daher ausgiebig, gegebenenfalls iterativ und in jedem Fall im engen Austausch mit allen Beteiligten und Betroffenen erfolgen. Mitunter werden durchaus auch Experimente vereinbart, um neue Lösungen auszuprobieren. Bei der damit verbundenen Information und Kommunikation erweist sich ein gut eingespieltes Planungsteam (Koordinator, Moderator) erneut als überaus wertvoll. Nur so lassen sich auch pädagogische Grundzüge von Anfang an berücksichtigen. Geeignete Schüler- und Lehrerarbeitsplätze sowie die Raumausstattung mit zeitgemäßer Technik, nicht nur aber besonders in Fachräumen, beeinflussen natürlich auch das bauliche Layout des Gebäudes. Nachdem Konzeptvarianten und Lösungsansätze untersucht und erstellt wurden, folgt die Optimierung und Bewertung im Sinne einer Gesamtschau. Auch die Festlegung der Bewertungs- bzw. Vergleichskriterien für die Varianten muss sich an den Zielen orientieren. Dennoch sind die Kosten meist der Knackpunkt, selbst wenn langfristige Finanzierungsstrategien festgelegt wurden. Übersteigen die Kosten das verfügbare Budget, ist eine Reduzierung der „Wunschliste“ nötig. Allerdings sollte auch sie den einmal definierten Prioritäten folgen. Dies stellt nicht nur Kontinuität sondern auch Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Entscheidungen sicher.

A.3 Projektierungsphase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Planunterlagen erstellen
Nachweise (EnEV u. a.)
Vergabe**

**Projektbegleitung
Musterlösungen
Auswahl von Provisorien**

**UVV Schulen in baulichen
Planunterlagen verankern,
Ausstattung (Muster)**

Nachdem das zuständige Gremium, z. B. der Gemeinderat, dem entwickelten Konzept zugestimmt hat, kann die Genehmigungsplanung beginnen. Wenn die zuständige Bauverwaltung die Maßnahme nicht mit eigenem Personal plant, ist vor Beginn der Genehmigungsplanung zu prüfen, ob ein VOF-Verfahren (Vergabeordnung für freiberufliche Leistungen) erforderlich ist. In diesem Fall ist damit zu rechnen, dass ein völlig neues Planungsteam beauftragt wird. Allein um Verzögerungen zu vermeiden, sollte dann dafür gesorgt werden, dass die bereits vorliegenden Planungsergebnisse dem Planungsteam bekannt sind oder sogar übernommen werden. Für die Genehmigungsplanung sind neben den Architektenplänen diverse Nachweise notwendig. Statik, Bauphysik und andere Bereiche sind davon betroffen. Erneut sei hier auf das Thema Brandschutz verwiesen, da sich die Vorschriften deutlich verschärft haben und immer einen örtlichen Detailbezug haben. Aber auch die Einhaltung aller Details der Unfallverhütungsvorschrift Schulen (GUV-V S1), einschließlich der darin zitierten technischen Regeln, Normen und Informationen, ist sicherzustellen. Es lohnt sich, auch in diesen Bereichen genau zu planen und zu prüfen. Einerseits geschieht es im Sinne der Sicherheit und Gesundheit der Nutzer. Andererseits sind nachträgliche Änderungen teuer, mit zeitweiligen oder dauerhaften Störungen verbunden und in vielen Fällen auch unschön.

Nach Erhalt der Baugenehmigung beginnt die Erstellung der Ausführungs- und Detailpläne für das Gebäude und auch die technische Gebäudeausrüstung. Während dieses Planungsprozesses muss ein intensiver Austausch zwischen den Architekten und den Fachplanern stattfinden. Bereits hier sollte an

ein späteres Monitoring nach Bezug des Gebäudes gedacht werden. Dafür sind z. B. Wärmemengen- und Stromzähler sowie Fühler für Luft- und Heizwassertemperaturen einzuplanen. Ein nachträglicher Einbau führt zumindest zu höheren Kosten.

Die Ausführungsplanung ist die Grundlage für die Erstellung des Leistungsverzeichnisses und der Kostenberechnung. Es müssen in dieser Phase alle auszuführenden Komponenten und Qualitäten präzise in den Plänen enthalten sein. Nachträgliche Wünsche oder Zusätze, die nicht in den Leistungsverzeichnissen auftauchen, können von den Anbietern nicht angeboten werden. Die dann folgenden Nachträge sind in der Regel sehr kostenintensiv und eine der häufigsten Ursachen für Budgetüberschreitungen. Die Ausschreibung und Vergabe sollte vorausschauend erfolgen. Meist werden daher nicht alle Leistungsverzeichnisse gleichzeitig verschickt, um in gewissen Grenzen Rückwirkungen späterer Änderungen auf bereits ausgeschriebene Leistungen berücksichtigen zu können. Die ausführenden Firmen werden bei öffentlichen Bauvorhaben nach dem Angebotspreis festgelegt. Dieses Vergabeverfahren kann durchaus Probleme mit sich bringen, wenn sich z. B. während der Bauphase Fehleinschätzungen der Anbieter hinsichtlich der lieferbaren Qualität oder der verfügbaren Kapazität (personelle und technische Ressourcen) offenbaren. Da diese Prozedur jedoch vorgeschrieben ist, sollten geeignete Schritte zur Eingrenzung möglicher Konsequenzen eingeplant werden.

Die Ausstattung und in gewisser Weise auch die Ausgestaltung der Räume ist natürlich bereits vor der jetzt erreichten Umsetzungsphase planerisch

zu integrieren. Für einige Ausstattungsdetails sind z.B. auch bauliche Voraussetzungen zu schaffen. Meist nimmt die Raumausstattung jedoch erst in der Projektierungsphase konkrete Gestalt an, in Form der „klassischen“ Bemusterung (z.B. Oberflächen, Beläge), mitunter mit einem Musterraum oder als 3D-Visualisierung, die heute in beachtlicher Qualität möglich ist. Natürlich ist dies mit Aufwand für alle Beteiligten verbunden, aber die Möglichkeit einer realitätsnahen Bewertung oder gar Erprobung ist gerade bei Neuerungen von größtem Wert. Ob in Unterrichtsräumen, Fachräumen, Bewegungs-

oder Pausenräumen, es sind oft die Details, die auf dem Reißbrett anders eingeschätzt werden. In der Nutzungspraxis führen sie dann zu unerwünschten „Speziallösungen“. Ist die klare Bewertung z.B. einer Möblierungssituation dennoch nicht möglich, sollte auf Flexibilität geachtet werden.

Die geplanten Übergangsräume bzw. Provisorien müssen nun bereit stehen. Sie sollten eine angemessene Qualität für unbeeinträchtigten Unterricht aufweisen und vom Bau möglichst kaum betroffen sein.

A.4 Umsetzungsphase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Bauliche Realisierung
Bauüberwachung
Kostenüberwachung**

**Organisation
von Übergangsbetrieb
und Kommunikation**

**Bauliche und technische
Ausstattung realisieren,
Kostenüberwachung**

Mit der Beauftragung der ausführenden Firmen beginnt die bauliche Umsetzung der geplanten Maßnahme. An erster Stelle steht dabei meist der Abriss bzw. Rückbau betroffener Abschnitte, so dass zu diesem Zeitpunkt die Übergangsbereiche bzw. Provisorien einerseits funktionieren müssen und andererseits so wenig wie möglich vom Bau zu spüren sein sollte. Generell ist bei Sanierungen der Baustellenbetrieb so zu organisieren, dass Sicherheit und Gesundheit gewährleistet sind sowie Beeinträchtigungen auf die umgebende Bausubstanz vermieden werden. Alle Beteiligten sollten die Besonderheiten des Objektes usw. kennen. Bei neuen Bautechniken oder Baustoffen ist z.B. auch auf eine Unterweisung der Handwerker zu achten.

Während des Baustellenbetriebs sollte kontinuierlich die Ausführung mit der Planung verglichen werden. Es ist nicht erst auf heutigen Baustellen naheliegend, dass vermeintlich unbedeutende

Abweichungen und „Speziallösungen“ gravierende Folgen für das Gesamtergebnis haben können. Gerade bei der Sanierung ist die Anwesenheit einer kompetenten Bauleitung nahezu durchgehend erforderlich. Nur so lassen sich auch die Detail- und Konstruktionspläne laufend aktualisieren, sowohl für konstruktive Ausführungen als auch für Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektrotechnik. Die verfügbaren Unterlagen zu den heute vorwiegend sanierten Schulgebäuden aus den 1970er Jahren sind erfahrungsgemäß nicht so lückenlos wie gewünscht. Aus energetischer Sicht ist auf die eingesetzten Wärmedämmstoffe und auf Wärmebrücken zu achten, aus akustischer Sicht auf Anschlüsse, Fugen und vieles andere mehr. Bei der technischen Gebäudeausrüstung sei z.B. auf den korrekten Einbau der geplanten Wärmemengen- und Stromzähler verwiesen. Häufig sind Probleme beim späteren Monitoring auf den fehlerhaften Einbau der Messgeräte zurückzuführen.

Die Prüfung der Dichtheit des Gebäudes kann bereits nach Komplettierung der Gebäudehülle erfolgen. Bei Gebäuden mit einer Lüftungsanlage ist dieser Test zwingend vorgeschrieben, da eine undichte Gebäudehülle zu erhöhten Lüftungsverlusten führen und sogar Bauschäden verursachen kann. Die abschließende Messung ist zwar nach Fertigstellung vorgesehen, aber durch vorherige Tests können Leckagen frühzeitig festgestellt und noch leichter nachgebessert werden.

Auch wenn nicht immer Messprozeduren zur Verfügung stehen, muss der Abnahme der Gewerke die höchste Aufmerksamkeit gelten. Dahinter steckt nicht etwa nur Misstrauen, sondern vielmehr die Komplexität des Bauens mit zahlreichen Schnittstellen zwischen den Gewerken, die eine einzelne Fachfirma nicht bewerten kann und muss. Im Vordergrund stehen Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit sowie die Einhaltung vertraglich festgelegter Zielwerte (Soll-Ist-Vergleich). In einem Abnahmeprotokoll werden alle Punkte festgehalten, auch die unscheinbaren Details. Mängel müssen von den zuständigen Firmen in einer vereinbarten Zeit beseitigt werden. Diese gesetzlich geregelten

Fristen können relativ lang sein und selbst bei Überschreitung lösen sich die Probleme nicht automatisch. Manche Mängel sind kurzfristig kaum zu erkennen. So werden z.B. zwar alle Komponenten korrekt in Heizungsanlagen eingebaut, aber nicht optimal aufeinander abgestimmt. Beim Heizbetrieb gibt es nicht einmal Klagen, so dass die Anlage viele Jahre läuft. Allerdings arbeitet sie möglicherweise sehr ineffizient, was sich in der Regel nur durch ein Monitoring feststellen lässt, das nach der Inbetriebnahme des Gebäudes startet.

Die Vollständigkeit von Planungs- und Revisionsunterlagen, Bedienungsanleitungen, Prüfprotokollen, Gutachten und Berichten ist zu prüfen und Unterlagen über Verjährungsfristen und Gewährleistungsansprüche sind zu beachten. Alle umgesetzten Maßnahmen werden im Raumbuch dokumentiert, das in digitalisierter Form künftig als Wartungshandbuch dient. Generell sollten für die Archivierung alle Dokumente digitalisiert gespeichert werden. Selbstverständlich steht auch ein abschließender Soll-Ist-Kostenvergleich an, u.a. um bei künftigen Objekten die Planungssicherheit zu erhöhen.

A.5 Inbetriebnahmephase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Inbetriebnahme
Monitoring-Programm
Mängelbeseitigung**

**Nutzungsprüfung
Schulung/Unterweisung
(Schülerinnen/Schüler)**

**Inbetriebnahme und
Prüfung, Unterweisung
und Schulung**

Vor der Inbetriebnahme ist festzulegen, welche Parameter bzw. Kriterien von wem geprüft werden müssen. Unter Inbetriebnahme ist nicht das Einschalten einer Anlage zu verstehen, dies erfolgte bei der Abnahme. Vielmehr geht es um das Einregeln und Einstellen der gesamten Technik, damit sie wie geplant funktioniert. Werden z.B. die Temperaturen

in den Räumen nach dem vorgegebenen Stundenprofil erreicht? Bleibt im Fall einer geregelten Lüftungsanlage die CO₂-Konzentration unter dem eingestellten Wert? Bei einer (energetischen) Fassadensanierung mit entsprechend luftdichter Gebäudehülle, aber ohne Lüftungsanlage müssen die Nutzer mittels der Fenster selbst für gute Luft

sorgen. Als Sensor zur Signalisierung des Lüftungsbedarfs bietet hier die so genannte „Lüftungssampel“ eine gute Orientierung.

Auch andere Gebäude- und Raumeigenschaften lassen sich erst zu diesem Zeitpunkt ermitteln, z.B. Schallschutz und Raumakustik. Derartige Abnahmemessungen sind keineswegs die Regel, da sie Zeit beanspruchen und Kosten verursachen. Bei dieser Entscheidung ist jedoch zu bedenken, ob die Vermeidung von Aufwand und eventuell erforderlichen Nachbesserungen den Vorrang gegenüber einer nachweislich hohen Raumqualität haben soll. Dies gilt auch bei neu eingebauten Materialien, die zumindest temporär spürbare Emissionen mit sich bringen können und zu Anfragen von Lehrerinnen und Lehrern und Eltern führen. Hier ist es ratsam, die Konzentration dieser Stoffe, der so genannten flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compound – VOC), über einen bestimmten Zeitraum zu ermitteln.

Neue Räume und Anlagen müssen richtig behandelt und bedient werden, um die damit möglichen Vorteile auch praktisch umzusetzen. Angesichts der komplexer werdenden Technik ist dies allein mit der Lektüre von Bedienungsanleitungen nicht mehr möglich. Fachgerechte Einweisungen oder Schulungen des Bedienpersonals sind erforderlich. Diese Investition sollte nicht gescheut sondern bereits bei der Ausschreibung integriert werden, denn eine kostspielige Anlagentechnik, die nicht optimal betrieben wird, führt zu Energieverschwendung und verursacht Unzufriedenheit und Ärger. Daher sind nicht nur die Hausmeister, die in der Regel für den reibungsfreien Betrieb der Anlagentechnik verantwortlich sind, sondern auch das Lehrpersonal angemessen zu informieren. Die Weitervermittlung an die Schülerinnen und Schüler kann in zusätzliche Lerneffekte münden. Die so erreichte Aufmerksamkeit aller lässt auch eventuelle Mängel schneller und sicherer erkennen.

Viele Anlagenkomponenten, wie z.B. Lüftungsgeräte, Heizkessel, Blockheizkraftwerk und dergleichen, erfordern eine regelmäßige Wartung. Der Abschluss entsprechender Wartungsverträge ist also notwendig. In diesem Sinne ist auch eine kontinuierliche und fortlaufende Übersicht über das Gebäude und die eingebaute Anlagentechnik sicherzustellen, indem in einem Betriebsprotokoll alle relevanten Störungen, Wartungen, Reparaturen und dergleichen erfasst werden.

Trotz sorgfältiger Planung ist ein mit der Inbetriebnahme beginnendes und dauerhaftes Monitoring sinnvoll. Einige bauliche und technische Maßnahmen beruhen schließlich auf Nutzungsannahmen, die sich im Nachhinein ändern können. Dies gilt im Übrigen gleichermaßen für bauliche, pädagogische und sicherheitstechnische Konzepte. Die tatsächliche Umsetzung, der Umgang mit Räumen, Technik und Ausstattung sollte mit den geplanten Szenarien und Erwartungen verglichen werden. An diesem Prozess sind alle Betroffenen zu beteiligen.

Mit Bezug auf die Anlagentechnik kann der Hausmeister eine Hauptrolle übernehmen oder eine externe Firma. Zu den überwachten Werten gehören z.B. der Heizenergie- und Stromverbrauch. Ergeben sich Mehrverbräuche von ca. 20 %, ist Ursachenforschung angeraten.

Information und Partizipation aller Beteiligten sind auch bei Fragen der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes in erneuerten Räumlichkeiten unabdingbare Voraussetzungen. Unterweisungen und eine gemeinsame Bewertung vermitteln nicht nur das Verständnis für Konzepte und Details, sie sorgen auch für bewussten Umgang. Eine höchst ergonomische Ausstattung kann ihre positive Wirkung nicht ohne klare Nutzungshinweise entfalten.

A.6 Betriebsphase



**ENERGIE
& BAU**



**PÄDAGOGIK
& SCHULE**



**SICHERHEIT &
GESUNDHEIT**

**Stetige Inspektionen
Betrieboptimierung
Weiterbildung**

**Evaluierung der Ziele
Einbindung in den
Unterricht (Monitoring)**

**Regelmäßige Prüfung
und Inspektion, Instand-
haltung und Anpassung**

Die Betriebs- bzw. Nutzungsphase stellt den Normalbetrieb dar, also einen nach abgeschlossener Erneuerung und Überwindung der Anfangsschwierigkeiten langen Zeitraum. Formal betrachtet beginnt mit der dauerhaften Nutzung auch die Abnutzung, so dass Aspekte wie Pflege, Wartung und Instandhaltung im Vordergrund stehen. Sie liefern letztlich auch die Indikatoren für späteren Erneuerungs- und Änderungsbedarf. Damit schließt sich gewissermaßen der Kreis des Sanierungsprozesses, an dessen Anfang die Auslösefaktoren für eine Sanierung standen. Trotz der meist langen Nutzungszeiträume lohnt sich insbesondere bei größeren Beständen von Schulgebäuden eine systematische Überwachung und Bewertung. Sie ermöglicht eine langfristig ausgewogene Bewirtschaftung und lässt den Sanierungsbedarf frühzeitig erkennen und einplanen. Das überraschende Eintreten akuter Mängel mit kritischen Ausmaßen lässt sich so nahezu ausschließen. Dies ist zweifellos ein Vorteil für alle Betroffenen und Beteiligten.

Dazu wird das bereits während der Inbetriebnahme gestartete Monitoring kontinuierlich weitergeführt. Es umfasst regelmäßige Kommunikation, auch in Form von Begehungen und Inspektionen der Substanz, sowie eine fortlaufende Kontrolle des Anlagenbetriebs und des Energieverbrauchs. Störungen können sofort erkannt und dann auch schnell behoben werden. Zur kontinuierlichen Analyse müssen Systeme zur Überwachung und Fehlererkennung eingebaut werden. Damit beginnt die eigentliche Betriebsoptimierung. Die Daten werden aufbereitet und ausgewertet, um Abweichungen einfach zu erkennen und darauf zu

reagieren. Auftretende Mängel müssen über die gesamte Monitoring-Phase protokolliert werden.

Die unvermeidlich wiederkehrenden Instandhaltungsmaßnahmen beinhalten Wartung, Inspektion und Instandsetzung. Der Gebäudeeigentümer hat darauf zu achten, dass die Wartungsarbeiten in den vorgesehenen Intervallen und von dafür geschultem Personal durchgeführt werden. Zur Aktualisierung des Fachwissens ist nach der erstmaligen Einweisung eine fortwährende Weiterbildung des technischen Personals und in einigen Bereichen auch der Nutzer nötig.

Regelmäßige Prüfungen und Inspektionen müssen insbesondere für alle sicherheitsrelevanten Aspekte organisiert werden. Davon betroffen sind u. a. elektrische Anlagen (GUV-V A3), elektrische Betriebsmittel (GUV-V A3), wie z. B. Projektoren, Computer, Schultafeln (GUV-SI 8016), Maschinen und Anlagen in Fachräumen und Werkstätten sowie Sportgeräte und Außenanlagen. Hinzu kommt spezielle Sicherheitstechnik, wie z. B. Kommunikationssysteme.

Dies betrifft alle Räume und Bereiche. Die Auflistung ist daher genauso umfangreich wie das Gefährdungspotential, das es zu minimieren gilt. Prüfung und Gefahrenbeseitigung sollen durch wiederkehrende Information und Unterweisung auch zu organisatorischen Abläufen mit Sicherheits-hintergrund verbunden werden. Insbesondere die Kinder machen Schulen zu besonderen Gebäuden, auch in Sicherheitsfragen. Kinder verhalten sich nicht einfach wie „kleine Erwachsene“, was sich in der Sicherheitsorganisation widerspiegeln muss.

Einleitend wurde der in vielfacher Hinsicht lohnenswerte Charakter von Investitionen in Schulen hervorgehoben. Während die Aufwertung der Bausubstanz auf den ersten Blick und die Energieeffizienz nach dem Blick auf die Verbräuche klar ersichtlich sind, bedarf die Lernförderlichkeit einer gesonderten Betrachtung. Diese Evaluierung der Sanierungsergebnisse ist wichtig für alle Betroffenen und Beteiligten, nicht zuletzt auch für den Kostenträger. Nutzerbefragungen sind ein Mittel, um die

positiven Effekte z.B. auf Behaglichkeit, Lernerfolg und soziales Klima in der Schule zu quantifizieren. All diese Erkenntnisse können in fokussierte Leitfäden und ausführliche Handlungsrichtlinien einfließen, die erstellt bzw. fortgeschrieben werden, um bei der nächsten Schulsanierung darauf zurückgreifen zu können.

B Informationen zu Schwerpunktthemen

B.1 Lüftung

Eine gute Raumlufthqualität fördert das Lernen an unseren Schulen. Jedoch zeigen viele in der Vergangenheit durchgeführte Untersuchungen, dass es häufig an der guten Luftqualität mangelt. Für die Bewertung der Luftqualität hat sich die CO₂-Konzentration bewährt. CO₂ ist zwar kein Schadstoff, doch es eignet sich als Qualitätsparameter hervorragend, da es relativ leicht zu messen ist. Mit steigendem CO₂-Gehalt nehmen auch die Geruchs- und Schadstoffe in der Luft zu. Pettenkoffer hat bereits im Jahr 1840 als oberen Grenzwert eine Konzentration von 1.000 ppm (parts per million) angegeben. Verschiedene Untersuchungen ergaben, dass bereits über 1.000 ppm das Lernvermögen und die Konzentration abnehmen.

Die CO₂-Abgabe eines Menschen liegt bei etwa 15 l/h (Liter pro Stunde). Bei jungen Menschen ist sie kleiner, bei älteren größer. Geht man von 15 l/h aus und nimmt an, dass sich 30 Schülerinnen und Schüler im Klassenraum mit den Maßen 8 m x 8 m x 3 m befinden und der Klassenraum eine mittelmäßige Winddichtheit aufweist, dauert es bei geschlossenen Fenstern ca. 25 Minuten, bis die CO₂-Konzentration auf 1.500 ppm angestiegen ist. Durch gezielte Lüftung kann die Konzentration schnell gesenkt bzw. die Luftqualität rasch verbessert werden. Aus der Sicht des Energieverbrauchs soll jedoch auch nicht mehr gelüftet werden als unbedingt notwendig ist. Die Schwierigkeit besteht darin, das richtige Maß zu finden.

In der Norm DIN EN 13779 (Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumluftsysteme) wird im informativen Anhang für die Erzielung einer mittleren Raumlufthqualität (IDA 2)

ein stündlicher Luftwechsel von 45 m³/Person empfohlen. Dieser hohe Luftwechsel führt entsprechend der Norm zu einer mittleren CO₂-Raumlufthkonzentration von 500 ppm über der Außenluftkonzentration. Bei einer angenommenen mittleren Außenluftkonzentration von 400 ppm sind dies 900 ppm. Da ein hoher Luftwechsel auch zu höheren Heizwärmeverbräuchen führt, wird ein Wert von ca. 1.500 ppm empfohlen. Diese CO₂-Konzentration wird in der Regel nicht überschritten, wenn der stündliche Luftwechsel bei 25 m³/Person liegt.

Wird eine Schule neu errichtet, ist es zweckmäßig, eine Zu- und Abluftanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung einzubauen (Rückwärmezahl > 80 %). Damit kann der notwendige Luftwechsel gezielt und bedarfsgerecht eingestellt werden. Es muss allerdings bei der Planung auf kurze Kanäle und große Rohrquerschnitte geachtet werden, denn der Stromverbrauch für Lüftungsanlagen kann beachtlich hoch sein und – primärenergetisch betrachtet – die Vorteile einer Wärmerückgewinnung wieder zunichtemachen. Die zu befördernden Luftmengen können reduziert werden, wenn berücksichtigt wird, dass in den Pausen zur Lüftungsunterstützung die Fenster geöffnet werden. Bei der Installation der Anlagen müssen die Anforderungen des Brandschutzes beachtet werden, die den Einbau von Brandschutzklappen zwischen den Klassenräumen und Fluren vorsehen. Ferner muss sichergestellt sein, dass die Anlagen bedarfsgerecht geregelt werden können. Die Regelung nach dem CO₂-Gehalt der Raumlufth im Klassenraum hat sich als energieeffizient erwiesen, da nur so viel Luft ausgetauscht wird, wie notwendig ist. Wenn die Räume nicht belegt sind, kann die Lüftungsanlage abgeschaltet werden.

Der nachträgliche Einbau von Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung in bestehende Schulgebäude im Rahmen der energetischen Sanierung ist meist aufwändig und teuer. Vielfach steht auch der Platz für die Verlegung der Zu- und Abluftkanäle nicht zur Verfügung. Einen Ausweg stellt der Einbau von dezentralen Einzelgeräten mit Wärmerückgewinnung dar. Die Geräte müssen allerdings im Klassenraum untergebracht werden und für die Zu- und Abluft sind Öffnungen in der Außenwand notwendig. Ferner sind hohe Anforderungen bezüglich Geräusentwicklung an das Gerät gestellt. Aus der Sicht des Brandschutzes bieten diese Anlagen jedoch Vorteile, da keine Kanäle durch benachbarte Klassenräume geführt werden müssen. Die Entscheidung, ob eine zentrale oder dezentrale Lüftungsanlage eingebaut wird, hängt in der Regel von den örtlichen Gegebenheiten ab. Zentrale Anlagen sind von den Investitionen zwar billiger und erfordern einen kleineren Wartungsaufwand, doch die Anforderungen an den Brandschutz erfordern einen höheren Aufwand.

Die Installation von Abluftanlagen kann als weitere Möglichkeit des nachträglichen Einbaus von Lüftungstechnik betrachtet werden. Da nur Abluftrohre zu verlegen sind, halbiert sich der Platzbedarf für die Rohre gegenüber den zentralen Zu- und Abluftanlagen. Allerdings ist bei diesen Anlagen keine Wärmerückgewinnung möglich. Ferner muss die Luft, bevor sie in den Raum eingeblasen wird, vorgewärmt werden, da sonst die einströmende Zuluft zu Zugerscheinung führen kann.

Die meisten Bestandsschulen besitzen keine Lüftungsanlagen. Die Lüftung dieser Schulen muss über die Fenster erfolgen. Durch ein weit geöffnetes Fenster (Drehöffnung) wird innerhalb einiger Minuten das gesamte Luftvolumen des Raumes ausgetauscht. Im geschlossenen Zustand hingegen erfolgt über die Fugen des Fensters nur ein relativ geringer Luftwechsel. Insbesondere bei neuen Fenstern kann sich der Luftwechsel auf weniger als 1/10 des Raumvolumens pro Stunde reduzieren. Um die verbrauchte Luft in einem Klassenraum abzuführen, ist die Öffnung der Fenster unumgänglich. Eine Dauerlüftung durch gekippte Fenster ist in der Heizperiode jedoch zu vermeiden, da dadurch ein höherer Luftaustausch vorgenommen wird als notwendig ist. Die Folge ist ein zu hoher Heizwärmeverbrauch. Die richtige Strategie ist die Pausenlüftung. In den Pausen, die in der Regel jeweils nach 45 Minuten stattfinden, müssen möglichst viele Fenster geöffnet werden. Um jedoch während der gesamten Schulstunde eine gute Luftqualität zu haben, ist es insbesondere bei einer großen Klassenstärke notwendig, auch mindestens einmal zwischen den Pausen zu lüften. Eine gute Kontrollmöglichkeit für die aktuelle Luftqualität stellt die Lüftungsampel dar (Bild 1). Sie kann gut sichtbar im Raum aufgestellt werden und gibt Auskunft über die Luftqualität. Wenn z. B. die CO_2 -Konzentration unter 1.200 ppm liegt, leuchtet ein grünes Licht auf, das auf gelb umschaltet, wenn sie zwischen 1.200 und 1.500 ppm liegt und rot leuchtet bei Konzentrationen über 1.500 ppm. Ähnlich funktioniert die Lärmampel, allerdings fehlen dort noch verlässliche Schallpegel für die „Umschaltwerte“.

Lüftung



notwendig
empfohlen
nicht nötig

Geräusche



viel zu laut
etwas zu laut
angemessen

Bild 1: Lüftungsampel (CO_2 -Konzentration) und Lärmampel (Schallpegel) im Raum geben Hinweise für den Nutzer

B.2 Licht

WIE WIRKT LICHT AUF DEN MENSCHEN?

Etwa 80 bis 90 % der Informationsaufnahme des Menschen erfolgt über das Auge. Abgestimmte Beleuchtungstechnik gestattet die Erfüllung von Sehaufgaben unterschiedlichster Art. Licht beeinflusst die Psyche sowie den biologischen Tagesrhythmus und ist zentrales Gestaltungselement in der Architektur. Licht gibt Orientierung im Freien und in Innenräumen, soziokulturell ist erst durch günstiges Kunstlicht die heutige „24 h an 7 Tagen – Rund um die Uhr“-Gesellschaft möglich geworden.

Um die Wirkung von Licht auf den Menschen zu verstehen, sind grundlegend drei unterschiedliche Einflusswege zu unterscheiden. Licht wirkt zum einen über einen visuellen, zum zweiten über einen perzeptuellen (unbewusste Prozesse) und zum dritten über einen circadianen Weg (inneren Rhythmen).

Der visuelle Einflussweg beinhaltet die rein physiologische Wahrnehmung durch das Auge und in Folge die damit zusammenhängende visuelle Leistung. Die Wirkkette der visuellen Wahrnehmung erfolgt vom Auge über den Sehnerv bis zum Gehirn, wo die Lichtreize im visuellen Cortex zu Bildern verarbeitet werden. Das menschliche Auge ist in der Lage, einen sehr großen Bereich an Leuchtdichten erfassen zu können (bis zu 12 Zehnerpotenzen), jedoch kann nicht der gesamte Bereich gleichzeitig verarbeitet werden. Das Auge adaptiert ständig an die Lichtverhältnisse der Umgebung. Ist das Auge auf einen Leuchtdichtezustand adaptiert, wirken relativ zu hohe Leuchtdichten als blendende Objekte, die eine relativ zu niedrige Leuchtdichte besitzen, erscheinen dagegen als undifferenzierbar und dunkel. Dies verlangt nach ausgeglichenen Leuchtdichteverhältnissen im Gesichtsfeld, was in der Planung durch eine allgemeine Empfehlung von Faktor drei zwischen unmittelbarem Sehbereich und Umgebungsbereich resultiert. Prinzipiell gilt

unterhalb der Schwelle der Absolutblendung, je heller die Umgebung, desto höher ist die menschliche Sehleistung. Über vorgegebene Beleuchtungsstärken wird bei dem angenommenen Reflexionsverhalten üblicher Arbeitsmaterialien indirekt sichergestellt, dass der Arbeitsaufgabe angemessene Leuchtdichten erreicht werden (z.B. Fachräume aufgrund der oft höheren Anforderungen an die Sehaufgabe 500 Lux (lx) statt 300 lx).

Während die grundlegenden physiologischen Wirkzusammenhänge der visuellen Wahrnehmung im Wesentlichen für alle Individuen gleich sind, trifft dies für die darauf folgenden Verarbeitungsschritte nicht zu; diese sind in Teilen vielmehr durch subjektive Bewertungen geprägt (psychologische Effekte). So wird die Blendung (z.B. durch nicht ausreichend geschirmte Lampen), welche nicht unmittelbar die Sehfunktion einschränkt, dennoch aber als unangenehm bewertet werden kann, auf Basis von Regressionsansätzen beruhend auf empirischen Untersuchungen beschrieben (z.B. Unified glare rating (UGR) für Kunstlicht, Daylight glare rating (DGP) für Tageslicht). Neue Untersuchungen deuten auf weitere psychologische Wirkungen hin, wie z.B. dass in bestimmten Situationen warme Lichtfarben und geringe Beleuchtungsstärken den kreativen Prozess fördern. Höhere Farbtemperaturen und höhere Helligkeiten aktivieren dagegen eher analytische und funktionale Fähigkeiten und fördern höhere Leistung. Konkrete, belastbare Empfehlungen für die Allgemeinbeleuchtung können allerdings zurzeit noch nicht gegeben werden.

Im Jahre 2002 entdeckten Forscher einen circadianen Photorezeptor im Auge, der direkt mit der „inneren Uhr“ des Menschen, dem sog. suprachiasmatischen Nukleus, im Gehirn verbunden ist. Mithilfe des Lichts steuert dieser zahlreiche körperliche und hormonelle Prozesse, die dazu beitragen, dass Menschen müde oder wach werden. Dazu gehört z.B. die Ausschüttung bzw. Unterdrückung des Schlafhormons Melatonin. Vereinfacht ausge-

drückt, wird morgens bei Sonnenaufgang die Melatonin-Ausschüttung unterdrückt, was uns fit und wach werden lässt, während abends bei Sonnenuntergang vermehrt Melatonin ausgeschüttet wird, was den Menschen müde werden lässt. Licht hat folglich eine große Bedeutung für den Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Grundlegend gilt dabei: Kaltweißes Licht wirkt besonders aktivierend, da die maximale Empfindlichkeit der Nervenzellen für die nicht visuelle Lichtwirkung bei etwa 470 Nanometer (nm), also im blauen Spektralbereich, liegt (visuelle Empfindlichkeit hat Maximum bei 555 nm). Wesentlich hierbei ist neben dem Absolutniveau der dargebotenen spektralen Strahlungsleistung auch ihr zeitliches Auftreten. Laut Empfehlung der Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) sind für junge Menschen aus der Sicht der biologischen (circadianen) Wirkung von Licht Beleuchtungsstärken von 600 lx horizontal und 300 lx vertikal bei 8.000 K (Kelvin) (oder etwas höhere Beleuchtungsstärken bei tageslichtähnlichen Farbtemperaturen von ca. 6000 K) angemessen. Diese setzen sich aus dem verfügbaren Tageslicht und einem Anteil an Kunstlicht zusammen. Über weite Teile des Jahres trägt das Tageslicht den Großteil dieser Beleuchtungsstärke bei. Es wird somit bei aktuellem Wissensstand keine Notwendigkeit gesehen, von der im Folgenden dargestellten üblichen Planungspraxis abzuweichen und wie in einigen Studien suggeriert, elektrische Beleuchtungsanlagen mit dynamischem Licht mit bis über 1.000 lx und variable Farbtemperaturen von unter 4.000 K bis über 10 000 K zu installieren.

WIE BRINGT MAN GUTES LICHT IN SCHULEN?

TAGESLICHT

Tageslicht ist aufgrund der Nutzungszeiten von Schulen die dominierende und zugleich kostenlose Beleuchtungsart. Für die Planung von Tageslicht in Schulbauten können folgende Hinweise dienlich sein. Da in unseren Breiten bedeckte Himmelszustände überwiegen, sollte bei deaktiviertem Sonnenschutz der Lichtdurchgang durch die Fassade mittels Auswahl von Gläsern mit hohem Lichttrans-

missionswert, einem möglichst geringen Versprossungs- und Rahmenanteil, Größe und Position der Fenster maximiert werden. Sturzhöhen sollten gering ausgebildet werden (intensitätsstarkes Zenitlicht!). Verglaste Brüstungen sind dagegen nicht erforderlich, da das Licht quasi „unter den Tisch fällt“ und kaum zur Raumaufhellung beiträgt. Vielmehr besteht die Gefahr, dass diese Bereiche die solaren Wärmegewinne erhöhen, was in strahlungsreichen Monaten zur Überwärmung der Räume führen kann. Permanente Verschattungen baulicher Art (Auskragungen vor Fenstern) oder durch Fassadenkomponenten (Sonnenschutzgläser, stationäre Sonnenschutzlamellen) sollten in unseren Breiten vermieden werden.

Sonnen-/Blendschutzsysteme müssen adäquaten Blendschutz (Schutzfunktion) bereitstellen, unerwünschte Wärmestrahlung fernhalten und sollten dabei die Räume aber mit ausreichend Tageslicht versorgen (Versorgungsfunktion). Ziel bei Besonnung ist es, die Leuchtdichten an der Fassadeninnenseite der Klassenräume soweit herabzusetzen, dass der Unterricht im Raum störungsfrei durchgeführt werden kann. Auf der anderen Seite sollte der Raum ausreichend mit Tageslicht versorgt werden, so dass auch und gerade in Zeiten direkter Besonnung weitestgehend auf den Einsatz von Kunstlicht verzichtet werden kann. Ein erprobtes Konzept ist, durch eine Teilung der Fassade einen Fensterbereich oberhalb Augenhöhe zu Zwecken der Lichtlenkung einzusetzen und den unteren Fensterbereich durch entsprechende Systeme zu entblenden (Raffstore, deren Lamellen im oberen Behangbereich geöffnet werden oder Raffstore unten, Lichtlenkgläser oben). Lamellen mit „Cut-Off“ reflektieren direkte Sonnenstrahlen zurück, lenken nur das indirekte Licht in den Raum und sorgen damit für ausreichend Tageslicht im Raum. Sie bieten des Weiteren zu einem Großteil der Nutzungszeit eine Sichtverbindung nach außen. Durchsichtige Sonnenschutzsysteme (wie metallisch bedampfte Folien) bieten keinen ausreichenden Blendschutz. Sie setzen die hohen Leuchtdichten der Sonne nicht ausreichend herab, was im Gesichtsfeld zur Direktblendung oder auf Bildschirmen zu Reflexblendung führen kann. Zusätzlich werden durch die geringe Lichttrans-

mission und die damit bedingte Reduktion des Lichteinfalls des Himmelslichtes die Räume stark verdunkelt. Markisolekten oder Fallarm-Markisen können je nach Stoffart Farbverfälschungen verursachen, stellen aber ansonsten ein geeignetes Mittel dar, Sonnenschutz mit einer Sichtverbindung nach außen zu verbinden. Störanfälligkeit durch Wind ist auch hier zu beachten.

Dachoberlichter weisen flächenbezogen eine ca. 50 % höhere Belichtung auf als vertikale Fassade. Sie sind wesentlich blendungsunkritischer und ermöglichen eine gleichmäßigere Verteilung des Lichts im Raum. Wo baulich möglich, sollte diese Art der Tageslichtöffnung erwogen werden. In entsprechender Weise sind Atrienbereiche zu sehen, die z. B. in Pausenzeiten auch im Winter einen guten Zugang zu Tageslicht ermöglichen können.

In Klassenräumen sollte sich die Ausrichtung der Plätze zur Fassade an Rechtshändern orientieren (Anteil 85–90 % an der Bevölkerung), d. h. das Licht fällt von links ein und es kommt zu keiner Verschattung durch die eigene Hand beim Schreiben.

ELEKTRISCHES LICHT

Elektrisches Licht sollte bei nicht ausreichendem Tageslicht (tiefe, fassadenferne Gebäudebereiche, Nachtzeiten) gute Sehbedingungen ermöglichen. Basierend auf den Kenntnissen der physiologischen und in Teilen psychologischen Wahrnehmung erfolgt die Planung und Installation heute üblicher Beleuchtungsanlagen hinsichtlich Beleuchtungsniveau, Lichtverteilung inklusive Blendungsbegrenzung und Farbwiedergabe. Mindestanforderungen wurden z. B. in der DIN EN 12464-1 [Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen] normativ gefasst. Bei den relevanten Beleuchtungssystemen in Schulen werden die Beleuchtungsstärken auf 300 lx in Klassenräumen (500 lx in Klassenräumen bei Erwachsenenbildung) und bis 500 lx in Fachklassen ausgelegt. Bei diesen Werten stellen sich im Allgemeinen Leuchtdichten ein, bei denen die Leistungsfunktion des Auges gut auf die Sehanforderungen abgestimmt ist. Die Farbtemperaturen bei Beleuchtungssystemen, die hauptsächlich zur Tageszeit und

damit zur Unterstützung der natürlichen Beleuchtung eingesetzt werden, liegen zwischen 4.000 und 6.500 Kelvin. Mit der 2011 erfolgten Überarbeitung der DIN EN 12464-1 wurden z. B. in Ergänzung zu den seit langem existierenden Anforderungen an die horizontale Beleuchtungsstärke (Allgemeinbeleuchtung) und vertikale Beleuchtungsstärke (z. B. Tafelbeleuchtung) zusätzliche Anforderungen an die zylindrische Beleuchtungsstärke (Mittelwert der Beleuchtungsstärke in vertikaler Ebene) formuliert. Ein hier empfohlener Wert für Unterrichtsräume von 150 lx zielt auf eine verbesserte Unterstützung der visuellen Kommunikation durch ausreichende Helligkeit von Gesichtern ab. In diesen Bereichen sind ggf. direkte/indirekte Beleuchtungssysteme reinen Direktbeleuchtungen vorzuziehen. Für die in Schulen üblichen Nutzungen wie Klassenräume, Fachräume, Lehreräume, Turnhallen aber auch Werkräume sind differenzierte Vorgaben aufgeführt. Spezielle Bereiche der Schaufgabe sind entsprechend festzulegen und wie die Tafelbeleuchtung ergänzend zur Allgemeinbeleuchtung zu planen und auszuführen. Bei der Bewertung der Blendung im Innenraum geht man davon aus, dass nur die psychologische Blendung von Bedeutung ist, entsprechende Blendungsbewertungswerte nach UGR (Unified Glare Rating) werden ebenfalls in der DIN EN 12464 vorgegeben (z. B. Klassenräume $UGR < 19$). Die Raumgestaltung sollte in hellen Farben gehalten werden. Dies beeinflusst auch maßgeblich die zu installierende Leistung (ca. 30 % Unterschied zwischen einem hellgrauen Raum und einem weißen Klassenraum). Um die Leistungsfähigkeit der Beleuchtungsanlage über die Zeit zu sichern, sollte diese regelmäßig gewartet werden. Dies ist vom Fachplaner in einem Wartungsplan (Zeitpunkte der Lampenwechsel, Leuchtenreinigung, Neuanstriche) zu definieren.

Die Beleuchtungsbranche befindet sich in einem technologischen Wandel. Laut Prognosen werden bis 2020 etwa 60 % aller Beleuchtungsprodukte auf der LED-Technologie basieren. Dies wird auch die Beleuchtung in Schulen umfassen. Investitionskosten für LED-Beleuchtungssysteme übersteigen zurzeit noch die konventioneller Systeme (Leuchtstofflampentechnologie). Aufgrund der in Teilen

erheblich höheren Lebensdauer von LED-Anlagen zeigen diese günstigere Betriebskosten und in Teilen mittlerweile höhere Effizienzen, wodurch die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership-TCO) die konventioneller Systeme für ausgewählte Nutzungen bereits heute unterschreiten. So sind im Bereich von Fluren und Verkehrswegen LED-Downlights gegenüber Downlights auf Basis von Kompaktleuchtstofflampen die wirtschaftlich günstigere Lösung. Bei Projekten, die sich heute noch in den frühen Planungsphasen bewegen, können LED-Lösungen für Klassenräume und Lehrerzimmer bereits die wirtschaftlichere und effizientere Lösung darstellen. Diese dynamische Entwicklung von Kostenstruktur und Effizienz sollte z.B. auch durch das Hinzuziehen der Beratungsleistungen von Licht- oder Elektrofachplanern während der Projektlaufzeit beachtet werden.

Nach Schätzungen des ZVEI (deutscher Industrieverband) werden ca. 80 % der Beleuchtungsanlagen in Deutschland gar nicht oder nicht nach dem aktuellen Stand der Anforderungen und Technik geplant. Dies ist verantwortlich für z.T. erhebliche Überinstallationen. Um Fehlinstallationen zu vermeiden, empfiehlt es sich z.B. seitens der Planer auf die guten, von der Lichtbranche ständig aktualisierten, kostenfreien (!) Instrumente wie DIALux oder Relux zurückzugreifen. In Teilen bieten große Hersteller von Leuchten Planungsleistungen direkt mit an.

LICHTMANAGEMENT

Ziel des Lichtmanagements (der Gebäudeleittechnik (GLT) allgemein) ist es, Schülerinnen und Schüler und Lehrerinnen und Lehrer in der Bereitstellung guter Sehbedingungen zu unterstützen. Dies sollte bei einem möglichst ressourcenschonenden Betrieb der Anlage erfolgen. So ist im Referentenentwurf der EnEV Lichtmanagement als sogenannte Referenztechnik auch für Klassenräume definiert. Erfahrungen zeigen, dass automatisierte Systeme zumeist nur akzeptiert werden, wenn sie (vom Lehrpersonal) auf einfache Weise übersteuert werden können. Generell ist eine einfache, intuitive Bedienbarkeit anzustreben.

Sonnenschutzsysteme wie Behänge können heute differenziert angesteuert werden. So kann z.B. ein konventioneller Behang im „Cut-off Modus“ (s.o.) betrieben werden, in dem ein Sonnenstandsrechner für Betriebszeit und Fassadenorientierung jeweils die ideale Lamellenneigung ermittelt. Neben zentraler Windwächter- und Frostschutzfunktionen sollten bei vorhandener GLT-Infrastruktur Fassaden bei Nichtbelegung der Räume (setzt Präsenzdetectoren voraus, s.u.) nach dem thermisch optimalen Zustand betrieben werden (Sonnenschutz deaktiviert im Winter -> Nutzung passive Solargewinne; Sonnenschutz aktiviert im Sommer -> Vermeidung Überwärmungsrisiko).

Es empfiehlt sich eine tageslichtabhängige und belegungsabhängige Kontrolle der Beleuchtung in Klassenräumen. Dies setzt Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten und einen entsprechenden Lichtregelkreis (Lichtsteuerung) voraus. Funktional können die Lösungen als Bestandteil einer Gebäudeleittechnik oder als autonome Lösung umgesetzt werden. Autonome Lösungen können bereits ab ca. 10 €/m² realisiert werden, bieten allerdings nicht die zuvor angesprochene logische Verknüpfung mit der Fassade.

Oft werden für Fassade und Ansteuerung der elektrischen Beleuchtung in den Räumen unterschiedliche Bussysteme eingesetzt, so dass häufig erst eine Systemintegration eine zufriedenstellende integrale Lösung bieten kann.

TYPISCHE ENERGETISCHE KENNWERTE DER BELEUCHTUNG IN SCHULEN

Zur Orientierung (Benchmarking) werden im Folgenden einige ausgewählte installierte Leistungen und Jahresstromverbrauchswerte typischer neuer Beleuchtungsanlagen und Anlagen im Bestand angegeben. Typische spezifische installierte Leistungen bei Beleuchtungsanlagen liegen im Neubau bei Klassenräumen (300 lx) mit Langfeldleuchten bei ca. 6,5 W/m² mit einem jährlichen spezifischen Energiebedarf von ca. 5 kWh/m²a ohne und 3 kWh/m²a

mit Lichtmanagement. Bei Fachräumen mit höheren Beleuchtungsanforderungen (500 lx) liegt die flächenbezogene installierte Leistung entsprechend bei ca. 9 W/m² und somit der Energiebedarf bei 7,5 kWh/m²a ohne und 5 kWh/m²a mit Lichtmanagement. LED Lösungen liegen momentan gleichauf mit effizienten T5-Leuchtstofflampen Lösungen, werden diese jedoch in kürze, wie auch

in anderen Nutzungsbereichen, überholt haben. Im Bestand liegen die installierten Leistungen von Beleuchtungsanlagen, die noch in den Neunzehnhundertachtzigern installiert wurden im Bereich Faktor 3 oder mehr höher als bei heute üblicher Technik. Um Potentiale abschätzen zu können, kann die App „reLight“ zur Inspektion bestehender Beleuchtungsanlagen heruntergeladen werden.

B.3 Akustik

WARUM AKUSTIK IN DER SCHULE?

Geeignete akustische Lehr- und Lernbedingungen sind für erfolgreiches Lehren, Lernen und Leben in Schulen unerlässlich. Optimierte Akustik in Unterrichtsräumen trägt nicht nur zur Entlastung des Lehrpersonals bei, sondern auch zur Steigerung des Wohlbefindens und grundlegender kognitiver Leistungen der Schülerinnen und Schüler. Hingegen wirken sich ungünstige akustische Bedingungen infolge hoher Belastung langfristig sogar negativ auf das sozial-emotionale „Klima“ in einer Klasse aus. Die Befunde sind also eindeutig. Dennoch erweist sich die Schule viel zu oft als lärm- und dadurch stressbelasteter Arbeitsplatz sowie als ein Lebensraum, der Konzepten wie Ganztagschule und Aspekten wie Inklusion akustisch nicht gewachsen ist.

Nur wenn alle Elemente der Akustik von Anfang an berücksichtigt werden, kann sie als angemessener Bestandteil der Schulgestaltung verwirklicht werden. Sie steht dabei in enger Wechselbeziehung mit anderen bautechnischen, bauphysikalischen, architektonischen und organisatorischen Aspekten. Nicht zuletzt bietet aber auch der bewusste und informierte Umgang mit Räumen und Gebäuden Potential für eine Nutzung ohne akustische Belastungen oder Belästigungen.

Hochwertige Akustik lässt sich problemlos mit all den anderen substanziellen, bauphysikalischen und nutzungsbedingt organisatorischen Anforderungen an Räume und Gebäude verbinden. Es gibt heute zahlreiche bauliche Angebote, um etwa Brandschutz, sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz sowie Schallschutz gleichermaßen zu gewährleisten. Genauso lassen sich Raumklima, Raumlicht und Raumakustik in Einklang bringen. Gemeinsam stellen sie die Kriterien für nachhaltige Lebens- und Arbeitsräume dar, deren Wert nicht nur an den Baukosten gemessen werden darf. Und dennoch bedeutet eine nachhaltige Akustik keineswegs Kostenexplosion, da sich hinreichend Spielraum für wirtschaftlich ausgewogene Lösungen bietet.

WAS GEHÖRT ZU GUTER AKUSTIK IN DER SCHULE?

Die akustische Gestaltung von Schulen betrifft die bau- und raumakustischen Eigenschaften des jeweils gesamten Gebäudes einschließlich der äußeren Umgebung. Dazu zählen alle Unterrichtsräume sowie Räume für Musik, Sport, Werkstatt und dergleichen, sonstige Räumlichkeiten wie Aula, Mensa, Flure und Treppenhäuser und natürlich auch Lehrerzimmer sowie andere Arbeits- und Aufenthaltsräume für Lehrerinnen und Lehrer und das Schulpersonal.

Es gibt an sich keine Ausnahmen, nur unterschiedlich ausgeprägte akustische Ansprüche. Die bau-akustischen Eigenschaften umfassen den Schallschutz von Wänden, Decken, Dächern, Türen und Fenstern gegenüber Geräuschen von außen, z.B. Verkehrslärm, sowie von innen, z.B. Sprache, Musik etc., von Decken und Treppen gegenüber Trittschall, z.B. durch gehende Personen und das Bewegen von Stühlen etc., gegenüber Geräuschen von haustechnischen Anlagen und Installationen. Die raumakustischen Eigenschaften umfassen die gegenseitige Sprachverständlichkeit sowie den Beitrag des Raumes zur Verstärkung oder Dämpfung von Geräuschen, insbesondere von Sprache. Physikalisch bedingt beeinflussen sich die bau- und raumakustischen Eigenschaften gegenseitig in unterschiedlichem Maße. So hängt z.B. der resultierende Schallschutz zwischen benachbarten Räumen sowohl von der Schalldämmung der Wandbauteile als auch von der akustischen Dämpfung in den Räumen ab.

WIE KOMMT GUTE AKUSTIK IN DIE SCHULE?

Lärm, Schallschutz und Raumakustik sind keine neuen Phänomene und auch akustisch gute Schulen gibt es bereits. Es kann also sowohl auf Normen und Richtlinien als auch auf praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Dieser Stand der Technik mit seinen vielen Möglichkeiten der Ausgestaltung lässt sich seiner Breite nach weder aufzählen noch detailliert erläutern. Vielmehr geht es um einen „roten Faden“, um eine Handlungsorientierung für die an Planung und Bau Beteiligten. Damit werden weder Aspekte vergessen noch der gestalterische und wirtschaftliche Spielraum über Gebühr eingeengt.

AUSSENLÄRM

Wie bei anderen bauphysikalischen Fragestellungen auch, liefern die urbanen Gegebenheiten einschließlich der langfristig ausgerichteten Bebauungskonzepte erste wesentliche Informationen für die Festlegung der schalltechnischen Eigenschaften des Gebäudes. Darüber hinaus sind auch zugehörige

äußere Nutzungsbereiche der Schule, z.B. Sport- und Spielplätze, in die Planung und Bewertung einzubeziehen. Es geht hierbei um die Balance aus akustischem Schutzbedürfnis und Konfliktpotential durch Lärm. Eine fundierte und vorausschauende Planung ermöglicht nicht nur eine hohe akustische Qualität der Schule, sondern auch deren wirtschaftliche bauliche Umsetzung, z.B. in Form angemessener Schallschutzfenster.

BAULICHER SCHALLSCHUTZ

Angesichts all der möglichen akustischen Störungen von außen und innen geht es beim baulichen Schallschutz letztlich um angemessene Ruhe in den genutzten Räumen, egal welcher Lärm woher kommt. Dieses Ziel steckt auch hinter den obligatorischen Forderungen der Norm DIN 4109, die sich grundsätzlich nach der Nutzung der Räume richtet. Je lauter die Nutzung in einem Raum ist, desto weniger fallen Störungen auf. Probleme können entstehen, wenn sich im Verlauf der Zeit Nutzungsänderungen ergeben oder wünschenswert wären. Gerade die nachträgliche Aufwertung von baulichen Schallschutzeigenschaften ist meist aufwändig und teuer.

Die Geräusche, wie Verkehrslärm von außen, Sprache, Musik oder Trittschall aus anderen Räumen sowie Geräusche durch haustechnische Anlagen, überlagern sich im Raum. Für diese Überlagerung gibt es einige Grundregeln: Das lauteste Geräusch bestimmt den Gesamtpegel und mehrere, etwa gleich laute Fremdgeräusche summieren sich auf. Eine einzige „unterschätzte“ Schallquelle kann also alle sonstigen Bemühungen kolportieren und jede Schallquelle muss zumindest soweit unterdrückt werden, dass sie auch noch in der Gesamtaddition mit allen anderen Quellen den Zielwert einhält. Einige Kernprinzipien der bauakustischen Planung bei feststehendem Gebäudestandort lassen sich zusammenfassen:

- Die Grundrissgestaltung hat die erste Priorität bei der Schallschutzplanung, auch wenn hier nicht alle Wünsche umsetzbar sind. Neben der Vermeidung benachbarter, unterschiedlich geräuschintensiver Raumnutzungen können

regelrechte „Pufferzonen“ die akustische Qualität verbessern und baulichen Aufwand reduzieren.

- Die Wahl der Bauweise und der einzelnen Bauteile erfolgt meist nach Gesichtspunkten, die nicht an erster Stelle den Schallschutz verfolgen. Bei Außenbauteilen steht z.B. der Wärmeschutz im Vordergrund, bei Innenbauteilen dagegen der Brandschutz und das Tragverhalten. Dennoch können alle bekannten Bauweisen auch auf einem hohen Schallschutzniveau realisiert werden. Grundsatzfragen wie „Massiv- oder Leichtbau?“, „Beton- oder Holzdecke?“ usw. stellen sich nicht aus schalltechnischer Sicht. Die meisten Konstruktionen können die Anforderungen erfüllen.
- Nach der Wahl der Bauteile sind noch zahlreiche Details zu berücksichtigen, um das jeweilige Element im baulichen Kontext auch akustisch zu integrieren. Ein wesentlicher Einflussfaktor sind dabei die so genannten Nebenwege, d.h. Schallübertragungswege über die Bauteile, die das eigentlich trennende Bauteil flankieren. Einer Reihe von Details, z.B. alle Wand- oder Türöffnungen für Lüftungszwecke sowie den allgegenwärtigen Fugen bei Türen und dergleichen, ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da sie erfahrungsgemäß, aber nicht etwa zwangsläufig, zu ärgerlichen Schwachstellen führen können. Umlaufende Dichtungen und auch Absenkungen beheben z.B. Probleme bei Türen mit minimalem Aufwand.

TECHNISCHER SCHALLSCHUTZ

Bei den Geräuschen von haustechnischen Anlagen, Installationen und sonstigen Einrichtungen stehen sowohl Dauergeräusche als auch Geräuschspitzen im Vordergrund. Gerade die letztgenannten stören wegen ihrer hörbaren Auffälligkeit. Während die betreffende Normung nur die zum Gebäude gehörenden Anlagen (z.B. Heizung, Lüftung, Sanitär) betrachtet, die vom Nutzer an sich nicht beeinflusst werden können, sollten darüber hinaus auch die vom Nutzer selbst betriebenen Anlagen (z.B. Maschinen in Werkstattbereichen) einem akustischen Gesamtkonzept angepasst werden.

RAUMAKUSTIK

Die raumakustische Gestaltung konzentriert sich auf die maßgeblichen Schallquellen im Raum. In der Schule sind dies alle Nutzergeräusche, d.h. Sprache, Musik und all die vielen mit Schallentstehung verbundenen Handlungen und Tätigkeiten. Zwei fundamentale Zielgrößen stehen dabei raum- und nutzungsabhängig im Vordergrund: Die Dämpfung der Geräusche sowie die Verständlichkeit von Sprache. Im Vergleich dazu sind z.B. optimale Hörbedingungen beim Musikhören oder beim eigenen Musizieren lediglich wünschenswert. Im Interesse aller Beteiligten und Betroffenen sollten insbesondere in den Unterrichtsräumen höchste Ansprüche erfüllt werden. Hier sind sowohl angemessene Lärmpegel als auch gute Sprachverständlichkeit gefordert. Dabei weisen diese Räume meist eine hohe Personendichte auf und es finden zeitgleich sehr unterschiedliche Aktivitäten statt. Für die üblichen, nicht allzu komplex geformten Raumabmessungen sind jedoch die raumakustischen Maßnahmen überschaubar. Das heißt, beide Zielsetzungen lassen sich mit wirkungsvollen Maßnahmen zur Raumbedämpfung und in einigen Fällen zur Schallschirmung erreichen. Vorkehrungen zur Lenkung oder gar Streuung des Schalls können dagegen vernachlässigt werden. Planerisch ist also meist der Einbau von schallabsorbierenden Oberflächen vorzusehen.

Die maßgebliche Kenngröße zur Charakterisierung der Bedämpfung von Innenräumen ist die Nachhallzeit. In üblichen Schulräumen, ausgenommen sei hier z.B. die Aula, steht sie in einem direkten Verhältnis zur Sprachverständlichkeit und zur Reduktion der Lärmpegel, so dass eine angemessene Nachhallzeit in Schulräumen als vorrangige Forderung für die akustische Planung herangezogen und nach DIN 18041 beziffert werden kann. Bei offenen Grundrisslösungen ohne bauliche Trennung unterschiedlich genutzter Räume wird empfohlen, durchgehend das Bedämpfungsniveau von Unterrichtsräumen auszuführen. Flexibilität in der Nutzung und die Möglichkeit zur kurzfristigen Umgestaltung bleiben damit erhalten. Nachteile durch das hier vorgeschlagene hohe Bedämpfungsniveau sind in Räumen mit Mischnutzung nicht zu befürchten.

Bei größeren Sporthallen sollte in jedem Fall eine fachgerecht festgelegte Nachhallzeit eingehalten werden, welche die oftmals vielgestaltigen Nutzungsarten der Halle berücksichtigt.

Eingangsbereiche und zentrale Flure werden häufig übersehen oder zumindest unzureichend gewürdigt. Gerade wenn kein separater Eingangsbereich vorhanden ist, sind sie wichtige Kommunikationsorte, z. B. bei Grundschulen für den informellen Austausch zwischen Eltern und Schulpersonal. Für die Ausführung schallabsorbierender Maßnahmen ist eine Vielzahl von Produkten aus unterschiedlichsten Materialien kommerziell verfügbar. Erfolg versprechend sind sinnvolle Bauteil-Kombination, die den gesamten relevanten Frequenzbereich abdecken. Dabei ist der Bereich der tieferen Frequenzen konstruktiv am schwierigsten umzusetzen. Bei marktüblichen Akustik-Unterdecken sollte daher erfahrungsgemäß eine Abhängenhöhe von 20 cm nicht unterschritten werden. Ausgesprochene Tiefenabsorber sind in Raumecken und -kanten am wirksamsten positioniert. Bei der Auswahl der Materialien sollten Fragen des Brandschutzes, der Raumlufthygiene und der mechanischen Belastbarkeit beachtet werden. Für frei im Raum hängende Akustiksegel sollte auch eine praktikable Reinigungsmöglichkeit eingeplant sein. Auch regelmäßige Renovierungen oder Schönheitsreparaturen sind zu bedenken. Bei vielen Raumakustik-Lösungen ist z. B. ein einfaches Überstreichen nicht möglich, so dass in diesen Fällen ein kompletter Austausch der raumseitigen Bauteilschichten erforderlich werden kann.

In offenen Lernlandschaften bieten die in Großraumbüros bekannten Stell- oder Schirmwände Lösungspotential, entweder als mobiles Einzelelement oder in integrierter Form mit Mobiliar ver-

bunden. Mobile Stellwände verbinden Stauraum, Gestaltungselement und variable optische Trennung mit wertvollen Flächen zur Schallabsorption.

An dieser Stelle sei noch auf ein Potential der Innenraumgestaltung zur Geräuschminderung hingewiesen, das zwar begrenzt, aber doch bekannt ist und genutzt werden sollte. Es geht um die Wahl der Bodenbeläge, des Mobiliars sowie der Sport- und Spielgeräte. Beispielsweise bietet die Schnittstelle von Bodenbelag und den darauf bewegten Stühlen mehrere bekannte Möglichkeiten der Geräuschreduzierung, ohne die Beweglichkeit oder die tägliche Reinigung zu behindern. Ähnliche „Lärmquellen“ (Quietschen, Knarren, Schlagen) lassen sich beim sonstigen Mobiliar finden und behandeln. Diese Hinweise mögen nahe liegend erscheinen oder auch detailverliebt klingen, ihre Beachtung kann jedoch zu einer entspannteren akustischen Gesamtsituation beitragen.

RESÜMEE

Die hier beschriebene akustische Qualität ist sowohl für bestehende als auch für neue Gebäude von Bedeutung. Alle Anforderungen oder Empfehlungen sind bei sachgemäßer Planung mit kommerziell verfügbaren Bauteilen problemlos umsetzbar. Normen, Richtlinien und andere Quellen enthalten dazu eine große Vielfalt von konstruktiven, baulichen und stofflichen Gestaltungsmöglichkeiten, die sowohl Schallschutzaspekte als auch die Einstellung der raumakustischen Bedingungen betreffen. Insbesondere bei größeren Erweiterungs- oder Modernisierungsmaßnahmen ist die Einbeziehung professioneller Akustikplaner zu empfehlen.

B.4 Ergonomie

Schulen wandeln sich zunehmend von Belehrungsanstalten zu Häusern des Zusammenlernens und Zusammenlebens. In den Lebensräumen werden nicht Fächer, sondern Schülerinnen und Schüler unterrichtet und in ihrer individuellen Entwicklung ganzheitlich gefördert. Eine solche Schule führt zu pädagogischen Konzepten mit flexiblen Unterrichtsformen und vielfältigen Arbeitsformen. Daher benötigt sie auch eine Neuorientierung in der Schularchitektur.

Einflüsse auf Bildungs- und Erziehungsprozesse haben der Zustand und die Gestaltung der Lernorte sowie die Art und Weise, wie diese miteinander in Beziehung stehen, das Ineinanderfließen von Innen und Außen, das richtige Verhältnis zwischen persönlichen und Gemeinschaftsräumen, die Anordnung der verschiedenen Lernlandschaften, die farbliche Gestaltung und die Sauberkeit der Räumlichkeiten. All dies wirkt sich sowohl auf das Wohlbefinden und die Gesundheit als auch auf die Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler und Lehrerinnen und Lehrer aus. Für gelingende Lernprozesse muss also dem Gebäude, den Räumen und der Ausstattung in gleichem Maße Aufmerksamkeit geschenkt werden wie der pädagogischen Methodik, dem sozial-emotionalen Schulklima und dem Leitungshandeln.

Eine so verstandene Ergonomie der gebauten und gestalteten Umgebung komplettiert auch die An-

sprüche an Sicherheit und Gesundheit. Diese beiden Aspekte sind für den Sachkosten- bzw. Schulträger obligatorisch. Mit Blick auf die Sicherheit der Schülerinnen und Schüler hat er dafür zu sorgen, dass alle baulichen Anlagen und Einrichtungen der Schule nach den geltenden Bestimmungen („Allgemeine Ausführungs- und Gestaltungsgrundsätze“ der Unfallverhütungsvorschrift Schulen, GUV-V S1) errichtet und in Stand gehalten werden. Dies hat der Sachkosten- bzw. Schulträger bei jeder Planung, ob Neubau oder Änderung, zu dokumentieren und sicherzustellen.

Die Ergonomie wird in der aktuellen Unfallverhütungsvorschrift nur als Randbereich unter vielen Einzelpunkten berücksichtigt. So sind z. B. Stühle und Tische bereitzustellen, die auf die Körpergröße abgestimmt sind und dem Stand der Technik entsprechen. Auch die ausreichende Beleuchtung von Aufenthaltsbereichen mit künstlichem Licht entsprechend der schulischen Nutzung wird festgehalten. Es findet aber derzeit ein Prozess des Umdenkens statt, indem zusätzliche Empfehlungen für gesundheits- und lernfördernde Klassenzimmer (GUV-SI 8094) über den bisherigen Umfang des Sicherheitsbegriffes hinausgehen. Die frühere Auffassung, dass sowohl gute Schule in einem schlechten Gebäude als auch schlechte Schule in einem guten Gebäude möglich sei, wurde revidiert.

B.5 Baulicher Wärmeschutz

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes hängt maßgeblich vom Transmissionsverlust über Wände, Dach, Fenster und Decken gegen Außenluft ab. Bei einer energetischen Sanierung ist es das Ziel, diese Werte zu minimieren. Die zum Zeitpunkt der Sanierung gültige Energieeinsparverordnung (EnEV) gibt die Mindestwerte an, die bei einer Sanierung

eingehalten werden müssen. Die momentan gültige EnEV 2009 gilt als erfüllt, wenn die opaken Hüllflächenbauteile, an denen Veränderungen vorgenommen werden, den U-Wert von $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten (Siehe EnEV 2009, Anlage 3, Tabelle 1). Sie gilt auch als erfüllt, wenn der maximale Primärenergiebedarf des Gebäudes nach der

Sanierung nicht mehr als 40 % über dem zulässigen Primärenergiebedarf eines Neubaus liegt, der die gleiche Geometrie aufweist.

Mit Blick auf die Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments (EPBD-Richtlinie), die für öffentliche Neubauten ab 2019 den Niedrigstenergie-Standard vorgibt, ist es ratsam, das Gebäude bereits heute so zu sanieren, dass es den 3-Liter-Haus- oder den Plusenergiehaus-Standard erfüllt. Mindestens sollten jedoch die opaken Hüllflächenbauteile (Wand, Dach, Boden und Decke gegen Außenluft) einen U-Wert von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten. Der U-Wert der Fenster sollte unter $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen und einen Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) von über 0,52 aufweisen. Dieser Wert ist mit 3-fach-wärmeschutzverglasten Scheiben mit Argon-Füllung mit hochgedämmten Rahmen erzielbar.

Bei der Dämmung der Gebäudehülle geht die Bestrebung dahin, mit möglichst schlanken Dämmstoffdicken eine effiziente Dämmung, d. h., einen niedrigen U-Wert zu erzielen. Dies erfordert den Einsatz von Dämmstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit. Die Vakuumdämmung weist mit $0,007 \text{ W/mK}$ mit Abstand die geringste Wärmeleitfähigkeit auf. Da sie derzeit mit ca. 150 €/m^2 bei einer Dicke von 2 cm noch sehr teuer ist, wird sie momentan noch meist nur für Sonderzwecke eingesetzt, wenn aus Platzgründen eine konventionelle Dämmung nicht ausreicht.

Für die nachträgliche Außendämmung eignen sich unterschiedliche Dämmsysteme. Die größte Verbreitung hat das Wärmedämmverbundsystem mit dem Dämmstoff Polystyrol. Es ist kostengünstig und die Anbringung ist relativ problemlos. Das System muss eine bauaufsichtliche Zulassung aufweisen, die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) ausgestellt wird. In diesem Dokument sind die Produkte des Systems beschrieben. Ferner ist auch angegeben, wie die Anbringung des Systems erfolgen muss.

Bei denkmalgeschützten Gebäuden, bei denen die Fassade nicht verändert werden darf, kann eine

Innendämmung mit Calciumsilikatplatten eine gute Lösung darstellen. Hierbei sollte besonderes Augenmerk auf die korrekte Ausführung gelegt werden, um Bauschäden durch Kondenswasser zu vermeiden. Ferner muss beim Einbau von neuen Fenstern (und somit annähernd luftdichten Fensterrahmen) darauf geachtet werden, dass weiterhin ein ausreichender Luftaustausch stattfindet, um eine zu hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Die sonst ansteigende Luftfeuchtigkeit begünstigt Schimmelbildung.

Bei der nachträglichen Dämmung von Nichtwohngebäuden kommt oftmals auch die vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) zum Einsatz. Die vielfältige Gestaltung der Bekleidung ist hierfür ausschlaggebend. Bewährte Werkstoffe sind beispielsweise faserverstärkte Harzkompositplatten, Tafeln aus Faserzement, Keramik, Kupfer, Titanzink, Aluminiumverbundplatten und Glas. Die Dämmung ist bei der hinterlüfteten Fassade von der Bekleidung durch einen Luftspalt getrennt und die Bekleidung stellt den Wetterschutz dar. Die beiden beschriebenen Systeme, Wärmedämmverbundsystem und vorgehängte hinterlüftete Fassade, decken den Großteil der ausgeführten Außendämmungen ab.

Die Dämmung des Sattel- oder Pultdaches erfolgte in der Vergangenheit in der Regel durch eine Zwischensparrendämmung. Aus Gründen der beschränkten Sparrenhöhe können die heute gewünschten U-Werte mit einer Zwischensparrendämmung allein nicht mehr erreicht werden. Es ist daher eine zusätzliche Untersparrendämmung oder eine Übersparrendämmung notwendig und üblich. Eine Übersparrendämmung hat den Vorteil, dass auf der Raumseite die Raumhöhe nicht eingeschränkt wird und auch keine weiteren Maßnahmen nötig sind; sie verursacht allerdings deutlich höhere Kosten. Stellt bei einer Schule ein Flachdach den oberen Gebäudeabschluss dar, muss die Dachhaut abgenommen und eine Zusatzdämmung aufgebracht oder die vorhandene Dämmung durch eine dickere Dämmschicht ersetzt werden.

Üblicherweise wird der untere thermische Gebäudeabschluss bei einem unterkellerten Gebäude durch die Kellerdecke und bei einem nichtunterkellerten Gebäude durch den Boden gebildet. Die möglichen dämmtechnischen Maßnahmen unterscheiden sich daher stark. Die Kellerdecke kann kostengünstig auf der Unterseite gedämmt werden. Der Boden hingegen müsste zur unterseitigen Dämmung zusammen mit der Bodenplatte komplett ausgebaut werden. Dieser Aufwand ist jedoch unverhältnismäßig hoch. Wesentlich kostengünstiger und nicht höher ist hingegen ein neuer Bodenaufbau mit einer Vakuumdämmplatte. Auf diese Weise erhält man einen U-Wert des Bodens von kleiner als $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dieses Beispiel stellt ein typisches Einsatzgebiet für die Vakuumdämmung dar.

Dreifach wärmeschutzverglaste Fenster mit hochgedämmten Rahmen reduzieren den U-Wert gegenüber zweifachverglasten Fenstern mit konventionellen Rahmen von ca. $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf unter

$0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Es muss dabei jedoch auf den g-Wert geachtet werden. Er ist in der Regel gegenüber den zweifachverglasten Scheiben etwas niedriger. Am Markt werden jedoch Dreifachscheiben mit einem g-Wert von über 0,6 angeboten. Neben der Verringerung der Transmissionswärmeverluste und des dadurch bedingten kleineren Heizenergieverbrauchs hat eine Dämmung der Gebäudehülle folgende weitere Vorteile:

- Wertsteigerung des Gebäudes
- Verminderung der Energiekosten
- Bautenschutz und Verminderung von Schimmelpilzbildung
- Steigerung der Behaglichkeit und des Aufenthaltskomforts, weil die Oberflächentemperaturen der Außenbauteile angehoben werden
- Schutz der Ressourcen
- Positive Auswirkungen auf den Klimaschutz durch CO_2 -Reduzierung
- Städtebauliche Aufwertung

B.6 Effiziente Energieversorgung

Schulen sollen Vorbildfunktionen übernehmen, dies gilt im besonderen Maße für deren Energieeffizienz. Mit Blick auf die Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments (EPBD-Richtlinie), die für öffentliche Neubauten ab 2019 den Niedrigstenergie-Standard vorgibt, ist es ratsam, das Gebäude bereits heute so zu sanieren, dass es einen Standard erreicht, der weit über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus geht, also den 3-Liter-Haus- oder besser noch den Plusenergiehaus-Standard erfüllt. Das Energiekonzept einer energieeffizienten Schule fußt gegenüber herkömmlicher Bauweise auf den 3 Säulen:

- Energieeffizienz des Gebäudes bestmöglich steigern
- Energiebedarf der Haushaltsprozesse so weit wie möglich senken
- Erneuerbare Energien zur Restdeckung verwenden

Dies kann schon heute dazu führen, dass Schulgebäude durch die Sanierung vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger werden. Da bei diesem Konzept die Summe aller im Gebäude benötigter Energiemengen über erneuerbare Energien ausgeglichen werden muss, die im räumlichen Umfeld des Gebäudes erschlossen werden können, ist vorrangig die Bedarfsmenge an Energie über eine deutlich verbesserte Energieeffizienz bestmöglich zu reduzieren.

Die Energieeffizienz von Schulgebäuden lässt sich neben der Verwendung von hocheffizienten Wärmeschutzmaßnahmen (hocheffiziente Fenster und Wärmeschutzsysteme für die Gebäudehülle), ganz maßgeblich über den Gebäudeentwurf (kompakter Gebäudekörper, optimale Orientierung) verbessern. Auch eine optimierte Verarbeitung der baulichen Komponenten (wärmebrücken(zuschlags)freie und luftdichte Konstruktionen und Bauteilanschlüsse) sowie energiebewusstes Nutzerverhalten (Ver-

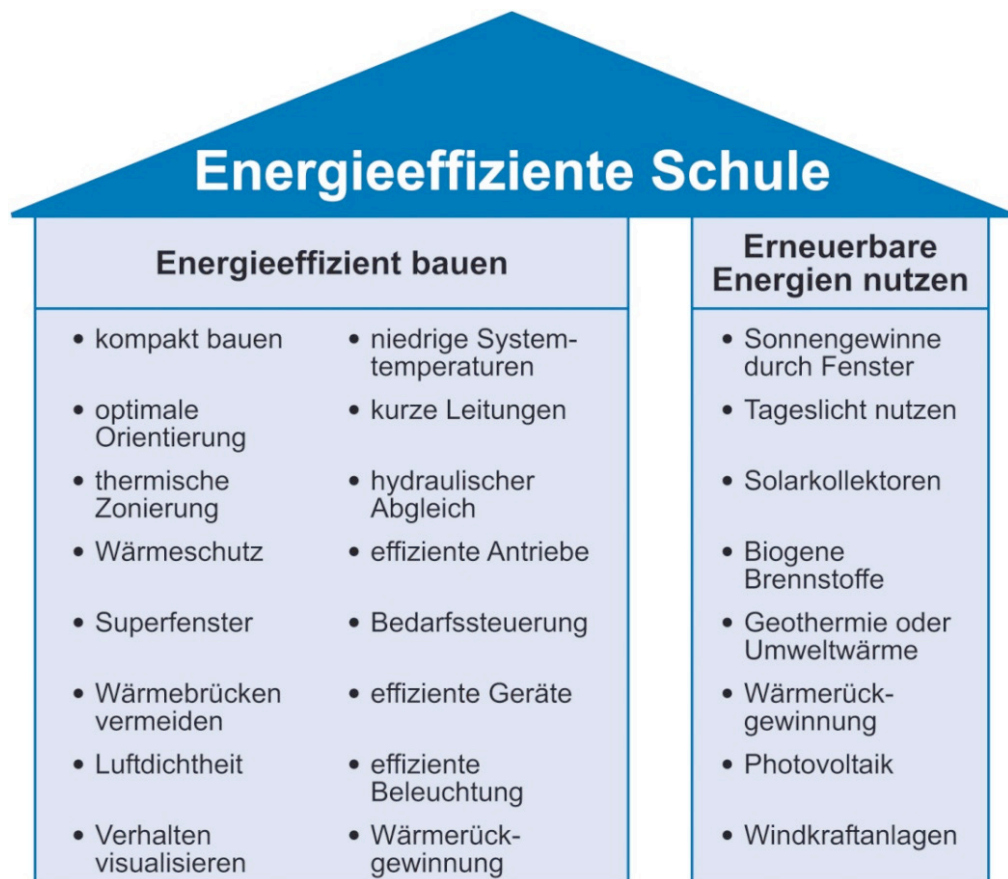


Bild 2: Die Grundsteine energieeffizienter Schulgebäude

brauchsvisualisierung, Smart Metering) tragen wesentlich dazu bei. Gleichzeitig erhöht sich durch die bedarfssenkenden Maßnahmen in aller Regel der Nutzungskomfort, da die hierbei entstehenden warmen Oberflächen eine höhere Behaglichkeit in den Räumen ermöglichen.

Die Energieeffizienz lässt sich weiterhin erhöhen durch niedrige Systemtemperaturen (und damit verbundene niedrige Wärmeverluste) in der Heizanlage, durch kurze Leitungslängen bei Heiz-, Warmwasser und Lüftungsanlagen (und damit verbundenen niedrigeren Wärmeverlusten und geringere Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren), durch das Vermeiden der Warmwasserzirkulation, durch Wärmerückgewinnungssysteme in der Lüftung und in den Abwassersystemen, durch hydraulischen Abgleich in allen Anlagen (und damit verbundenen geringeren Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren), mit bedarfsgesteuerten Heiz- und Lüftungssystemen (und einer damit vermiedenen Überversorgung der Räume mit Frischluft und Heizwärme), mit Arbeitsgeräten höchster

Energieeffizienz (A++) und mit effizienter Raumbeleuchtung (LED- oder Energiesparlampen in Verbindung mit Bedarfskontrollsystemen).

Die erneuerbaren Energien lassen sich aktiv und passiv im Gebäude erschließen. Völlig kostenfrei können die passiven Solargewinne über die Fenster einerseits zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs und andererseits zur Reduzierung des Lichtbedarfs durch Tageslichtnutzung genutzt werden. Aktiv lassen sich erneuerbare Energien über thermische Solarkollektoren, biogene Brennstoffe, Geothermie oder Umweltwärme erschließen.

Ein Plus im Gebäude können schließlich stromerzeugende Systeme, wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, generieren. Hierbei sollte die Eigennutzung der Gewinne im Vordergrund stehen, etwaige produzierte Überschüsse im Gebäude bestmöglich gespeichert werden und nur die darüber hinausgehenden ins Netz der Energieanbieter einspeist werden. Die Speicher haben eine hohe Bedeutung im System.

C Erfahrungen aus Projekten

Pilotprojekte machen den Einsatz von neuartigen zukunftsorientierten Konzepten, Materialien und Technologien sowie deren Evaluierung bei der Sanierung von Schulgebäuden möglich.

Dies erfordert die Beachtung von vielfältigen Ansprüchen und Regeln sowie die Koordination von Interessenten und Beteiligten. Bei der Frage, warum, was und wie saniert oder verändert werden kann, müssen Bau und Schulrealität in Einklang gebracht werden. Die optimale Nutzung des Schulgebäudes stellt ein vorrangiges Ziel dar. Energieeffizientes und nachhaltiges Bauen haben ebenfalls höchste Priorität erlangt und nicht zuletzt sind ein finanzieller und zeitlicher Rahmen einzuhalten. Oft treten unvorhergesehene Probleme auf, die eine flexible Reaktion erfordern.

Die am Pilotprojekt beteiligten Schulen berichten über die Besonderheiten der Projektdurchführung. Dabei wird vor allem auf die Sanierungskonzepte und die interne Verwaltungsstruktur eingegangen.

C.1 Max-Planck-Gymnasium, Karlsruhe

PROJEKTBE SCHREIBUNG

Beim Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft Karlsruhe sind die Auslösefaktoren für eine Sanierung bzw. Modernisierung eines Gebäudes in erster Linie die erforderlichen Umstrukturierungen von Nutzungsbereichen, aber auch eine bevorstehende Erweiterung des Gebäudes. Weitere Einflüsse, die eine energetische Sanierung eines Gebäudes auslösen können, sind die Impulse aus der Politik und/oder der Verwaltung.

Einer der Gründe für die energetische Gebäudeteilsanierung des Max-Planck-Gymnasiums war der schlechte bauliche Zustand des Verwaltungsbereiches, dessen Größenordnung und die funktionalen Bedürfnisse sich nicht mehr als ausreichend erwiesen.

Eine systematische Überprüfung und Überwachung des Gebäudebestandes zum Beispiel auf Mängel mit der Einstufung der Dringlichkeit wird nicht durchgeführt. Aus diesem Grund werden bei der Stadt Karlsruhe keine strategischen Sanierungen

durchgeführt. Auch der Einsatz von Fördermitteln ist nicht zwingend investitionsentscheidend.

Beim Max-Planck-Gymnasium handelt es sich um einen Gebäudekomplex bestehend aus drei zusammenhängenden Gebäudeteilen. Das Max-Planck-Gymnasium wurde im Zeitraum von 1953 bis 1956 erbaut und galt zur damaligen Zeit als einer der modernsten Schulbauten Deutschlands. Eine energetisch nachhaltige Gebäudesanierung soll am Hauptgebäude des Gebäudekomplexes durchgeführt werden. Das Hauptgebäude wurde 1953–1954 errichtet. In diesem Gebäude befinden sich Fachräume für Biologie, Physik und Chemie, Räumlichkeiten für Bildende Kunst, Verwaltung und die Mensa. Das Hauptgebäude besteht aus zwei Vollgeschossen und einem beheizten Untergeschoss. Die Architektur des Hauptgebäudes ist geprägt durch das abgesetzte Dach und den Sockel, welcher durch das etwas zurückgesetzte Untergeschoss entsteht. Die herausragenden Betonpfeiler setzen zusätzlich vertikale Akzente. Beim Hauptgebäude handelt es sich um eine Stahlbetonskelettkonstruktion. Die oberste Geschossdecke bildet im Bestand

die wärmedämmende Hülle. Das Stehfalz-Blechdach ist ungedämmt, ebenso der Brüstungsbereich der Außenwand, die Wand gegen Erdreich und die Bodenplatte. Bei den Fenstern im Erd- und Obergeschoss handelt es sich um Verbundholzfenster. Im Zwischenraum dieser Fenster sind Jalousien als

Sonnenschutzvorrichtung untergebracht. Die Fenster im Untergeschoss sind 1-fach verglast und wurden teilweise durch 2-fach verglaste Fenster ersetzt. Viele Fenster weisen erhebliche Mängel auf und können teilweise nicht zum Lüften geöffnet werden. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über Fernwärme.



Bild 3: Hauptgebäude



Bild 4: Pilotklassenzimmer

GEBÄUDEDATEN	
Bauherr	Stadt Karlsruhe
Standort	Krokusweg 49, 76199 Karlsruhe, Baden-Württemberg
Projektstatus	Gebäudeteilsanierung in Planung
Baujahr	1953–1956
Sanierungszeitraum	ca. 2013–2015
Bruttogrundfläche	4.212 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	3.715 m ²
Bruttorauminhalt	13.104 m ³ (beheiztes Gebäudevolumen)
A/V-Verhältnis vor Sanierung	0,46 m ² /m ³
A/V-Verhältnis nach Sanierung	0,46 m ² /m ³
Anzahl der Klassenräume	21 (Hauptgebäude)
Anzahl der Schüler	ca. 950

SANIERUNGSKONZEPT

Bei der Gebäudesanierung des Hauptgebäudes ist die architektonische Qualität der Fassade zu erhalten. Die wärmedämmende Hülle soll im Rahmen der Sanierung in die Dachhaut verlegt werden, sodass die vorhandenen Unterdecken erhalten bleiben und der Deckenzwischenraum zum Verlegen von

Installationen genutzt werden kann. Darüber hinaus werden alle Brüstungen wärmegeklämt.

Die Fenster sollen gegen 3-fach Wärmeschutzverglasung mit einem Holz-Aluminiumrahmen-Rahmen ausgetauscht werden. Die Oberlichter der Fenster erhalten einen mechanischen Antrieb. Auf diese Weise wird eine kontrollierte natürliche Be- und

Entlüftung ermöglicht. Diese soll zusätzlich von Abluftventilatoren unterstützt werden. Die unteren Öffnungsflügel des Fensters können manuell geöffnet werden und dienen gleichzeitig als Fluchtweg. Mit diesem Konzept wird eine sogenannte Hybridlüftung realisiert. Die motorisch geregelte Fensterlüftung soll auch zur Nachtlüftung genutzt werden. Da das Gebäude bereits über einen Fernwärmeanschluss verfügt, werden die bestehenden Heizkörper mit elektromotorisch betriebenen Ventilen ausgestattet. Mit Hilfe der Gebäudeleittechnik (GLT) ist es möglich die Steuerung der Fensterlüftung, die Regelung der Abluftventilatoren und der elektromotorischen Heizkörperventilen miteinander zu verknüpfen.

Es ist ein außenliegender automatisch gesteuerter Sonnenschutz in der Form von Jalousien geplant. Im Bereich der Oberlichter sollen feststehende Sonnenschutzelemente umgesetzt werden.

Das Beleuchtungskonzept sieht eine Beleuchtungsanlage mit dynamischer Lichtsteuerung vor, welche für verschiedene Tätigkeiten der Schülerinnen und Schüler unterschiedliche Beleuchtungssituationen anbietet.

In die Gebäudesanierung des Max-Planck-Gymnasiums ist ein Pilotprojekt „Energieeffiziente, energetisch nachhaltige und lernförderliche Sanierung von Schulgebäuden“ integriert. Im Rahmen dieses Pilotprojektes soll ein Klassenraum musterhaft und hochwertig, unter Einsatz von verschiedenen innovativen Techniken, saniert werden. Dabei sollen die Aspekte einer lernförderlichen Umgebung in den Vordergrund gerückt werden. Es soll vor allem eine Optimierung des Innenraumklimas, der Beleuchtung und der Akustik sowie Ergonomie und der Farbgestaltung des Klassenraums durchgeführt werden.

REALISIERUNG VON SCHUL- GEBÄUDESANIERUNGEN DURCH DIE STADT KARLSRUHE

Bei der Stadt Karlsruhe wird ein neues großes Projekt durch die Abteilung der Projektentwicklung in die Wege geleitet. Bei Freigabe der Maßnahmen geht die Aufgabe in die Hände der Abteilung der Projektsteuerung über. Die beiden Abteilungen Projektentwicklung und Projektsteuerung bilden die Abteilung „Projektmanagement“. Diese Abteilung ist für die Organisations- und Prozessabläufe, die Terminplanung sowie das Kostencontrolling zuständig.

Für die komplette Objektbetreuung und zur Durchführung von kleineren Bauunterhaltungsmaßnahmen unter anderem auch Instandsetzungsmaßnahmen und kleineren Umbaumaßnahmen ist die Abteilung „Objektmanagement“ zuständig. Diese Abteilung setzt sich bei der Stadt Karlsruhe aus drei regionalen Objektteams zusammen, welche aus Architekten, Ingenieuren, Technikern und weiteren Fachleuten bestehen.

Eine weitere Fachabteilung der technischen Gebäudeausrüstung ist für die Gewerke der Kostengruppe 400 (Heizung, Lüftung, Sanitär) verantwortlich. Die Gruppe Projektcontrolling überwacht die Kosten eines Projektes.

Der Standardablauf eines Projektes von der Entstehung über Übergabe bis zum Bauunterhalt ist in einem eigenen Projekthandbuch der Stadt Karlsruhe festgehalten. In einer eigenen Leitlinie werden die Leitziele, die Nachhaltigkeitskriterien sowie technische und energetische Standards definiert. Weitere Anforderungen werden nicht nur den gesetzlichen Normen entnommen, sondern Standardleitfäden auf die jeweilige Nutzung eines Gebäudes übertragen.

Das Schul- und Sportamt hat die Funktion des Nutzervertreters und wird in den Planungsprozess miteingebunden.

C.2 Theodor-Heuss-Gymnasium, Freiburg

PROJEKTBE SCHREIBUNG

Das Theodor-Heuss-Gymnasium im Stadtteil St. Georgen von Freiburg wurde 1972 gegründet. Ein weiteres Gebäude ist 1977 hinzugekommen. Beide Bauten wurden in Stahlbetonskelettbauweise mit einer Pfosten-Riegel-Fassade ausgeführt.

Zurzeit besuchen 840 Schülerinnen und Schüler und 70 Lehrkräfte das Gymnasium. Die sanierungsbedürftige Schule zeigt neben bauphysikalischen Defiziten auch gesundheitsschädliche Gefahren durch die in den 70er Jahren in Baustoffen enthaltenen Schadstoffe. Eine undichte Fassade, geringe Wärmedämmung und auskragende Fassadenelemente verursachen hohe Wärmeverluste und Feuchtigkeitsschäden. Die Wärmeversorgung der Schule erfolgt

aus der Wärmezentrale der Schneeburgschule über ein Gas-Heizkraftwerk. Der dringende Handlungsbedarf äußert sich durch den enormen Heizenergieverbrauch, der beim Theodor-Heuss-Gymnasium 60 % über den Verbrauch zeitgleich errichteter Schulen liegt.

Das in den 70er Jahren vernachlässigte Interesse an bauphysikalischer und konstruktiv korrekter Bauart äußert sich in der heutigen Gebäudestruktur des Gymnasiums wieder. Starker Raumbedarf forderte eine schnelle und günstige Bauweise, die durch Stahlbetonfertigteile ermöglicht wurde. Dadurch entstanden Wärmebrücken, mangelnde Isolierung der Gebäudehülle, Bodenplatten und Kellerwänden. Die Folgen der damaligen Bauweise spiegeln sich heute in Form von hohen Energieverbräuchen wieder.

GEBÄUDEDATEN	
Bauherr	Stadt Freiburg
Standort	Andreas-Hofer-Str.1, 79111 Freiburg, Baden-Württemberg
Projektstatus	Sanierung in der Realisierung
Baujahr	1. BA 1972 2. BA 1977
Sanierungszeitraum	2012–2014
Bruttogrundfläche	1. Bauabschnitt 5.665 m ² 2. Bauabschnitt 3.580 m ² (ohne Sporthalle)
Beheizte Nettogrundfläche	4.097 Energiebezugsfläche EBF _{PHPP} (4.723 m ² Nutzfläche)
Bruttorauminhalt	23.718 m ³ Gebäudevolumen V _e nach Sanierung
A/V-Verhältnis vor Sanierung	0,51 m ² /m ³
A/V-Verhältnis nach Sanierung	0,29 m ² /m ³
Anzahl der Klassenräume	29
Anzahl der Schüler	840

SANIERUNGSKONZEPT

Unter Berücksichtigung der Bau- und Energieleitlinien der Stadt Freiburg erarbeitete das Planungsteam ein Gesamtsanierungskonzept im Passivhausstandard, welches sich in zwei wesentliche Bauabschnitte gliedert. Der erste Bauabschnitt

„Ganztagsschule“ wurde bereits saniert und 2011 in Betrieb genommen. Der zweite Bauabschnitt „Klassen“ wird 2014 fertiggestellt.

Für die Senkung der Transmissionswärmeverluste sind mehrere Maßnahmen vorgesehen. Neben der Reduktion des A/V-Verhältnisses von ursprünglich



Bild 5: Hauptgebäude



Bild 6: Chemieraum

0,51 m-1 auf 0,29 m-1 und dem Rückbau auskragender Fassadenelemente, ist die Gebäudehülle zusätzlich durch eine Vorhangsfassade in luftdichter und wärmebrückenfreier Pfosten-Riegel-Konstruktion ergänzt worden. Zudem wurde die bisherige 2-Scheiben-Verglasung durch neue 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ausgetauscht.

Durch die Kernsanierung liegen die U-Werte der Bauteile weitgehend unter $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das neu eingeplante Lüftungskonzept mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung von ca. 85 % ermöglicht eine bedarfsgerechte Steuerung. Die Kühlung zentraler Räume wird durch eine natürliche Nachtlüftung gewährleistet.

Zur Belichtung des Atriums ist ein Glas-Satteldach mit Stahlkonstruktion vorgesehen. Für die Bestimmung der Nachhallzeit wurden Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse den Anforderungen nach DIN 18041 entsprechen.

REALISIERUNG VON SCHULGEBÄUDESANIERUNGEN DURCH DIE STADT FREIBURG

Bei der Auswahl der zu sanierenden Schule gibt es bei der Stadt Freiburg eine systematische Vorgehensweise. Die Entscheidung zum Sanieren entsteht unter Berücksichtigung der Anforderungen des Schulamtes und der hieraus resultierenden baulichen Erfordernisse. Eine Priorisierung findet nach Dringlichkeit der Sanierungsmaßnahme aus baulichen, funktionalen und hygienischen Aspekten, Förderwahrscheinlichkeit und programmatischer Notwendigkeit einer Umnutzung bzw. Nutzungserweiterung statt. Bei der Sanierung des Theodor-

Heuss-Gymnasiums standen Fördergelder aus dem zweiten Konjunkturpaket für die Fassadensanierung zur Verfügung. Darüber hinaus bestand der Wunsch nach einer Umstrukturierung hin zur Ganztageseinrichtung.

Das Gebäudemanagement der Stadt Freiburg baut auf drei Säulen auf: kaufmännisches Management, technisches Management und Dienstleistungsmanagement. Die Matrixstruktur der Organisation sieht darüber hinaus Produktmanager vor, die die Gebäude des Bestandes und deren Nutzer jeweils nach Gebäudekategorien betreuen und über die jeweiligen Mängel des Gebäudes und den aktuellen Bauzustand der Schule gut informiert sind. Für kleinere Sanierungsvorhaben werden kleinere Objektteams eingesetzt. Die Stadt Freiburg orientiert sich an eigenen Bauleitlinien, welche Standards z.B. bei der Sanierung von Schulen vorgeben. Das Regelwerk beinhaltet Energieleitlinien und Baustandards, die in der Summe einen energetisch sinnvollen Umgang mit den Gebäuden fordern, und für Sanierungs- oder Baumaßnahmen die Realisierung entsprechend nachhaltiger Details für die Langlebigkeit und Nachhaltigkeit der Gebäude sicherstellen. Weitere Vorgaben wie z.B. das Modellraumprogramm legen die Schulbauförder Richtlinien des Landes Baden-Württemberg fest.

Das Nutzeramt und der Nutzer werden frühzeitig am Prozess beteiligt. Dies geschieht in Form eines Sanierungsbeirates aus Amt für Schule und Bildung, Schulleitung, Lehrer-, Schüler- und Elternvertretung. Im Rahmen der Übergabe finden spezifische Einweisungen der Nutzer statt, um die richtige Handhabung und Bedienung eines Passivhauses zu vermitteln.

C.3 Schulzentrum West, Schwäbisch Hall

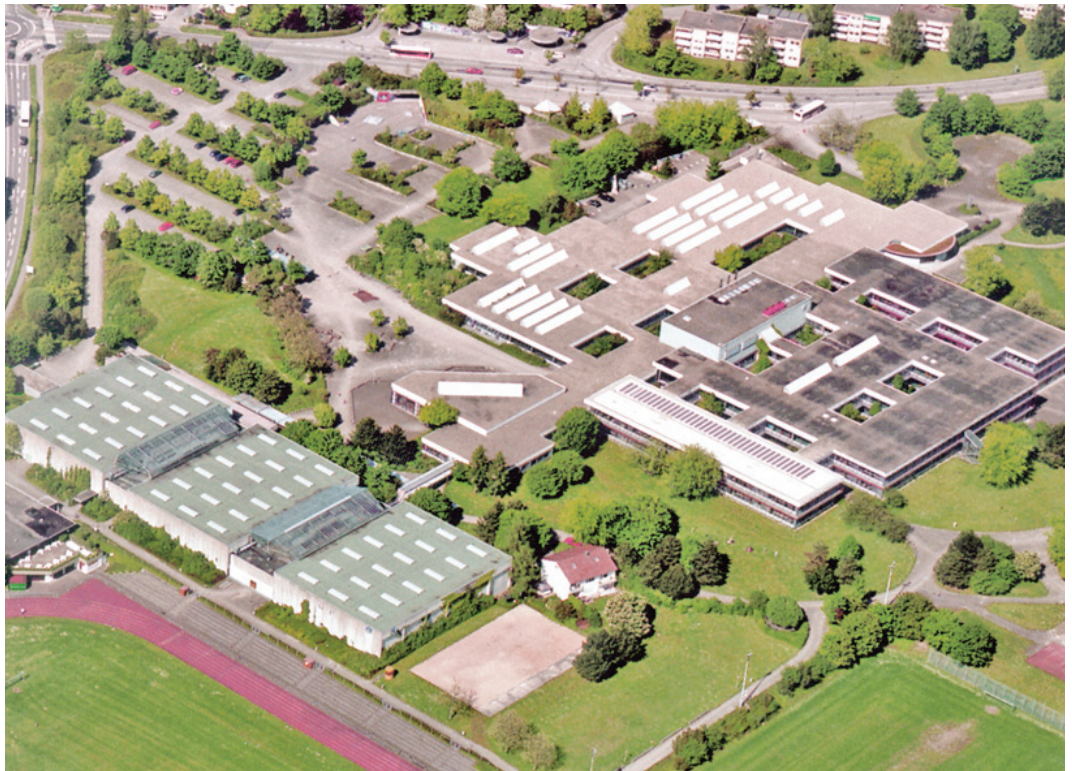


Bild 7: Luftbild Schulzentrum West

PROJEKTbeschreibung

Das Schulzentrum West befindet sich im Stadtteil Hagenbach in Schwäbisch Hall. Der Baubeginn des Schulzentrums erfolgte im März 1973. Im August 1974 konnten die Schulen einziehen und mit dem Unterrichtsbetrieb beginnen. Die Sportstätten wurden 1975/76 fertiggestellt. 2007 wurden ein Schülerhaus und eine Mensa auf dem Schulgelände erbaut. Seit 2008 findet eine Sanierung des Zentrums in Bauabschnitten statt, die voraussichtlich 2020 abgeschlossen wird.

Im Schulzentrum West sind zurzeit die Erasmus-Widmann-Gymnasium, die Leonhard-Kern-Realschule sowie die Thomas-Schweicker-Werkrealschule untergebracht. Das Schulgelände verfügt über

eine Fläche von über 25.000 m² und eine beheizte Fläche von über 20.000 m² (ohne Hagenbachhallen). Somit ist das Schulzentrum West die größte Immobilie der Stadt Schwäbisch Hall. Im Schulzentrum haben rund 2.050 Schülerinnen und Schüler und 250 Lehrerinnen und Lehrer Platz. Zur Verfügung stehen 125 Unterrichts- und Fachräume mit 75 Nebenräumen.

Nach 40 Jahren Schulbetrieb wird zunehmend ein Reparaturstau verzeichnet. So treten in den letzten Jahren immer häufiger Schäden am Wasser-, Abwasser- und Heizungssystemen auf. Zum allgemein schlechten baulichen Zustand der Schule kommt noch eine vorhandene Asbestbelastung in Brüstungsbereichen hinzu, so dass eine umfangreiche Sanierung notwendig wird.

GEBÄUDEDATEN	
Bauherr	Stadt Schwäbisch Hall
Standort	Berliner Str. 16, 74523 Schwäbisch Hall, Baden-Württemberg
Projektstatus	in der Realisierung
Baujahr	1973
Sanierungszeitraum	2008–2020
Bruttogrundfläche	ca. 25.000 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	ca. 20.000 m ²
Bruttorauminhalt	98.350 m ³
A/V-Verhältnis vor Sanierung	0,39 m ² /m ³
A/V-Verhältnis nach Sanierung	0,39 m ² /m ³
Anzahl der Klassenräume	80
Anzahl der Schüler	2.050

SANIERUNGSKONZEPT

Am Schulzentrum West wird eine Generalsanierung durchgeführt. Die Generalsanierung findet aufgrund des Umfangs der Sanierungsmaßnahmen stufenweise statt. Dafür wurde ein Stufenkonzept aufgestellt, welches über einen Zeitraum von 2008 bis 2020 läuft. Es wurden Bauabschnitte angelegt, um einen möglichst störungsfreien Schulbetrieb zu gewährleisten. Dabei spielen exakte Bauabläufe eine wichtige Rolle. Die Durchführung der geplanten Maßnahmen als durchstrukturiertes Sanierungskonzept bringt viele Vorteile mit sich. Durch eine optimal koordinierte Arbeitsweise werden doppelte Arbeiten vermieden und aufgrund der blockweisen Ausschreibungen Kostenvorteile erzielt. Somit wird die Funktionsfähigkeit der Schule für die nächste Zeit gesichert und die Unterhaltungskosten werden auf ein Minimum reduziert. Die Sanierungsmaßnahmen umfassen im Wesentlichen brandschutztechnische Maßnahmen, Ausstattung der Fachklassen, baukonstruktive Maßnahmen sowie die Sanierung der Außenanlagen. Des Weiteren werden Contracting-Modelle untersucht und über Pädagogik und Betreuungshintergründe sowie die Bereiche außerhalb der Klassenräume (Schulstraße, Aufenthaltsbereiche) diskutiert.

Die Ausstattung der Fachklassen beinhaltet die Erneuerung der kompletten Raumausstattung inkl. der

Einrichtungsgegenstände. Böden, Wände, Decken und Türen zeigen nach 35 Jahren enorme Abnutzungserscheinungen, so dass diese ebenfalls Teil der Sanierungsmaßnahmen sein sollen.

Unter die baukonstruktiven Maßnahmen fallen die Fassaden- und Dachsanierung, sowie die Sanierung der Heizungs- und Lüftungsanlage. Die bestehende Haustechnik wird erneuert. Auch Sanitärinstallationen sowie Rohrleitungen müssen generalüberholt werden. Zusätzlich werden die elektrischen Anlagen hinsichtlich der Elektroverteilungen, der Installationsgeräte und der Beleuchtungskörper auf den neuesten Stand der Technik gebracht.

Eine Mess-, Steuer-, Regeltechnik wird installiert, die einhergehend mit der Errichtung einer Gebäudeleittechnik die Betriebskosten durch Minimierung des Energieeinsatzes reduziert, da der Betrieb der Anlagen individuell dem tatsächlichen Nutzerverhalten angepasst werden kann.

Bei dem derzeitigen Bestand existieren keine Kontrollmöglichkeiten der Gebäudetechnik, somit wird das gesamte Gebäude im Tagbetrieb sowohl beheizt als auch belüftet, ohne Berücksichtigung, ob die Räume belegt sind oder nicht. Weiterhin wird die in weiten Bereichen sanierungsbedürftige Außenanlage erneuert, die sich größtenteils noch im Originalzustand befindet.

REALISIERUNG VON SCHULGEBÄUDESANIERUNGEN DURCH DIE STADT SCHWÄBISCH HALL

Ständig wiederkehrende Mängel, insbesondere Mängel an Anlagenkomponenten, sind häufig Auslösefaktoren für Sanierungsmaßnahmen. Im Falle der Sanierung des Schulzentrums West waren vor allem erhebliche Mängel an den technischen Anlagen zu verzeichnen. Ständige Ausfälle der Lüftung und Heizung waren zu verzeichnen, was auch zweifellos mit dem Zustand der 40 Jahre alten Anlagen zu tun hatte. Ersatzteile für die Instandsetzung der Anlagen waren auf Grund des Alters der Anlage nicht mehr lieferbar. Aufsummiert traten immer mehr Mängel auf, die mit den üblichen Mitteln der Bauunterhaltung nicht mehr zu bewältigen waren. Somit wurde die Entscheidung zur Komplettsanierung getroffen.

Die Überwachung der Bestandsgebäude findet hauptsächlich durch Rückkopplung mit dem Hausmeister, den Nutzern und der Schulleitung in regelmäßigen Abständen statt. Aber auch regelmäßige Baubegehungen tragen zur Erfassung bei. Somit sind der Bestand und die vorhandenen Mängel gut dokumentiert. Fördermittel sind im Allgemeinen nicht sanierungsentscheidend, werden aber bei Sanierungsvorhaben rechtzeitig berücksichtigt. Ein Energiebeauftragter prüft bei einer anstehenden Sanierung, ob passende Fördermittel zur Verfügung stehen. Innerhalb der Verwaltungsstruktur existieren Teams für die Bauunterhaltung. Diese sind hauptsächlich für die Planung, Umsetzung der Bau- und Sanierungsvorhaben sowie für die Bestandüberwachung zuständig. Eigene Leitlinien existieren in Form von Energiestandards, die bei baulichen Umsetzungsmaßnahmen eingesetzt werden. Weiterhin gibt es eigens entwickelte Befragungsbögen, welche zur Erfassung der Nutzeranforderungen dienen. Die frühzeitige Beteiligung der Nutzer am Sanierungsprozess erfolgt mithilfe dieser Fragebögen.

C.4 Bärbel-von-Ottenheim-Gemeinschaftsschule, Schwanau

Schwanau ist eine kleine Gemeinde in Baden-Württemberg mit ca. 6.800 Einwohnern und gehört zum Ortenaukreis. Die Gemeinde besitzt zwei Schulen. Eine Grundschule im Ortsteil Nonnenweier mit Außenstelle in Allmannsweier mit ca. 200 – und die Bärbel-von-Ottenheim-Gemeinschaftsschule mit 260 Schülerinnen und Schülern.

Im Jahr 1963 wurde das Gemeinschaftsschulzentrum erbaut. 1996 ist die Anlage durch einen Verwal-

tungstrakt sowie Technikräume erweitert worden. Aufgrund enormer Bauteilmängel hat man sich 2008 für eine Komplettsanierung entschieden. In den Entscheidungsprozess flossen nicht nur die erheblichen Defizite am Bauwerk ein, sondern auch die Anpassung der Schule an eine mögliche Nutzungsänderung. Somit beschloss man den Erhalt des Schulzentrums als Werkrealschule. Augenblicklich ist die Bärbel-von-Ottenheim-Schule die einzige Gemeinschaftsschule des Ortenaukreises.



Bild 8: Hauptgebäude



Bild 9: Mensa

PROJEKTBE SCHREIBUNG

Im neuen Konzept des Schulzentrums wird eine energetische und bauphysikalische Verbesserung der Bausubstanz zur Minimierung der Energiekosten verfolgt. Eine energetische Lösung, 3-fach-verglaste Fenster mit Holzrahmen und Aluminiumbeschlägen, Vollwärmeschutz auf den alten Betonaußenwänden und überdämmte Fensterrahmen, wurde realisiert. Somit erreicht der Wand- und Fensterbereich nahezu Passivhausstandard. Zur Stromerzeugung sind auf den Dächern des Schulgebäudes Photovoltaik-elemente angebracht.

Der Schwerpunkt der Sanierungsmaßnahmen liegt in lern- und gesundheitsförderlichen Einrichtungen für den regulären Schulbetrieb. Das aus den Kernzielen entwickelte Konzept basiert auf dem Zusammenspiel von sechs Hauptkomponenten. Dazu zählen ein angenehmes Raumklima, eine effektive Lüftungsanlage, eine wirkungsvolle Raumakustik und Beleuchtungsstrategie sowie der Einsatz von Farben und ergonomisch geformtem Mobiliar.

GEBÄUDEDATEN	
Bauherr	Gemeinde Schwanau
Standort	Schwarzwaldstraße 10, 77963 Schwanau, Baden-Württemberg
Projektstatus	abgeschlossen
Baujahr	1963 Schulzentrum 1996 Verwaltungstrakt und Technikräume
Sanierungszeitraum	2008–2012
Bruttogrundfläche	
Beheizte Nettogrundfläche	1.954,6 m ² (Gebäudenutzfläche)
Bruttorauminhalt	6.108,1 m ³ (beheiztes Gebäudevolumen)
A/V-Verhältnis vor Sanierung	0,49 m ² /m ³
A/V-Verhältnis nach Sanierung	0,45 m ² /m ³
Anzahl der Klassenräume	19
Anzahl der Schüler	Gemeinschaftsschule 260 Schüler

SANIERUNGSKONZEPT

Das neue Lüftungskonzept beinhaltet eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage, welche durch den Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft (CO₂-Gehalt) gesteuert wird. Weiterhin ist die Anlage mit hocheffizientem Doppelkreuzstromwärmestauscher ausgestattet. Zur Nachtlüftung wird ein Abluftbetrieb mit automatischer Kippfunktion bei den Oberlichtern realisiert. Die Lüftung schaltet ab, sobald die Fenster geöffnet sind. Somit wird eine optimale Luftqualität gesichert. Durch Fensterkontakte werden zudem Energieverluste minimiert.

Das Heizungssystem wurde komplett erneuert und besitzt eine zusätzliche Kühlfunktion. Die Räume sind mit Einzelraumregelung ausgestattet und über die Gebäudeleittechnik gesteuert. Als Besonderheit der Sanäreinrichtung wurden wasserlose Urinale eingesetzt.

Für ein ruhiges und konzentriertes Lernumfeld mit guter Sprachverständlichkeit ist die Beachtung der Raumakustik sinnvoll. Dazu gehört der Einbau von schallabsorbierenden Materialien an Decken und Wänden. Zudem integriert die Schule schallabsorbierende Einrichtungen, beispielsweise durch akustisch wirksame Pinnwände.



Bild 10: Frontalunterricht

Die neue Beleuchtungsstrategie sieht unter Einhaltung einer flexiblen und tageslichtabhängigen Lichtsteuerung eine Mindeststärke von 500 lx vor und wird durch Tageslichtsensoren und Präsenzmelder gesteuert. Die Jalousiesteuerung erfolgt über Lichtsensoren, dabei wird auch der sommerliche Wärmeschutz gewährleistet. Hinzu kommt die Verwendung von hellen Farben für eine angenehme Lernatmosphäre.

In Anbetracht der langen Sitzstellung eines Schülers während des Schulbetriebes wird mithilfe von ergonomischen Möbeln die dynamische und richtige Körperhaltung begünstigt bzw. unterstützt. Zudem können die mit Rollen versehenen Tische und Stühle an unterschiedliche Lernsituationen angepasst werden. Die Schulmöbel sind sowohl für Gruppen- als auch Einzelarbeit einsetzbar. Höhenverstellbare Einzeltische und Stühle können an die Größenunterschiede der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Neben Stehtischen sind ebenso bis 16° neigbare Tischplatten vorgesehen.

Die funktionale Einrichtung unterstützt moderne Unterrichtsformen und -strukturen. Abwechslungsreiche Varianten können ohne großen Zeitaufwand realisiert werden.



Bild 11: Gruppenarbeit

REALISIERUNG VON SCHUL- GEBÄUDESANIERUNGEN DURCH DIE GEMEINDE SCHWANAU

Auch in Schwanau führten mehrere Auslösefaktoren zum Start des Sanierungsvorhabens. Erhebliche Baumängel und die Umstrukturierung zur Werkrealschule waren ausschlaggebende Faktoren. Die Projekte werden ihrer Dringlichkeit hinsichtlich Bauschäden und Nutzungsbedarf priorisiert. Mit dem Entschluss der Kernsanierung wurden auch die Wünsche der Nutzer in den Sanierungsprozess mit einbezogen.

Aus der Bausumme von 4,4 Mio. Euro stammen 227.000 Euro aus dem Konjunkturpaket II. Weitere 200.000 Euro Fördergelder standen für den Mensaanbau zur Verfügung. Daraus ist erkennbar, dass die Fördergelder für eine Sanierungsentscheidung eher nicht relevant waren.

Die Verwaltungsstruktur im Rathaus ist überschaubar. Im Unterschied zu Großstädten findet in der Gemeinde eine enge Kooperation mit Schulleitung, Fachfirmen und Nutzern statt. Diese werden schon zu Beginn des Projektes mit einbezogen. Nutzeranforderungen können direkt mitgeteilt werden. Dabei ist auch die Einweisung der Nutzer in die neuen Technologien essentiell. Davon hängt die Effizienz der Anlagen ab. Die Sanierungskonzepte werden auf die spezifischen Gegebenheiten und Anforderungen mit Hilfe von Fachplanern auf das jeweilige Projekt zu geschnitten.

D Bildnachweise

Bild-Nr.	Bezeichnung	Urheber
	Titelabbildungen	fotolia.com
1	Lüftungsampel (CO ₂ -Konzentration) und Lärmampel (Schallpegel) im Raum geben Hinweise für den Nutzer	Fraunhofer IBP
2	Die Grundsteine energieeffizienter Schulgebäude	Fraunhofer IBP
3	Hauptgebäude	Stadt Karlsruhe HGW Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft
4	Pilotklassenzimmer	Stadt Karlsruhe HGW Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft
5	Hauptgebäude	Stadt Freiburg Gebäudemanagement Freiburg
6	Chemieraum	Stadt Freiburg Gebäudemanagement Freiburg
7	Luftbild Schulzentrum West	Jürgen Weller Photographie Schwäbisch Hall
8	Hauptgebäude	Gemeinde Schwanau Bauamt
9	Mensa	Gemeinde Schwanau Bauamt
10	Frontalunterricht	VS Vereinigte Spezialmöbelfabriken GmbH
11	Gruppenarbeit	VS Vereinigte Spezialmöbelfabriken GmbH