

# BESSERES LERNEN in energieeffizienten Schulen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

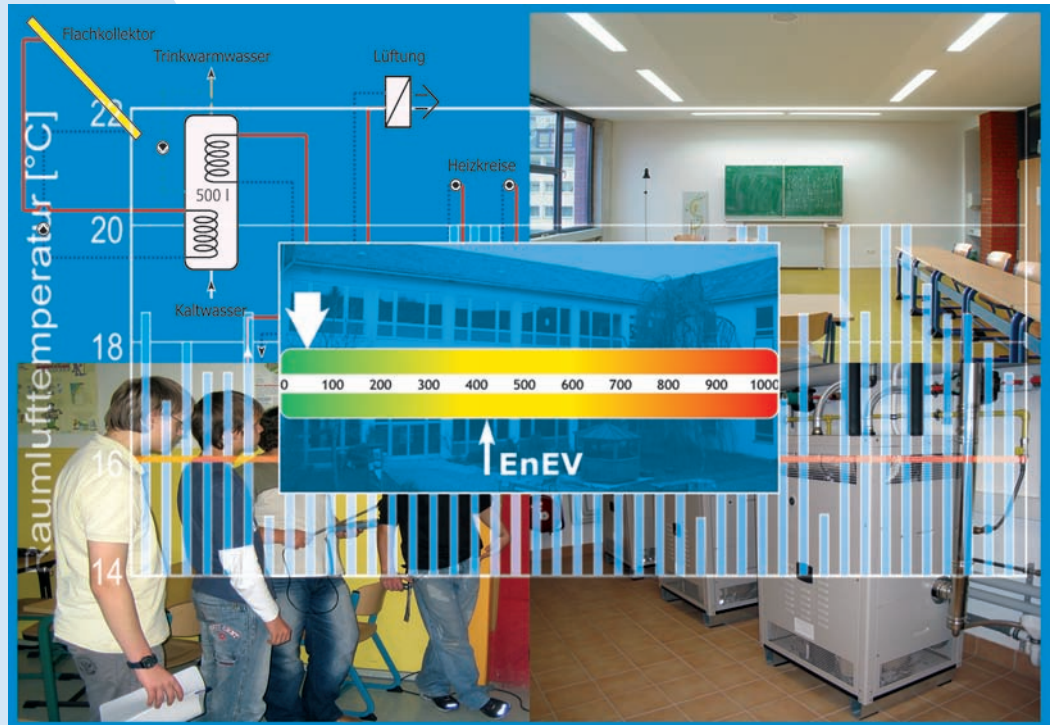


**EnOB**

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen




Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich



## LEITFADEN

Fraunhofer IRB  Verlag



Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IBP unzulässig und strafbar. Dieses gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Weiterführende Informationen zum Thema:

[www.eneff-schule.de](http://www.eneff-schule.de)

[www.enob.info](http://www.enob.info)

## GELEITWORT

Bei der Sanierung von Schulgebäuden geht es um folgende Ziele: Die in die Jahre gekommenen Gebäude instand zu halten, Energie einzusparen und gleichzeitig den Nutzerkomfort zu erhöhen sowie die Institution »Schule« soziokulturell aufzuwerten. Da das Raumklima einer Schule auch das Lernklima mit beeinflusst, geht es bei einer Sanierung um mehr als Energiekosten. Dabei stellen die verschiedenen Nutzer sehr komplexe Anforderungen an Architektur und Technik eines Schulgebäudes: Die einzelnen Räume (z. B. Klassen, Verwaltung, Sporthalle) werden unterschiedlich lange und zu verschiedenen Uhrzeiten genutzt, es gibt Ferienzeiten, die Räume müssen in Bezug auf Luftwechsel, Belichtung, Akustik und Blendung beachtliche Anforderungen erfüllen und nicht zuletzt auch Sicherheit, Hygiene und Schadstofffreiheit für Schüler und Lehrer garantieren.

Um diese Ziele zu erreichen, ist ein integraler Sanierungsansatz erforderlich, der sicherstellt, dass einerseits die angestrebte Energieeinsparung erzielt und andererseits die Lern- und Lehrbedingungen der Schüler und Lehrer optimiert werden. Dazu gehören vor allem angenehme Raumlufttemperaturen, gute Luftqualität und gute akustische und visuelle Verhältnisse.

Des Weiteren wird von Verhaltenswissenschaftlern immer wieder darauf hingewiesen, dass Energie- und Umweltbewusstsein schon in der Kindheit gefördert werden müssen. Schulprogramme gelten als wertvolles Instrument, um verschiedene Aktivitäten zur Bildung von Bewusstsein und Verhaltensweisen für eine nachhaltige Entwicklung zu bündeln und das Engagement der Lehrerinnen und Lehrer, der Eltern, der Schülerinnen und Schüler sowie weiterer Beteiligte und Multiplikatoren einzubeziehen. Dabei können Energie- und Umweltwissen sowie ein entsprechendes Bewusstsein mit dem Ziel einer »Ökologisierung des Schulalltags« vermittelt werden.

Alle diese Aspekte werden in dem vorliegenden Leitfaden angesprochen und verdeutlicht. Wir hoffen, dass er eine weite Verbreitung und viele Nachahmer findet.

Dr. Knut Kübler

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)



## INHALT

Geleitwort .....	3
Inhalt .....	4
Vorwort .....	5
Was macht energieeffiziente Schulen aus? .....	6
Schulgebäude werden nicht rund um die Uhr genutzt .....	7
Physikalische Bedingungen .....	8
Bedienkomfort und Nutzerakzeptanz .....	9
Betriebsoptimierung .....	10
Warum müssen wir lüften? .....	12
Behaglichkeit durch geeignete Raumtemperaturregelung .....	14
Energieeffiziente Heizungssysteme .....	15
Gute Beleuchtung für konzentriertes Lernen .....	16
Energie in der Schule .....	17

## VORWORT

# Energieeffizienz soll gute Lernbedingungen schaffen

Die Verbesserung der energetischen Qualität von Schulgebäuden ist eine vordringliche Aufgabe für die öffentliche Hand, für Schulträger und Planer. Energieeffizienz führt nicht nur zu geringeren Betriebskosten über den Lebenszyklus einer Schule, sie kann auch dazu beitragen, eine behagliche Schumatmosphäre zu schaffen und darüber hinaus pädagogisch genutzt werden, um den nachhaltigen Umgang mit Energie zu vermitteln.

In Zukunft werden die Kinder und Jugendlichen noch mehr Zeit in der Schule verbringen als bisher. Die Schule muss diesen und weiteren veränderten Anforderungen gerecht werden, die auch die bauliche und technische Gestaltung der Schulgebäude betreffen. Gefragt sind gesamtheitliche Lösungen, die Bau und Technik einerseits, den Menschen und das Nutzungsverhalten andererseits einbeziehen.

## Staatliche Förderung der energetischen Sanierung von Schulen

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, eine hohe Qualität und eine nachhaltige Gestaltung von Schulgebäuden zu fördern. Neben dazu aufgelegten Investitionspaketen für eine Breitenwirkung werden auch »Leuchtturmprojekte« unterstützt, die einen besonders niedrigen Energieverbrauch oder sogar ein Plus an Energieerzeugung gegenüber dem Bedarf bei gleichzeitig hoher Nutzungsqualität aufweisen. Im Rahmen des Programms »Energieeffiziente Schulen (EnEff:Schule)«, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert wird, ist eine Begleitforschung vorgesehen. Sie soll sicherstellen, dass eine umfassende Planung stattfindet, die verwendeten Maßnahmen benutzerfreundlich sind und die Energieeffizienzziele in den Gebäuden erreicht werden. Im Rahmen der Begleitforschung geht es auch darum, Ergebnisse von Forschungsprojekten mit ähnlicher Ausrichtung zu sammeln, aufzubereiten und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. In diesem Rahmen ist die vorliegende Broschüre entstanden. Sie richtet sich an alle, die mit Schulgebäuden zu tun haben – von der Kommunalverwaltung und den Planern bis hin zu Lehrern, Hausmeistern und Schülern. Sie soll ein Leitfaden sein, der Anforderungen an die energieeffiziente Schule und innovative Lösungen unter Einbezug der Wirkungen auf die Nutzer darstellt.

## Überblick zum Inhalt

Zu Beginn werden grundlegende Begriffe und Rahmenbedingungen für moderne Schulgebäude erläutert. Im Mittelpunkt steht das Behaglichkeitsgefühl in den Räumen, das als Voraussetzung für effektives Lehren und Lernen angesehen wird. Es gibt vielfältige Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit, die von Gebäudeeigenschaften und verwendeten technischen Lösungen abhängen. Vor allem bedarf es angenehmer Raumlufttemperaturen, einer guten Luftqualität und guter visueller Verhältnisse. Auf diese Bereiche geht der Leitfaden ausführlich ein. So wird etwa der Lüftung in Schulen üblicherweise zu wenig Beachtung geschenkt; schlechte Luft kann aber die Lernfähigkeit erheblich beeinträchtigen. Dieses Problem ist jedoch nicht einfach zu lösen. Eine weitere Herausforderung stellt die Regelung der Raumtemperatur bei unterschiedlichen Nutzungsbedingungen dar. Auch die Beleuchtung ist häufig verbesserungsbedürftig.

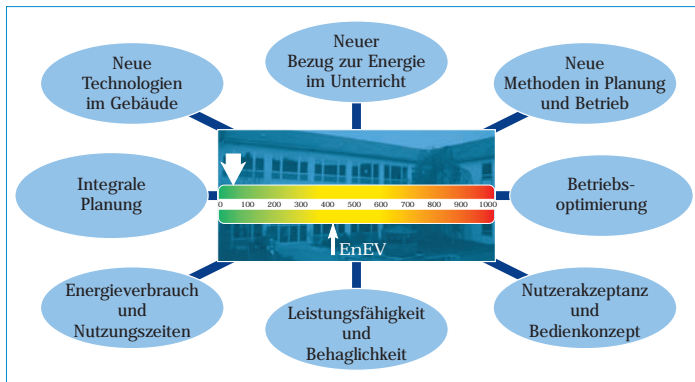
Generell stellt sich die Frage, inwieweit allein die Technik für Energieeffizienz und Behaglichkeit sorgt und welche Rolle den Nutzern zukommen kann und soll. Auf jeden Fall ist Handeln gefragt, wenn es um die Betriebsoptimierung von Anlagen geht. Gezielte Messungen und nachfolgende Maßnahmen haben in Beispielgebäuden erhebliche Energieeinsparungen gebracht. Eine wichtige Schnittstelle zwischen Technik und Nutzer ist auch die Visualisierung von Verbrauchswerten und Zustandsfaktoren, um einerseits überhaupt Einfluss nehmen zu können und andererseits – gerade in der Schule – daran lernen zu können.

Einstellungen und Verhaltensweisen werden schon früh geprägt. Energieeffizienz-Maßnahmen in der Schule im Zusammenhang mit Sanierung, Neubau oder auch im ganz normalen Schulbetrieb eignen sich hervorragend, Wissen über Energie zu vermitteln und die Schüler zu energiebewusstem Verhalten zu motivieren. Lehrkonzepte liegen vor; sie können unmittelbar umgesetzt werden.

## Was macht energieeffiziente Schulen aus?

### Innovativ sein

In der Forschung findet eine Entwicklung in Richtung Hightech bei der Haustechnik zur Integration in Schulen statt. Das kann jedoch nicht der einzige Ansatz sein; neue Methoden zur Verbesserung des räumlichen Umfelds und damit der äußeren Lernbedingungen von Schülern müssen gesucht werden.



Integrierte Planungsansätze halten mehr und mehr Einzug bei Planern und Architekten. So kann gemeinsam auf eine verbesserte Behaglichkeit und eine gesteigerte Leistungsfähigkeit der Schüler gezielt werden.

Im täglichen Sprachgebrauch benutzt man »innovativ«, um von neuen Ideen und Erfindungen und deren wirtschaftlicher Umsetzung zu sprechen. Innovative Hightech-Schulen müssen mehr sein als lediglich eine Aneinanderreihung neuer High-End-Gebäudetechniken. So müssen die Nutzer, also die Schüler und Lehrer, verstärkt in den Fokus rücken.

### Umfeld der Schulen

Der Betrachtung des ökonomischen und ökologischen Umfelds der Schulen ist ebenfalls große Bedeutung zuzumessen.

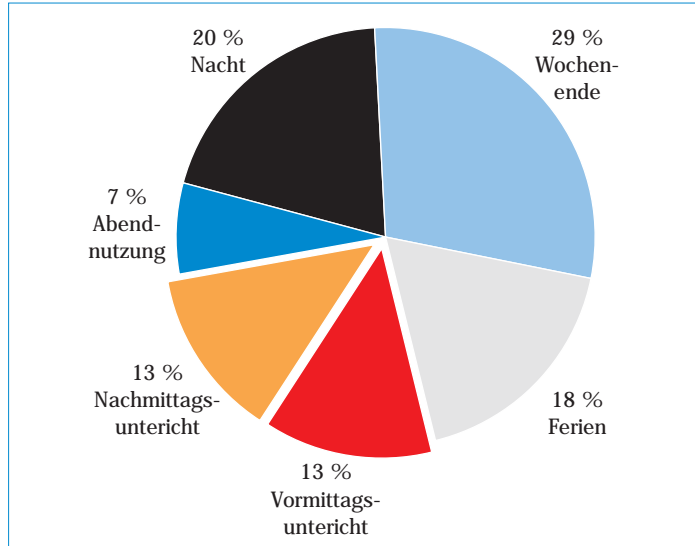
Neben dem Einzug neuer Technologien ins Gebäude, die es heute im Vergleich zu den früheren Baujahren unserer meisten Schulen in großer Menge gibt, sind neue Ansätze in der Planung notwendig. So setzen sich heute immer mehr Architekten frühzeitig mit den Ingenieuren und Fachplanern zusammen und erarbeiten Lösungen. Auf diese intelligente Weise muss nicht hinterher eine energetische und wirtschaftliche Betriebsweise um das Gebäude herum gestrickt werden, sondern es wird ein in vielen Punkten optimales Bauvorhaben verwirklicht.

Daneben braucht es vor allem einen neuen Bezug zur Energie im Unterricht. Den Schülern kann mit modernen Schulgebäuden ein nachhaltiger Umgang mit jedweder Art von Energie und deren Einsparpotenzialen gezeigt werden. Dazu braucht es lediglich einige Messtechnik und ein geeignetes Monitoringsystem, um die Verbräuche der einzelnen Klassenzimmer zu visualisieren.

Ein niedriger Energieverbrauch und optimierte Nutzungszeiten bilden eine gute Grundlage. Eine angenehme Behaglichkeit und die dadurch zu steigende Leistungsfähigkeit der Schüler treten in den Vordergrund. Energieeffiziente Schulen bestehen durch eine hohe Nutzerakzeptanz und ein einwandfreies Bedienkonzept, das mit einer integralen Planung und einer Betriebsoptimierung realisiert werden kann.

## Schulen werden nicht rund um die Uhr genutzt

Wie lange werden Schulen tatsächlich genutzt?



Betrachtet man die tatsächlichen Nutzungszeiten, so wird deutlich, dass nur rund ein Viertel der Zeit für Unterrichtszwecke genutzt wird.

Von den 8.760 Stunden des Jahres entfallen 20 % auf die Nachtstunden, 29 % auf Wochenendzeiten und weitere 18 % auf Ferienzeiten. Zieht man nun noch 7 % Abendnutzungen – bei denen üblicherweise nur einzelne Räume belegt sind – von der Gesamtstundenzahl ab, bleiben 13 % für den Unterricht vormittags und 13 % für den Nachmittagsunterricht übrig. Das sind nur noch jeweils 1.140 Stunden im Jahr, an denen die Schulen im »Normalbetrieb« sind. Somit wird das Gebäude effektiv nur zu rund einem Viertel der Gesamtzeit für schulische Unterrichtszwecke genutzt.

Wegen dieser geringen Nutzungszeit des Gebäudes ist der Anpassung von Betriebszeiten und den dazu benötigten Sollwerten hohe Aufmerksamkeit zu widmen.

Als Leitgedanke sei hier festgehalten: Am geringsten ist der Energieverbrauch, wenn alle Energieverbraucher abgeschaltet sind.



Am geringsten ist der Energieverbrauch, wenn alle Energieverbraucher abgeschaltet sind.  
Bildquelle: Dominik Schwarz

### Einzelraumregelungen helfen Energie sparen

Eine Einzelraumregelung optimiert die bedarfsgerechte Zufuhr von Licht, Luft und Wärme sowie, wenn im Schulgebäude vorhanden, auch die Kälte.

Mit Hilfe einer Einzelraumregelung kann also der Energieverbrauch von Gebäuden inner- und außerhalb der Nutzungszeiten reduziert werden. Das wird hauptsächlich durch separate Regelung einzelner Räume entsprechend einem festgelegten Nutzungsprofil erreicht. Damit kann eine raumspezifische Abschaltung beispielsweise der Heizungsanlage gefahren werden. Im Gegensatz zu einer flurweisen An- oder Abschaltung der Heizung kann mit dieser Technik bei z. B. einer gesonderten Abendnutzung eines Raumes auch nur der benötigte Raum konditioniert werden.

### Weitere Vorteile der Einzelraumregelung

Darüber hinaus kann mittels der Einzelraumregelung auf mögliche Energieverschwendungen Einfluss genommen werden. So schaltet sich die Heizung im Raum automatisch ab, wenn ein Fenster geöffnet wird, und das Licht schaltet sich, bei Anwesenheit von Personen, tageslichtabhängig selbstständig ein oder aus.

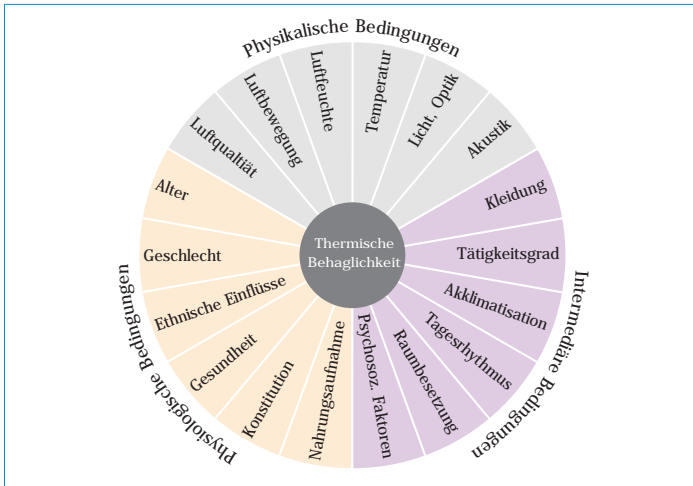
Sind nach Beendigung des Unterrichts noch Fenster geöffnet, erhält der Hausmeister eine Meldung auf seinen Monitor und kann diese schließen, um ein winterliches Auskühlen über Nacht zu verhindern.

## Physikalische Bedingungen

Die thermische Behaglichkeit eines Menschen hängt von vielen unterschiedlichen Bedingungen ab.

Die physikalischen Bedingungen Luftqualität, Luftbewegung, Luftfeuchte, Temperatur, Licht und Akustik können durch eine integrale Planung von Architekten und Ingenieuren positiv beeinflusst werden.

Die Akustik und das Tageslicht im Raum sind in aller Regel nach dem Bau nicht mehr maßgeblich veränderbar. Bei Luftqualität, Luftfeuchte und der Temperatur ist die Gebäudetechnik in der Lage, stetige Korrekturen durchzuführen.



Die Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit sind vielfältig. Die physikalischen Bedingungen können durch die Technik beeinflusst werden.

### Beispielzahlen

Eine Klasse mit 30 Schülern benötigt pro Stunde ca. 750 m<sup>3</sup> Frischluft und produziert ca. 3,5 kWh Wärme, ca. 1,5 kg Feuchte/Wasserdampf und ca. 500 Liter CO<sub>2</sub>. Der gezielten Abfuhr dieser inneren Lasten muss aus Gründen der Hygiene und der Leistungsfähigkeit der Schüler ein höherer Stellenwert eingeräumt werden als bisher. Heute wird oft nur der geregelten Zufuhr von Wärme in Schulen Beachtung geschenkt.



Das behagliche Raumklima setzt sich aus den hier gezeigten Einflussfaktoren zusammen.

### Luftqualität

Als Kennzahl zur Bestimmung einer »guten« Luftqualität wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft herangezogen. In Fachkreisen gilt ein CO<sub>2</sub>-Wert von 1.000 ppm (parts per million) als oberer Grenzwert. Dieser Wert kann jedoch im Klassenraum schnell überschritten werden.

### Luftfeuchte

Bei einer Raumtemperatur von 22 °C kann die relative Luftfeuchte zwischen 20 und 75 % liegen, damit sie als behaglich empfunden wird. Aus hygienischen Gründen (wie z. B. Austrocknung der Schleimhäute bei zu trockener Luft und vermehrte Schimmelpilzbildung an den Wänden bei zu feuchter Luft) ist aber eine relative Luftfeuchte zwischen 40 und 60 % zu empfehlen.

### Temperatur

Die empfundene Raumtemperatur setzt sich zusammen aus dem arithmetischen Mittel der mittleren Wandoberflächentemperatur und der Raumlufttemperatur. Der Unterschied zwischen beiden Temperaturen sollte nicht größer sein als 3 Kelvin, um noch als behaglich zu gelten. In der Regel spricht man von Behaglichkeit, wenn die so ermittelte empfundene Temperatur ca. 22 °C beträgt. Als Größenordnung ist in Fachkreisen bekannt, dass bei nur 1 Kelvin Raumtemperaturabsenkung eine Energieeinsparung von 7 bis 10 % realistisch ist.



## Bedienkomfort und Nutzerakzeptanz

Im Schulalltag sind heute meist nur konventionelle Gebäudetechniken wie Lichtschalter oder Fenstergriffe bedienbar. Beim Verlassen des Raumes wird meist auf das Ausschalten des Lichts geachtet, während Thermostatventile, wenn sie bedienbar sind, eher unbeachtet bleiben.

### Moderne Schulen

Zukünftig sind zwei unterschiedliche Wege zur Steigerung der Energieeffizienz möglich. Zum einen wird es Schulen geben, die ihre Schüler verstärkt in den Energieverbrauch des Gebäudes mit einbeziehen. Hierzu können beispielsweise die Behaglichkeitszustände der Raumluft (Temperatur, Luftqualität) im Klassenraum visualisiert werden. Unterschiedliche so genannte »Miefampeln« sind derzeit bereits am Markt erhältlich, um den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft abzubilden. Daraufhin kann durch Fensteröffnen die Qualität der Raumluft aktiv verbessert werden.

Die Beispiele der modernen Handys und mobilen Computerspiele zeigen, wie schnell Jugendliche die unterschiedlichen Bedienoberflächen erlernen. Es müssen demnach geeignete Bedien- und Visualisierungsoberflächen entwickelt werden, die den Schülern die einzelnen Möglichkeiten ihrer Einflussnahme im Schulalltag zeigen und erlauben.

Zum anderen werden Schulgebäude bereits energetisch vollautomatisiert ausgeführt. In diesen Gebäuden hat der Nutzer, sprich Schüler und Lehrer, wenige Möglichkeiten, in den Energieverbrauch einzugreifen. Die Verbrauchswerte gehen in diesen Schulen zurück. Das Gebäude reagiert mit Fehlermeldungen auf fehlerhaftes Betreiben und reduziert damit auf Dauer die Eingriffe der Nutzer; die Gebäudeautomation regelt sich selbstständig und verbrauchsoptimiert. Der Lerneffekt und das zu weckende Verständnis für Energie muss jedoch in diesen Schulen anders angegangen werden.

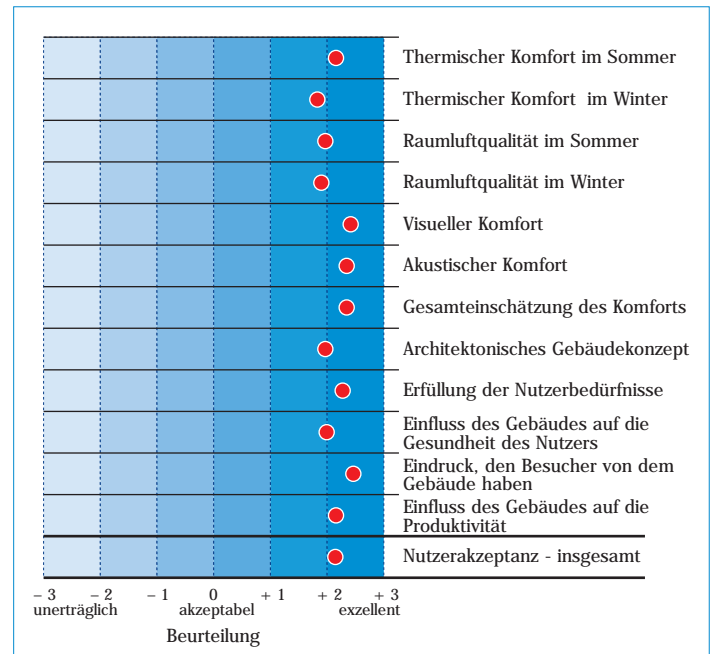
### Studien zur Akzeptanz der Schüler

Eine kürzlich durchgeführte Studie zur Nutzerakzeptanz an der neu gebauten und vollautomatisierten Gebhard-Müller-Schule in Biberach a. d. Riß offenbart wichtige Rückmeldungen für zukünftige Planungen anderer Schulen. Die Schüler wurden befragt, wie sie sich an ihrer Schule fühlen. 92 % der Befragten fühlen sich sehr wohl. 86 % würden ihre Schule an Bekannte

weiterempfehlen. 99 % der Schüler sind der Meinung, dass die technische Ausstattung ihrer Schule auf dem neuesten Stand der Technik ist. Jeder Zweite benutzt das Adjektiv »modern«, um seine Schule zu beschreiben.

In einer weiteren Studie der Universität Dortmund im Rahmen des internationalen Projektes EULEB (weiterführende Infos im Internet unter [www.euleb.info](http://www.euleb.info)), die an der Biberacher Schule durchgeführt wurde, konnte ebenfalls die hohe Nutzerakzeptanz der Schüler belegt werden.

Heute kann demnach ein Umfeld für Schüler geschaffen werden, das ihnen ermöglicht, voller Spaß, in kreativer Umgebung, bessere Schulleistungen zu erzielen. Egal, ob mit verstärktem Einbezug der Jugendlichen oder in einer energetisch vollautomatisierten Schule: Der Nutzer darf in allen zukünftigen Projekten nicht außer Acht gelassen werden.



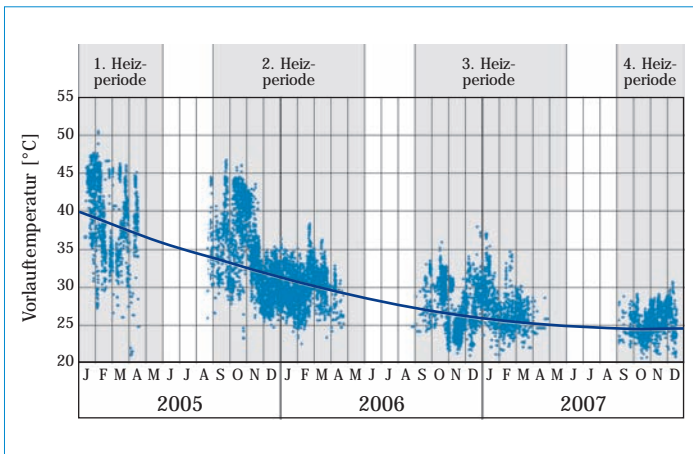
Ergebnisse zur Behaglichkeitsuntersuchung in der Gebhard-Müller-Schule Biberach. Quelle: Projekt EULEB – »European high quality Low Energy Buildings«. Informations-Portal mit Unterstützung der Europäischen Kommission (2005-2006) – [www.euleb.info](http://www.euleb.info).

## Betriebsoptimierung

Die Gebhard-Müller-Schule als Kreis-Berufsschulzentrum (BSZ) Biberach ist eine 2004 fertig gestellte, energetisch vollautomatisierte Schule, die über 1.600 Schülern ein neues Lernumfeld bietet. Das Schulgebäude wurde mit neuester Technik ausgestattet, wie z. B. zwei ans Grundwasser angeschlossenen Wärmepumpen, einer Pelletheizung zur Spitzenlastabdeckung, drei zentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und in allen Hauptnutzungsbereichen zur Übergabe mit thermoaktiven Bauteilsystemen zum Heizen und Kühlen. An diesem Beispiel lässt sich die Wichtigkeit einer durchgeführten Betriebsoptimierung eindringlich zeigen. Ab dem Beginn der laufenden Betriebsphase wurde die mit ausführlicher Messtechnik versehene Schule auf Herz und Nieren geprüft. Die Messungen wiesen auf enormes Einsparpotenzial hin.

### Absenkung der Vorlauftemperaturen

Die Vorlauftemperaturen der Wärmepumpenanlage lagen im Jahr 2005 mit 50 °C viel zu hoch und waren nicht planungsgemäß. In den Folgejahren konnte die Temperatur auf unter 40 °C gesenkt werden. Durch ständige Überwachung und Einflussnahme auf die Vorlauftemperaturen im Rahmen des Monitorings wurden in der 4. Heizperiode 2007/2008 erstmals die ursprünglich geplanten Werte von durchweg unter 35 °C erreicht.



Messwerte der Vorlauftemperaturen der Wärmepumpenanlage. Die anfangs zu hohen Temperaturen konnten 2007 auf unter 35 °C gehalten werden. Quelle \*)

### Verringern der Stromaufnahme

Durch mehrere Maßnahmen, die alle direkt aus dem durchgeführten Monitoring resultierten, konnte der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe im Laufe von drei Jahren Beobachtungszeit von 7.000 auf unter 4.000 kWh pro Monat gesenkt werden. Um nur einige zu nennen, seien hier die Veränderung der Ladezeiten der Betonkerntemperierung (BKT), die Veränderung der Schaltzeiten einzelner untergeordneter Heizkreise und die Modifizierung der Kühlkennlinien der einzelnen BKT-Hauptkreise genannt.

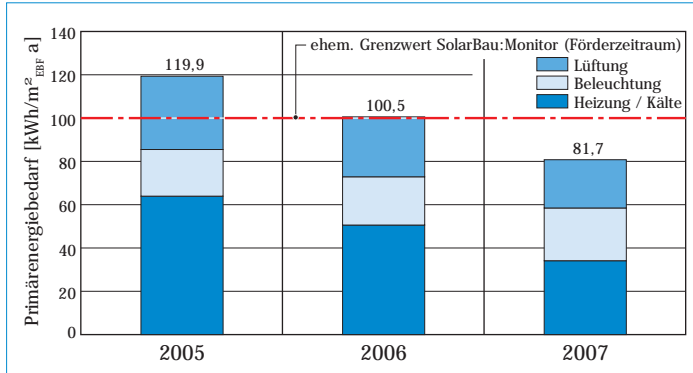
Die durchgeführten Maßnahmen betrafen nicht nur die Grundwasseranlage selbst, sondern auch die gesamte angeschlossene Systemtechnik im Gebäude. Hieran ist zu erkennen, dass die Sicherstellung der Energieeffizienz geothermischer Anlagen den gesamten Bereich der System-, Anlagen- sowie Regelungstechnik umfasst und deshalb ein Gewerke übergreifendes Thema darstellt.

### Reduzierung von Einschaltvorgängen

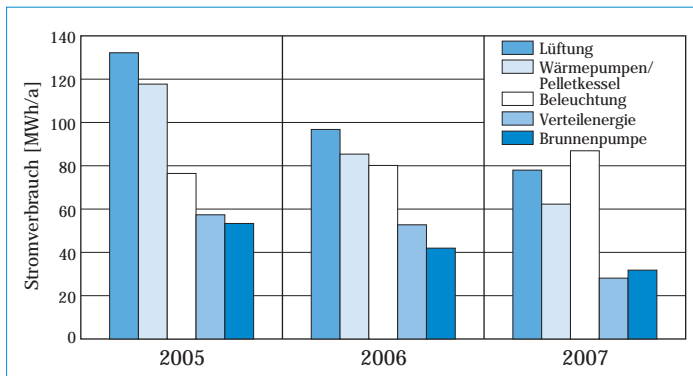
Zu einer weiteren Optimierung der Wärmebereitstellung führten Untersuchungen zur Wärmeabgabe und zur Stromaufnahme der Wärmepumpenanlage in Abhängigkeit von den zugeschalteten Verdichterstufen. Somit konnte die Anzahl der Anläufe der beiden Wärmepumpenaggregate von über 50 Startvorgängen auf unter 18 pro Tag reduziert werden.

### Einsparpotenzial

Der jährliche Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen, Belüften und Beleuchtung einschließlich Hilfsenergie (ohne Verbrauch von Geräten wie PC, Drucker etc.) der betrachteten Schule wurde von 119 kWh/m<sup>2</sup> im Anfangsjahr 2005 bereits 2006 auf den im Fördervorhaben definierten primärenergetischen Grenzwert von 100 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt. Mit den durchgeführten Verbesserungsmaßnahmen wurde der Grenzwert 2007 mit 81,7 kWh/m<sup>2</sup>a sogar noch deutlich unterschritten. Beispielhaft sind hier zwei der durchgeführten Maßnahmen aufgeführt. Zum einen der optimierte Betrieb der Grundwasser-Förderpumpe und zum anderen die nachträglichen baulichen Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäude-Luftdichtheit.



Senkung des jährlichen Primärenergiebedarfs um über 30 % im Betrachtungszeitraum. Quelle \*)



Der Stromverbrauch konnte durch die Beobachtung ebenfalls eindeutig gesenkt werden. Quelle \*)

## Heizenergieverbrauch

Auch die Messwerte für den jährlichen spezifischen Heizwärmeverbrauch des Gebäudes verdeutlichen den Einfluss der Betriebsoptimierung und der Beseitigung der Gewährleistungsmängel.

## Stromverbrauch

Der Stromverbrauch für die Raumkonditionierung ist nach Verbrauch der Lüftungsanlagen, Beleuchtung, Wärmepumpen und Grundwasser-Brunnenanlage sowie der Umwälzpumpen für Heizung und Kälte aufgeschlüsselt.

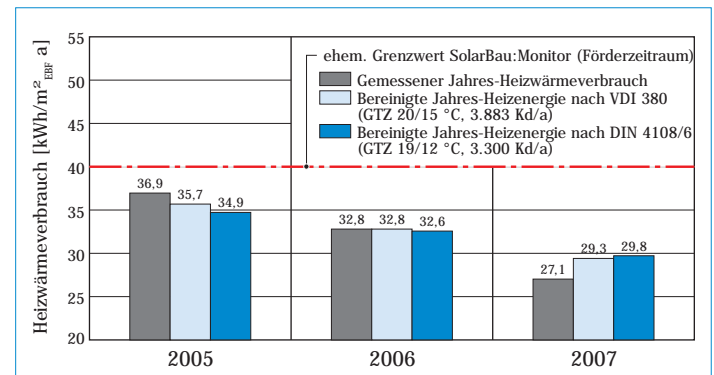
Bei diesen Punkten konnte jedes Jahr durch die Maßnahmen der Betriebsoptimierung der Verbrauch gesenkt werden. So belief sich der gemessene Verbrauch auf 426 MWh im Jahr 2005. 2007 wurde eine Reduzierung um 32,6 % auf 287 MWh realisiert. Der Verbrauchsanstieg der Beleuchtung um insgesamt 14,1 % ist auf die zunehmend intensive Nutzung des Schulgebäudes zurückzuführen.

## Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes

Mit den genannten Maßnahmen konnte der Ausstoß an CO<sub>2</sub> der Schule um 31 % gesenkt werden. Wohlgermerkt nur durch die Betriebsoptimierungen und somit ohne weiteren finanziellen Aufwand. Das muss Anreiz für alle sein, ihre Anlagen zu überprüfen.

## Betriebsoptimierung ist keine Mängelbeseitigung

Die Betriebsoptimierung darf allerdings nicht mit der Beseitigung technischer Mängel gleichgesetzt werden. Vielmehr ist sie ein Instrument, um – nur durch Beobachtung – kostenlos den bereits niedrig geplanten Energieverbrauch weiter zu senken. Das Zusammenspiel unterschiedlicher Komponenten, wie Kessel und Wärmepumpe, muss aufeinander abgestimmt werden. Nur so ist ein effizienter Betrieb möglich.



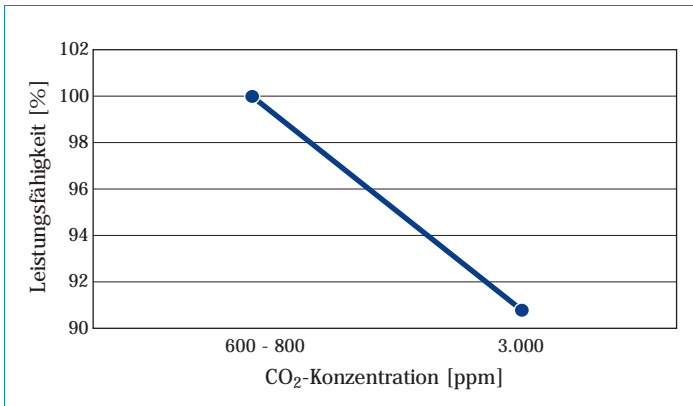
Die Messergebnisse des jährlichen Heizwärmeverbrauches verdeutlichen den Einfluss der Betriebsoptimierung. Infolge der milden Außenlufttemperaturen liegt der temperaturbereinigte Verbrauch im Jahr 2007 über dem gemessenen Verbrauch.

\*) Quelle aller Grafiken dieses Kapitels: S. Heinrich, R. Koenigsdorff et al: Abschlussbericht zum Vorhaben »Wissenschaftliche Begleitung und messtechnische Evaluierung des Neubaus der Gebhard-Müller-Schule des Kreis-Berufsschulzentrums Biberach«. Reihe »Wissenschaft und Praxis«, Bd. 152 (2008), ISSN 1615-4266.

## Warum müssen wir lüften?

Eine gute Luftqualität fördert das Lernen an unseren Schulen. Jedoch viele in der Vergangenheit durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass es häufig an der guten Luftqualität mangelt. Für die Bewertung der Luftqualität hat sich die  $\text{CO}_2$ -Konzentration bewährt.  $\text{CO}_2$  ist zwar kein Schadstoff, doch es eignet sich als Qualitätsparameter hervorragend, da es relativ leicht gemessen werden kann.

Mit steigendem  $\text{CO}_2$ -Gehalt nehmen auch die Geruchs- und Schadstoffe in der Luft zu. Max von Pettenkofer hat bereits im Jahr 1840 als oberen Grenzwert eine Konzentration von 1.000 ppm angegeben. Andere Normen und Regeln nennen 1.500 ppm. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass bereits bei einem  $\text{CO}_2$ -Gehalt von über 1.000 ppm das Lernvermögen und die Konzentration abnehmen.



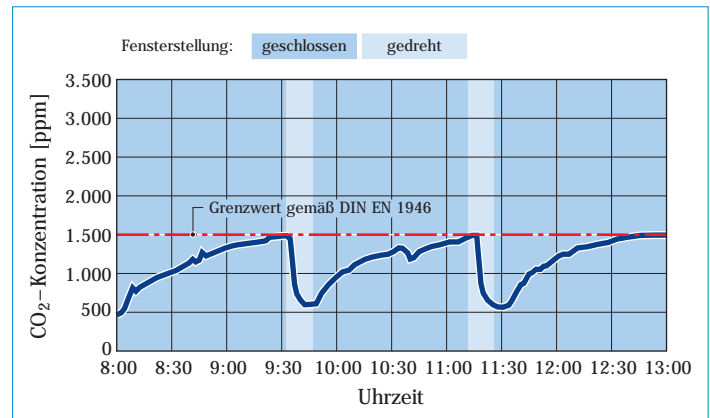
Ergebnis eines in österreichischen Schulen durchgeführten Aufmerksamkeits- und Konzentrationstestes in Abhängigkeit unterschiedlicher  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen. Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007.

Die  $\text{CO}_2$ -Abgabe eines Menschen liegt innerhalb einer Stunde bei etwa 15 Litern. Bei jungen Menschen ist sie kleiner, bei älteren größer. Geht man von 15 l/h aus und nimmt an, dass sich 30 Schüler im Klassenraum mit den Maßen 8,00 x 8,00 x 3,00 m befinden und der Klassenraum eine mittelmäßige Winddichtheit aufweist ( $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ ), dauert es bei geschlossenen Fenstern ca. 25 Minuten, bis die  $\text{CO}_2$ -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

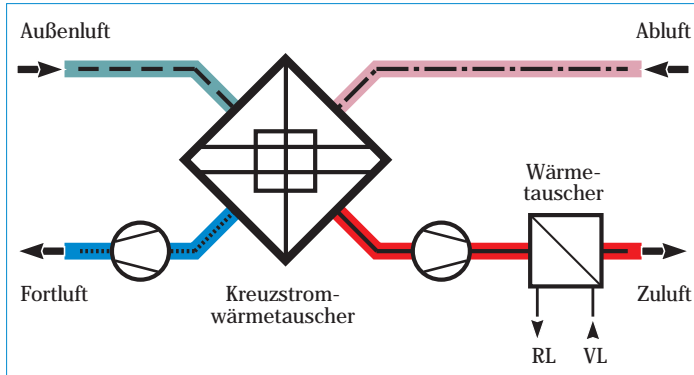
soll jedoch auch nicht mehr gelüftet werden als unbedingt notwendig. Die Schwierigkeit besteht darin, das richtige Maß zu finden.

## Schulneubauten

Wird eine Schule neu errichtet, ist es zweckmäßig, eine Zu- und Abluftanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung einzubauen. 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 zunichte machen. Die zu befördernden Luftmengen können deutlich 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. Wenn die Räume nicht benötigt werden, ist die Anlage abzuschalten.



$\text{CO}_2$ -Konzentration im Klassenraum bei einem Anlagenluftwechsel von  $16 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$  und freier Fensterlüftung in den Pausen, gemessen in der Käthe-Kollwitz-Schule Aachen. Quelle: Lambertz, Klima, Bähr, Ranft: Energetische Sanierung der Käthe-Kollwitz-Schule Aachen, Schlussbericht, 2006.



Schematische Darstellung einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und Zuluftnacherwärmung.

## Sanierung von Schulen

Der nachträgliche Einbau von Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung in bestehende Schulgebäude ist meist aufwendig 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 Geräuschentwicklung an das Gerät gestellt. Aus der Sicht des Brandschutzes bieten diese Anlagen jedoch Vorteile, da keine Kanäle durch benachbarte Klassenräume geführt werden müssen.

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 Zu- und Abluftanlagen. Allerdings kann bei diesen Anlagen keine Wärme rückgewonnen werden. Die Entscheidung, ob die Luftabführung zentral oder dezentral erfolgt, hängt in der Regel von den örtlichen Gegebenheiten ab. Zentrale Anlagen sind von den Investitionen her zwar billiger und erfordern einen geringeren Wartungsaufwand, doch die Anforderungen an den Brandschutz verursachen einen höheren Aufwand. Die Zuluft muss allerdings vorgewärmt werden, da eine direkte Zuführung von außen ohne Vorwärmung bei kalter Außenlufttemperatur zu Zugerscheinungen führt.

## Fensterlüftung

Die meisten Schulen besitzen keine Lüftungsanlagen. Die Lüftung dieser Schulen muss über das 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 unter  $0,1 \text{ h}^{-1}$  reduzieren.

Um die verbrauchte Luft in einem Klassenraum abzuführen, ist die Öffnung der Fenster unumgänglich. Allerdings ist in der Heizperiode eine Dauerlüftung durch gekippte Fenster 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 alle 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 ideale Kontrollmöglichkeit stellt dabei die Lüftungsampel dar. Sie kann gut sichtbar im Raum aufgestellt werden und gibt Auskunft über die Luftqualität. Wenn die  $\text{CO}_2$ -Konzentration über  $1.500 \text{ ppm}$  liegt, leuchtet beispielsweise ein rotes Licht oder es wird direkt die  $\text{CO}_2$ -Konzentration angezeigt.



Lüftungsampel der Stadt Aachen. Sie zeigt in sieben Stufen die Luftqualität im Klassenraum an. Quelle: Lambert, Klima, Bähr, Ranft: Energetische Sanierung der Käthe-Kollwitz-Schule Aachen, Schlussbericht, 2006.

## Behaglichkeit durch geeignete Raumtemperaturregelung

Das Heizsystem hat die Aufgabe, dem Raum genau die Wärme zuzuführen, die für ein behagliches Raumklima notwendig ist. Die Energiebilanz eines Raumes hängt neben der Außenlufttemperatur und der thermischen Qualität der Hüllfläche wesentlich von der Solarstrahlung sowie der Luftwechselrate und den internen Gewinnen, die durch die anwesenden Personen verursacht werden, ab. Das Heizsystem muss schnell auf die veränderlichen Bedingungen reagieren können, um einerseits die gewünschten Raumlufttemperaturen zu gewährleisten und andererseits keine Übertemperaturen zu erzeugen, die zur Verschwendung von Heizenergie führen.

Die thermische Behaglichkeit wird im Wesentlichen sowohl von der Raumlufttemperatur als auch von den Oberflächentemperaturen der Umgebungsflächen beeinflusst. Dies wird durch die empfundene Temperatur ausgedrückt. Bei welcher empfundenen Temperatur sich ein Mensch wohl fühlt, hängt beispielsweise vom Alter, Geschlecht, Aktivitätsgrad und der Bekleidung ab. An eine Raumtemperaturregelung, die all diese Vorgaben berücksichtigt, sind hohe Anforderungen gestellt.

Die Größe und Lage der Heizflächen hat ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die Behaglichkeit. Unterschiedliche Raumlufttemperaturen in einem Klassenraum oder gar Zugscheinungen können heute nicht mehr akzeptiert werden.

Da Schulräume nicht rund um die Uhr genutzt werden, ist es nicht notwendig, sie ständig auf 20 bis 21 °C zu beheizen. In der unterrichtsfreien Zeit kann die Raumlufttemperatur abgesenkt werden. Um dies zu gewährleisten, muss die Heizung mit einem intelligenten Regelungssystem ausgestattet sein oder Nutzer und Hausmeister übernehmen bei einem mit Thermostatventilen ausgestatteten Raum die Regelung manuell. In älteren Schulen ist meist nur die letztgenannte Regelungsart möglich. Bei der Erstellung von neuen Schulgebäuden oder bei der Sanierung von bestehenden Schulen wird eine Einzelraumregelung empfohlen, die von einer zentralen Stelle aus bedienbar ist. In der Regel werden die Stundenpläne und die Raumbelegungspläne im Rektorat erstellt. Von dieser Stelle aus sollte auch die Temperatureinstellung für die einzelnen Klassenräume erfolgen, denn von dort aus werden auch kurzfristig Änderungen der Raumbelegung vorgenommen. Wird die Einzelraumregelung vom Hausmeister übernommen, muss sichergestellt sein, dass ihm die aktuellen Raumbelegungspläne stets vorliegen. Darüber hinaus

sollte in jedem Klassenzimmer für den Lehrer die Möglichkeit bestehen, die vorgegebene Raumlufttemperatur etwas nach unten oder nach oben zu verstellen. Die Raumlufttemperatur sollte nicht über 21 °C liegen, denn dies führt einerseits zur Übermüdung und andererseits zu vermeidbaren Energieverlusten.



Zeitgesteuerte Heizkörperregler und Regelungseinheiten für die Einzelraumregelung. Quelle: Görres et al: Kohlendioxid-Emissionsreduktion im Altenzentrum Sonnenberg, Abschlussbericht, 2007.

## Energieeffiziente Heizungssysteme

In Klassenräumen, die lediglich mit Zweischeibenverglasung ausgestattet sind, sollten die Heizkörper unter den Fenstern im Brüstungsbereich angeordnet sein. Die Oberflächentemperaturen von Zweischeibenverglasungen sind bei tiefen Außenlufttemperaturen niedriger als die übrigen Wandumschließungsflächen. Dies führt bei Personen zu einem einseitigen Strahlungsentzug, der häufig als Zug wahrgenommen wird. Warme Heizflächen unter den Fenstern hingegen gleichen diesen Strahlungsentzug aus.

Dreifach-wärmeschutzverglaste Scheiben weisen eine höhere Oberflächentemperatur auf. Es ist daher bei einer solchen Verglasung nicht zwingend notwendig, die Heizkörper vor der Brüstung anzubringen. In diesem Fall ist auch die Installation einer Fußboden- oder Wandheizung möglich. Diese Heizflächen haben den Vorteil, dass sie infolge der großen Flächen mit deutlich niedrigeren Vorlauftemperaturen betrieben werden können. Auch die Installation einer Luftheizung, die ohne statische Heizflächen betrieben wird, ist möglich.

Der Heizungsbetrieb mit niedrigeren Vorlauftemperaturen ermöglicht den Einsatz eines modulierbaren Gasbrennwertkessels oder einer Wärmepumpe, die entweder elektrisch oder gasbetrieben arbeitet. Als Wärmequellen sind Erdsonden und Erdkollektoren geeignet. Bei ausreichendem Grundwasserfluss sind auch Saug- und Schluckbrunnen möglich. Im Bestandsbau hingegen sind meist Gas- oder Ölkessel vorzufinden, die mit einer konstant hohen Temperatur betrieben werden.

Um den Primärenergiebedarf und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken, werden Wärmeerzeuger empfohlen, die erneuerbare Brennstoffe wie Hackschnitzel, Pellets, Biogas oder Pflanzenöl nutzen.



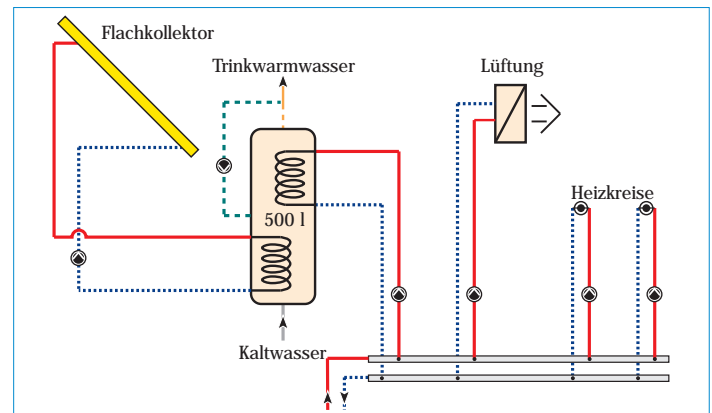
Liegt die Schule im Einzugsbereich einer Fernwärme- oder Nahwärme- Wärmerezeugung mit Gas-Absorptionswärmepumpen.

versorgung, ist ein Anschluss in der Regel von Vorteil, insbesondere dann, wenn die Wärme über Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird.

Ein wärmegeführtes Blockheizkraftwerk eignet sich in der Regel nur zur Abdeckung der Wärmegrundlast, da der Motor der Anlage möglichst lange ohne Unterbrechung laufen sollte. Den verbleibenden Wärmebedarf muss ein Spitzenlastkessel abdecken. Der produzierte Strom kann selbst verwendet oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Bei einer stromgeführten Anlage entsteht das Problem, dass die produzierte Wärme häufig nicht abgenommen werden kann.

In einer Schule benötigen nur wenige Räume einen Warmwasseranschluss. Ein zentrales Warmwasser-Versorgungssystem ist aufgrund der hohen Zirkulationsverluste daher nicht zu empfehlen. Für die einzelnen Zapfstellen eignen sich elektrische Durchlauferhitzer. Dadurch entstehen keine Speicherverluste.

Eine Turnhalle, in der Duschen vorhanden sind, benötigt hingegen warmes Wasser. In der Regel erfolgt die Erwärmung durch den Wärmeerzeuger, der auch die Schule mit Wärme versorgt. Meist werden Turnhallen außerhalb der Unterrichtszeit zusätzlich noch während des Abends von örtlichen Vereinen genutzt. Zur Unterstützung der Warmwassererwärmung sind thermische Kollektoren zu empfehlen.



Solare Unterstützung der Trinkwarmwassererwärmung mit thermischen Kollektoren.

## Gute Beleuchtung für konzentriertes Lernen

Eine gute Beleuchtung erhöht die Konzentration und auch die Motivation. Sie ist daher Voraussetzung für erfolgreiches Lernen. Nicht immer reicht hierzu das Tageslicht aus.

In bestehenden Schulen ist die installierte Beleuchtungsleistung zwar meist ausreichend, häufig sogar deutlich überhöht, doch der hierzu aufgewendete Stromverbrauch könnte durch ein modernes Beleuchtungssystem mehr als halbiert werden, ohne Vorgaben der Mindestbeleuchtungsstärke nach DIN EN 12464-1 zu unterschreiten.

Notwendige Beleuchtungsstärken gemäß DIN EN 12464-1.

Raum	Beleuchtungsstärke [lx]
Allgemeine Unterrichtsräume	300
Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500
Fachräume	500
Sporthallen, Gymnastikräume	300
Flure	100
Treppen	150

Moderne energieeffiziente Beleuchtungssysteme für Klassenräume mit Tafel und fester Sitzordnung bestehen aus Spiegelrasterleuchten mit elektronischem Vorschaltgerät und eingesetzten stabförmigen Dreiband-T5-Leuchtstofflampen mit 16 mm Durchmesser. In üblichen Klassenzimmern reichen zwei parallel zur Fensterfront verlaufende Langfeld-Rasterleuchten und eine quer verlaufende Tafelbeleuchtung mit asymmetrischer Lichtverteilung aus. Bei tieferen Räumen sind drei und mehr Leuchtenreihen notwendig. Da das einfallende Tageslicht häufig nur im fensternahen Bereich ausreicht, sollten die fensternahen Lampenreihen einzeln über beschriftete Schalter zu regeln sein. Der Markt bietet dimmbare Systeme an, die automatisch die Beleuchtungsleistung bei zunehmendem Tageslichtangebot herunterfahren. Diese Systeme sind energieeffizient, aber teuer. Billiger sind die Regelungen, die eine Lampenreihe komplett ausschaltet, wenn genügend Tageslicht vorhanden ist. Das Einschalten muss danach manuell über den Lichtschalter erfolgen. Dieses System verhindert, dass die Beleuchtung den gesamten Vormittag eingeschaltet ist, obwohl nur morgens nach Schulbeginn kurze Zeit künstliches Licht benötigt wird.

Ebenfalls preiswert und durchaus effektiv ist ein Beleuchtungssystem, das die Klassenzimmerbeleuchtung in jeder Pause automatisch abschaltet. Wird die Beleuchtung nach der Pause noch benötigt, muss sie manuell wieder eingeschaltet werden.

Durch den Anstrich der Wände und Decken mit einer hellen Farbe können auch Einsparungen bis ca. 30 % erreicht werden, auch wenn das Beleuchtungssystem nicht erneuert wird. Das Reinigen der Reflektoren sowie der Gitterroste und Lampenabdeckungen führt zu weiteren Verbesserungen.

Häufig ist die Beleuchtung noch eingeschaltet, obwohl sich niemand mehr im Raum befindet. Durch Bewegungsmelder, die dann die Beleuchtung abschalten, können weitere Energieeinsparungen erreicht werden.

Ein energiebewusstes Verhalten trägt ebenfalls deutlich zur Energieeinsparung bei. Es können beispielsweise »Verantwortliche« in der Klasse benannt oder gewählt werden, die darauf achten, dass die Beleuchtung abgeschaltet wird, wenn sie nicht benötigt wird. Ferner kann ein Schild an die Innenseite der Klassenzimmertüre mit der Aufschrift »Bitte Licht löschen« angebracht werden. Selbst in den Pausen lohnt es sich, die Beleuchtung abzuschalten.



Beleuchtung eines Klassenraumes mit Langfeld-Rasterleuchten. Quelle: licht.de.



## Lernen für das Leben: Das Thema »Energie« in der Schule

Jeder kann zum Energiesparen und zum Klimaschutz beitragen. Energiebezogene Projekte in der Schule bieten eine hervorragende Gelegenheit für die Schüler, im praktischen Alltag eine Menge über dieses Thema zu lernen, neue Arbeitsmethoden auszuprobieren und dabei auch noch Spaß zu haben.

Schulen können in sehr unterschiedlichem energietechnischen Zustand sein. In den meisten Schulen sind noch viele Möglichkeiten zum Energiesparen nicht genutzt. Hier können Schüler, Lehrer und Hausmeister kreativ werden. Sogar eine sehr energieeffiziente Schule eignet sich als Demonstrationsobjekt – und durch Verhaltensmaßnahmen können immer noch ein paar Kilowattstunden eingespart werden. Ein energietechnisches Modernisierungsvorhaben an einer Schule öffnet ein besonders geeignetes Zeitfenster, um den Schülern dieser Schule das Energiethema näherzubringen.

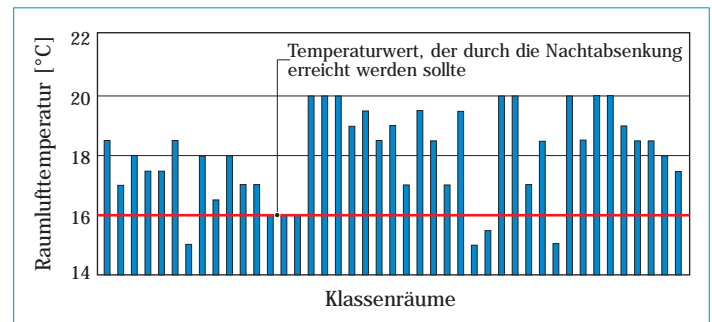
### »Energiesparprojekte« an der Schule umsetzen

Das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch, Umwelt und Nachhaltigkeit ist Voraussetzung für einen sparsamen Umgang mit Energie. Lernen durch Tun ist die effektivste Art und Weise, dieses Wissen zu verinnerlichen. Mögliche Schritte:

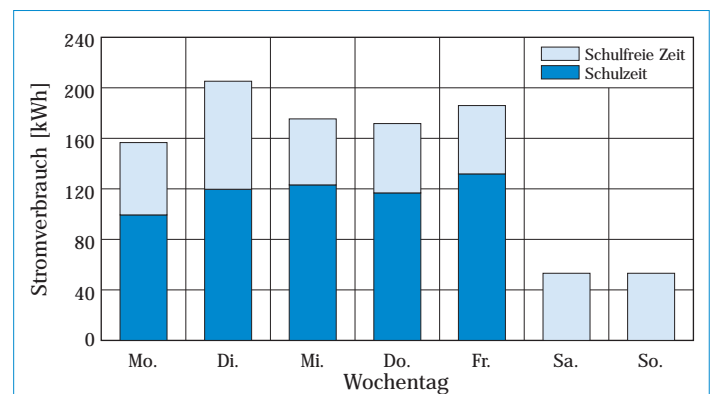
- Anregung eines »Energiesparprojektes« in der Schule in Zusammenarbeit zwischen Lehrern, Schülern, Hausmeister
- »Energie-Check«: Rundgang durch die Schule von den Klassenzimmern bis zum Heizungskeller, Verbrauchsanalysen, Messungen (z. B. Raumtemperatur), Beobachtungen (Wie lange brennt das Licht? Wie wird gelüftet?)
- Auswertung zur Identifikation von Schwachstellen und Einflussmöglichkeiten, Festlegung von Zielen
- Einsetzen von »Energiebeauftragten« in den Klassen, Gruppenarbeit, Ideen-Wettbewerbe, themenbezogene Exkursionen
- Durchführung und Überwachung konkreter Maßnahmen, Auswertung der Einsparerfolge

- Einbindung der Eltern, Öffentlichkeitsarbeit
- Sicherung der Dauerhaftigkeit durch neue Projekte und Aktivitäten, Überprüfung der bisherigen Maßnahmen, Ermittlung von Verbesserungsbedarf.

Besonders motivierend ist es, wenn die Schule über die Verwendung zumindest eines Teils der eingesparten Energiekosten selbst entscheiden kann.



Durch Messungen während der Nachtstunden wurde eine nicht funktionierende Nachtabsenkung in vielen Räumen festgestellt. Quelle: Gymnasium Marktoberdorf.



Analysen des Stromverbrauchs decken auf, dass Geräte im Stand-by-Betrieb laufen. Quelle: Umweltbüro Nord e.V.

## Das Energiethema in den Fachunterricht integrieren

Die Themen »Energie« und »Klimaschutz« weisen eine große Vielfalt an Perspektiven auf und eignen sich daher für zahlreiche Fächer und für alle Schultypen. Zugleich bieten sie Praxisnähe, und darauf abgestimmte Unterrichtsmethoden werden modernen pädagogischen Ansprüchen gerecht, etwa Teamarbeit, Diskussionskultur, Motivation, kritisches Bewusstsein, Weckung von Kreativität und Entdeckergeist sowie Handlungsorientierung des Stoffes:

- In der Physik ist das Energiethema ohnehin verankert. Hier werden die grundlegenden Begriffe und Zusammenhänge vermittelt. Auch Energieeffizienz, Funktionsweise von Kraftwerken oder Energiespartechnologien und Verhaltensmaßnahmen können hier besprochen und Messprogramme durchgeführt werden.
- Geographie: konventionelle Energieressourcen, erneuerbare Energien, Klimawandel, Handlungsbedarf
- Biologie: Auswirkungen des »Treibhauseffekts« auf das Wachstumverhalten von Pflanzen, auf die Tierwelt und den Menschen
- Chemie: Kohlenstoffkreislauf, Emissionen durch Energieverbrauch
- Politik, Geschichte, Gemeinschaftskunde: Energiepolitik, Energiewirtschaft, Dritte-Welt-Problematik
- Religion und Ethik: Nachhaltigkeit, Bewahrung der Schöpfung, Verantwortung für künftige Generationen, Energie- und Umweltbewusstsein
- Sport: Energieverbrauch des menschlichen Körpers bei verschiedenen Tätigkeiten
- Kunst: Plakate zum schulischen Energiesparprojekt oder mit Hinweisen zum Energiesparen
- Deutsch: Presseerklärungen zum schulischen Energiesparprojekt, Analyse themenbezogener Texte und Argumentationen von Interessengruppen
- Fremdsprachen: Lektüre von Fachartikeln



Wandzeitung mit Themen zu erneuerbarer Energie und Energiesparmaßnahmen in der Schule. Quelle: Stadtverwaltung Erfurt.

- Mathematik, Informatik: Auswertung von Energieverbräuchen, Visualisierung von Ergebnissen, Simulationsprogramme.

Außerdem kann das Energiethema auch in Arbeitsgemeinschaften und bei Projekttagen fachübergreifend behandelt werden.



Undichte Fenster kann man mit dem Blower-Door-Verfahren nachweisen. Quelle: Stadtverwaltung Erfurt.

## Motivationsanstoß für den Alltag

Das ganzheitliche und handlungsorientierte Lernen zum Thema »Energie« sollte generell das Energiebewusstsein fördern und die Schüler befähigen, sich auch im persönlichen Umfeld energiesparend zu verhalten. Dies führt zu einem Multiplikatoreffekt: Nicht nur können sich an Nachhaltigkeit und Verantwortlichkeit orientierte Wertvorstellungen schon früh verfestigen und zu einer lebenslangen Wirkung kommen, sondern auch von der Diskussion des Themas mit Eltern und Freunden können Anregungen ausgehen. So können im Unterricht auch Maßnahmen besprochen werden, die zu Hause durchgeführt werden können, z. B. Vermeidung des Stand-by-Verbrauchs bei Elektrogeräten, Ausschalten unnötiger Beleuchtung und Heizung oder auch Entscheidungen bei der Verkehrsmittelwahl.

Neben der Vermittlung des dazu notwendigen Wissens kann die Schule beispielsweise Messgeräte nach Hause verleihen, Ergebnisse im Unterricht diskutieren und Energiespar-Wettbewerbe veranstalten.



Am »Energie-Haus« lässt sich zeigen, wo im Haushalt am effektivsten Energie gespart werden kann. Quelle: Stadtverwaltung Erfurt.

## Modernisierungsvorhaben pädagogisch begleiten und nutzen

Effizienz und Wirtschaftlichkeit baulicher und technischer Maßnahmen zur Energieeinsparung hängen nicht nur von ihrer Funktionsfähigkeit, sondern auch vom Nutzerverhalten und der Akzeptanz ab. Außerdem kann die Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Sanierung, z. B. mit Luftqualität und Behaglichkeit in den Räumen, die Einstellung zu energiesparenden Maßnahmen beeinflussen.

Das Besondere und Einmalige bei der Sanierung von Schulen ist die Möglichkeit der Einbeziehung von Schülern in den Sanierungsprozess und die Nutzung der Energiesparerfolge zur Aktivierung des Energiebewusstseins. Maßnahmen können sein:

- Umfassende Information von Schülern, Lehrern und Eltern
- Erfassung des Zustands vor und nach der Modernisierung, z. B. Raumklima, Anforderungen an die Nutzer, Energieverbrauch
- Aktive Mitwirkung der Schüler bei Messungen, Beobachtungen, Auswertungen, Erarbeiten von Lösungen, Verhaltensmaßnahmen
- Laufende Visualisierung der Erfolge.

Dabei ist es nicht zweckdienlich, den Schülern durch hochtechnisch konzipierte Gebäude alle Einflussmöglichkeiten zu nehmen, weil dann keine Lerneffekte zu erzielen sind.

**Licht aus?  
Fenster zu?  
Heizung aus?**



Kleine Hinweisschilder werden an den Fenstern und neben den Lichtschaltern angebracht. Quelle: Schahn, J.: Projektbericht »Energiesparen an Universitätsgebäuden«. Heidelberg 2003.

## Weiterführende Informationen

Inzwischen gibt es eine Fülle von Materialien zum Thema »Energie« für den Unterricht, die an das Thema heranführen und mit geringem zusätzlichen Arbeitsaufwand der Lehrer in konkrete Unterrichtseinheiten umgesetzt werden können. Ferner sind zahlreiche Leitfäden, Checklisten und konkrete Beispiele für die erfolgreiche Durchführung von »Energiesparprojekten« an Schulen verfügbar.

Einen Überblick bietet die Energieagentur Nordrhein-Westfalen auf ihrer Internetseite:

[www.energieagentur.nrw.de/schulen](http://www.energieagentur.nrw.de/schulen)

Die Broschüre wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsvorhabens »Energieeffiziente Schulen (EnEff:Schule)« vom Begleitforschungsteam erstellt.

EnEff:Schule ist ein Schwerpunkt des BMWi innerhalb der Forschungsinitiative Energieoptimiertes Bauen (EnOB). Die administrative Abwicklung und Koordination erfolgt durch den Projektträger Jülich (PtJ).

#### BEGLEITFORSCHUNGSTEAM

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik – IBP, Stuttgart  
Johann Reiß, Hans Erhorn
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung – ISI, Karlsruhe  
Edelgard Gruber
- Fachhochschule München  
Manuel Winkler, Werner Jensch
- Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, IREES GmbH  
Annette Roser, Birgit-Jo Frahm

#### GESTALTUNG und SATZ

Fraunhofer-Institut für Bauphysik – IBP, Stuttgart  
Irmgard Haug

#### VERLAG

Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau – IRB  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

#### HERAUSGEBER

Fraunhofer-Institut für Bauphysik – IBP, Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.  
ISBN: 978-3-8167-8276-6



ISBN 978-3-8167-8276-6

