

Sanierung der Regelschule Erfurt – Energieeinsparung und Verbesserung des Nutzerkomfort

Christel Russ, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Gruppe Solares Bauen

Michael Kappert, Fachhochschule Erfurt, Fachbereich Versorgungstechnik

Ausgangssituation

Viele Typenschulen der östlichen Bundesländer in präfabrizierter Bauweise zeigen infolge schlechter Bauausführung und fehlender Wartung einen überdurchschnittlich hohen Energieverbrauch. Energetische Sanierungen können durch ein integrales Gesamtkonzept wesentlich zur Senkung des Bedarfs an Heizwärme und Elektroenergie beitragen. Anhand einer kompletten energetischen Sanierung wurde der wärme- und lichttechnische Zustand für eine Plattenbauschule vom „Erfurter“ - Schultyp unter Einbeziehung einer Einzelraumtemperatursteuerung verbessert und eine Erhöhung des Nutzerkomfort realisiert.

Schulen des „Erfurter Typs“ bestehen aus drei Teilgebäuden. Das Hauptgebäude mit den Normalklassen ist über ein als Pausenraum gestaltetes Mittelgebäude mit dem Fachraumgebäude verbunden. Die Normalklassen des Hauptgebäudes haben an der Nordseite zwei Fenster und an der südlichen Raumseite drei Oberlichtfenster. In den 11 m tiefen Fachräumen ist nur ein Fensterband an der 7 m breiten Seite des Raums angeordnet, wobei eine Fensterorientierung nach Osten bzw. Westen vorliegt. Das gesamte Schulgebäude besitzt eine beheizte Nettogrundfläche von 3944 m².

Die Heizung der mit Fernwärme versorgten Schule wurde vor der Sanierung manuell geregelt, was einerseits zur Überwärmung, andererseits zur Unterkühlung in einzelnen Klassenzimmern führte.

Die Fassade besteht aus dreischichtigen Platten (Betonwetterschale, Dämmung, tragende Betonschale), wobei infolge von Fertigungsungenauigkeiten die Dämmschicht vor allem in den Randbereichen und an den innenliegenden Stößen fehlte. Die Holzrahmenfenster mit Isolierverglasung waren wegen fehlender Wartung zum großen Teil nicht mehr bedienbar. Sinnvoller Weise wurde die bauliche mit einer energetischen Sanierung verbunden, um den Heizenergiebedarf des Gebäudes zu senken.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie geförderten Sanierungsprojektes erfolgt eine energiegerechte Sanierung des gesamten Schulgebäudes mit dem Ziel, neben den Verbrauch der Heizwärme auch den Stromverbrauch durch eine verbesserte Tageslichtnutzung und Beleuchtung zu reduzieren.

2.1 Sanierungsmaßnahmen

Um die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung zu erfüllen, wurde das gesamte Gebäude unter Beibehaltung der äußeren Struktur der Fassadengestaltung gedämmt. Zum Einsatz kamen eine 10 cm mineralische Dämmung mit mineralischem Putz für die Außenwände, eine Gefälledämmung im Dach sowie eine Perimeterdämmung im erdanschließenden Bereich. Da die Kellerräume ebenfalls für schulische Belange genutzt werden, wurde der vorhandene ungedämmte Kellerfußboden aufgenommen und durch einen gedämmten ersetzt. Die Fenster erhielten eine Wärmeschutzverglasung mit dem U_V -Wert = 0,9 W/m²K ($U_F = 1.2$ W/m²K nach DIN 4108.3). Die Fassade der Treppenhäuser wurden neu aufgebaut und die ehemaligen Betonelemente mit integrierten Glasbausteinen durch eine großzügige Verglasung ersetzt. Bild 1 zeigt die Nordansicht des Gebäudes nach der Sanierung.



Bild 1 Nordseite des sanierten Gebäudes

Mit diesen Maßnahmen wurde der Heizwärmebedarf in der Heizperiode von 144 kWh/m² vor der Sanierung auf 54 kWh/m² oder um 63 % nach der Sanierung herabgesetzt, Bild 2.

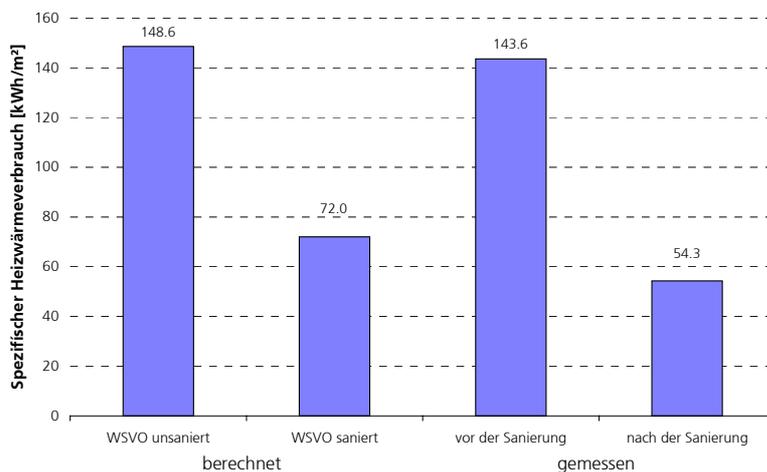


Bild 2 Heizwärmeverbrauch vor und nach der energetischen Sanierung, bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche (Heizwärmeverbrauch auf Gradtagzahl 3800 Kd normiert)

Auch nach der Sanierung wird die Schule mit Fernwärme versorgt und eine regelbare Hausanschlußstation wurde eingesetzt. Alle Räume wurden mit einer Einzelraumtemperatursteuerung ausgestattet, um eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung entsprechend der Raumnutzung zu gewährleisten. Die Anschlussleistung für die Heizung konnte aufgrund des geringeren Wärmebedarfs nach der Sanierung von 318 kW auf 165 kW herabgesetzt werden.

Die Raumtemperatur wurde nach der Sanierung von 24 °C auf eine Solltemperatur von 20 – 21 °C abgesenkt, ohne das eine Beeinträchtigung der Behaglichkeit für die Nutzer auftrat [1].

Lichttechnische Gestaltung

Neben der wärmetechnischen war die lichttechnische Situation in allen Klassenräumen zu verbessern. In den Normklassenzimmern wurden vor der Sanierung die stark blendenden Süd Fenster durch dunkle Vorhänge verschattet und die fehlende Beleuchtungsstärke auch bei ausreichendem Tageslichtangebot durch Kunstlicht ausgeglichen. Bild 3 zeigt den typischen Nutzungszustand der Fenster vor der Sanierung.



Bild 3 Klassenraum vor der Sanierung, Verschattung der Fenster durch dunkle Gardinen und einschalten der Beleuchtung

In den 11 m tiefen Fachräumen mit einer Ost- bzw. Westorientierung der Fenster wurde auch bei ausreichendem Tageslichtangebot die erforderliche Beleuchtungsstärke auf den Schülertischen nur in ersten Raumdrittel erreicht und die elektrische Beleuchtung blieb während der gesamten Nutzungszeit eingeschaltet.

Die Klassenräume haben jedoch an dem gesamten Elektroenergieverbrauch der Schule nur einen Anteil von 17 %, Bild 4.

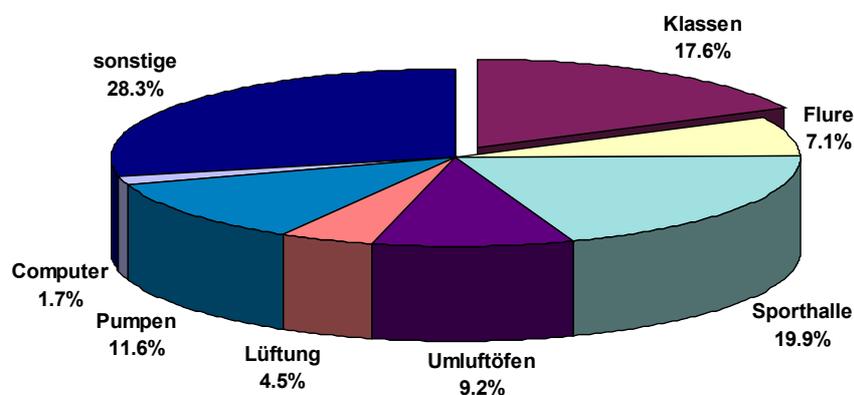


Bild 4 Stromverbrauch vor der Sanierung, Anteile der einzelnen Verbraucher

Nach der Sanierung erhielten alle Klassenzimmer neue Dreibandlampen mit Leuchten vom Typ 5101 RW/58 (Trilux) in einer der optimalen Tageslichtnutzung angepassten Installation. Dadurch konnte die Anschlussleistung in den Klassenräumen von 17 W/m² auf 7,8 W/m² und in den Fachräumen von 21,6 W/m² auf 9,7 W/m² reduziert werden. Die Leuchten in den Klassenräumen werden so geregelt, dass sich die elektrische Beleuchtung bei einem ausreichenden Tageslichtangebot von 300 lux bzw. 500 lux an ungünstigsten Arbeitsplatz ausgeschaltet. Sie kann nur durch manuelles Zuschalten wieder in Betrieb genommen werden. In den Fachräumen werden die installierten Lichtbänder getrennt gedimmt, so dass den unterschiedlichen Beleuchtungszuständen in den 11 m tiefen Fachräumen Rechnung getragen wird.

Durch die optimale Tageslichtnutzung wurden die Einschaltzeiten der Beleuchtung in den Klassenräumen um 68 % in den Fachräumen um 20 % reduziert. So wurde für die Klassenräume nur noch ca. 70 % des bisherigen Stromeinsatzes nötig. Damit geht der Anteil der Klassenräume am gesamten Stromverbrauch der Schule auf 6,4 % zurück, Bild 5. Im Rahmen der Sanierung wurde auch die Beleuchtung in den Korridoren erneuert. Die elektrische Leistung der Pumpen des Heizungsystems und die Lüftung wurden ebenfalls dem Bedarf angepasst. Alle anderen Verbraucher zeigen noch große Reserven hinsichtlich der Energieeinsparung. Insgesamt wurde im Schulgebäude der Energieverbrauch von 81 MWh auf 55 MWh gesenkt, eine Einsparung von 32 %.

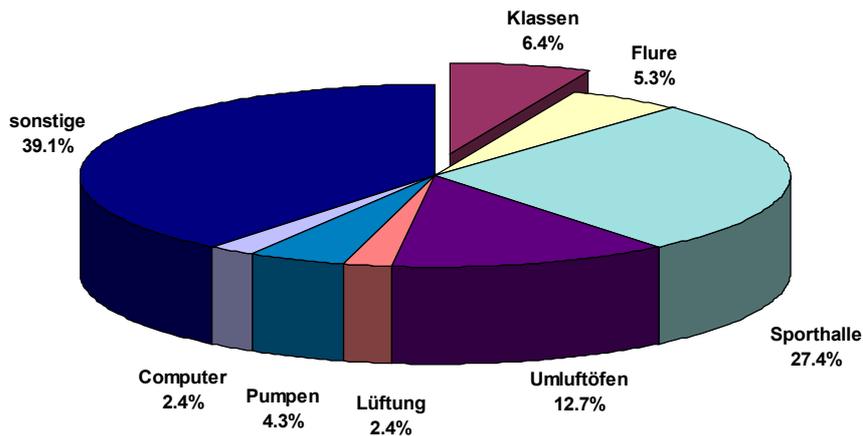


Bild 5 Elektroenergieverbrauch nach der Sanierung (1998), aufgeteilt nach einzelnen Verbrauchern

Um in den Klassenräumen eine bessere Tageslichtnutzung zu ermöglichen und die Blendungen zu reduzieren, wurde an der Südseite in die Scheibenzwischenräume der Wärmeschutzverglasung im Drehwinkel verstellbare Lamellen eingebracht. Die Anordnung der Lamellen wurde so gewählt, dass sie entgegen der üblichen Lamellenstellung mit der Wölbung nach unten eingebaut wurden. So kann die Blendung minimiert und eine Lichtumlenkung über die Decke erfolgen, Bild 6.



Bild 6 Ansicht der Südfenster der Normalklassenräume mit lichtumlenkenden Lamellen

In den Fachräumen ist es aufgrund der Ost- bzw. Westausrichtung der Fenster schwierig, mit Lichtlenksystemen direktes Himmelslicht zur tieferen Raumausleuchtung während des Schulbetriebes von 7.30 bis 14.00 Uhr zu nutzen. Eine Möglichkeit zur Verbesserung des lichttechnischen Komforts bieten die im Oberlichtbereich (ca. 50 % der Fensterfläche) umlenkenden Lamellenjalousien. Die Ansicht der Ostfassade des Fachraumgebäudes mit unterschiedlichen Arbeitsstellungen der Verschattung durch die Lamellenjalousien stellt Bild 7

dar. Trotz Verbesserungen in der Ausleuchtung ist es nicht möglich, mit einfachen und relativ kostengünstigen Systemen eine Anhebung des Tageslichtquotienten über 1 % in der gesamten Raumtiefe zu erreichen. Eine abgestimmte elektrische Ergänzungsbeleuchtung führt zur Bereitstellung der erforderlichen Beleuchtungsstärke von 500 lux, die laut Arbeitsstättenrichtlinie an allen Schülerarbeitsplätzen unbedingt zu sichern ist. Trotzdem kann bei der kombinierten Nutzung der Tageslichtelemente mit einer abgestimmten Ergänzungsbeleuchtung in den Klassenräumen eine Stromeinsparung bis zu 70 % erreicht werden, wie auch von N. Hopkirk in Messungen nachgewiesen wurde [4].



Bild 7 Ostansicht des Gebäudes; außenliegende Lamellenjalousien mit unterschiedlichen Verschattungseinstellungen

4 Lüftungsbedarf in Schulen

In DIN 1946 und den deutschen Schulbaurichtlinien wird empfohlen, zur Bereitstellung von ausreichend Frischluft in der Unterrichtszeit einen Luftwechsel in Klassenräumen von 30 m³/h und Schüler zu garantieren. Die Klassenräume haben ein durchschnittliches Raumvolumen von 150 m³. Bei einer Sollstärke von 30 Schülern pro Klasse ist ein Luftaustausch von 900 m³/h, d.h. ein sechsfacher Luftwechsel, erforderlich. Die Lüftung ist schwerpunktmäßig in den Pausenzeiten und ausschließlich auf natürliche Weise über die Fenster zu realisieren, wenn sie nicht durch Umweltbelastungen (Lärm, Schmutz) behindert wird [5]. Messungen nach der Sanierung der Schulgebäude zeigten bei geschlossenen Fenstern einen Luftwechsel von < 0,2 pro Stunde. Die nötige Frischluftzufuhr fehlt. Eine Verbesserung der Lüftungssituation ist nur durch das Öffnen der Fenster möglich, was wiederum zu großen Wärmeverlusten führt. Eine zentrale Lüftungsanlage zur kontrollierten Be- und Entlüftung ist in den meisten Schultypen aus baulichen Gründen und kostenmäßiger Sicht nicht machbar. Dezentrale Lösungen mit den auf dem Markt verfügbaren Geräten sind ebenfalls sehr kostenaufwendig.

Nach der energetischen Sanierung der Schulgebäude wird der Luftwechsel zur dominierenden Größe hinsichtlich des Wärmebedarfs. Ca. 60 % der gesamten Wärmeverluste werden durch die Lüftung hervorgerufen. Um die Lüftungswärmeverluste zu verringern und einen zweifachen Grundluftwechsel während der Nutzungszeit für die Räume zu garantieren, werden am Beispiel des Erfurter Schultyps einige Lüftungsvarianten hinsichtlich ihrer Wirksamkeit unter schulischen Nutzungsbedingungen untersucht [3].

Manuell oder motorisch angesteuerte verschließbare Lüftungsöffnungen in Fensterrahmen ermöglichen eine Frischluftzufuhr bis zu 80 m³/h und laufendem Meter Schlitzlänge. Durch Verschließen der Schlitze außerhalb der Nutzungszeiten wird der Wärmeverlust begrenzt. Diese Variante ist äußerst kostengünstig, erfordert aber in jedem Fall zum Erreichen des Luftaustausches eine unterstützende Querlüftung.

Untersuchungen zum Luftwechsel und den Pettenkoferwert (Grenzwert der CO₂-Belastung muss < 0,1 Vol-% sein) in den Klassenräumen mit eingebauten Lüftungsschlitzen und einer Querlüftung zeigte, dass bei geschlossenen Lüftungsschlitzen und ausgeschalteten Lüftern ein Luftwechsel vom 0,3 pro Stunde nachgewiesen wurde (Undichtigkeit der Tür, Druckunterschied

am Ventilator). Bei geöffneten Lüftungsschlitzen und voller Ventilatorleistung (390 m³/h) wird ein mittlerer Luftwechsel von rund 2 pro Stunde erreicht. Während im ersten Fall der Pettenkoferwert durch einen CO₂-Gehalt von 0,13 Vol -% überschritten wird, werden im zweiten Fall CO₂-Werte zwischen 0,07 bis 0,09 Vol -% gemessen. Damit werden die Anforderungen an die Frischluftzufuhr bereits bei einem zweifachen Luftwechsel erfüllt [6]. Zu bemerken ist jedoch, dass die Geräuschbelästigung bei vollem Lüfterbetrieb von den Nutzern als störend empfunden wird. Deshalb wird meist auf einem maximalen Lüftungsbetrieb verzichtet und wie gewohnt über die Fenster gelüftet.

Dezentrale Lüftungsgeräte sind mit und ohne Wärmerückgewinnung lieferbar und garantieren nach Herstellerangaben bei einer Einbaulänge von ca. 800 - 1 000 mm und dem Einsatz von Ventilatoren zur Zu- und Ablufführung eine Frischluftbereitstellung bis zu 120 m³/h, wobei bis zu 60 % der Wärme aus der Abluft zurückgewonnen werden können. Gegenüber der freien Fensterlüftung kann durch die Wärmerückgewinnung eine Verbesserung des Nutzerkomforts erreicht werden. Die ca. 10 cm hohen Lüftungsgehäuse werden oberhalb der Fenster oder unter der Sohlbank montiert und die Frischluft wird über die Fensterscheiben bzw. den unter dem Fenster befindlichen Heizkörper eingeblasen. Diese Variante ist im Vergleich zur reinen Fensterlüftung durch die Investitions-, die Installations- und die anfallenden Betriebskosten teurer.

Im Normalklassenräumen wurde durch den Einsatz von Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung eine kontrollierte Lüftung in den Klassenräumen untersucht. Aus Kostengründen erfolgte die Auslegung der Geräte auf einem Luftaustausch von maximal 240 m³/h Lüfterleistung. In den Räumen mit Lüftungsgeräten liegt der Luftwechsel zwischen 0,2 bis 0,3 pro Stunde bei ausgeschalteten Geräten vor. Sind die Geräte auf eine maximale Lüfterleistung von 240 m³/h eingestellt, wird ein 1,6facher Luftwechsel erreicht. Der Pettenkoferwert sinkt dabei von 0,17 Vol -% im ausgeschalteten Zustand auf Werte von < 0,09 Vol -% bei vollständigem Lüfterbetrieb. Damit wird auch bei dieser Variante die hygienisch erforderliche Frischluftzufuhr bei einem bis zu zweifachen Luftwechsel erreicht [6].

In Klassenräumen ohne Lüftungsgeräte wurde bei geschlossenen Fenstern ein Luftwechsel vom <0,2 pro Stunde ermittelt, der durch das Öffnen der Oberlichter auf etwa 1,2 pro Stunde anstieg. Die CO₂-Konzentration verringert sich nach dem Öffnen der Oberlichter von 0,17 Vol -% auf ca. 0,1 Vol -% und liegt im Grenzbereich des vorgeschriebenen Pettenkoferwertes. Damit wird auch bei dieser Variante die hygienisch erforderliche Frischluftzufuhr bei einem zweifachen Luftwechsel erreicht.

Im Ergebnis der Sanierung wurde ein Konzept zur energetischen und lichttechnischen Sanierung von Typenschulen erreicht, welches prinzipiell für alle gleichartigen Schulgebäude genutzt werden kann. Der Heizwärmeverbrauch kann durch Wärmedämmmaßnahmen um mehr als 60 % reduziert werden. Eine dem Tageslicht angepasste geregelte künstliche Beleuchtung kann den Stromverbrauch in den Klassenzimmern um bis zu 70 % reduzieren. Mit dem Einsatz von Lamellenjalousien bzw. von im Drehwinkel verstellbaren Lamellen in einer Wärmeschutzverglasung können Blendungen in den Klassenräumen minimiert werden. Andererseits dienen sie zur Verschattung der Räume. Die Lüftungswärmeverluste können durch im Fenster eingesetzte dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung reduziert werden, wobei bereits bei einem zweifachen Lüftaustausch der Pettenkoferwert nicht überschritten wird. Nachteile dieser Lüftungsvariante sind die Kosten und die als störend empfundene Geräuschbelästigung durch die laufenden Ventilatoren.

- [1] Russ, C.; Energetische und lichttechnische Sanierung der 8. Staatlichen Regelschule in Erfurt; Zwischenbericht 1996 zum BMBF-Förderprojekt 0329224F
- [2] Pöschel, K.; Russ, C.: Optimierung der lichttechnischen Situation in Typenschulen in den neuen Bundesländern, Lichttechnisches Symposium Staffelstein, OTTI-Technologie-Kolleg, 1997
- [3] Russ, C.; Pöschel, K.; Kappert, M.: Energetische und lichttechnische Sanierung der 8. Staatlichen Regelschule in Erfurt; 1995 zum BMBF-Förderprojekt 0329224F
- [4] Hopkirk, N.: Energiesparen mit Tageslichtstrategien: Schulhäuser und Bürogebäude, Forschungsbericht des Bundesamt für Energiewirtschaft und der Forschungsstelle Solararchitektur ETH-Hönggerberg, Zürich, 1995
- [5] Richtlinien für Schulen, GUV . Jan 1987 und Schulbauverordnung, Zuständigkeitsbereich des Bayrischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, GBVI 1995
- [6] Schulze, H.-D., Rudloff, F., Schuschke, G. Luftwechseluntersuchungen und CO₂-Messungen in der Regelschule Erfurt, Langer Graben 19, Abschlußbericht im Auftrag des Fraunhofer ISE, März 1997