



Anhang zum Dokument

Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern

Leitfaden für die Überhitzungsminderung an Schulgebäuden im südlichen Oberrheingraben

Autoren:

Jesus da Costa Fernandes¹
Elmar Bollin¹
Matthias Niederklostermann¹
Thomas Feldmann¹
Hans-Jürgen Schneble²

¹ Forschungsgruppe net – Nachhaltige Energietechnik, INES - Institut für Energiesystemtechnik der Hochschule Offenburg, ²Stadt Offenburg

2. überarbeitete Fassung, Offenburg 22.04.2013

Diese Veröffentlichung wurde erstellt von der

Forschungsgruppe net (Nachhaltige Energietechnik)
INES - Institut für Energiesystemtechnik
Hochschule Offenburg
Badstraße 24
77652 Offenburg
www.fgnet.hs-offenburg.de

Im Auftrag der Stadt Offenburg im Rahmen des vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG geförderten Forschungsprojekts 2008-1.

Kurzfassung zum Leitfaden

„Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“

2. überarbeitete Fassung, Offenburg, 22.04.2013

Herausgeber:

Forschungsgruppe nachhaltige Energietechnik (net) am Institut für Energiesystemtechnik INES der Hochschule Offenburg in Zusammenarbeit mit der Stadt Offenburg

Der Leitfaden „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ greift einen nachhaltigen Ansatz zur deutlichen Reduzierung der sommerlichen Wärmebelastung in Klassenzimmern auf. Insbesondere die ersten sechs Jahre des 21. Jahrhunderts zeigten verstärkt Überhitzungstendenzen in sehr vielen Schulgebäuden der Region südlicher Oberrhein. In Verbindung mit der Umstellung des Schulbetriebs auf die Ganztagschule und der deutlichen Verstärkung der Überhitzungstendenz in sanierten Gebäuden, die mit einem modernisierten Wärmeschutz versehen sind, zeigte sich für die Stadt Offenburg ein wichtiger Handlungsbedarf auf.

Aus der Kooperation der Stadt Offenburg mit der Hochschule Offenburg entwickelten sich mehrere Maßnahmenpakete bestehend aus einer Kombination bekannter physikalischer Sachverhalte und Verfahren, die mit den Möglichkeiten einer Gebäudeautomation gekoppelt werden und durch Einbindung der Nutzer in das Betriebskonzept zu einem thermisch verbesserten Arbeits- und Lernklima führen.

Der integrale Ansatz des Projekts, der die Berücksichtigung von Maßnahmen bereits in der Planungsphase von Sanierungsvorhaben erfordert, zeigt eine hohe Kosteneffizienz, führte jedoch zu vereinzelt Verzögerungen im Bauzeitenplan, da er nicht dem üblichen Prozedere der Fachplaner und ausführenden Betriebe entspricht. In vielen Schulen, die den Sanierungsprozess erst vor wenigen Jahren abgeschlossen haben, zeigten sich durch die dichtere Gebäudehülle deutlich stärkere Überhitzungstendenzen. Hier wurden Maßnahmen insbesondere zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes umgesetzt, die auf eine neue technische Infrastruktur zurückgreift (in Offenburg wird bei Sanierungshaben durchgängig der Einbau einer Gebäudeautomation vorgesehen).

Die Ergebnisse aus dem vierjährigen Projekt, die zur Formulierung und Gestaltung des Leitfadens geführt haben, können wie folgt zusammengefasst werden:

Die thermische Analyse der Schulen (sanierte und nichtsanierte) zeigt eine nur geringe Nutzung vorhandener Abschattungseinrichtungen, die bis zu 90 % der solaren Wärmeeinträge reduzieren können. Gründe liegen im bisher üblichen Vormittagsschulbetrieb, einer geringen Elektrifizierung/Automatisierung der Fenster und Abschattungselemente sowie das Fehlen einer zentralen Überwachung über eine Gebäudeautomation. Lehrer wie Schüler fahren die Abschattungseinrichtungen hoch und schließen die Fenster vor Verlassen der Klassenräume bei Unterrichtsschluss. Die Nachmittagssonne in Verbindung mit der dichten Gebäudehülle lassen nur einen unzureichenden thermischen Ausgleich über Nacht zu. Die angestaute Wärme in den Gebäudemassen wird an Folgetagen weiter aufgestaut und fördert immer mehr die Überhitzungstendenz. Manuelle Lüftungsmaßnahmen durch den Hausmeister sowie durch Lehrer und Schüler am frühen Morgen wirken sich zwar mindernd aus, bleiben jedoch auf bestenfalls 2 bis 3 Stunden je Tag beschränkt. Bei stärkeren und länger andauernden Hitzeperioden ist die Überhitzung damit unvermeidbar. Zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeeinträge und zur Entwärmung der Gebäudemassen müssen somit ergriffen werden.

Das ausgearbeitete Konzept für die natürliche Klimatisierung der Klassenzimmer basiert auf der maximalen Ausschöpfung des Abschattungspotenzials und der deutlichen Verbesserung des thermischen Ausgleichs mit Hilfe der Gebäudeautomation, des Personals und der Nutzer. Einzelmaßnahmen umfassen den Einbau von Jalousien, zusätzlicher Sensoren (z.B. Sturmwächter und Einstrahlungssensoren) und Aktoren (z.B. elektromotorisch angesteuerte Jalousien, Lichtkuppeln und Fenster), Programmierung von Steuer und Überwachungsfunktionen und den Einbau von Lüftungseinheiten wie Abluftventilatoren und kanalgeführten, raumluftechnischen Einheiten.

Ergänzend werden Personal und Nutzer über die technischen Möglichkeiten und Betriebsbedingungen informiert und geschult, damit sie zur Minderung beitragen und stärker von einem angenehmen Arbeits- und Lernklima profitieren können.

Bedingt durch kommunale Planungsprozesse, individuelle bautechnische Einschränkungen (z.B. begrenzte Lüfterleistung und Brandschutzbestimmungen), das Gebäudeumfeld, organisationstechnische Besonderheiten und herstellereinspezifische Technik und Programmierung bei den Automationslösungen, konnte bei der Durchführung der Maßnahmen nicht immer das optimale Ziel erreicht werden. Insbesondere die Information und Schulung des Personals und der Nutzer ist ein wesentlicher Bestandteil für die kontinuierlich, erfolgreiche Umsetzung des Konzepts, da die Präsenz der Nutzer mit der Nutzung technischer Geräte wie Fernseher und Projektoren die stärksten Wärmeeinträge beisteuert. Außerhalb der Nutzungszeiten übernimmt die Gebäudeautomation mit zeitweiser Unterstützung des Personals die Raumklimakonditionierung im Gebäude. Zu den Aufgaben des Personals zählt das Öffnen von Klassenzimmer- und Flurtüren, oder das Öffnen und Schließen von Türen zu Sondernutzungsbereichen.

Höhere Gebäudemassen können helfen, die Überhitzung während der Nutzung zu vermeiden und Wärmespitzen bis in die Nachtphase zu verzögern, dann jedoch muss eine aktive Entladung der Gebäudemassen für eine thermische Entlastung sorgen. Arbeiten der Hochschule Offenburg zeigten bereits im Forschungsvorhaben „Langzeitmonitoring des Solar Info Center Freiburg“ [1] die Eignung der Nachtlüftkühlung zur Entwärmung von Gebäudemassen und konnte an den Schulen erneut erfolgreich eingesetzt werden. Die Eignung der Maßnahme, die Gebäudemassen konsequent durch die Nachtlüftkühlung zu entladen, wurde u.a. in einem im Jahr 2010 veröffentlichten Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude des Passivhaus-Instituts [2] bestätigt. Als erreichbares Temperaturziel für passive Kühlmaßnahmen in der Klimaregion um Frankfurt werden dort 28 °C genannt.

Die Auswertungen im Projekt ergeben Wärmelastminderungen bis zu 60 % bei sommerlichen Klassenzimmertemperaturen oberhalb von 26 °C. Das Projektziel die Wärmebelastung stark abzusenken kann somit in hohem Maße erreicht werden.

Während die Raumtemperatur in den bearbeiteten Offenburger Schulen nur selten die 30 °C-Marke überschreitet, sehen sich Schüler wie Lehrer einer schlechten Luftqualität und hohen relativen Luftfeuchtigkeit gegenüber, die genauso wie die hohen Temperaturen das Raumklima belasten. Als Nebenergebnis im Projekt konnte die Hochschule Offenburg durch den Einbau von Raumklimamessgeräten in einzelnen Klassenzimmern auch die Raumfeuchte und CO₂-Konzentrationen aufzeichnen. Die Messungen erlaubten so eine erste Einschätzung der Möglichkeiten auch der Herausforderung „schlechte Luftqualität“ gerecht zu werden. Festgehalten werden kann, dass bei sehr heißen Tagen das Raumklima sich stark verschlechtert und bei sehr kalten Außentemperaturen die Luftqualität stark sinkt. Während im Winter eine schlechtere Luftqualität zugunsten angenehmer Raumtemperaturen in Kauf genommen wird, führen hohe Raumtemperaturen an sommerlichen Tagen zu offenen Fenstern. Hierbei gelangt deutlich wärmere Außenluft in die Schulgebäude und trägt zur Aufheizung der Gebäudemassen bei. Erste Tests, wie Lüftungsanlagen (Ventilatoren und raumluftechnische Einheiten mit Wärmerückgewinnung) zur Verbesserung der Luftqualität im Sommer beitragen können, liefen vielversprechend und sollen tiefergehend untersucht werden. Der vorliegende Leitfaden soll dann um die entsprechenden, die Verbesserung der Luftqualität betreffenden Kapitel erweitert werden. Im Laufe des Projekts wurde der neue Leitfaden des Umweltbundesamt zur Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden [3] veröffentlicht, der umfassend auf die Luftqualitätssituation in Schulen eingeht. Weitere Veröffentlichungen erfolgten u.a. im Rahmen des Bundesprogramms Energieoptimiertes Bauen (EnOB) zum Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Schulen“ (www.eneff-schule.de).

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Energieeffizienz zeigen durch Abluftventilatoren gestützte Systeme eine hohe Kosten- und Energieeffizienz, bedürfen aber eines Mehraufwands im Bereich der Einrichtung und Programmierung der Gebäudeautomation. Die zum Einsatz kommenden Klappfenster und Oberlichter werden sehr viel stärker als bisher genutzt und müssen ihre Dauerbelastbarkeit und Zuverlässigkeit über mehrere Jahre erst nachweisen.

Die kanalgeführten, raumluftechnischen Einheiten stehen mit hohen Investitionen und hohen Betriebskosten da. Sie konnten ihre Eignung für die Nachtlüftung nicht zweifelsfrei nachweisen, da sie weder für den hohen Luftwechsel (größer zwei Luftwechsel je Stunde) ausgelegt noch hinsichtlich der Ansteuerung in Verbindung mit einem Bypass oder einer Kaltluftklappe ausreichend vorbereitet sind. Sie bieten technisch die beste Möglichkeit zur Luftqualitätsverbesserung und für die Nachrüstung eines Kühlregisters. Die häufige, räumliche Unterbringung in Zwischendecken führt jedoch durch die beengten räumlichen Verhältnisse zu hohen Nachrüstkosten. Nähere Untersuchungen zu diesem Thema werden zwingend empfohlen.

Die robuste und zuverlässige Ausführung der eingesetzten Wettermesstechnik war nicht in jedem der Schulobjekte gegeben, ist aber unabdingbar für eine zuverlässige Überwachungsfunktion, die die

Gebäudeautomation über Jahre hinweg gewährleisten soll. Kostengünstige Kombisensoren wie sie in der Gebäudeautomation häufig eingesetzt werden, zeigen qualitative Schwächen und sollten durch Einzelsensoren ersetzt werden. Als minimale Ausstattung für die Wettermesstechnik werden ein zentraler Windwächter und ein Niederschlagssensor auf dem Dach, ein Temperatursensor mit Wetterschutzschild und ein Strahlungsintensitätssensor je sonnenbeschienene Fassadenseite empfohlen.

Neben den tatsächlich zum Einsatz gekommenen Maßnahmen wurde auch eine Vielzahl ergänzender Maßnahmen zur Optimierung in Betracht gezogen und bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeit bewertet. Hierzu gehören das bebaute Umfeld der Schulen (z.B. Schulhöfe und Schuldächer als Grünanlagen mit Baumbewuchs auf den Südseiten), das Einbringen zusätzlicher Baumaterialien (z.B. Phasenwechselmaterialien oder Lehm) zur Erhöhung der Wärmekapazitäten als auch ergänzende emissionsarme Kühlkonzepte wie die Nutzung von Kühlregistern mit Kühlenergie aus Geothermieanlagen oder die adiabatische Kühlung.

Mit der Durchführung des Projektes wurde in Offenburg ein Weg für die Region „Südlicher Oberrhein“ eingeschlagen, der eine starke Wirkung auf den nachhaltigen Betrieb von Schulgebäuden haben wird. Mit den durchgeführten Maßnahmen werden CO₂-Emissionen in Verbindung mit Kühlmaßnahmen stark verringert und eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz bei Schulgebäuden erreicht. Zudem wirken sich die Entwicklungen vorbildhaft auf die kommenden Schülergenerationen aus, die durch die Einflussmöglichkeiten auf den Gebäudebetrieb und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Lern- und Arbeitsklima für ein neues Bewusstsein im Umgang mit der Umwelt und den beschränkt verfügbaren Energieressourcen sensibilisiert werden. In einem von Schülern einer siebten Klassenstufe ausgearbeiteten Infolyer konnte diese Sensibilisierung sehr gut demonstriert werden. Ähnliche Initiativen sollten für alle beteiligten Schulen geplant und umgesetzt werden.

Referenzen

- [1] Bollin, E., da Costa Fernandes, J., Feldmann, T.: Langzeitmonitoring des Neubauvorhabens Solar Info Center Freiburg, Abschlussbericht: EnOB-Energieoptimiertes Bauen, Teilkonzept 3, Phase II, Monitoring/Betrieb, Offenburg, 2008
- [2] Passivhaus Institut: „Leitfaden energieeffiziente Bildungsgebäude“, Darmstadt, 7/2010
- [3] Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Umweltbundesamt, Berlin, 2008

Übersicht der Einzeldokumente

I Objektdokumentationen zu den Schulgebäuden im Projekt

- Theodor-Heuss-Realschule – Zentrales Treppenhaus mit Dachlüftern
- Oststadtschule – Geschoße unterschiedlicher Bauweise mit Geschoßlüftern
- Konrad-Adenauer-Schule – Klassenzimmer mit RLT-Anlagen mit WRG
- Grund- und Werkrealschule Weier – Freie Lüftung mit Querlüftung
- Oken-Gymnasium – Freie Lüftung über Innenhof und Nord-Süd-Unterschied
- Schiller-Gymnasium - Abluftanlage mit Nachströmöffnungen

II Infolyer des Schülerprojekts an der Theodor-Heuss-Realschule

Theodor-Heuss-Realschule

Schultyp: Realschule
Adresse: Vogesenstraße 16
77652 Offenburg



Abbildung 1: Die Theodor-Heuss-Realschule in Offenburg mit Blick auf die Südwest-Fensterfront.

Kurzfassung der Projektergebnisse

Mit der Durchführung von Maßnahmen zur natürlichen Gebäudeklimatisierung bei der Theodor-Heuss-Realschule konnte beeindruckend nachgewiesen werden, dass Schulgebäude ohne den Einsatz von energieintensiven Kompressionskältemaschinen auf ein angenehmes Lern- und Arbeitsklima konditioniert werden können.

Das über große Wärmekapazitäten verfügende Gebäude wurde vollständig saniert und energetisch aufgewertet. Für die Organisation und Steuerung der technischen Vorgänge bei der Gebäudetechnik wurde eine Gebäudeautomation eingebaut, die künftig viele Prozesse des Gebäudebetriebs automatisiert abarbeitet.

Im Rahmen des Projekts wurde in einer ersten Phase untersucht ob der natürliche Kamineffekt über zwei Obergeschoße für die Nachtlüftkühlung ausreicht. Das Ergebnis fiel negativ aus und der Einbau von zwei Dachlüftern im zentralen Treppenhaus mit einem Gesamtvolumenstrom von ca. 16.600 m³/h veranlasst.

Die Ventilatoren in Verbindung mit einer raumselektiven Ansteuerung von Oberlichtfenstern und dem manuellen Aufstellen der Klassenzimmertüren durch das Raumpflegepersonal zeigten Wirkung und führten bereits im Sommer 2010 erstmals zu sehr angenehmen Arbeitsbedingungen für Schüler und Lehrkräfte der Schule.

Der eher mäßige Sommer 2011 ließ die Reproduzierbarkeit der Wirkung der Nachtlüftkühlung im Vergleich zum Sommer 2010 nicht erkennen. Als Ursache stellten sich einerseits organisatorische Defizite heraus, die darauf zurückzuführen waren, dass die Maßnahmen/Änderungen des Jahres 2010 als einmaliger Test interpretiert wurden. Nach Klärung des Missverständnisses stellten sich die positiven Temperatureffekte wieder im Gebäude ein.

Die Notwendigkeit, die technischen Änderungen den Nutzern des Gebäudes zu vermitteln, wurde mit Hilfe von Kommunikationsmaßnahmen unterstützt. Im Rahmen eines WVR-Projekts einer siebten Schulklasse wurde ein Infolyer mit Handlungsempfehlungen und Informationen für Schüler ausgearbeitet. Weitere Schulungen und Informationsveranstaltungen waren die Hausmeisterinformation und die Vorstellung der Ergebnisse bei den beteiligten Schulleitern.

Leider blieb die Wärmelastminderung im Teil des Sommerhalbjahres 2011 bedingt durch organisatorische Defizite hinter den Erwartungen zurück. Erst nach Rücksprache mit den verantwortlichen Personen stellten sich wie belastungsmindernden Effekte der natürlichen Gebäudeklimatisierung wieder ein.

Die Wirkung der Nachtluftkühlung konnte mit dem Monitoring im Sommer 2012 bestätigt werden. Der Verstetigungsprozess für die Integration der durchgeführten Maßnahmen in den Schulbetrieb muss noch verstärkt werden. Es zeigt sich die Notwendigkeit weiterer Kommunikationsmaßnahmen und die Bereitstellung von zusätzlichem Informationsmaterial für kommunale Mitarbeiter, Lehrpersonal und Schüler.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:	Dreigeschossiger schwerer Betonskelettbau mit zentralem Treppenhaus Fertigstellung: 1974
Anzahl der Nutzer/Innen:	750
Nutzungszeiten:	07:45 Uhr - 09:15 Uhr 09:35 Uhr - 11:05 Uhr 11:25 Uhr - 12:55 Uhr 13:45 Uhr - 15:55 Uhr
Lüftungsvariante:	Dachventilatoren als Abluftanlage im zentralen Treppenhaus mit Nachströmöffnungen in den Räumen
Lufttechnisch relevante Daten	
	Nutzfläche: 5.800 m ²
	Mittlere Raumhöhe: 3,1 m
	Luftvolumen: 17.980 m ³
Luftvolumenstrom:	2x 8.850 m ³

Grundriss:

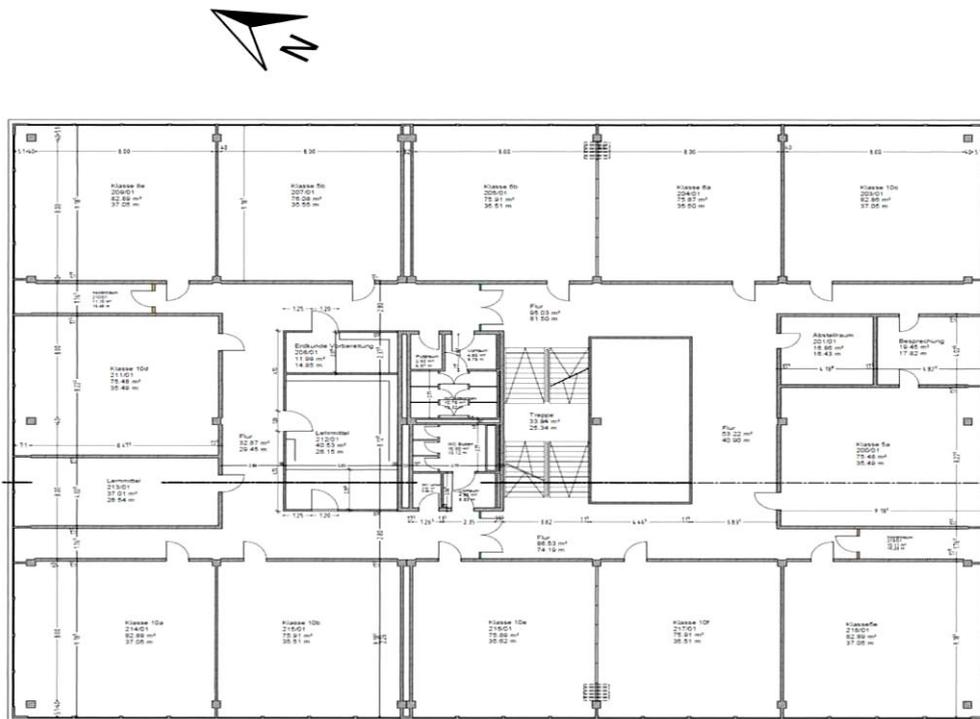


Abbildung 2: Grundriss des 1. Obergeschosses der Theodor-Heuss-Realschule.

Informationen zum Baukörper

Die Theodor-Heuss-Realschule (THR) zeichnet sich aus durch eine kompakte Betonskelettbauweise mit Flachdach. Der quaderförmige Baukörper hat zwei Obergeschosse, wobei sich ab dem 1. Obergeschoss die Grundfläche verringert. Die Obergeschosse werden über ein zentrales und offenes Treppenhaus erschlossen, das die Grundlage des hier dargestellten Lüftungskonzeptes ist. An der Nordwest-Seite des Erdgeschosses befindet sich ein überdachter Gang zur angrenzenden Sporthalle und in nordöstlicher Richtung ein Verbindungsgang zu einem Pavillon.



Abbildung 3: Kippfenster in den Klassenzimmern (links).



Abbildung 4: Treppenhaus der Theodor-Heuss-Realschule (Mitte).



Abbildung 5: ...mit Lichtkuppeln (rechts).

Das Gelände der Realschule grenzt im Südwesten an den Offenburger Mühlbach und befindet sich in baulicher Nachbarschaft mit Wohnhäusern, Kleinindustrie und weiteren Schulen im Schulenzentrum Nordwest der Stadt Offenburg. Auf das Wohnumfeld war insbesondere bei der Konzeption der beiden Dachventilatoren bezüglich der Geräuschentwicklung zu achten, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

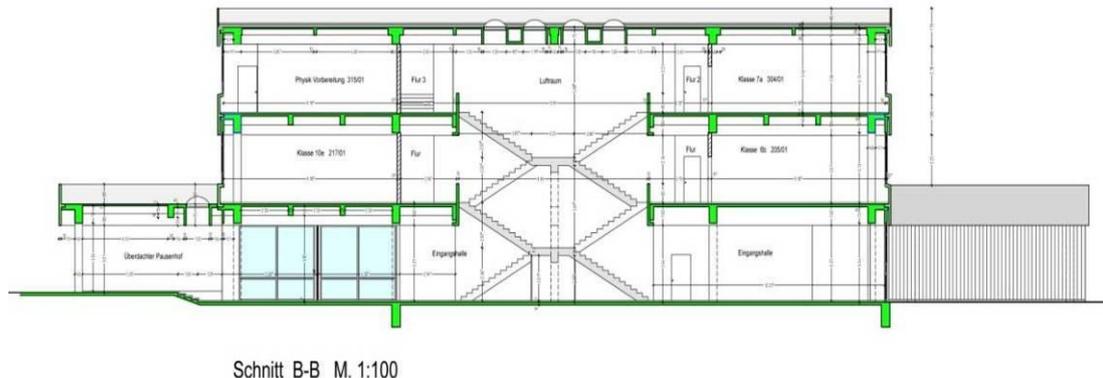


Abbildung 6: Schnitt der Theodor-Heuss-Realschule mit zentralem Treppenhaus.

Das Umfeld der Theodor-Heuss-Realschule verfügt über viele Grünflächen, die wärmeabsorbierend wirken. In den Sommermonaten sorgen natürliche Abschattungen durch den Baumbewuchs auf der Südseite der Theodor-Heuss-Realschule für eine Reduzierung der Wärmebelastung bei den Räumen im Erdgeschoß und im 1. Obergeschoss. Wie auf Abbildung 7 und Abbildung 8 zu sehen, wurden bei der Gestaltung der Grünflächen Laubbäume bevorzugt. Aus energetischer Sicht bringt der zyklische Laubfall der Bäume große Vorteile mit sich. Während im laublosen Winter eine reduzierte Verschattung vorliegt, die einen gewünschten Wärmeeintrag fördert, sorgt im Sommer aufgrund des Blattgrüns ein verstärkter Schattenwurf für verminderte Wärmeeinträge. Bei gärtnerischen Pflegemaßnahmen im Außengelände sollte daher der Anteil von Nadelbäumen in der unmittelbaren Nachbarschaft der Schule sukzessive reduziert werden.



Abbildung 7: Natürliche Abschattungen durch Bäume auf der Südwestseite.



Abbildung 8: Natürliche Abschattungen durch Bäume auf der Südostseite.

Hinsichtlich des Heizwärmebedarfs zeigt sich das im Laufe des Projekts fertig sanierte Schulgebäude vorbildlich beim Energieverbrauch. Ganz in diesem Sinne für den sommerlichen Wärmeschutz ein vergleichbar effizientes Klimatisierungskonzept gefragt.

Technische und bauliche Maßnahmen zur Überhitzungsminderung

Bauliche Maßnahmen

Im Rahmen von Sanierungsarbeiten wurden individuell in den Klassenzimmern als auch über die Gebäudeautomation steuerbare Außenjalousien eingebaut, die Heizung erneuert und der Wärmeschutz der Hüllflächen mit unterschiedlichen Maßnahmen (z.B. auch durch Innendämmung) verbessert. In zwei Klassenzimmern wurden zu Versuchszwecken Fenster mit Sonnenschutzverglasung eingebaut.

Des Weiteren lassen sich, wie in Abbildung 9 zu sehen, über die neu integrierte Gebäudeautomation mit Einzelraumregelung zwei Oberlichtfenster je Fensterfront eines Klassenzimmers, zwei Abluftventilatoren und die Lichtkuppeln im Treppenhaus steuern. Die Abluftanlagen und die Lichtkuppeln befinden sich auf dem Dach bzw. im Treppenhaus. Die Klassenzimmertüren müssen manuell geöffnet und geschlossen werden.



Abbildung 9: Klassenzimmer der THR mit heruntergefahrenen Jalousien im Sommer.

Abschattungseinrichtungen

Für die Aktivierung der Jalousien im Sommer wird die Lichtintensität fassadenparallel für drei Fassadenausrichtungen (östliche, südliche und westliche Orientierung) gemessen. Bei Überschreitung des eingestellten Grenzwertes werden die Jalousien bei nicht belegten Räumen heruntergefahren. Eine wiederholte Prüfung der Jalousien erfolgt erst dann, wenn im jeweiligen Raum das Präsenzmeldersignal länger als 15 Minuten auf „nicht belegt“ steht. Bei Freigabe der Nachtlüftung bleiben die Jalousien oben.

Im Winter wird die Sonnenenergie tagsüber durch hochgefahrte Jalousien bei Nichtbelegung genutzt. Nach den Unterrichtszeiten werden sie generell herunter gefahren, um entsprechend Abbildung 10 zur Auskühlungsminderung beizutragen.

ten Lüftungsanlage, wärmebelastete Räume mit kühler Nachtluft gespült werden, während kühle Räume aus dem Kühlprozess ausgeschlossen werden. Damit kann gezielt in stärker wärmebelasteten Klassenzimmern die Luftwechselrate erhöht werden. Da der Aufwand für die Einrichtung brandschutztechnisch, sensibler Luftklappen wie Überströmöffnungen oder elektrisch steuerbare Klassenzimmer- oder Flurtüren sehr hoch ist, wird im Schulbereich ein halbautomatisierter Betrieb umgesetzt.

Abbildung 12 veranschaulicht den Automationsgrad für die wichtigsten Schaltelemente zur Umsetzung einer Nachtluftkühlung über das zentrale Treppenhaus der Theodor-Heuss-Realschule. Zentrale Steuerbefehle, Wettersensoren, die Einzelraumregelung in den Klassenzimmern sowie manuelle Eingriffe der Raumpflegerkräfte oder des Hausmeisters bzw. des Schließdienstes sorgen für eine effiziente Überhitzungsvermeidung im gesamten Schulgebäude.

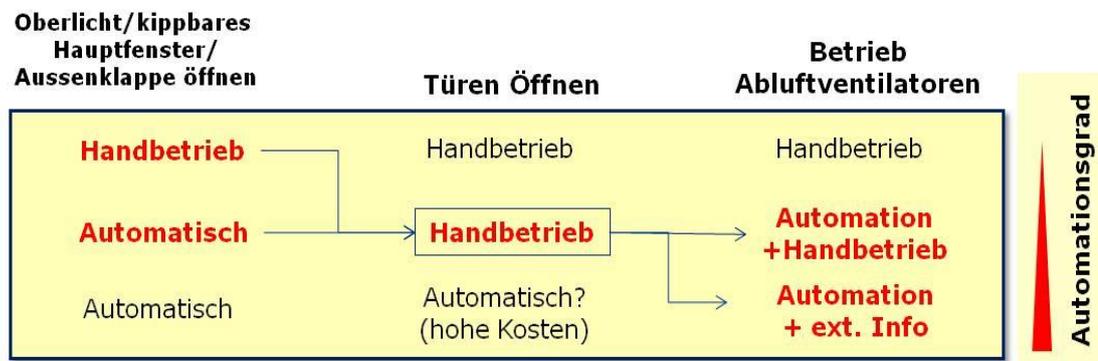


Abbildung 12: Darstellung des Automationsgrads beim halbautomatischen Betrieb der Nachtlüftung.

Einen Einblick über die Möglichkeiten des Eingriffs in die Gebäudeautomation zeigt Abbildung 13 mit dem Ausschnitt des Steuertableaus für das 2.OG. Hier kann der Hausmeister die Nachtlüftung ein- oder ausschalten oder in der Intensität verändern. Der Zugriff ist für den Hausmeister oder das technische Management des Rathauses auch über einen Fernzugriff möglich.

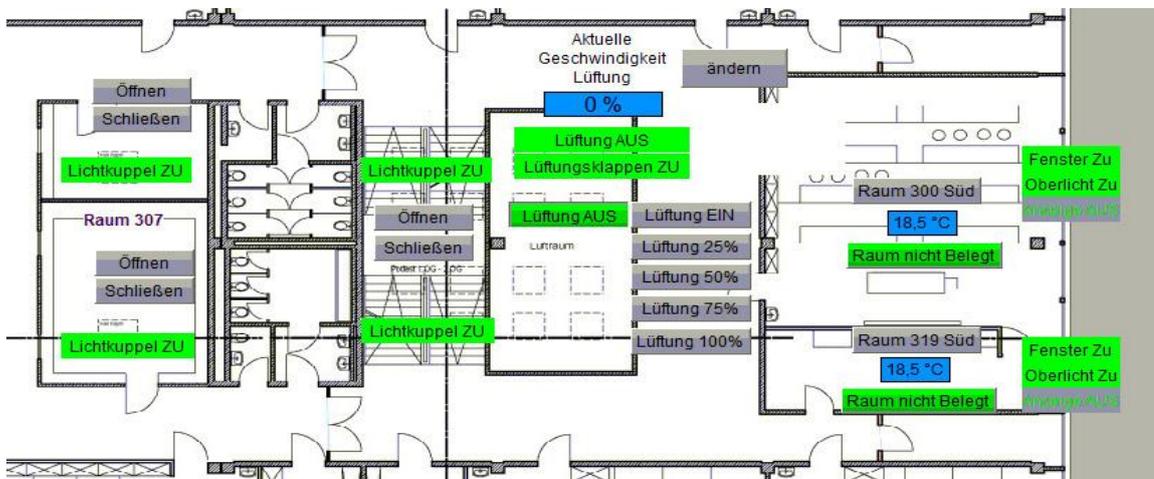


Abbildung 13: Ausschnitt von Bedienelementen der Gebäudeautomation für das 2.OG.

Charakteristische Messergebnisse

Sommerliche Temperaturen

In den Sommermonaten werden tägliche Wärmeeinträge über Nacht mit kühler, frischer Luft kompensiert und mit dem automatisierten Betrieb der Außenjalousien werden solare Gewinne auf ein Minimum reduziert. Die Gebäudeautomation mit der Einzelraumregelung für die Klassenzimmer ist dabei ein wichtiger Bestandteil des Klimatisierungskonzeptes. Die Komfortverbesserung ist dank der aktiven Mitarbeit von Personal, Schülern und Belegschaft gut erreichbar. Besonders gut zu sehen ist der Erfolg am Temperaturverlauf des heißen Sommerjahres 2010, der in Abbildung 14 dargestellt ist.

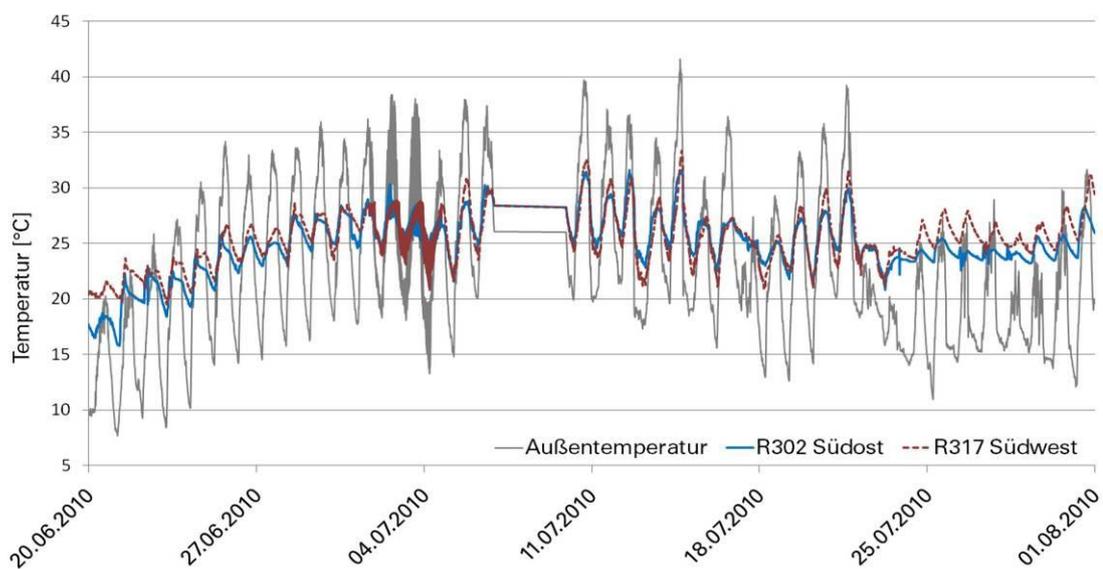


Abbildung 14: Temperaturverlauf im Jahr 2010 von 2 Räumen mit südöstlicher und südwestlicher Ausrichtung im 2. Obergeschoß der Theodor-Heuss-Realschule.

Die Raumtemperaturen der wärmsten Räume (Fachräume der Westseite) blieben angenehme 6 Kelvin unter der Außentemperatur, die Räume im Erdgeschoß lagen sogar fast 12 Kelvin unter der maximalen Außentemperatur.

Die Notwendigkeit der Klimatisierung durch aufgeschlossene Türen ist in Abbildung 15 sehr gut zu erkennen. Dargestellt sind die Außentemperatur (grau, gestrichelte Kurve) und die Raumtemperaturen von Räumen mit südlicher (rote Kurve) und östlicher Ausrichtung (blaue Kurve) im 2. Obergeschoß während der ersten Sommerhälfte im Jahr 2011. Folgendes ist dabei zu beobachten:

Über den Zeitraum von April bis Ende Juni ist die Tür und die Oberlichter eines gewöhnlichen Klassenzimmers R302 (blaue Kennlinie) über Nacht geöffnet und begünstigen so das Auskühlen mit Hilfe des erhöhten Luftvolumenstroms der Dachventilatoren. Raumtemperaturen von 30 °C werden dabei nicht überschritten. Ein anderes Verhalten ist dabei in Raum 317 zu beobachten. Durch fehlende Anweisungen, die Türen nachts zu öffnen, heizt sich der Raum im Zeitraum April bis Mitte Mai auf. Mitte Mai liegen die Innentemperaturen mit 32 °C sogar 5 K über der Außentemperatur. Solare Wärmeeinträge konnten also nicht wieder hinausbefördert werden. Erst ab dem 16. Mai wurden die Türen über Nacht geöffnet und die Wärme konnte abgeführt werden. Daraufhin verläuft die Kennlinie von Raum 317 nahezu parallel zur Kennlinie von Raum 302. Bei einer maximalen Außentemperatur von 35 °C Ende Juni herrschen im Inneren des Raumes gerade mal 25 °C. Eine Raumtemperatur von 30 °C wurde im Anschluss nicht überschritten.

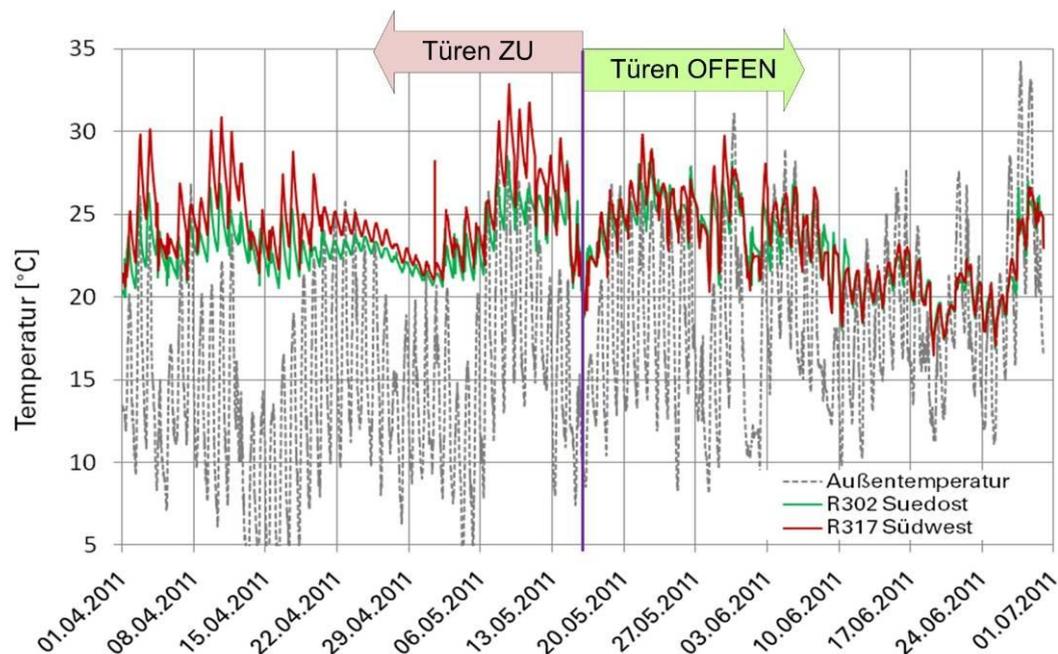


Abbildung 15: Darstellung der Außentemperatur und Raumtemperaturen von Räumen mit südlicher und östlicher Ausrichtung für den Zeitraum von Anfang April bis Ende Juni im Jahr 2011. Deutlich zu sehen die Überschreitungen der Raumtemperaturen über 30 °C durch die verschlossene Tür des Fachraums 317 (rote Kurve) auch bei maximalen Außentemperaturen unter 25 °C.

In Abbildung 16 sind die nächtlichen Kühleffekte sehr gut dokumentiert. Während des Lüftungsbetriebs (blauer Bereich) sinken die Raumtemperaturen in dem dargestellten Zeitraum um bis zu 3 Kelvin.

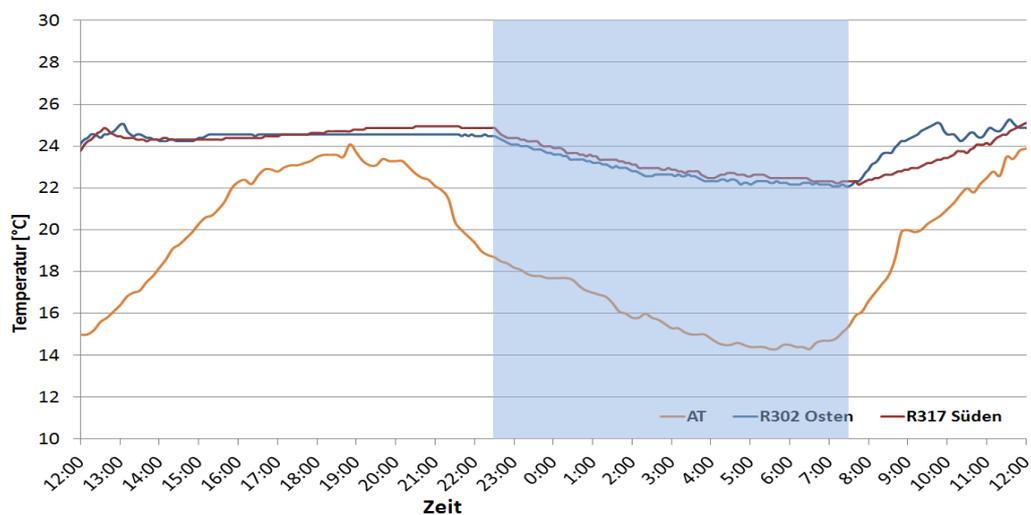


Abbildung 16: Lüftungseffekte in der Theodor-Heuss-Realschule. Der Zeitraum des Lüftungsbetriebs ist blau hervorgehoben.

Während wochentags relativ starke Temperaturanstiege bis zu 4 Kelvin durch den Unterricht zu beobachten sind, führen an Samstagen und Sonntagen die solaren Gewinne nur zu geringen Temperaturanstiegen. Die Räume heizen sich dabei über den Zeitraum (7.00 Uhr - 22.00 Uhr) auf, in dem nicht gelüftet wird auf.

Abbildung 17 veranschaulicht den Vergleich der Dauerlinien zu Temperaturüberschreitungen über 26 °C während der Unterrichtszeiten in den Klassenzimmern und zeigt den Unterschied zwischen den ähnlich belasteten Jahren 2009 und 2011. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Überhitzungsstunden nur während der Unterrichtszeiten verglichen werden. Die Maßnahmen zur Nachtlüftung bleiben bis auf die Sommerferien durchgängig aktiviert, d.h. sie tragen an Wochenenden und sonstigen Ferien- und Feiertagen aktiv zur Minderung bei.

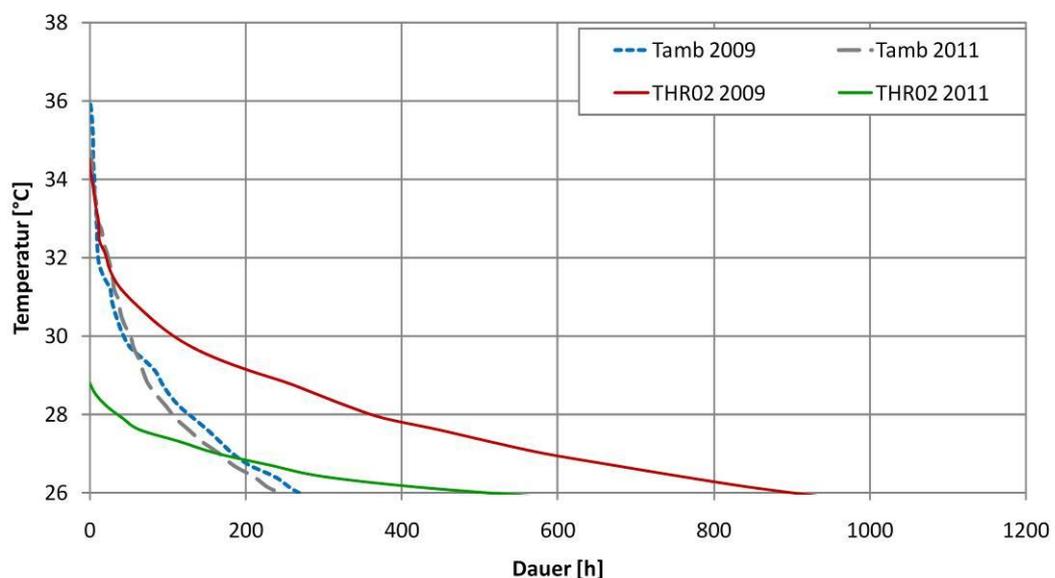


Abbildung 17: Dauerlinien zur Überschreitung von 26 °C in einem Referenzraum für die Jahre 2009 und 2011.

Das Monitoring der Beispielobjekte im Sommer 2012 bestätigte bei der Theodor-Heuss-Realschule die positive Entwicklung bei der Wärmelastminderung durch die umgesetzten Maßnahmen. Die Verstetigung und Integration der Änderungen in den Schulbetrieb kann noch nicht als abgeschlossen gelten und soll über weitere Kommunikationsmaßnahmen und mit Hilfe des Leitfadens gestützt werden.

Der Gebäudebetrieb im Sommerhalbjahr 2012 zeigte keine wesentlichen thermisch relevanten Erkenntnisse im Vergleich zum Sommer 2011. Wie in 2010 und 2011 werden die Fachräume erst bei Erreichen hoher Raumtemperaturen in das Lüftungskonzept über das Treppenhaus eingebunden. Im Sommer 2012 wurde erst zu Beginn einer ersten starken Wärmephase Ende Mai der Betrieb der Nachtlüftung vollständig umgesetzt. Der Erfolg zeigt sich darin, dass von diesem Zeitpunkt an Raumtemperaturen von 28 °C während der Unterrichtszeit kaum überschritten wurden.

Während der Ferien findet in der Regel kein Nachtlüftungsbetrieb statt, sodass wie in Abbildung 18 zu erkennen ist, das Temperaturniveau des Fachraumes (blaue Messkurve) mit südlicher Ausrichtung im August höher liegt als im Klassenraum des gleichen Stockwerks (grüne Messkurve).

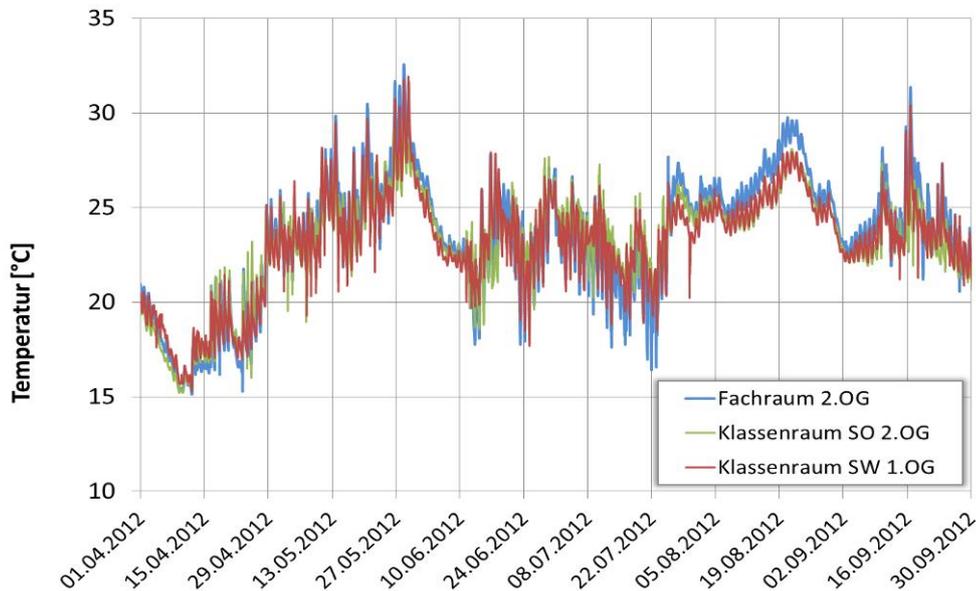


Abbildung 18: Temperaturverlauf zweier stark belasteter Klassenräume und eines Fachraums der Theodor-Heuss-Realschule im Sommerhalbjahr 2012.

In den vergleichbaren Messjahren 2009, 2011 und 2012 kann der Erfolg anhand der Abbildungen 19 und 20 belegt werden. Um die Vergleichbarkeit der Sommerhalbjahre zu gewährleisten wird hier der Temperaturverlauf des gesamten Sommerhalbjahres inklusive der Wochenenden und Ferienzeiten gegenübergestellt. Während die Dauerlinien der Außentemperatur fast identisch sind, liegen die Dauerlinien der Klassenräume aus den Jahren 2011 und 2012 (mit Nachtlüftung und Verschattung) unter der Dauerlinie des Jahres 2009 (ohne kühlende Maßnahme).

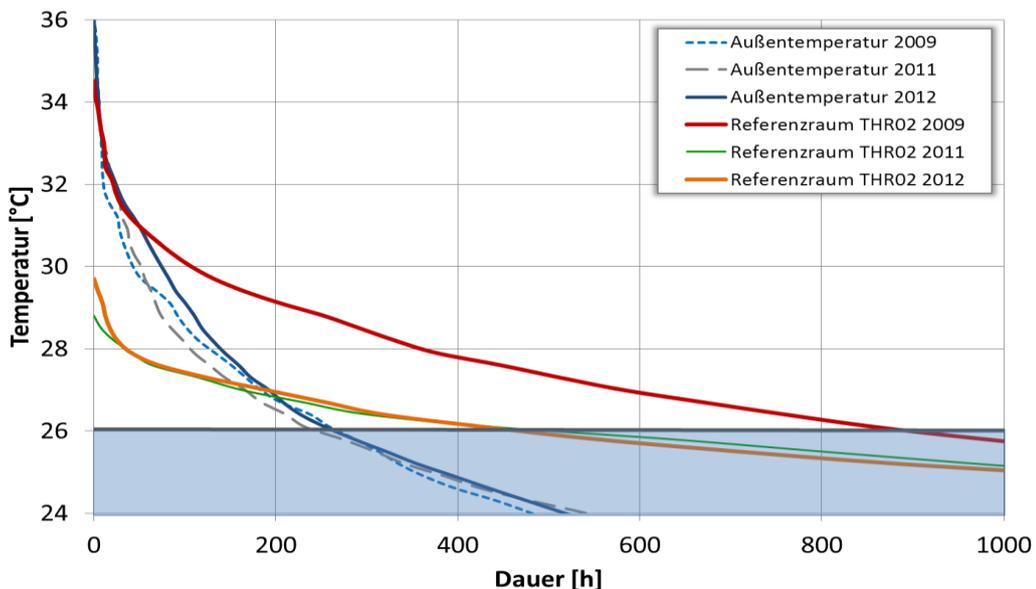


Abbildung 19: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südosten ausgerichteten Raum des 2.OG der Theodor-Heuss-Realschule.

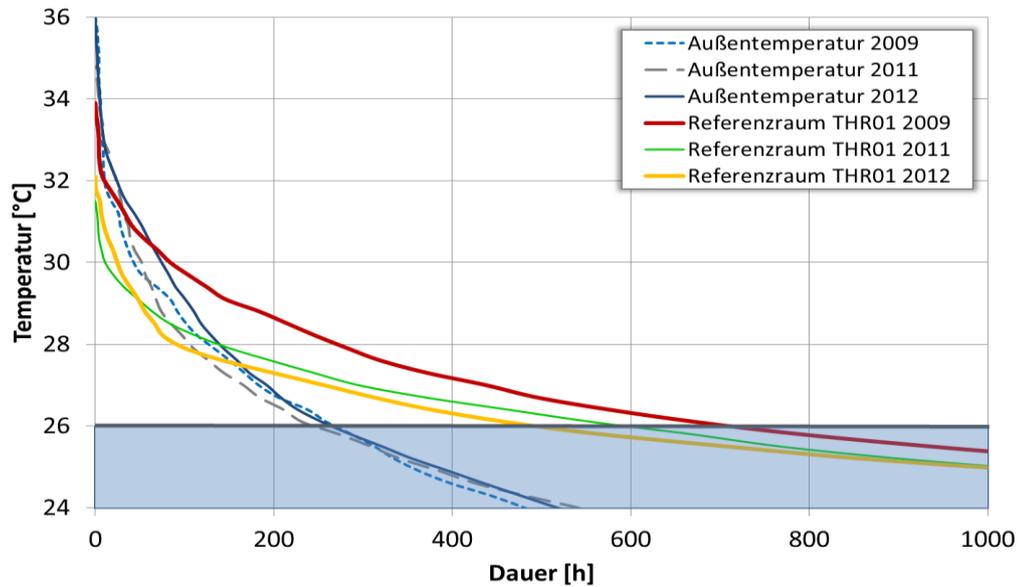


Abbildung 20: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südwesten ausgerichteten Raum des 1.OG der Theodor-Heuss-Realschule.

Gespräche mit Lehrern und Schülern der Theodor-Heuss-Realschule bestätigen die Messergebnisse des Monitoring. Eine deutliche Verbesserung des Lern- und Arbeitsklimas kann uneingeschränkt bestätigt werden.

Sonnenschutzverglasung

In zwei Räumen des 1. Obergeschoß wurden Fenster mit Sonnenschutzverglasung eingebaut. Um eine qualitative Aussage über die Funktion der Fenster zu machen, wurden Tageslichtquotienten und Temperaturverläufe aufgenommen. Der Tageslichtquotient gibt Aufschluss darüber, wie gut die Ausleuchtung im Vergleich zur Außenhelligkeit an einem bestimmten Punkt im Raum ohne die Nutzung von Kunstlicht ist. Durch Beschichtungen oder Glashaltstoffe, die die Transmission von infrarotem Licht und so die Erwärmung eines Raumes verringern wird zwangsläufig auch die Transmission von sichtbarem Tageslicht gehemmt.

In den vermessenen Räumen konnten keine signifikanten Unterschiede zu den anderen mit Wärmeschutzverglasung ausgestatteten Räumen des Gebäudes festgestellt werden. Zudem wird mit Hilfe von Einstrahlungssensoren aktivierten Abschattungseinrichtungen der Effekt der Sonnenschutzverglasung stark reduziert. Sofern der Lamellenwinkel der Abschattungseinrichtungen ein Arbeiten mit ausreichender Tageslichtversorgung zulässt, entfällt die Notwendigkeit in Schulen auf Sonnenschutzverglasung zurückzugreifen. Die Auslegung der Fenster kann somit am Wärmeschutz orientiert bleiben.

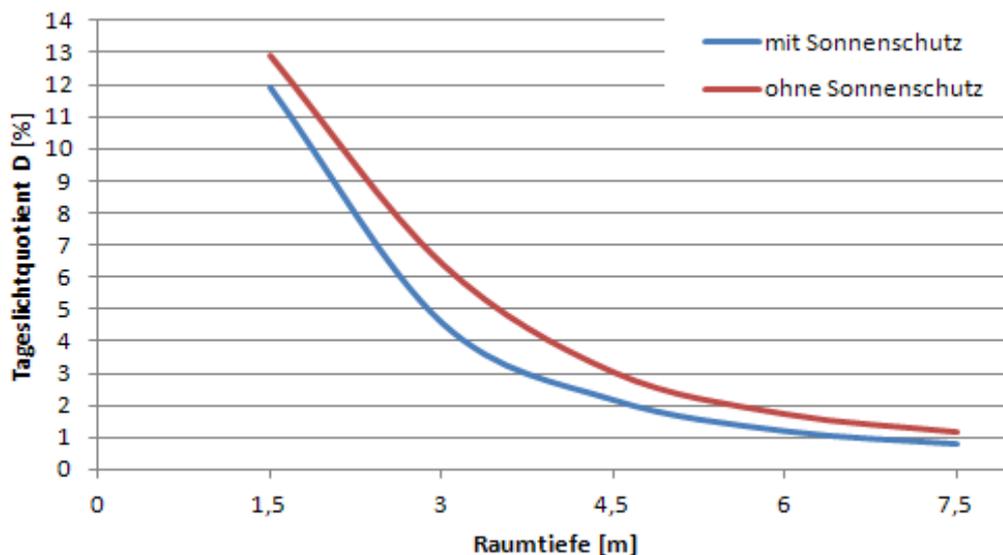


Abbildung 21: Der Tageslichtquotient als Indikator für die Abnahme des Beleuchtungsstärke mit der größer werdender Raumtiefe bei Räumen mit und ohne Sonnenschutzverglasung.

Lüftungsunterstützung zur Qualitätsverbesserung (Voruntersuchung)

Zur Verbesserung der Luftqualität wurden Vorversuche Anfang des Jahres 2011 durchgeführt. Die Abluftventilatoren wurden dazu in den großen Pausen mit 25% bis 50% der maximalen Leistung betrieben und die Oberlichter und Klassenzimmer geöffnet. In einigen Klassenzimmern wie dem Raum 302 der Abbildung 22 und Abbildung 23 blieben die Klassenzimmertüren geschlossen. Vorweg geschickt wurde jeweils ein Befehl, um heruntergefahrne Jalousien hochzufahren. Damit sollte ein freier Luftwechsel sichergestellt sein. Die Messergebnisse ohne Pausenlüftung sind in Abbildung 22 und mit Pausenlüftung in Abbildung 23 dargestellt. Als maximaler Grenzwert für die CO₂-Konzentration der Raumluft wurden 2.000 ppm (parts per million) gewählt, der sich an europäischen Vorschriften zur Luftqualität orientiert.

Ohne Pausenlüftung

Die maximale Konzentration an CO₂ wurde im Klassenzimmer 216 gemessen. Mit einer maximalen Konzentration von 4.750 ppm und einer Überschreitungsdauer des Grenzwertes von ca. 70 Stunden ist er der auffälligste Raum. Der Raum mit der niedrigsten maximalen Konzentration ist Raum 103 mit ca. 3.100 ppm. Der Grenzwert von 2.000 ppm wird hier ca. 15 Stunden lang innerhalb einer Woche überschritten.

Mit Pausenlüftung

Die maximale CO₂-Konzentration liegt zwischen 4.250 ppm im Raum 302 und 2.600 ppm im Raum 103 und somit ca. 500 ppm niedriger als ohne Pausenlüftung. Wesentlich bedeutsamer ist, dass der Grenzwert wesentlich kürzer überschritten wird. Lag die Überschreitungsdauer ohne Pausenlüftung zwischen 15 und 70 Stunden so liegt sie mit Pausenlüftung zwischen 5 und 35 Stunden. Bis auf den Raum 302 ist in allen Klassenzimmern eine deutliche Verbesserung feststellbar. Die großen Schwankungen sind auf unterschiedliches Nutzerverhalten zurückzuführen.

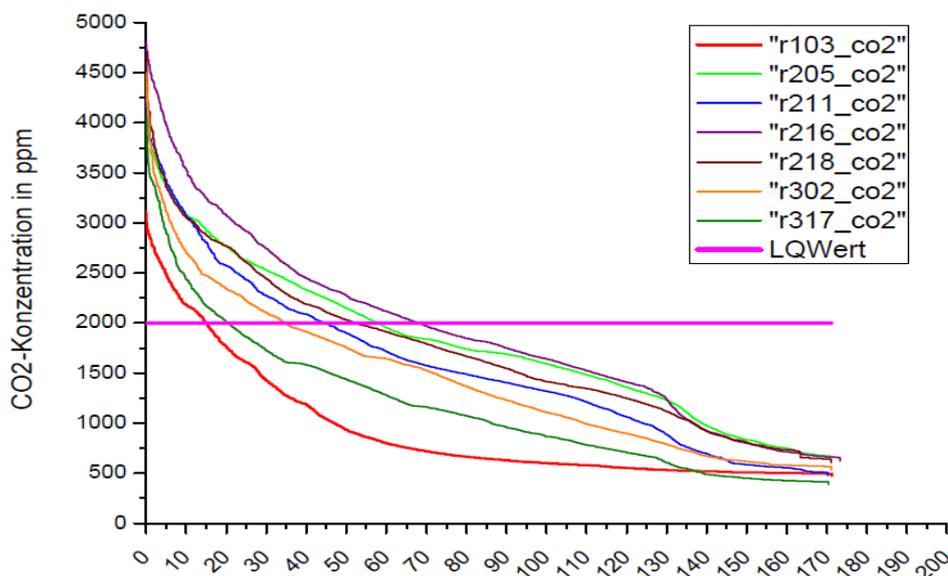


Abbildung 22: Ergebnis der Luftqualitätsprüfung ohne Pausenlüftung in der Theodor-Heuss-Realschule. Aufgetragen ist die Dauerlinie mit Markierung der Überschreitungen einer CO₂-Konzentration von mehr als 2.000 ppm.

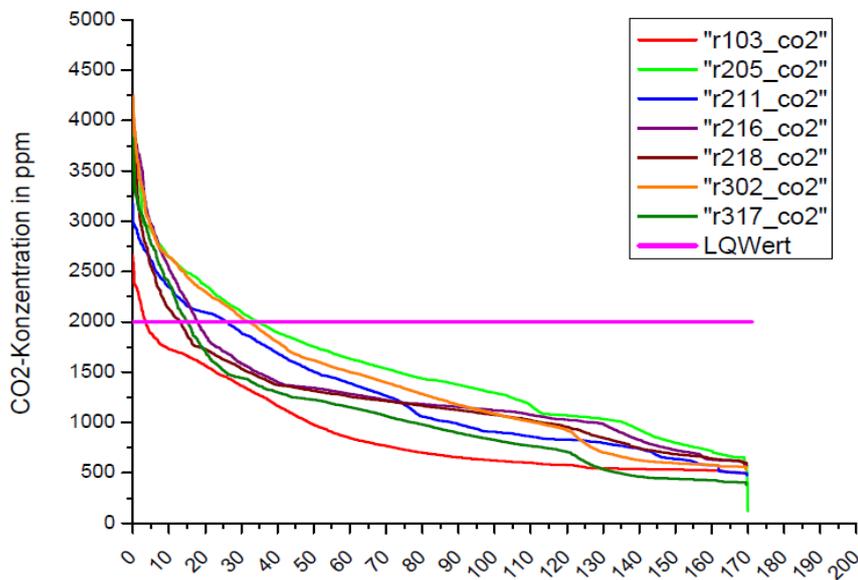


Abbildung 23: Ergebnis der Luftqualitätsprüfung mit Pausenlüftung. Aufgetragen ist die Dauerlinie mit Markierung der Überschreitungen einer CO₂-Konzentration von mehr als 2.000 ppm.

Das getestete Verfahren der automationsunterstützten Pausenlüftung zeigte eine beachtlich gute Wirkung auf die Luftqualität in den Klassenzimmern der Theodor-Heuss-Realschule. Im Hinblick auf die Nutzung von Abluftanlagen als unterstützende Massnahme zur Stoßlüftung während der Unterrichtspausen könnte das Verfahren sehr energieeffizient zur Luftqualitätsverbesserung eingesetzt werden, ohne auf eine Wärme-rückgewinnung zurückgreifen zu müssen.

Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen für Personal

Die Handlungsempfehlungen für das Personal umfassen 4 Punkte:

- Überprüfung der Nachtlüftungsfreigabe durch die Gebäudeautomation zum 1. April eines Jahres.
- Aufschließen von Klassenzimmertüren in den Monaten April bis September.
- Gegebenenfalls Ausweitung auf Fachräume bei zu hohen Temperaturen.
- Abschließen der Türen ab 7 Uhr morgens (insbesondere Fachräume)

Während des Lüftungsbetriebs muss die Funktion der Lichtkuppeln gesperrt sein. Eine Überprüfung kann über die Gebäudeautomation erfolgen.

Neben der einwandfreien Funktion der Gebäudeautomation, spielt das Personal (besonders der Hausmeister) eine sehr wichtige Rolle. Ohne das offen stehen lassen der Klassenzimmertüren findet kein ausreichender Luftaustausch statt. Der Auskühleffekt bleibt gering oder ganz aus. Eine Schulung des Personals, zum Beispiel nach einem Wechsel der Reinigungskräfte ist eine funktionssichernde Maßnahme bei der Umsetzung des Konzepts.

Handlungsempfehlungen für Nutzer

Im Rahmen eines WVR-Schülerprojekts wurden eine siebte Klasse über das Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ zum Ende des Schuljahres 2010/2011 informiert. Während der drei Projektstage haben die Schüler die Sachverhalte über ihr Klassenzimmer aufgegriffen und Verhaltensregeln erarbeitet. Die Zusammenfassung der Regeln wurde in einem Flyer veröffentlicht. Der Flyer soll für den Arbeitsklima begünstigenden Betrieb der Fenster und Abschattungseinrichtungen hilfreich sein und vermittelt die richtige Lüftungsmethode zur Winter- bzw. Sommerzeit.

Oststadtschule

Schultyp: Realschule und Grundschule

Adresse: Prinz-Eugen-Str. 76
77654 Offenburg



Abbildung 1: Oststadtschule in Offenburg.

Kurzfassung der Projektergebnisse

Beschwerden über starke Wärmeentwicklung im aufgesetzten Dachgeschoß der Oststadtschule führten zu mehreren Überlegungen des Gebäudemanagement der Stadt Offenburg und letztlich zum Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ mit dem Forschungspartner Hochschule Offenburg. Das Kasernengebäude verfügt mit dem Erdgeschoß bis zum zweiten Obergeschoß über drei Geschoße in schwerer Bauweise und über ein nachträglich aufgesetztes drittes Obergeschoß, das Dachgeschoß in Leichtbauweise, das im Jahr 2003 fertiggestellt wurde und sich energetisch an der ENEC 2002 orientiert.

Die Gründe für die Leichtbauweise lagen nicht zuletzt in den zulässigen Lasten, die den Eintrag von massiven Baukomponenten begrenzten. Mit dem Beginn des Forschungsprojekts wurden erste Analysen des bisherigen Betriebs durchgeführt die Raumklimaentwicklung (Temperatur, Feuchte und Lichtintensität) einzelner Klassenzimmer gemessen. Als Schwachstellen wurden der fehlende Temperatenausgleich über Nacht und der mangelhafte Betrieb der Außenjalousien erkannt. Der Einbau zweier Lüftereinheiten auf den Stirnseiten des Dachgeschosses in Verbindung mit der Ansteuerung der Oberlichtfenster in Klassenräumen über die zentrale Gebäudeautomation war der erste Schritt zur Minderung. Unterstützt wurde die Gebäudeautomation durch die Öffnung der Klassenzimmer und Flurtüren durch das Raumpflegerpersonal oder den Hausmeister.

Leider war die vorhandene Gebäudeautomation nur beschränkt für die Messung und Aufzeichnung von Raumklimamessdaten geeignet. Sie wurde für das Monitoring im Projekt um ein Messwerterfassungssystem mit Datenübertragung über das GSM-Mobilfunknetz für sie-

ben Klassenräume und die neue Wetterstation erweitert. Das Messsystem erlaubt umfangreiche Analysen zum Raumklima und bei Bedarf die spätere Integration wichtiger Sensoren in die Gebäudeautomation. Aufbauend auf den Erfahrungen des eher milden Sommers 2009 und eines darauffolgend relativ warmen Sommers 2010 wurde festgestellt, dass weitere Maßnahmen beim Jalousienbetrieb und auch in den Geschoßen unterhalb des Dachgeschoßes erforderlich waren. Dies führte im Sommer 2011 zum Einbau zweier weiterer Lüftereinheiten in das 2.OG und zur umfangreichen Überarbeitung der Jalousiensteuerung im Dachgeschoß und im 2.OG. Ein großer Teil der Ansteuermodule der Gebäudeautomation mussten hierzu umprogrammiert und einige Handschalter in den Klassenräumen für eine bessere Bedienung durch die Nutzer ausgetauscht werden.

Die Wirkung der umgesetzten Maßnahmen konnte im Dachgeschoß zum Sommer 2011 erstmals sehr gut nachgewiesen werden. Die fehlenden Wärmekapazitäten lassen das Geschoß jedoch empfindlich auf Hitzephasen reagieren. Um diesem entgegen zu wirken wurden die Maßnahmen auf das zweite Obergeschoß ausgeweitet. Eine erste Inbetriebnahme der Abluftanlage mit den neuen Klappfenstern wurde im Winter 2011 durchgeführt.

Das Monitoring der Sommerperiode 2012 bestätigte erneut die wärmelastmindernde Wirkung des Nachtlüftungskonzeptes. Die Nachrüstung der Abluftanlage im 2.OG konnte die Raumtemperaturen um ca. 2 Kelvin gegenüber den in den Vorjahren kühleren Räumen im Erdgeschoss und 1. Obergeschoss gesenkt werden. Ergänzend wurde die Möglichkeit zur Reduzierung der Lüfterleistung im Dachgeschoß untersucht, die während milder Sommerphasen zu Energieeinsparungen und zur Minderung von Lüftungsgeräuschen führt. Die Optimierung des Betriebs kann abschließend nicht als beendet gesehen werden, da die installierte Gebäudeautomation nach wie vor nicht zuverlässig arbeitet und eine Unterstützung des veränderten Gebäudebetriebs durch die Nutzer und das Personal der Schule erforderlich ist. Weitere Informationsveranstaltungen sind mit Hilfe des Leitfadens vorgesehen.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:

Mehrgeschossiges, massives Gebäude mit aufgesetztem Dachgeschoß in Leichtbauweise

Einzug der Erich-Kästner-Realschule
in das ehemalige Kasernengebäude: 2000

Gründung der EKR: 1981/82

Anzahl der Nutzer/Innen:

450 (Schule gesamt)

Nutzungszeiten:

07:30 Uhr - 09:00 Uhr

09:15 Uhr - 10:45 Uhr

11:05 Uhr - 12:35 Uhr

13:30 Uhr - 16:30 Uhr

Lüftungsvariante:

Mechanisch unterstützte Geschoßlüftung in zwei Obergeschoßen als automationsunterstützte Abluftanlagen mit Nachströmöffnungen

Lufttechnisch relevante Daten

Gekühlte Fläche:	1.800 m ²
Mittlere Raumhöhe:	3,1 m
Gekühltes Luftvolumen:	5.600 m ³
Abluftvolumenstrom:	13.200 m ³ /h

Grundrisse und Gebäudeschnitte

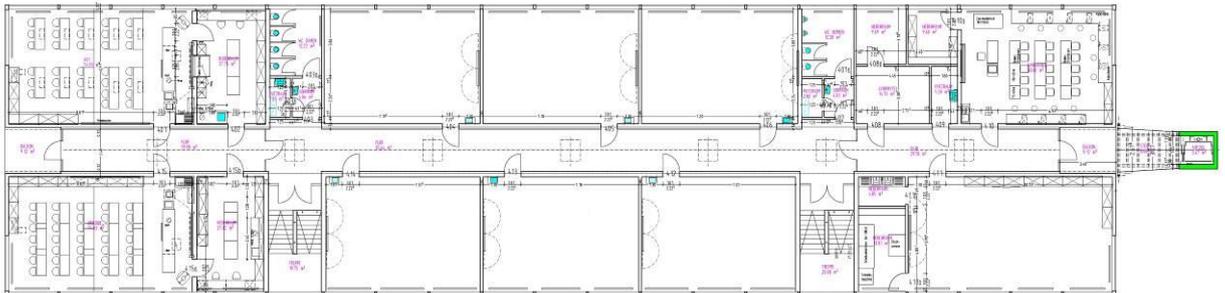


Abbildung 2: Grundriss des Dachgeschosses der Erich-Kästner-Realschule mit 4 Fachräumen und 6 Klassenzimmern.

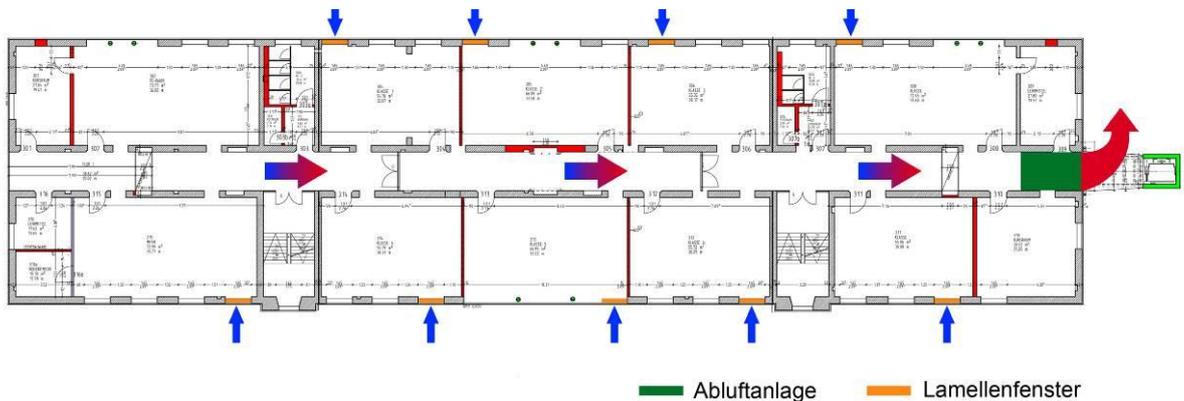


Abbildung 3: Grundriss des zweiten Obergeschosses der Oststadtschule mit dem Luftwegeschema und den Klassenräumen, die mit Klappfenstern ausgerüstet wurden.

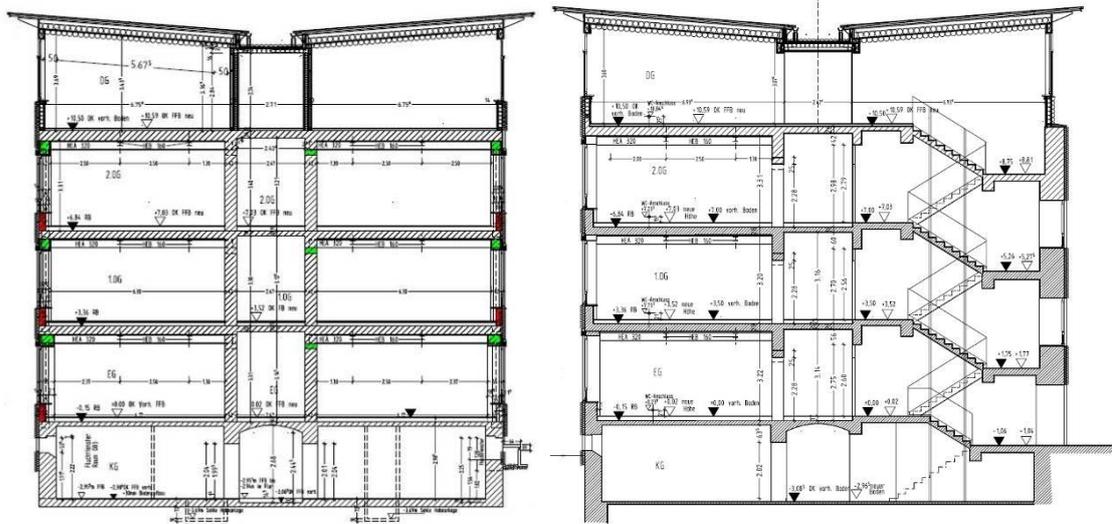


Abbildung 4: Querschnitte der Oststadtschule.

Informationen zum Baukörper

Die Oststadtschule beherbergt zwei Schulen in einem ehemaligen Kasernengebäude. Die Erich-Kästner-Realschule (EKR) und die Anne-Frank-Schule (AFS). Die Erich-Kästner-Realschule befindet sich im Dach- und zweiten Obergeschoss während die Anne-Frank-Grundschule im Erd- und ersten Obergeschoss untergebracht ist.

Das alte Kasernengebäude ist in Massivbauweise gefertigt, welches 1999/2000 saniert wurde. Neben der Heizungsanlage wurden die Fenster erneuert und die 40 cm Außenwände mit einer 8 cm starken Wärmedämmung versehen. Das alte Satteldach wurde abgetragen und durch ein Schmetterlingsdach in Leichtbauweise ersetzt, welches als stark thermisch belastet eingestuft wird.

Das schmale quaderförmige Gebäude ist unterkellert und verfügt über insgesamt 5 Geschosse die über zwei Treppenhäuser zugänglich sind. Als Folge des schmalen Baukörpers fallen die Flure zwischen den Klassenräumen eher eng aus und das Luftvolumen zum Temperatenausgleich fällt durch die relativ niedrigen Decken in den unteren drei Geschossen eher gering aus.

Nach dem Umbau zum Schulgebäude wurden in mehreren Phasen brandschutztechnische Anpassungen vorgenommen, um die Fluchtwege sicherzustellen. Hierzu gehören unter anderem die durch Brandmelder überwachten Flur- und Treppenhautüren.



Abbildung 5: Ansichten der Oststadtschule (v. links n. rechts): Südostfassade, Südwest-Stirnseite, Nordwestfassade, Nordost-Stirnseite mit Aufzugschacht.

Die Oststadtschule verfügt über Abschattungseinrichtungen in Form von außen montierten Jalousien und elektromotorisch steuerbaren Oberlichtfenstern. Die bisherige Lüftung basierte im gesamten Schulgebäude auf der Querlüftung über offene Klassenzimmertüren, gekippte Oberlichter und offene Hauptfenster. Der schmale Baukörper sorgt dafür, dass die Tendenz zu

heftigem Zuschlagen von offenen Fenstern und Türen durch Zugscheinungen vergleichsweise hoch ist. Schäden an den außenliegenden Jalousien sind durch die Zugscheinungen ebenfalls nicht auszuschließen.

Technische und bauliche Maßnahmen zur Überhitzungsminderung

Bauliche Maßnahmen

Mit dem Projektstart zum Sommer 2008 wurden Messungen zu den Innenraumtemperaturen im Dachgeschoß vorgenommen. Im Laufe des Jahres 2009 kamen der Einbau von Abluftanlagen auf den Stirnseiten des Dachgeschoß und der Einbau und die Inbetriebnahme eines Messsystems für Wetterdaten und Raumklimadaten hinzu. Mit den Baumaßnahmen ging auch das Umprogrammieren und Erweiterung der Gebäudeautomation einher.

Seit Herbst 2011 wurde als weitere und im Projekt letzte Optimierung auch im 2. Obergeschoss der Oststadtschule eine Abluftanlage installiert. Diese besteht aus zwei Abluftventilatoren auf der nördlichen Stirnseite, die mit elektromotorisch angesteuerten Klappfenstern in neun Klassenzimmern arbeiten. Durch die schaltungstechnische Überarbeitung und Neuprogrammierung der Jalousiensteuerung und der Oberlichtansteuerung können die Klassenzimmer des Dachgeschoß und des zweiten Obergeschoß individuell geregelt werden. Die Nachtlüftungsfunktion kann nun auf deutlich verbesserte Betriebsbedingungen zurückgreifen.

Im Winter 2011/12 wurden in zwei Fachräumen im Dachgeschoss der Oststadtschule zusätzlich mit Rolltoren versehen, um sie dem Nachtlüftungskonzept anzuschließen. Fachräume müssen zu jederzeit vor untersagtem Zugang geschützt werden. Dadurch konnten die Türen nachts nicht offen stehen gelassen werden. Durch die ausgestanzten Rolltore kann wie in Abbildung 6 dargestellt, der Nachtlüftungsbetrieb umgesetzt werden, aber Personen werden an einem unerlaubten Betreten des Fachraums gehindert. Da sich diese Fachräume unmittelbar in der Nähe der Ansaugöffnung der Lüftungsanlagen befinden sorgen die ausgestanzten Lamellen für einen höheren Strömungswiderstand im Vergleich zu den geöffneten Klassenzimmertüren. Ein lufttechnischer Kurzschluss wird so deutlich vermindert.



Abbildung 6: Aufgesetzte Rollläden mit ausgestanzten Metallsegmenten (links: Innenseite des Fachraums mit Rollladenbox, rechts: Klassenzimmertür zum Flur öffnend und Blick in den Fachraum bei teilweise geöffnetem Rollladen)

Abschattungseinrichtungen

Die Freigabe der Periode für den Sommerbetrieb für die Jalousien erfolgt vom 1. April bis zum 30. September. Eingangsparameter zur Jalousiensteuerung sind Windgeschwindigkeit, Sonneneinstrahlung auf die jeweilige Gebäudefassade, Präsenzmelder und Nachtlüftungsbetrieb. Eine manuelle Übersteuerung ist jederzeit möglich.

Besonderheit: Wie in Abbildung 7 und Abbildung 8 zu sehen, werden die Oberlichter im Dachgeschoß nicht durch Jalousien verdeckt. Dies führte bei Räumen mit südwestlicher Ausrichtung dazu, dass sich am späten Abend durch direkte Sonneneinstrahlung die Temperatursensoren erhitzen können und höhere Raumtemperaturen messen. In Abbildung 11 sind die Temperaturpeaks für den Raum 405 dokumentiert. In einigen Klassenzimmern wurden die Oberlichtfenster mit einer weißen Folie beklebt.



Abbildung 7: Beschichtete/beklebte Oberlichter im Dachgeschoß (links).

Abbildung 8: Klassenzimmer der Oststadtschule mit heruntergefahrenen Jalousien (rechts).

Lüftungskonzept

Beim Geschoßlüftungskonzept in der Oststadtschule erzeugen die Abluftventilatoren einen Unterdruck, der kühle Nachtluft durch die Oberlichter in die Klassenzimmer nachströmen lässt. Durch offenstehende Türen wird die warme Luft aus den Klassenzimmern in den Flur befördert und von dort über die Ventilatoren an den Stirnseiten nach Außen geführt.

Die Steuerung der Oberlichter und der Ventilatoren wurde in die Gebäudeautomation integriert. Zusätzlich müssen die Klassenzimmer- bzw. Brandschutztüren manuell geöffnet und die Treppenhaustüren wie in Abbildung 9 unten veranschaulicht geschlossen werden. Da die Türen zum Treppenhaus über einen Elektromagneten offen gehalten werden, können sie durch kurze Unterbrechung der Stromversorgung von der GA ausgelöst zufallen. Im Sommer 2010 wurde festgestellt, dass die Treppenhaustüren häufig offen standen und warme Luft aus den unteren Etagen angesaugt wurde. Der Kühleffekt im Dachgeschoß selbst blieb somit aus oder kaum messbar.

Da massive Gebäude über hohe Wärmekapazitäten verfügen, gelten sie als prädestiniert für die erfolgreiche Umsetzung eines Nachtlüftungskonzepts. Auswertungen des heißen Sommers 2010 führten schließlich zu Planungen für eine weitere Abluftanlage im zweiten Obergeschoß. Diese wurde im Herbst 2011 fertiggestellt.

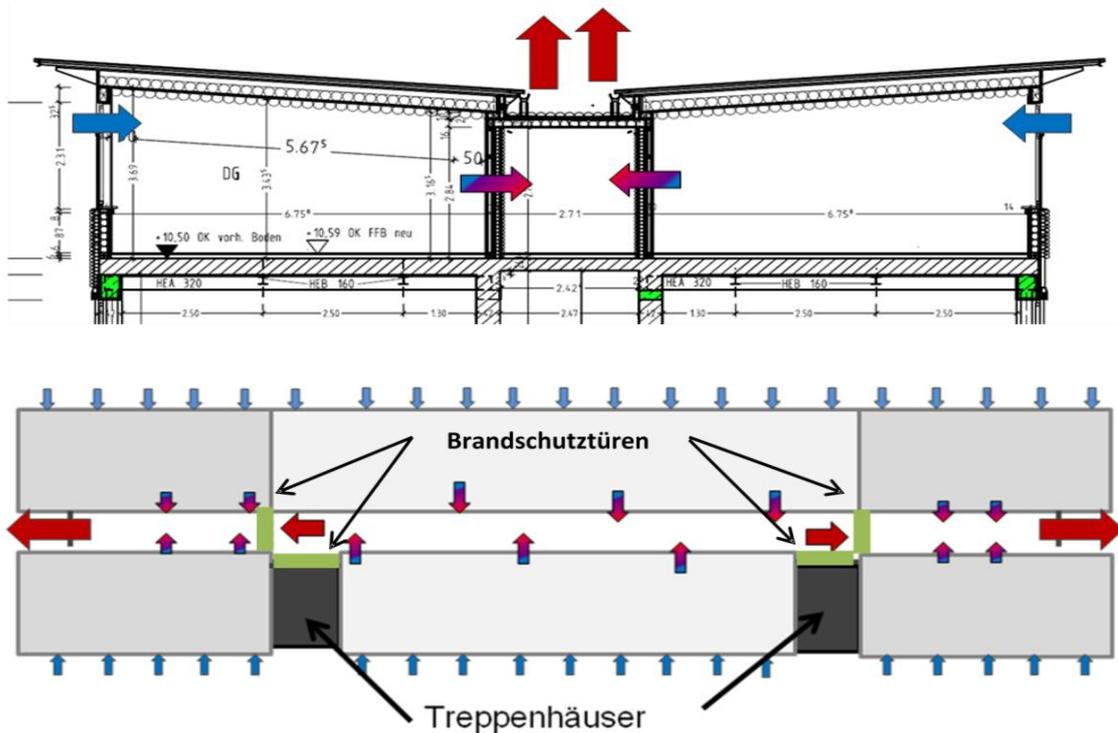


Abbildung 9: Luftwegeschema der Oststadtschule mit Abluftventilatoren an der Stirnseite.

Regelung und Steuerung

Der Betrieb der Hybridnachtlüftung beschränkt sich auf das Sommerhalbjahr (1.04. bis 30.09.) auf die Zeit zwischen 22:00 Uhr nachts und 7:00 Uhr morgens. Die Türen zu den Klassenzimmern werden durch das Reinigungspersonal am Nachmittag und die Fachräume bei stärkeren Hitzephasen durch den Schließdienst ab 22:00 Uhr aufgestellt, damit eine gute Luftzirkulation gewährleistet ist. Bei stärkeren Hitzeperioden insbesondere in den Monaten Juni und Juli sollten die Türen der Fachräume geöffnet und am folgenden Morgen vor Öffnen des Schulgebäudes geschlossen werden. Über ein Wochenende können die Türen unter Beachtung von Veranstaltungen und Sondernutzungen offen bleiben. Der Ausgleich innerhalb des Gebäudes wird dadurch intensiviert.

Bei Raumtemperaturen oberhalb von 23 °C und Außentemperaturen unter 24 °C und einer Temperaturdifferenz von 3 K zwischen der Außentemperatur und der Raumtemperatur werden die Oberlichter der betroffenen Klassenräume geöffnet und die Ventilatoren auf den Stirnseiten bei voller Leistung betrieben. Die dabei entstehenden Luftwege im Gebäude sind in Abbildung 9 veranschaulicht.

Zusammengefasst wird die Nachtlüftkühlung in der Oststadtschule wie folgt betrieben:

- Automatische Freischaltung der Nachtlüftkühlung vom 1.04. bis 30.09.
- Freigabezeitfenster des Tages: 22:00 Uhr abends bis 7:00 Uhr morgens
- Freigabe der Nachtlüftung bei Innenraumtemperaturen > 23 °C und bei Außentemperaturen < 24 °C.
- Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen > 3 K.
- Die Oberlichter eines Raumes werden bei Unterschreitung von 19 °C geschlossen.

Tritt eines der Kriterien nicht ein, kann die Nachtlüftungsfunktion ausbleiben bis alle Kriterien erfüllt sind. Als weiteres Kriterium ist das Aussetzen der Nachtlüftung über eine Drucküberwa-

chung u.a. aus Sicherheitsgründen vorgesehen. Ein verbesserter Personenschutz ist über die Freigabe der Nachtlüftung bei gleichzeitiger Aktivierung der Alarmanlage erreichbar, muss aber mit der Schulleitung abgestimmt werden.

Charakteristische Messergebnisse

Nach anfänglichen technischen Problemen und Umsetzungsschwierigkeiten mit der Gebäudeautomation für den Sommer 2010 hat sich das Lüftungskonzept im Jahr 2011 bewährt. Messungen des Jahres 2011 und 2012 belegen ein deutlich verbessertes Arbeits- und Lernklima in den oberen Geschossen der Oststadtschule.

Sommerliche Temperaturen

In der heißesten Periode des Sommers 2011, dargestellt in Abbildung 10, werden maximale Raumtemperaturen von 31 °C bei Außentemperaturen von 35 °C erreicht.

Auch die Überhitzung im Sommer 2011 wäre zu vermeiden gewesen wie die Analyse der Nachtluftkühlung aus Abbildung 11 zeigt. Dargestellt sind die Innenraumtemperaturen zweier Räume im Dachgeschoss der Oststadtschule. In den Nächten des 28. und 29. Juni konnte die Nachtlüftungsfunktion nicht das volle Kühlpotenzial ausnutzen. Die Außentemperatur fällt erst 3 bzw. 6 Stunden nach 22:00 Uhr unter den Außentemperaturgrenzwert von 24 °C. Ein Anheben des Grenzwertes auf 26 °C wird empfohlen.

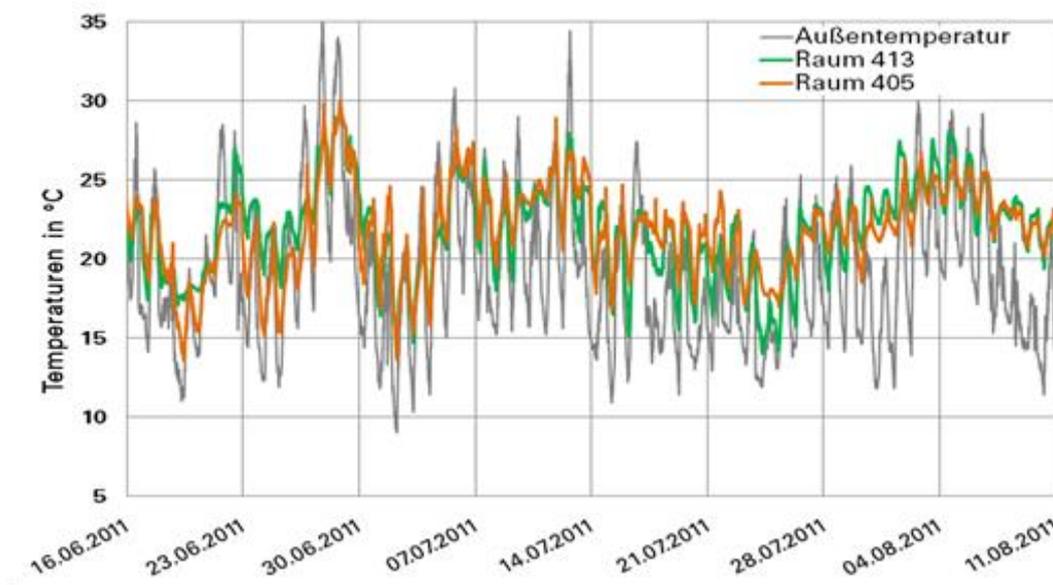


Abbildung 10: Überblick über die Außentemperatur und die Innentemperaturen in zwei Klassenzimmern im Dachgeschoss der Oststadtschule.

Die Analysen zu Nachttemperaturen am südlichen Oberrhein zeigen, dass die tiefste Nachttemperatur an Tropennächten bei etwa 23 °C liegt. Diese tritt aber erst am frühen Morgen auf und kann als Grenzwert für die Nachtlüftungsfunktion nicht herangezogen werden. Der verkürzte Lüftungsbetrieb führte am 29. Juni 2011 zur Überhitzung einiger Klassenzimmer und zeigte so ein weiteres Optimierungspotenzial auf.

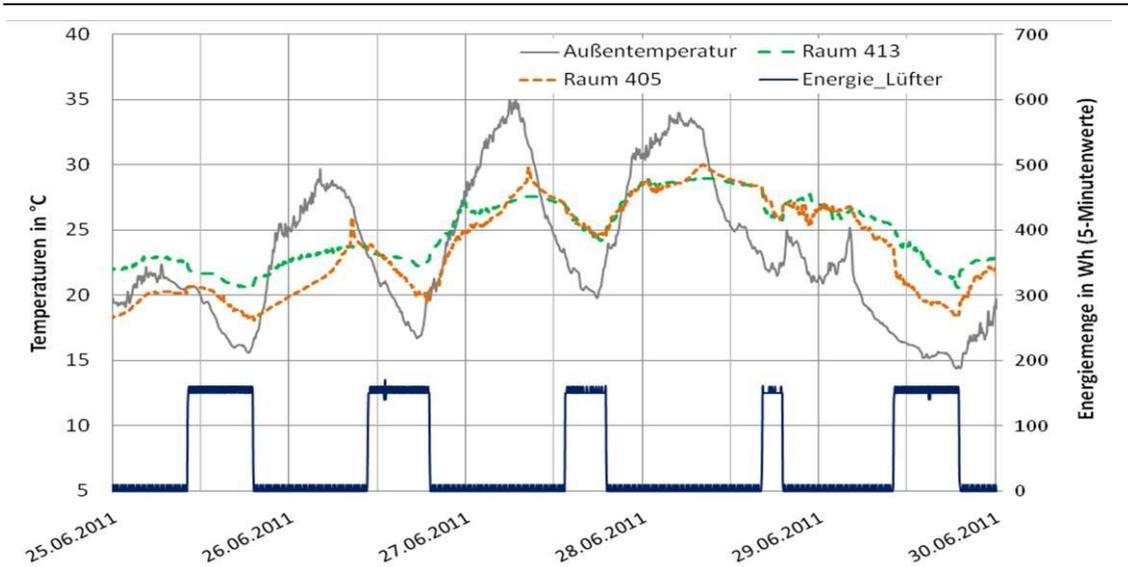


Abbildung 11: Temperaturverlauf in zwei Klassenzimmern des Dachgeschoß, eines in südöstlicher (Raum 413) und das andere in nordwestlicher (Raum 405) Ausrichtung. Der von der Gebäudeautomation geforderte Außentemperaturgrenzwert blieb oberhalb 24 °C und verhinderte den Start der Nachtlüftung (Energie_Lüfter) in den Nächten zum 28.06.2011 und 29.06.2011.

Den Erfolg der zum Einsatz kommenden Nachtlüftkühlung bestätigt der Vergleich von Dauerlinien der Sommer 2009 und 2011. Die Anzahl der Überhitzungsstunden mit Raumtemperaturen oberhalb von 26 °C während der Unterrichtszeiten (7:00 bis 17:00 Uhr) konnten in einem Klassenzimmer der Südostseite um über 50 % reduziert werden. Vergleichbar werden die beiden Jahre durch die Betrachtung der Dauerlinien der Außentemperaturwerte, die bezüglich der Überschreitungen der 26 °C in 2009 und 2011 ähnlich hoch lagen.

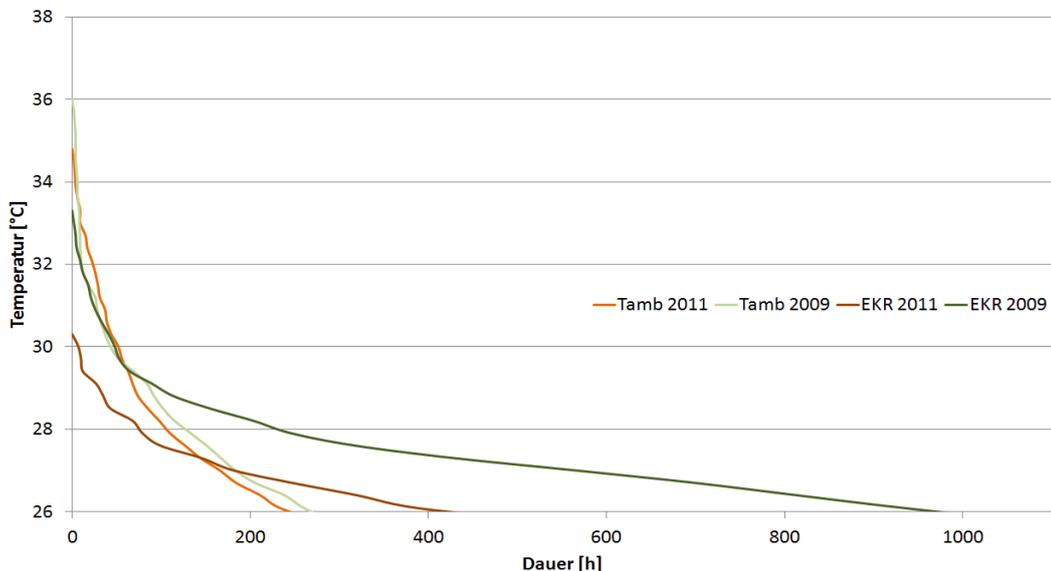


Abbildung 12: Dauerlinien-Vergleich der Jahre 2009 und 2011 für Außentemperaturen (Tamb2009 und Tamb2011) und Raumtemperaturen (EKR2009 und EKR2011) oberhalb 26 °C.

Die Wirkung der im Herbst 2011 eingebauten Abluftanlagen im 2.OG kann eindrucksvoll an den Abbildungen 13 und 14 veranschaulicht werden. In Abbildung 13 sind die Dauerlinien der Sommerperiode 2011 und in Abbildung 14 die Dauerlinien der Sommerperiode 2012 dargestellt. Im Sommer 2011 wurde nur das Dachgeschoß in Leichtbauweise per Nachtluft gekühlt.

Im Vergleich zum Erd- und Obergeschoss verläuft die Dauerlinie des Dachgeschosses steiler, da durch die fehlende thermische Speichermasse die Raumtemperatur stark von der Außentemperatur abhängig ist. Die Raumtemperatur folgt den täglichen Temperaturhuben viel dynamischer und führt so zu höheren Temperaturen als in den Geschossen darunter.

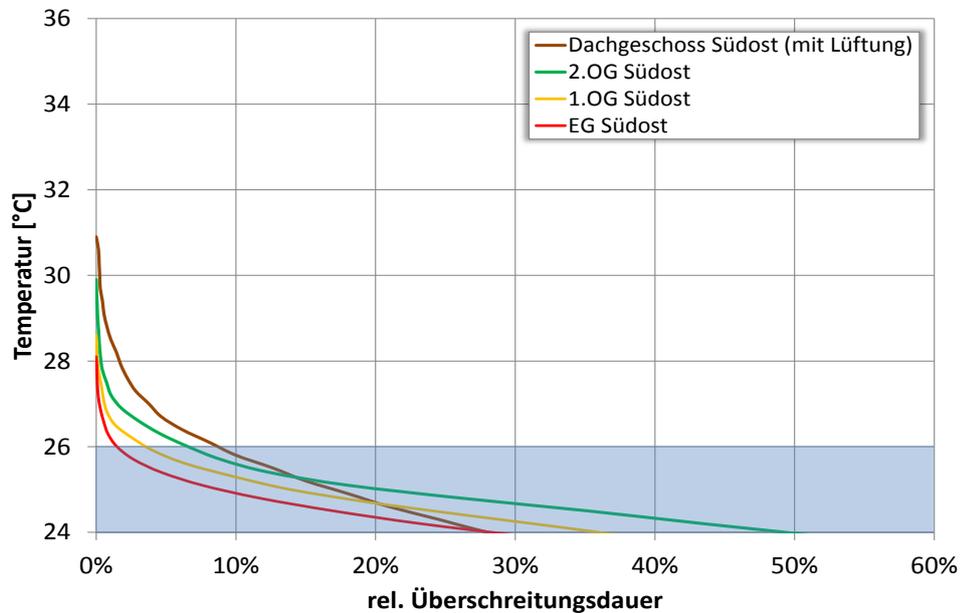


Abbildung 13: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadtschule im Sommer 2011.

Die Dämpfung dieses dynamischen Verhaltens sollte mit einem Nachtlüftungskonzept im massiveren 2.OG durch den schon beschriebenen Einbau einer weiteren Abluftanlage erfolgen. Die Dauerlinie des 2.OG's in Abbildung 14 zeigt, dass die Raumtemperatur erheblich gesenkt werden konnte, so dass die ansonsten kühleren Räume des EG und des 1.OG in 2012 um ca. 2 K wärmer bleiben. Jedoch ist die Innentemperatur des Dachgeschosses noch immer stark vom dynamischen Verhalten der Außentemperatur abhängig. Eine Verbesserung durch nachhaltige Maßnahmen könnte man theoretisch durch eine Erhöhung der Speicherkapazität erreichen, die sich aber aus statischen Gründen nicht umsetzen lässt. Ein Einsatz von PCM-Materialien ist aus baurechtlicher Sicht eher nicht möglich.

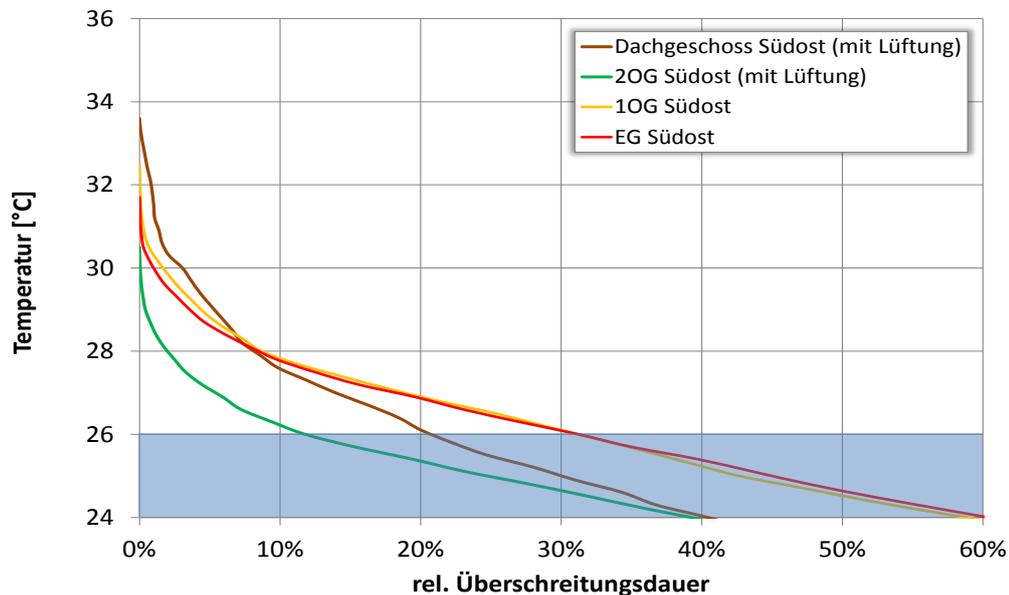


Abbildung 14: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadtschule im Sommer 2012.

Voruntersuchungen zur Luftqualität

Die Auswertung der CO₂-Messwerte für einzelne Klassenzimmern zeigte, dass während der Unterrichtszeiten in Verbindung mit kühlen Außentemperaturen (< 18 °C) hohe CO₂-Konzentrationen in den Klassenräumen auftreten. Ein Vorversuch für eine durch die Abluftventilatoren unterstützte Pausenlüftung zeigte beachtliche Erfolge zur Verbesserung der Luftqualität in den folgenden Unterrichtsstunden. In Abbildung 15 sind die Dauerlinien der CO₂-Konzentration während der Unterrichtsstunden für einen Zeitraum von 2 Wochen im Februar 2011 dargestellt. Als Grenzwert wurde eine CO₂-Konzentration von 2.000 ppm gewählt. Die manuell belüfteten Räume (Raum 113, 219 und 313) überschreiten den Grenzwert deutlich länger als 22 Stunden. Bei 90 Unterrichtsstunden entspricht dies ca. 25 % der Unterrichtszeit. Bei den Räumen mit mechanischer Lüftung im Dachgeschoß wird der Grenzwert weniger als 5 Stunden (5,6 %) lang überschritten. Durch die mechanische Lüftung werden CO₂-Emissionen schnell wieder abgebaut. Akkumulierte Konzentrationen wie im Raum 313 mit Werten bei 5.000 ppm und höher werden so vermieden. Weitergehende Untersuchungen zur Abluftanlagen unterstützten Pausenlüftung sind als Inhalte für ein ergänzendes Projekt eingeplant und als ergänzendes Kapitel im vorliegenden Leitfaden zur „Natürlichen Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ vorgesehen.

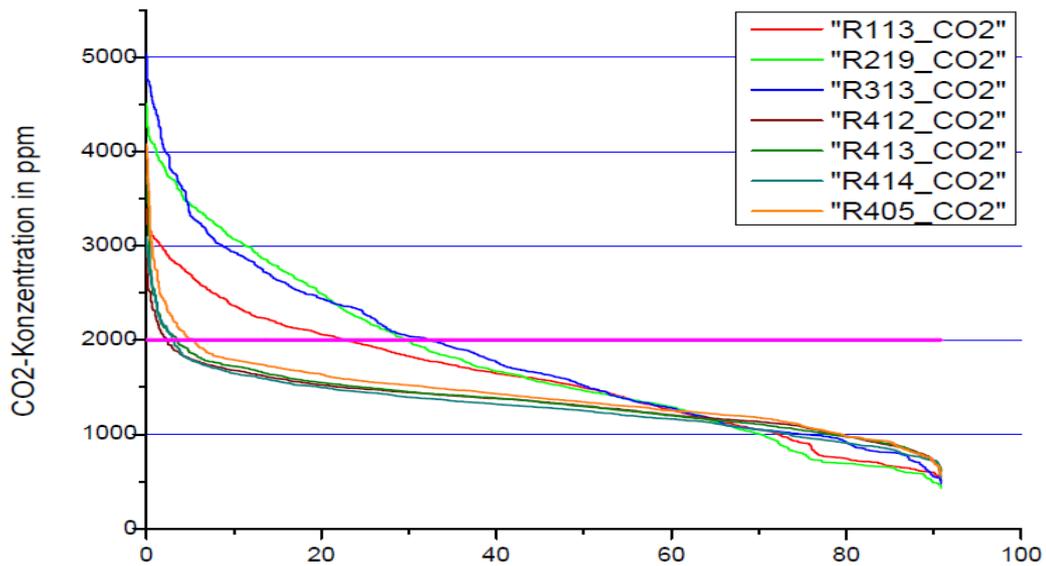


Abbildung 15: Dauerlinien der CO₂-Konzentration über einen Zeitraum von 2 Wochen. Dargestellt sind nur die CO₂-Werte, die während der Unterrichtszeit auftraten. Die Räume 113, 219 und 313 werden ohne mechanische Belüftung betrieben.

Handlungsempfehlungen

Gerade bei der Oststadtschule zeigt sich bei der Minderung der Wärmelast die zwingende Notwendigkeit, auf die Unterstützung durch das Raumpflegepersonal und den Hausmeister zurückzugreifen. Neben der Freigabe durch Zeitfenster und Temperaturgrenzen bestehen auch weitere Einstellungsmöglichkeiten wie die stufenweise Wahl der Lüfterleistung oder das bewusste offen- bzw. geschlossen lassen von Flur- und Treppenhautüren. Zusammenfassend ergeben sich folgenden Handlungsempfehlungen bei der Oststadtschule.

Handlungsempfehlungen für Personal

Die Handlungsempfehlungen für das Personal umfassen 4 Punkte:

- Überprüfung der Nachlüftungsfreigabe durch die Gebäudeautomation ab dem 1. April eines jeden Jahres.
- Aufschließen von Klassenzimmer- und Brandschutztüren zwischen den Monaten April und Oktober. Gegebenenfalls auch Fachräume mit und ohne Rollläden bei zu hohen Temperaturen. Die Türen zum Treppenhaus müssen in diesen Zeiträumen geschlossen bleiben.
- Bei Bedarf abschließen der Türen ab 7:00 Uhr morgens (besonders Fachräume)
- Neben der einwandfreien Funktion der Gebäudeautomation, ist das Personal ein wichtiger Bestandteil des Kühlkonzeptes. Ohne das Auf- und Zuschließen der Türen verändern sich die Luftwege nachteilig und der Kühlungseffekt bleibt aus.
- Entgegengesetzt erster Versuche, Oberlichtfenster und Klassenzimmertüren bereits am Nachmittag offen stehen zu lassen, sollten diese erst zum Schließdienst geöffnet werden. Es zeigte sich, dass bei hohen Außentemperaturen am Nachmittag die verstärkte Querlüftung zu einer stärkeren Aufheizung der Klassenräume auf der zur Sonne abgewandten Seite führt. Die Hauptfenster und die Lichtkuppeln im Dachgeschoß sollten für die Nachlüftung generell gesperrt bleiben.

Handlungsempfehlungen für Nutzer

Auch wenn die automationsgestützte Nachluftkühlung den Nutzer (Schüler und Lehrer) weitgehend außen vor lässt, kann im Sommer während der Belegung/Nutzung von Klassenzimmern und Fachräumen zur Überhitzungsminderung beigetragen werden. Hierzu gehören folgenden Maßnahmen:

- Intensives Stoßlüften vor Unterrichtsbeginn und während der Pausen mit hochgefahrenen Jalousien ähnlich wie während der Heizperiode/Winterphase
- Nutzung der Jalousien als Blendschutz und zur Vermeidung von solaren Wärmeinträgen mit Beachtung der Verstellmöglichkeit für die Lamellen. Die Nutzung des Kunstlichts an sonnigen Tagen ist vermeidbar und eine ausreichende Beleuchtung kann sehr einfach durch die Verstellung des Lamellenwinkels erreicht werden. Hierzu wurden insbesondere im Dachgeschoß und im zweiten Obergeschoß die Schüsselschalter durch Taster ersetzt.
- Beim Verlassen des Klassenzimmers sind bei Sonneneinstrahlung in den Raum die Jalousien herunterzufahren. Ideal ist nach dem vollständigen Herunterfahren ein kurzer Rückstellimpuls, der für die bessere Ableitung der hinter den Lamellen entstehenden Wärme sorgt.

Konrad-Adenauer-Schule

Schultyp: Werkrealschule

Adresse: Platanenallee 9

77656 Offenburg



Abbildung 1: Teilgebäude der Konrad-Adenauer-Schule in Offenburg mit Blick auf die Südfassade.

Kurzfassung der Projektergebnisse

Zur Untersuchung der Eignung von raumlufttechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung für die Nachluftkühlung wurden in der Konrad-Adenauer-Schule zwei Klassenräume im Dachgeschoß mit einer dezentralen Lüftungsanlage ausgerüstet. Eine RLT-Einheit versorgte zwei Klassenräume mit Frischluft während des Unterrichtsbetriebs. Luftqualitätsmessungen im Jahr 2010 bestätigten sehr schnell die Eignung für den Taglüftungsbetrieb, leider konnte die Anlage nicht vor den Sommerferien für den Nachlüftungsbetrieb umgerüstet werden. Erkenntnisse wurden erst mit der Ausrüstung des gesamten Dachgeschoßes mit RLT-Anlagen gewonnen. Durch die Verwendung der CO₂-geführten RLT-Anlagen hat sich die Qualität der Luft in den untersuchten Räumen erheblich verbessert.

Mit der Sanierung der Gebäudehülle im Sommer 2010 wurden die im Dachgeschoß installierten Anlagen auch für die Nutzung zur Entwärmung mit Hilfe der Nachluftkühlung vorbereitet. Die vorgeschlagene Kaltluftklappe zur Nachströmung kühler Frischluft wurde im Laufe der Planung und anschließender Durchführung der Baumaßnahmen verworfen und die Lösung mit einem Bypass am Wärmetauscher eingebaut.

Messungen des Sommer 2011 zeigen die Funktion der Nachlüftung mit einer maximalen Temperaturabsenkung von 2 bis 4 Kelvin. Da die Mindestforderung eines 2-fachen Luftwechsels für die Nachlüftungsfunktion nicht erreicht wird, steht hier eine Verbesserung des Algorithmus für den Betrieb der solaren Wärmeeinträge an, da Festverglasung und Rohrquerschnitte eine Verstärkung des Auskühleffekts durch intensive Querlüftung kaum zulassen. Die internen Einträge durch Personen und Geräte werden durch die CO₂-geführte Taglüftung zum Teil kompensiert. Unterstützend ist die große Dachfensterfläche im Treppenhaus zum Ableiten der warmen Luft einzubinden.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:

Dreigeschossiger, massiver Betonskelettbau mit zentralem Treppenhaus und großer Dachfensterfläche

Fertigstellung: 1967

Anzahl der Nutzer/Innen: 270

Nutzungszeiten:

07:45 Uhr - 09:15 Uhr

09:35 Uhr - 11:05 Uhr

11:25 Uhr - 12:55 Uhr

13:45 Uhr - 15:55 Uhr

Lüftungsvariante:

Raumlufttechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung für zwei Räume

Lufttechnisch relevante Daten:

Fläche je Klassenraum ca.: 70 m²

Mittlere Raumhöhe: 3,1 m

Luftvolumen je Klassenraum ca.: 210 m³

Volumenstrom max.: 1.000 m³/h

Wärmerückgewinnungsgrad bis zu: 92 %

Die Flächenangaben der Klassenzimmer beruhen auf durchschnittlichen Erfahrungswerten, so dass für die Bewertung ein Raumvolumen von ca. 210 m³ geschätzt wurde.

Grundriss:

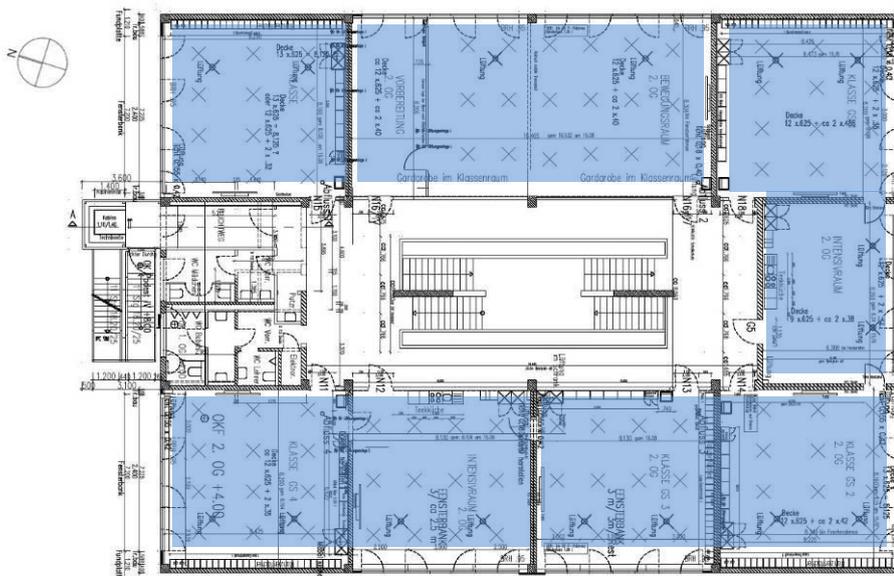


Abbildung 2: Grundriss der Konrad-Adenauer-Schule in Offenburg.

Informationen zum Baukörper

Das Teilgebäude der Konrad-Adenauer-Schule (KASch) zeichnet sich aus durch eine kompakte schwere Betonskelettbauweise mit Flachdach und einer großen zentralen Dachfensterfläche. Der kubische Baukörper hat zwei Obergeschoße, die über ein Treppenhaus im Zentrum des Gebäudes erschlossen werden. Mit den Sanierungsmaßnahmen wurden auf der Nordseite ein Aufzugschacht und eine Nottreppe neu gebaut.



Abbildung 3: Zentrales Treppenhaus der Konrad-Adenauer-Schule und Blick zum Durchgang zum Aufzugschacht und zur Nottreppe.



Abbildung 4: Neu gestaltete und ergänzte Nordseite der Konrad-Adenauer-Schule.

Technische und bauliche Maßnahmen zur Überhitzungsminderung

Bauliche Maßnahmen

Im Rahmen von Umbau- und Sanierungsmaßnahmen wurde im Sommer 2010 die Gebäudehülle der Konrad-Adenauer-Schule vollständig erneuert. Der Bau einer Mensa und ein Selbstlernzentrum ergänzten die Sanierungsmaßnahmen im Gebäudeumfeld.

Zur Verbesserung der Luftqualität ist für zwei Klassenräume je eine dezentrale Lüftungseinheit mit Kreuzgegenstrom-Plattenwärmetauscher eingebaut, die mit einem maximalen Volumenstrom von 1.000 m³/h auch für die sommerliche Nachtluftkühlung genutzt wird. Die dezentralen Anlagen werden dabei mit Hilfe der Gebäudeautomation zentral angesteuert. Zur Vermeidung hoher Solareinträge in die Klassenzimmer sind elektromotorisch steuerbare Außenjalousien vorhanden. Die Fenster sind weitgehend mit Festverglasung ausgeführt. Einen Überblick darüber, welche Größen für die Einbindung der RLT-Anlagen in das Gebäudeautomationskonzept berücksichtigt werden sollten, gibt Abbildung 5. Die in orange gehaltenen Ellipsen zeigen an, welche Aktionen und Parametereinstellungen über die zentrale Gebäudeautomation vorgegeben werden können.

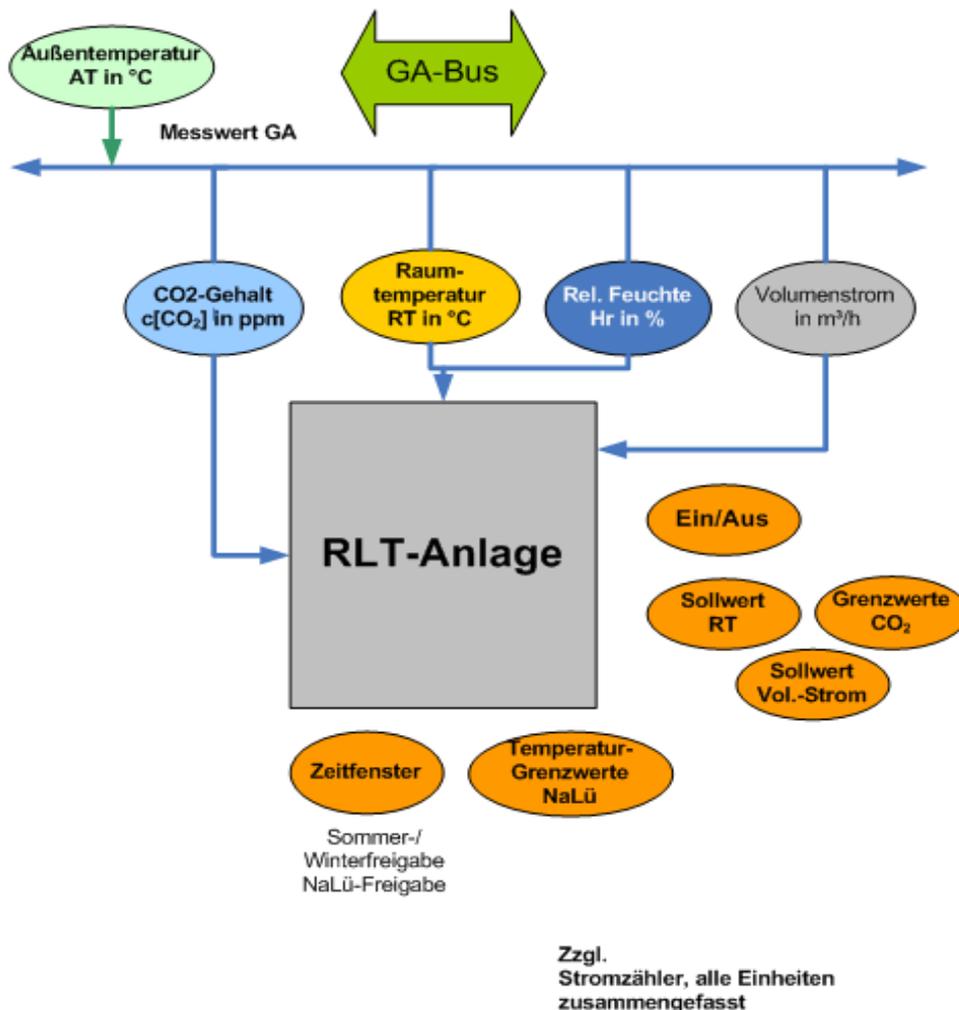


Abbildung 5: Mess- und Steuersignale der Konrad-Adenauer-Schule in Offenburg.

Abschattungseinrichtungen

Unterstützt wird das sommerliche Lüftungskonzept durch die geschickte Nutzung der Außenjalousien, die vor, während und nach dem Unterrichtsbetrieb dafür sorgen, dass die solaren Einträge begrenzt werden. Der sichere Betrieb der Jalousien ist nur mit Hilfe zuverlässiger Sensoren gewährleistet. Hierzu gehören Einstrahlungs- bzw. Lichtintensitätssensoren und Windsensoren bzw. Sturmwächter zum rechtzeitigen Hochfahren der Jalousien bei gefährdender Witterung. Im Winter (1.10 bis 31.3) werden die Jalousien nur über den Nutzer gesteuert. Jalousien haben im Winter nur die Funktion des Blendschutzes und dienen zur Raumabdunkelung bei Vorführungen. Solareinträge sind erwünscht und wirken heizungsunterstützend.

Lüftungskonzept

Die Taglüftung wird CO₂-geführt ganzjährig betrieben. Der Richtwert für die Taglüftung wurde in der Konrad-Adenauer-Schule bei 1.000 ppm CO₂-Konzentration der Raumluft gewählt. Die Hysterese liegt bei 200 ppm, sodass sich ein gleitender Bereich zwischen 800 bis 1.200 ppm einstellt. Damit stoppt der Betrieb der Taglüftung bei Werten unter 800 ppm und startet ab 1.200 ppm. Über die Messung der CO₂-Konzentration wird gewährleistet, dass die Taglüftung nur dann in Betrieb ist, wenn die Räume belegt sind. Eine Erfassung über den Präsenzmelder ist dadurch nicht erforderlich.

Ergänzend zur Taglüftung wurde im Fall der Konrad-Adenauer-Schule untersucht in wieweit raumlufttechnische Anlagen mit Wärmerückgewinnung für Zwecke der Nachtlüftung eingesetzt werden können. Damit die aus dem Klassenzimmer abgesaugte warme Luft die Frischluft nicht über den Wärmetauscher vorwärmt wurde hier ein Bypass eingebaut. Frische, kühle Luft wird über den Bypass in den Raum geleitet. Dabei werden wie in Abbildung 6 dargestellt zwei Klassenzimmer mit je einer Einheit belüftet, die in der abgehängten Decke eingebaut ist. Insgesamt wurden je Geschöß 4 RLT-Einheiten für acht Klassenzimmer eingebaut. Eine Einzelraumregelung ist für diese Variante nur bedingt möglich. Weist eines der beiden Klassenzimmer einen höheren Kühlbedarf auf, kann dieser Raum nicht intensiver mit kühler Luft gespült werden. Einen Einfluss auf die Lüftungsintensität hat auch die Anordnung der Zuluft- und Abluftauslässe im Raum.

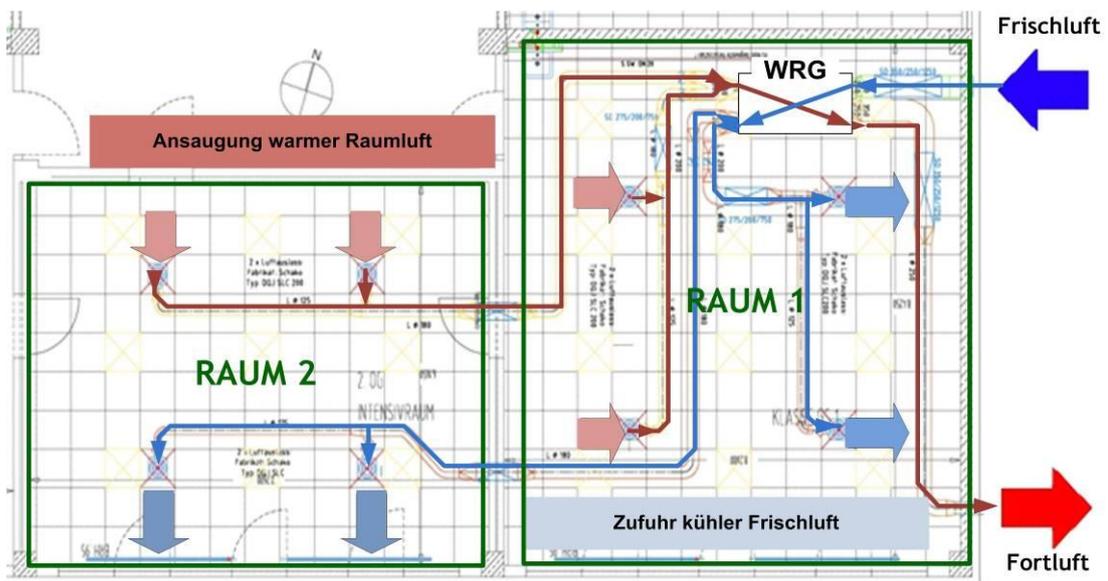


Abbildung 6: Anordnung der Lüfereinheit zur Be- und Entlüftung von zwei Klassenzimmern im 2.OG mit südöstlicher Ausrichtung.

Regelung und Steuerung

Die Steuerung der Nachtlüftungsfunktion erfolgt über zwei Zeitfenster und zwei Grenztemperaturen. Während das Zeitfenster 1 als Datumszeitfenster den Betrieb auf die Sommerperiode vom 1.04. bis zum 30.09. begrenzt, definiert das Zeitfenster 2 die Tageszeit (also nachts) zu der mit kühlen Außentemperaturen zu rechnen ist. Um ein reines Umwälzen warmer Luft zu verhindern, sollte die Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur größer als 3 Kelvin sein.

Bei Raumbesetzung wird die Nachtlüftung nicht freigegeben (z.B. bei Abendveranstaltungen). Die Änderung der Grenzwerte und Zeitfenster durch den Hausmeister oder durch technisches Personal des städtischen Gebäudemanagement ist zulässig.

Charakteristische Messergebnisse

Sommerliche Temperaturen

In Abbildung 7 sind die Temperaturverläufe von Räumen des 2. Obergeschosses der Konrad-Adenauer-Schule und der Außentemperatur dargestellt. Die Nachtlüftung wurde zum ersten Mal in der Nacht vom 20. zum 21. Juni 2011 in Betrieb genommen. Deutlich zu erkennen ist die Temperatursenkung die in dem Abgebildeten Zeitfenster bis zu 4 K beträgt.

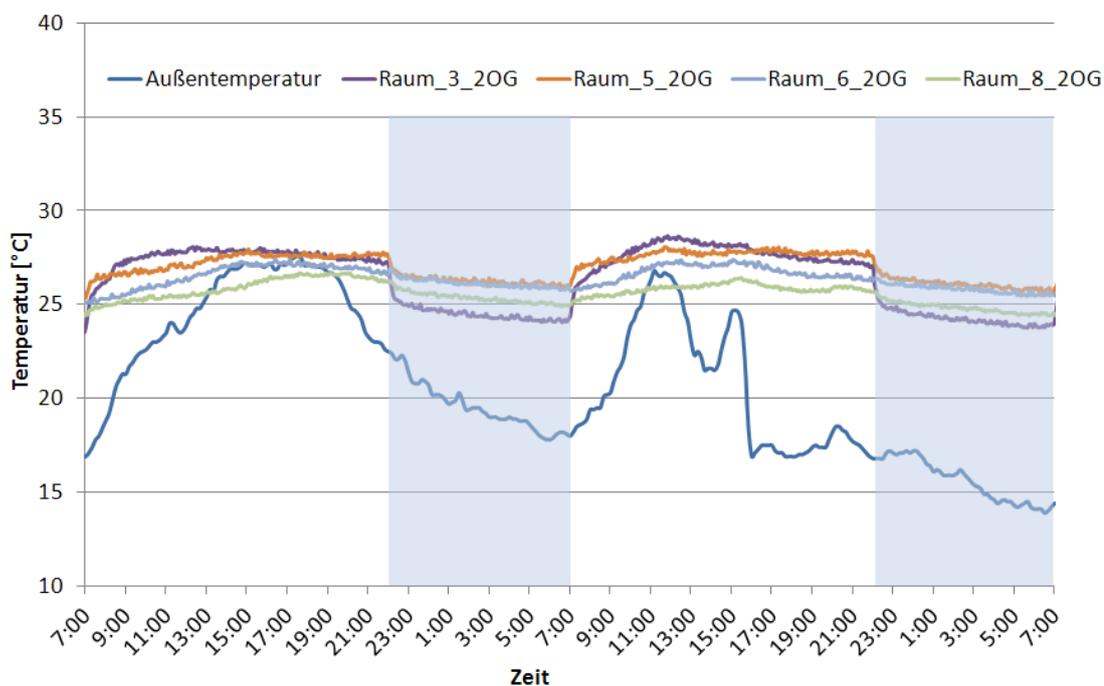


Abbildung 7: Verlauf der Raumtemperaturen im 2.OG der Konrad-Adenauer-Schule mit Nachtlüftungsbetrieb am 21. und 22. Juni 2011.

Für eine tiefere Bewertung des sommerlichen Nachtlüftungsbetriebs reicht die Datenbasis zur Konrad-Adenauer-Schule nicht aus. Der im Zuge des Einbaus der Lüftungsanlagen im 2.OG eingerichtete Rechner für die Messdatenaufzeichnung wurde mit dem Beginn der Umbauarbeiten am 1.OG zur Sommerperiode 2011 abgeschaltet. Die Verteilerstruktur im Schulgebäude wurde bezüglich der Gebäudeautomation neu konfiguriert und erst zum Ende des Jahres 2011 wieder eingerichtet. Ein automatisierter Betrieb der RLT-Einheiten war somit nicht möglich und Kontinuität für ein Monitoring des Betriebsverhaltens der Klassenzimmer im Gebäude nicht gegeben.

Luftqualitätsverbesserung

Voruntersuchungen zur Luftqualitätsverbesserung durch die RLT-Anlagen wurden bereits mit dem Einbau mobiler CO₂-Messeinheiten im Frühjahr 2010 durchgeführt. Sie belegten bereits die Eignung der RLT-Einheiten von dem Einbau in das 2.OG der Konrad-Adenauer-Schule.

Für den Zeitraum von 4 Wochen in Abbildung 8 belegen die Messungen, dass bei Räumen mit RLT-Anlage die CO₂-Konzentration von 1.500 ppm nur kurzzeitig überschritten wird. Der Maximalwert in diesem Zeitraum liegt bei 2.000 ppm. Ohne RLT-Anlage wird diese Grenze täglich bis deutlich über den Maximalwert des CO₂-Sensors von 2.500 ppm überschritten.

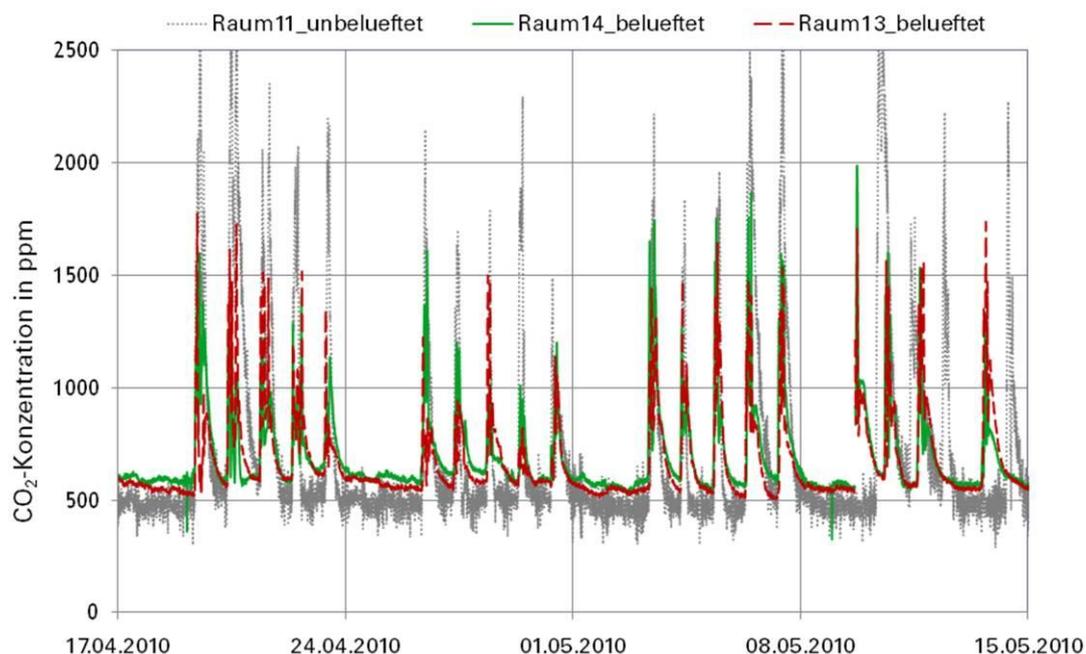


Abbildung 8: Verläufe der CO₂-Konzentrationen in der Konrad-Adenauer-Schule in 3 Klassenräumen. In grau der Verlauf des Raumes ohne RLT-Anlage.

Die raumlufttechnischen Anlagen mit ihrer Wärmerückgewinnung arbeiten weitgehend über die Ansteuerung durch die eigene Steuerung. Sie sind CO₂-geführt und schalten bei Überschreitung definierter Grenzwerte für die CO₂-Konzentration ein bzw. bei Unterschreiten eines unteren Grenzwerts aus.

Bei der Nachtlüftung müssen im Gegensatz zu anderen Schulen die Türen geschlossen gehalten werden. Oberlichter und Hauptfenster zur Stoßlüftung sind in der Regel nicht vorhanden. Für den Hausmeister ist ein Hinweissystem einzurichten, dass eine etwaige Fehlfunktion speichert und auf die Fehlfunktion hinweist.

Ergänzend wird bei diesem Schulgebäude die große Dachfensterfläche für die Auskühlung des Treppenhauses genutzt. Die nachströmende kühle Luft gelangt über Kippfenster der Flure in das Treppenhaus. Während anfangs mit der Unterstützung des Hausmeisters zu rechnen ist, wird langfristig auch diese Funktion über die Gebäudeautomation umgesetzt. Die Programmierarbeiten zur Gebäudeautomation waren zu Projektende noch nicht abgeschlossen.

Leider konnte das nachgeschaltete Monitoring im Sommer 2012 auf keine vollständige Datenbasis zurückgreifen. Die Luftqualität hat sich durch die Ausweitung der Lüftung auf das 1.OG zwar in der gesamten Schule verbessert, eine thermische Entlastung konnte jedoch nicht signifikant belegt werden.

Die Ursachen liegen in einer nicht erfolgreichen Umsetzung der Regelalgorithmen nach einem Neuaufsetzen des Leitrechners der Gebäudeautomation und des Verteilerschranks. Es bedarf weiterer Klärung mit der beteiligten Fachfirma, da hier Nachbesserungen dringend erforderlich sind.

Allgemein ist festzuhalten, dass im Zusammenhang mit Inbetriebnahmen bei mehreren Schulgebäuden Defizite bei Implementierung der Funktionen festgestellt wurden. Empfohlen wird deshalb die Erstellung eines Inbetriebnahmeprotokolls, das die erfolgreiche Umsetzung der beauftragten Funktionalität bei der Gebäudeautomation dokumentiert.

Handlungsempfehlungen

Da Abluft- und Frischluftöffnungen im selben Raum untergebracht sind und die Abluftanlagen nur für die jeweiligen Räume ausgelegt wurden, ist es empfehlenswert, die Klassenzimmertüren geschlossen zu halten. Bei geöffneten Türen wird der Luftraum schlagartig vergrößert und Luft aus dem Gang angesaugt. Der Kühleffekt für den Raum wird dadurch stark geschwächt. Da der Stand des technischen Ausbaus hinsichtlich der Nachtluftkühlung auch nach dem Monitoring des Sommers 2012 nicht vorlag, können Handlungsempfehlungen nicht für die vorliegende Fassung des Leitfadens extrahiert werden. Mehrere relevante Funktionen konnten bei dem Demonstrationsobjekt nach der Sanierung der Gebäudehülle und dem Einbau der kanalgeführten Lüftungsanlagen im 1.OG nicht belegt werden. Die Fortsetzung der Umsetzung der Maßnahmen sowie Überprüfung verbleibt somit im Handlungsfeld des städtischen Umfelds.

Schule Weier

Schultyp: Grund- und Werkrealschule

Adresse: Wiesenweg 8

77656 Offenburg



Abbildung 1: Die Grund- und Hauptschule Weier mit dem kürzlich fertiggestellten Anbau.

Kurzfassung der Projektergebnisse

Die Schule in Weier könnte mit den örtlichen Besonderheiten deutlich geringer von Überhitzungen betroffen sein, wenn eine automatisierte Überwachungsfunktion für Jalousien und Lüftungsöffnungen vorhanden wäre. Diese technische Ausstattung wurde dann auch im Rahmen von umfangreichen Sanierungsarbeiten vorgenommen, konnte jedoch erst zum Ende des Jahres 2011 fertiggestellt werden. Verzögerungen bei Umsetzung waren insbesondere durch den neu konzipierten Anbau im Westteil des Schulgebäudes begründet.

Wie bei den anderen Schulen führen temporär auftretende hohe sommerliche Außentemperaturen auch bei der Schule Weier zu Raumtemperaturen bis zu 35 °C. Gefragt ist ein Überhitzungsminderungskonzept, das hilft, die täglichen Wärmeeinträge zu kompensieren.

Die Nutzung der Abschattungseinrichtungen über eine Gebäudeautomation und die Umsetzung einer passiven Nachtlüftungskühlung für jedes Klassenzimmer sollten bereits einen großen Beitrag zur Reduzierung der Wärmebelastung leisten können.

Das Lüftungskonzept (Querlüftung der Räume über automatisierte Kippfenster und Lichtkuppeln) wurde realisiert und sollte im Sommer 2012 das erste Mal genutzt werden.

Die Nachtlüftungsaktivität sollte zu Beginn der Sommerzeit durch das zuständige Personal überprüft werden. Durch offen lassen der Klassenzimmertüren und Lichtkuppeln sollte eine stärkere nächtliche Querlüftung den Luftdurchsatz deutlich erhöhen. Die Verschattungseinrichtungen sollten auch während der Unterrichtszeit konsequent genutzt werden und bei ungünstiger Witterung automationsgestützt gesteuert werden.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:

Zweigeschossiger Flachdachbau in schwerer Betonskelettbauweise

Fertigstellung: 1972

Anzahl der Nutzer/Innen: 244

Nutzungszeiten der Grundschule Weier:

7.55 Uhr – 9.25 Uhr

9.45 Uhr - 11.15 Uhr

11.30 Uhr - 13.00 Uhr

Nutzungszeiten der Werkrealschule Offenburg-Nord Außenstelle Weier

7.55 Uhr – 9.25 Uhr

9.45 Uhr – 11.15 Uhr

11.30 Uhr – 12.15 Uhr

13.30 Uhr – 14.15 Uhr

14.25 Uhr – 15.55 Uhr, freitags findet der Unterricht nur bis 12.15 Uhr statt.

Lüftungsvariante:

Passive Nachtluftkühlung mit Querlüftung über Kippfenster, Lichtkuppeln und Flurbereiche

Lufttechnisch relevante Daten:

Bruttogrundfläche: 2.300 m²

Bruttorauminhalt: 8.700 m³

Grundrisse:

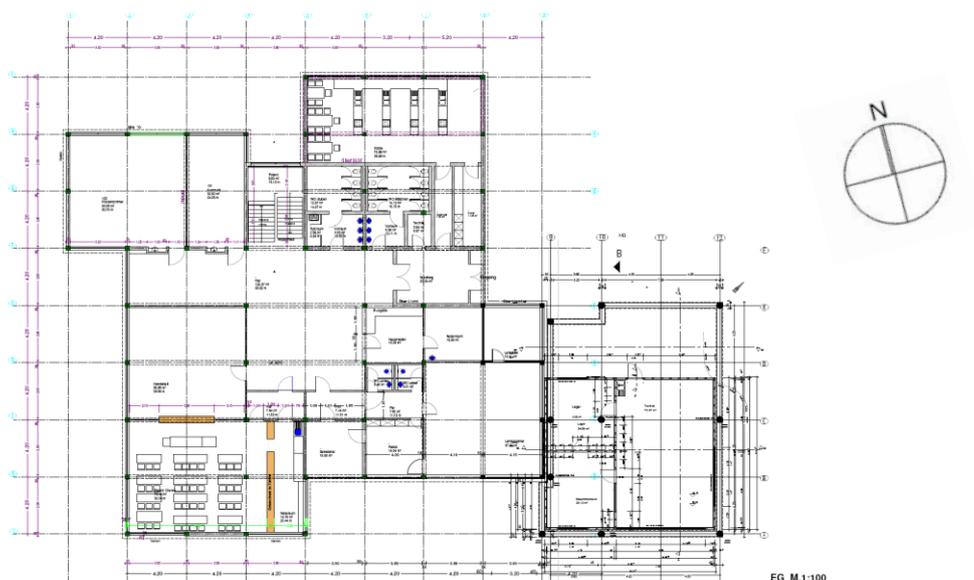


Abbildung 2: Grundriss des Erdgeschoß mit Verwaltungsbereich und Sondernutzung.



Abbildung 3: Grundriss des 1. Obergeschoß. Eingefärbt sind die Klassenräume mit unterschiedlichen Querlüftungskonstellationen.

Informationen zum Baukörper

Die ehemalige Grund- und Hauptschule Weier (GWS Weier) zeichnet sich aus durch eine kompakte schwere Betonskelettbauweise mit Flachdachausführung. Der Baukörper besitzt 2 Geschosse welche über ein einziges Treppenhaus verbunden sind.

Das Gelände der Schule befindet sich im Ortsteil Weier der Stadt Offenburg und ist ca. 6 km vom Offenburger Stadtkern entfernt. Die Schule befindet sich am südlichen Stadtrand von Weier neben einem Sportplatz in unmittelbarer Nachbarschaft von Wohngebäuden eines verkehrsberuhigten Bereiches. In der Schule sind zwei Schulen vereint: eine Grundschule mit Unterrichtszeiten bis 13.00 Uhr und eine Werkrealschule mit Unterrichtszeiten bis ca. 16.00 Uhr.

Bereits bei der ersten Begehung vermittelte das Gebäude sehr gute Ansätze für die natürliche Gebäudeklimatisierung. Als zweigeschossiges Flachdachgebäude umgeben von großen Freiflächen nach Süden, Osten und Westen bietet die Schule sehr gute Bedingungen für einen natürlichen Temperatenausgleich. Im Südwesten des Gebäudes liegende Laubbäume liefern wie in Abbildung 4 festgehalten ideale, sommerliche Abschattungsmöglichkeiten für Klassenzimmer im 1.OG und die Sondernutzungsbereiche im Erdgeschoß.

Als Ursachen für die Überhitzungen in der Schule wurden die nicht oder nur eingeschränkt nutzbaren Abschattungseinrichtungen und die fehlende Möglichkeiten zum natürlichen Temperatenausgleich festgestellt. Die niedrige Bauhöhe und der etwas abgelegene Standort südlich von einem Wohngebiet führten bei Beschäftigten im Umfeld der Schule zur Devise, alle Fenster geschlossen halten und alle Jalousien hochfahren. Dies führt notgedrungen zu einem verminderten Temperatenausgleich und stärkere solare Einträge außerhalb der Nutzungszeiten.



Abbildung 4: Südseite der Schule im Winter mit entlaubten Laubbäumen im Südwestteil.

Eine Gebäudeautomation sowie die mess- und steuertechnische Ausstattung zur Überwachung der Jalousien, Fenster und Lichtkuppeln fehlten.

Raumkonstellationen GHS Weier

In der GHS Weier sind unterschiedliche Konstellationen von Kippfenstern/Oberlichtern, Lichtkuppeln und Fensterfronten zu finden. Einige der Anordnungen sind nachfolgend beschrieben:

C1- Querlüftung über Flur

Fensterfront:	2
Lichtkuppel:	0
Kippfenster/Oberlicht in Fensterfront:	0
Tür:	1

In dieser Raumkonstellation ist nur eine manuelle Taglüftung möglich, da weder automatisierte Oberlichter noch Lichtkuppeln zur Verfügung stehen (Das benutzen von Fensterfronten zur Nachtlüftung ermöglicht das Eindringen von Personen und Tieren). Dabei entweicht die warme Luft durch die Fenster nach Außen oder kalte Luft strömt von außen zu wärmeren Gebäudeteilen.

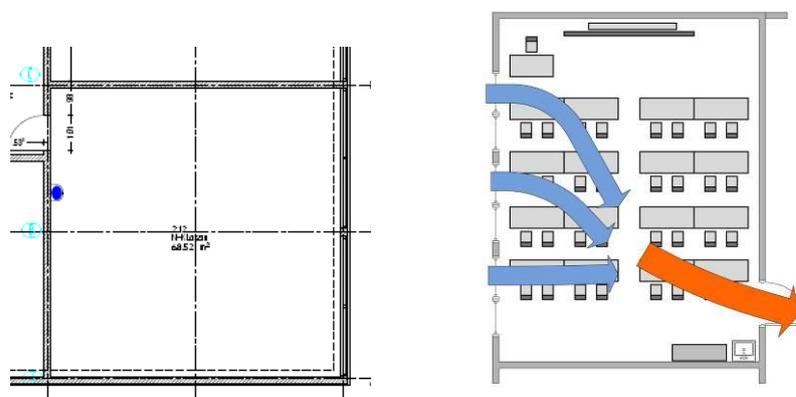


Abbildung 5: Querlüftungsvariante C1

C2- Querlüftung über Oberlichter

Technische und bauliche Maßnahmen zur Überhitzungsminderung

Bauliche Maßnahmen

Vor der Sanierung war die Heizung in die Gebäudeleittechnik über eine Modemverbindung mit dem technischen Rathaus in Offenburg abrufbar. Nach dem Umbau wurde die Gebäudeautomation eingeführt um Oberlichter, Jalousien und Lichtkuppeln für jeden Raum einzeln oder das gesamte Gebäude zu konditionieren. Zur geschickten Überführung der Steuerung in eine Regelung für das Gebäude und einzelner Komponenten und für die übergeordnete Nutzung der Messdaten durch das technische Management der Stadt Offenburg, wurde eine vollständige Wettermessstation zur Erfassung der klimatechnischen Betriebsbedingungen auf dem Dach installiert und in die Gebäudeautomation eingebunden.



Abbildung 8: Lichtkuppel in einem Klassenzimmer der Schule Weier (links)

Abbildung 9: Südlicher Flurbereich des neuen Anbaus mit einer Notausgangstür ohne Abschattungsmöglichkeit (rechts)

Die Umbauarbeiten konnten erst im Winter 2011 fertiggestellt werden. Deshalb werden im Kapitel „Betriebskonzept“ die Maßnahmen beschrieben, die im Sommer 2012 die natürliche Klimatisierung sicherstellen sollen. Im Abschnitt „Charakteristische Messergebnisse“ wird auf die Situation vor dem Umbau eingegangen.

Abschattungseinrichtungen

Die außenliegenden Jalousien erfüllen mit ihrer Abschattungsfunktion eine wichtige Aufgabe gegen die Überhitzung durch direkte Sonneneinstrahlung. Im Sommer (April bis Ende September) werden die Jalousien bei Überschreitung eines in der Gebäudeautomation hinterlegten Grenzwertes automatisch heruntergefahren. Ein Rückstellimpuls sorgt anschließend für ausreichend Helligkeit. Ein Nutzereingriff ist jederzeit möglich, um den Lehrbetrieb nicht zu beeinträchtigen.

Während bei Abbildung 10 die Unterlichter des Neubaus durch die Jalousien bedeckt werden, gilt dies nicht für den zentralen Altbestand des Gebäudes. Es wird empfohlen die Unterlichter insbesondere auf der Südseite ebenfalls abzudecken. Dies kann wie bei den Oberlichtern im Dachgeschoß der Oststadtschule nachträglich mit Milchglasfolie erfolgen. Hierbei ist anzumerken, dass durch diese Maßnahme keine Verbesserung der Abdunkelung bei Lichtvorführungen erreicht wird.

Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept der Schule wird ohne die Unterstützung mechanischer Einheiten betrieben. Durch die Gebäudeautomation oder den Nutzer lassen sich die Kippfenster und/oder die Lichtkuppeln öffnen. Eine Übersicht über die Raumkonstellationen befindet sich im Anhang. Die Hauptfenster bleiben unbeeinflusst und sind insbesondere aus dem Nachtlüftungskonzept auszuschließen.

Die Lichtkuppeln dienen lüftungstechnisch zum Abbau der thermischen Last durch Querlüftung und können stufenlos betrieben werden. Die dabei entstehenden Öffnungswinkel entsprechen einer stärkeren oder minderen Lüftungsstärke und sind abhängig von Niederschlagsintensität und Windstärke. Durch die Verwendung von Präsenz- und Niederschlagsmesstechnik können die Fenster zur Sicherheit geschlossen werden um so das Gebäude gegen das Eindringen von Personen und Tieren zu schützen.

Für Klassenräume in denen eine Querlüftungsoption innerhalb des Raumes nicht umsetzbar ist, ist die Öffnung der Klassenzimmertür mit dem Schließdienst vorgesehen. Diese Räume können dann über Oberlichtfenster im Flurbereich gelüftet werden.

Regelung und Steuerung

Für die Programmierung der Einzelraumregelung in der Gebäudeautomation ergeben sich die gleichen allgemeingültigen Vorgaben wie bei den anderen Schulen des Projekts. Der zusätzliche Aufwand für die Schule Weier ergibt sich aus den unterschiedlichen Konstellationen für die Querlüftung. Damit ist auch eine individuelle Intensität beim Temperaturverhalten der Klassenzimmer zu erwarten. Ergänzende Maßnahmen können erst nach dem ersten Betrieb der technischen Anlagen im Sommer 2012 in Angriff genommen werden. Ähnlich wie bei der Theodor-Heuss-Realschule und dem Fachklassentrakt des Oken-Gymnasium sind auch in Weier Bedienpanels eingebaut, die es dem Schulpersonal als auch dem Nutzer erlauben über Schalter, Taster und Anzeigen das Raumklima im Klassenzimmer zu beeinflussen. Die Bedingungen für die Nachtlüftungskühlung führen zum Öffnen definierter Steuerelemente wie Kippfenster, Oberlichter oder Lichtkuppeln in den Klassenzimmern. Mit der Freigabe der Nachtlüftung ist grundsätzlich ein Befehl zum Hochfahren der Jalousien vorgeschaltet.

Die Parameter/Grenzwerte zur Nachtlüftung sind wie folgt definiert:

Freigabezeitraum:	01.04 – 30.09
Freigabefenster:	22.00 Uhr bis 7.00 Uhr
Temperaturdifferenz:	$RT - AT > 3 \text{ K}$
Raumtemperatur:	$RT > 23 \text{ °C}$
Stopp Nachtlüftung:	$RT < 19 \text{ °C}$



Abbildung 10: Bedienpanel, heruntergefahrne Jalousien und zwei Fenstersegmente mit Festverglasung, Oberlicht und Hauptfenster.

Charakteristische Messergebnisse

Untersuchungen zu sommerlichen Raumtemperaturen

Die Temperaturverläufe von zwei Räumen der GHS Weier mit unterschiedlicher Ausrichtung und Fensteranordnung zeigt Abbildung 11. Die Fensterkonstellation in „Raum Süd“ entspricht dabei C1 und „Raum Nord“ C2.

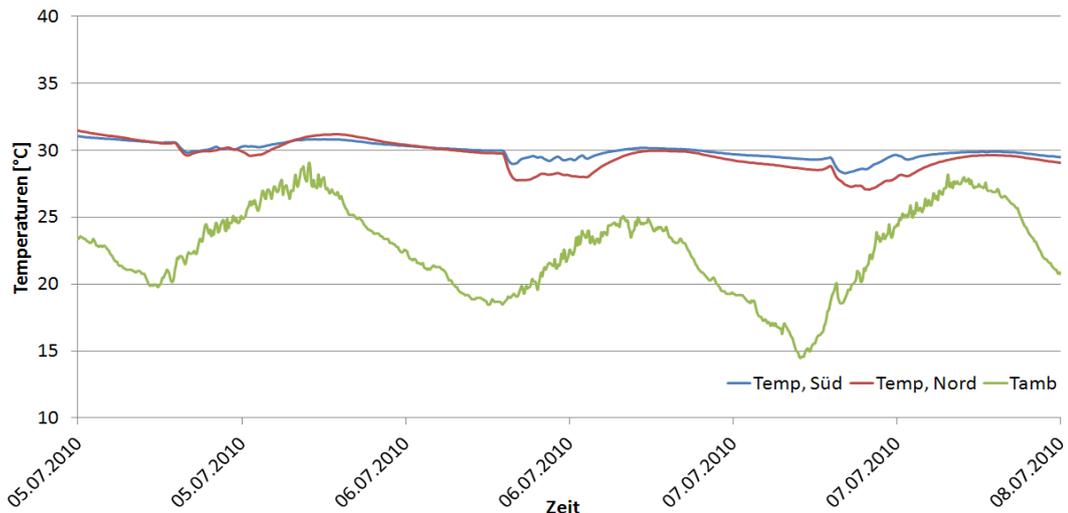


Abbildung 11: Temperaturverläufe vor dem Umbau der GHS Weier.

Zu sehen sind die Temperaturverläufe über ein Zeitfenster von 10 Tagen Anfang Juli 2010. Die Raumtemperaturen sind deutlich mit der Außentemperatur gekoppelt. Bei steigenden Außentemperaturen steigen auch die Raumtemperaturen. Bei einer maximalen Außentemperatur von 36,5 °C am 10. Juli wärmen sich die Räume auf 33,5 °C bzw. 32,5 °C auf.

Durch die hohe Speicherkapazität der Wände kühlen die Räume nur langsam aus. Selbst durch die morgendliche Querlüftung durch Schulpersonal ab 7.00 Uhr morgens werden bei Außentemperaturen von 25 °C nachmittags immer noch 30 °C gemessen. Die Lüftungsdauer ist viel zu kurz um die thermischen Massen abzukühlen, so dass sie tagsüber neue Wärme speichern können. Die Temperaturen fallen bei der morgendlichen Lüftung stärker, da hier mehr Fenster zur Verfügung stehen die geöffnet werden können.

Leider konnte das nachgeschaltete Monitoring in Weier im Sommer 2012 nicht erfolgreich durchgeführt werden, da es durch technische Inkompatibilitäten zweier Automationssysteme zu Störungen des automatisierten Gebäudebetriebs und damit der Datenaufzeichnung über den Leitrechner kam. Zum Ende des Monitoring lag weder die Bestätigung über eine intakte Funktion des Gebäudebetriebs vor noch war ein Fernzugriff auf den Leitrechner der Gebäudautomation möglich. Mit Projektende wurde vom Gebäudemanagement der Stadt Offenburg die Anlage als abgenommen bestätigt und die korrekte Funktion gemeldet.

Untersuchungen zur Luftqualität

Als Testaufbau wurde von der Stadt Offenburg bereits in 2010 eine kleine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung in den Klassenräumen mit nördlicher Ausrichtung eingebaut. Der maximale Volumenstrom der CO₂-gesteuerten Anlage betrug dabei 150 m³/h. Jedoch war bei voller Leistung die Geräuschentwicklung so groß, dass ein störungsfreier Unterricht nur bis zu einem Volumenstrom von 70 m³/h gewährleistet werden konnte. Dies entspricht einer Luftwechselrate von 0,33 je Stunde, die als unzureichend eingestuft wird. Messungen in den Räumen belegen, dass der Betrieb nicht zufriedenstellend war und die Anlage im Unterrichtsbetrieb wegen des hohen Geräuschpegels abgeschaltet wurde.

In Abbildung 12 sind die CO₂-Konzentrationen der nebeneinander liegenden Räume dargestellt, die bei diesem Test vermessen wurden. Durch die Messbereichsgrenze der eingesetzten Messsensoren von 2.500 ppm kann die CO₂-Konzentration nur bis zu diesem Grenzwert von 2.500 ppm dargestellt werden. Weitere Untersuchungen wie in der Oststadtschule haben gezeigt, dass in Schulräumen ohne ausreichende Lüftung, die Konzentration bis zu 4.500 ppm ansteigen kann.

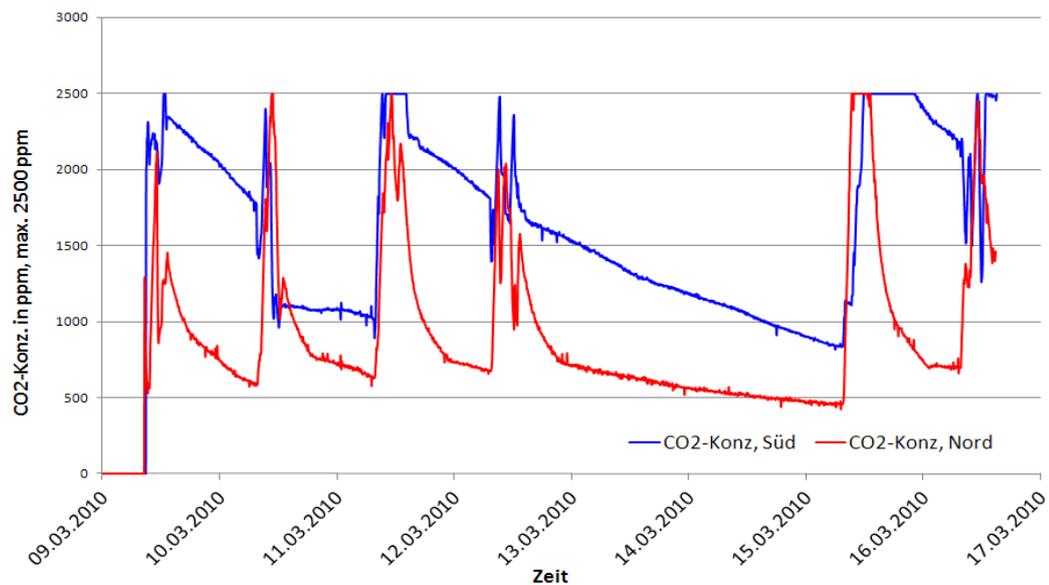


Abbildung 12: CO₂-Konzentrationen in zwei Räumen der Schule Weier mit dezentraler Zu- und Abluftanlage (rot) und rein passiver Lüftung (blau).

Im dargestellten 8-Tages-Zeitraum im März 2010 weist der südliche Raum ohne Lüftungseinheit eine sehr hohe CO₂-Konzentration auf. Selbst nach der nächtlichen „Ruhepause“ ist der CO₂-Gehalt am nächsten Morgen immer noch höher als 1.500 ppm. Erst nach einem Wochenende sinkt der Wert auf unter 1.000 ppm. Im Vergleichsraum mit der Lüftungsanlage werden 1.500 ppm nur noch kurzzeitig überschritten. Das liegt daran, dass die Konzentration an Kohlenstoffdioxid durch die Lüftungsanlage kontinuierlich überwacht und bei Bedarf eingeschaltet wird. Des Weiteren verbessert sie über Nacht den Grundpegel der Luftqualität auf Werte zwischen 450 und 650 ppm.

Das Lüftungskonzept (Querlüftung der Räume über automatisierte Kippfenster und Lichtkuppeln) sollte durch das Monitoring im Sommer 2012 erstmals für das gesamte Gebäude untersucht werden. Aufgrund technischer Probleme bei den hier eingesetzten Leitechnikprodukten lag für die weitere Auswertung keine ausreichende Datenbasis vor.

Handlungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen für die Schule Weier sind sehr umfangreich und abhängig von der Umsetzbarkeit einiger Funktionen über die Gebäudeautomation. Wie beim passiven Nachtlüftungskonzept im Oken-Gymnasium ist der Hausmeister für viele unterstützenden Maßnahmen gefragt. Die Handlungsempfehlungen für den Hausmeister/ Schließdienst umfassen dabei die grundlegenden vier Punkte:

- Überprüfung der Funktion der Nachtlüftung durch die Gebäudeautomation ab dem 1. April eines jeden Jahres. Dies kann beim abendlichen Schließdienst (ca. 22.00 Uhr) erfolgen.
- Durch das Raumpflegepersonal soll das Öffnen und Offenlassen von Klassenzimmertüren in den Monaten April bis Oktober umgesetzt werden.
- Gegebenenfalls sind durch den Schließdienst Fachräume bei Tendenz zu sehr hohen Temperaturen (Vorhersagewerte > 25 °C) mit in die Kühlmaßnahmen einzuschließen.
- Vor Schulbeginn am Morgen, Abschließen der Türen insbesondere der Fachräume ab 7 Uhr morgens

Die Nutzung der passiven Nachtlüftung führt je nach Außentemperatur und Wetterlage zu unterschiedlich hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei der Freilegung von Luftwegen, wenn kein Einzelraumkonzept umgesetzt werden kann.

Schnelle Temperaturwechsel wie sie bei aufkommenden Gewittern auftreten, können Wind- bzw. Sturmwächter Schäden durch zu fallende Fenster und Türen verhindern. Hier kommt den elektromotorisch steuerbaren Oberlichtern oder Klappfenstern eine wichtige Rolle zu, da nur diese über die Gebäudeautomation geschlossen werden können. Hauptfenster sollten deshalb zur Verstärkung der Lüftungsintensität (z.B. in den frühen Morgenstunden oder bei Stoßlüftung) nur dann hinzugezogen werden, wenn ein unmittelbares Eingreifen durch den Hausmeister oder anderer Personen/Nutzer gewährleistet ist. Gleiches gilt für die manuelle Einbindung der Lichtkuppeln im Flurbereich des 1.OG.

Oken-Gymnasium

Schultyp: Gymnasium

Adresse: Vogesenstraße 10
77652 Offenburg



Abbildung 1: Eingangsbereich des Oken-Gymnasiums Offenburg

Kurzfassung der Projektergebnisse

Der Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums wurde saniert und verfügt nun über eine energetisch bessere Gebäudehülle. Dies führte auf der Südostfassade zu Überhitzungssituationen, die ein gutes Konzept für den Betrieb von Abschattungsanlagen und weitere Maßnahmen zur Überhitzungsminderung erfordert.

Ausgearbeitet wurde für den Fachklassentrakt ein automationsgestütztes, passives Nachtlüftungskonzept, das auf die Temperaturunterschiede zwischen der Nord- und Südseite und des natürlichen Temperatúrausgleichs durch die kühleren Nachttemperaturen aufbaut. Unterstützt wird das Konzept durch die Gebäudeautomation, die tagsüber zu einer deutlichen Reduzierung der Solareinträge führen soll und nachts einen verbesserten Temperatúrausgleich mit der Umgebung ermöglicht. Hierzu werden Zeitfenster- und temperaturgesteuert die Oberlichter und Klappfenster elektromotorisch betätigt. Die weitere Freilegung von Luftwegen erfolgt mit Unterstützung des Reinigungspersonals und des Hausmeisters, der während des Schließdienstes die Klassenzimmer- und Flurtüren belasteter Gebäudebereiche aufstellt. Bei Bedarf werden Fachklassenräume hinzugenommen.

Im Sommer 2011 war die Umstellung noch nicht vollständig erfolgt, sodass nur die Stoßlüftung durch den Hausmeister in den frühen Morgenstunden für Kühleffekte sorgte. Die Raumtemperatur in diesem eher milden Sommer lag während der Unterrichtszeiten bei maximal 28 °C. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass bei längeren und stärker ausgeprägten Wärmeperioden, dieser Temperaturwert deutlich überschritten wird.

Da ausführungseitig im Sommer 2011 noch keine Freigabe vorlag, war der Hausmeister über die technischen Möglichkeiten noch nicht informiert. Die Türen der Klassenzimmer wurden somit für den Sommer 2011 nicht geöffnet. Das Monitoring des Sommers 2012 bestätigte sehr gut das ausgearbeitete passive Nachlüftungskonzept für den Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums. Mit Unterstützung des Hausmeisters bei der Einstellung von Oberlichtern und Türen konnte die Wärmebelastung im Vergleich zum Sommer 2011 sehr deutlich reduziert werden.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:

Zweigeschossiger Fachklassentrakt mit Klassenzimmern und Sondernutzung wie Fachräume und Aula

Fertigstellung Hauptgebäude: 1963 (Nebengebäude: 1969)

Anzahl der Nutzer/Innen:

900 (Schule gesamt)

Nutzungszeiten:

07:40 Uhr - 09:10 Uhr	13:10 Uhr - 13:55 Uhr
09:30 Uhr - 11:00 Uhr	14:00 Uhr - 15:30 Uhr
11:25 Uhr - 13:00 Uhr	15:40 Uhr - 17:10 Uhr

Lüftungsvariante:

Querlüftung über Innenhof und Nordwestseite

Bei Bedarf erweiterbar durch Abluftanlage der Aula

Lüftungstechnisch relevante Daten:

Nutzfläche:	3.312 m ²
Mittlere Raumhöhe:	3,1 m
Luftvolumen:	10.266 m ³

Grundriss:



Abbildung 2: Grundriss des Erdgeschoss im Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums. Gekennzeichnet sind die nordwestlich liegende Aula, das innen- liegende Treppenhaus, der begrünte Innenhof und die Klassenzimmer (KA) im Südosten.

Informationen zum Baukörper

Das Oken-Gymnasium zeigte eine stärkere Tendenz zur sommerlichen Überhitzung im neuen, südlichen Fachklassentrakt. Im Fachklassentrakt sind die Oberstufenklassen und die naturwissenschaftlichen Fachräume, über zwei Geschosse verteilt, untergebracht. Haupt- als auch Nebengebäude sind durch den Eingangsbereich verbunden. Beide wurden in den 60-er Jahren fertiggestellt.



Abbildung 3: Der Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums.

Bei der Analyse der Nutzung natürlicher Gebäudeklimatisierungsverfahren wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

Je Klassenraum sind drei Oberlichter über die Gebäudeautomation steuerbar. Das Hauptfenster darunter kann nur manuell zur Stoßlüftung und als Notausstieg geöffnet werden. Die Fensterfläche mit Festverglasung ist mit ca. 65 % sehr hoch. Die außen montierte Abschattungsan-

lage soll insbesondere nachts als Sichtschutz genutzt werden, da häufig Schäden durch Vandalismus auftraten.

Der südliche Gebäudeteil des Fachklassentrakts ist über zwei Gänge mit dem nördlichen Teil verbunden. Im nördlichen Teil befindet sich die Aula mit zwei Klappfensterreihen in einer nach Norden ausgerichteten Glasfront. Eine Lüftungsanlage für die Aula ist vorhanden und kann bei Bedarf in das Kühlkonzept integriert werden.



Abbildung 4: Glasfront des Aula-Bereichs (links).



Abbildung 5: Südostfassade des Fachklassentrakts (rechts).

Eine Einzelraumregelung mit Präsenzerkennung wurde eingeplant und umgesetzt. Der Trakt verfügt wie in Abbildung 2 dargestellt über einen Innenhof, der über das Treppenhaus zugänglich ist.

Das Lüftungskonzept wurde im Rahmen des Forschungsprojekts zur Minderung von Überhitzungen im Fachklassentrakt entwickelt und umgesetzt.

Technische und bauliche Maßnahmen zur Überhitzungsminderung

Im Rahmen von Sanierungsarbeiten, die sich über einen Zeitraum von sechs Jahren hinzogen, wurden die Fachräume neu ausgestattet und der Eingangsbereich neu gestaltet. Aus energetischer Sicht bekam das Gebäude eine neue Außenhülle. Für die Einstellung der Tageslichtverhältnisse und die Steuerung der Solareinträge wurden über die Gebäudeautomation steuerbare Außenjalousien eingebaut. Hinzu kommen Oberlichtfenster, die für die automationsunterstützte Nachtlüftungskühlung genutzt werden können. Jeder Raum verfügt über ein Bedienpanel zur Anpassung der Arbeitsbedingungen im Klassenzimmer und zu Anzeige von Betriebszuständen von Fenstern, Licht oder andere Geräten.

Zur Minderung der sommerlichen Wärmebelastung im Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums ist ein Konzept zur passiven Nachtlüftung mit intensiver Nutzung der Abschattungseinrichtungen tagsüber und die nächtliche Querlüftung über den Innenhof und/oder die Nordwestseite des Traktes vorgesehen. Da Türen und Fenster die Funktion von Luftklappen erfüllen sollen, ist insbesondere bei den Klassenzimmertüren und den Flurtüren die Unterstützung durch den Hausmeister bzw. den Schließdienst erforderlich. Tagsüber können Schüler und Lehrer durch geschickte Bedienung der Außenjalousien und intensive, kurze Stoßlüftungsintervalle bei offener Klassenzimmertür zur Begrenzung von Wärmeeinträgen beitragen.

Abschattungseinrichtungen

Der beste Schutz vor einer sommerlichen Überhitzung wird mit der stetigen Verwendung von Abschattungsanlagen erreicht. Im Oken Gymnasium wurde dazu die Steuerung der Jalousien mit der Gebäudeleittechnik vorgenommen. Alle Jalousien sind dennoch bei belegten Räumen individuell einstellbar. Um einen störungsfreien Unterricht zu gewährleisten, wird die

Jalousiensteuerung freigegeben, wenn der jeweilige Raum länger als 15 Minuten nicht belegt ist.



Abbildung 6: Fenstersegment des Fachklassentrakts mit Außenjalousien, Festverglasung, Hauptfenster und Oberlicht (links).

Abbildung 7: Zum Vergleich die innenliegenden Vertikallamellenvorhänge in Klassenräumen des Hauptgebäudes, die durch Rollläden ergänzt werden.

Nachtlüftungskonzept

Die Lüftung im Oken-Gymnasium basiert auf einer natürlichen Lüftung mit je drei Oberlichtern je Klassenzimmer und Lichtkuppeln im Treppenhaus, die durch die Gebäudeautomation unterstützt werden. Es ist also ein rein passives Konzept. Der Motor des Lüftungsaustausches ist die Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenbereich, die sich wiederum durch unterschiedliche Temperaturen einstellt.

Es sind dabei zwei unterschiedliche Luftwege vorstellbar: Eine etwas schwächere Form, bei der die kühle Nachtluft nur den südlichen Teil des Gebäudes durchströmt und durch den Innenhof abgeleitet wird oder eine Erweiterung über die Aula, durch die weitere Teile des Gebäudes gekühlt werden. Die Luftwegschemata sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Eine weitere Verstärkung des Luftumsatzes kann durch die in der Aula befindliche Abluftanlage erfolgen. Über die Sommermonate von April bis Ende September werden nachts die in den Klassenzimmern befindlichen Oberlichter, die über dem Treppenhaus montierten Lichtkuppeln, die Fenster zum Innenhof und die in der Aula befindlichen Klappfenster durch die Gebäudeautomation geöffnet. Die Lichtkuppeln, die Oberlichter zum Innenhof und die Fenster in der Aula dienen dabei als Abluftöffnungen.

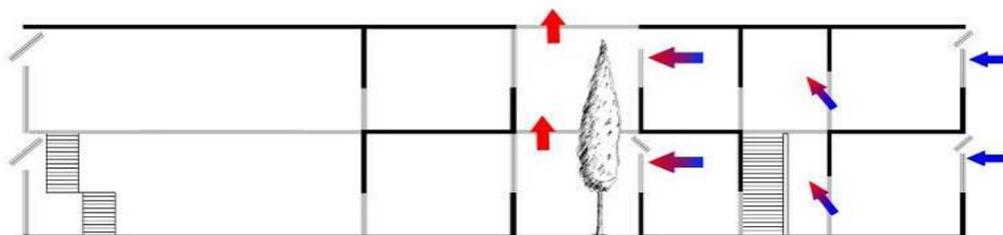


Abbildung 8: Luftwegschemata des Oken-Gymnasiums für den südöstlichen Teil des Fachklassentrakts.

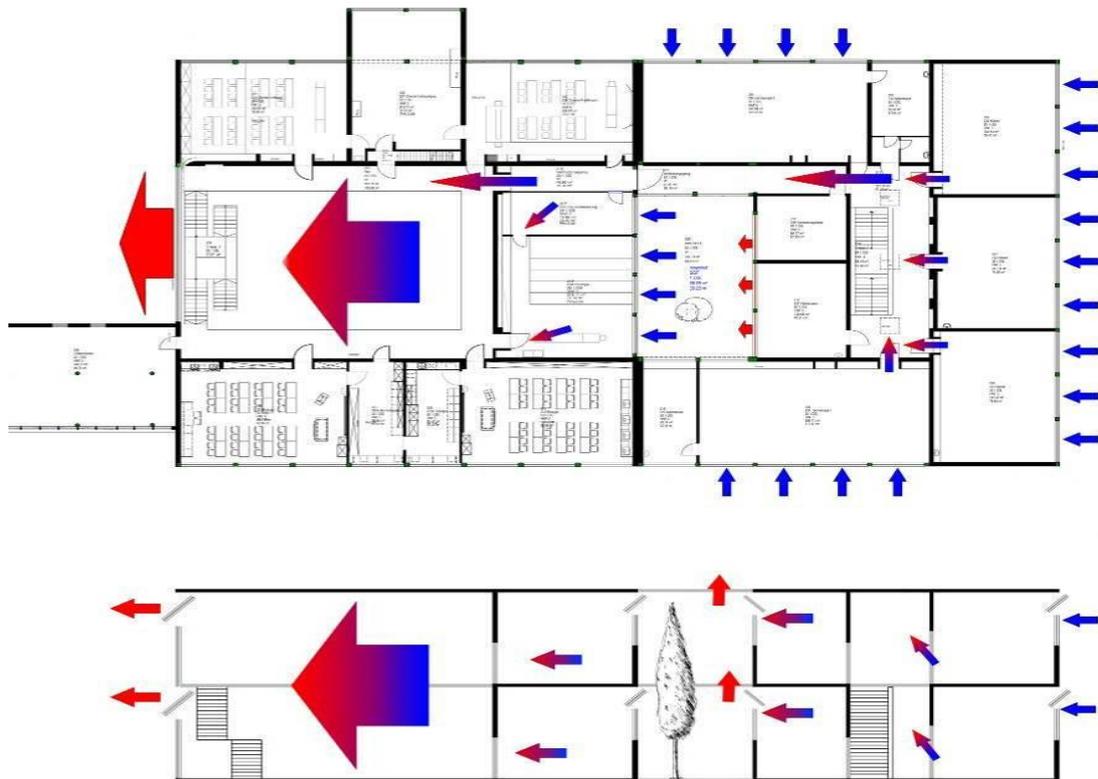


Abbildung 9: Luftwegschemata des Oken-Gymnasiums mit Erweiterung der Luftwege zur Nordwestseite des Gebäudes.

Charakteristische Messergebnisse

In Abbildung 10 sind die Temperaturverläufe für zwei Räume des Oken-Gymnasiums über den Zeitraum von Juni bis Ende September dargestellt. Die Räume 107 und 207 liegen direkt übereinander und haben somit die gleiche Ausrichtung (Südost). Das Jahr 2011 war ein Jahr ohne ausgeprägte Hitzephasen. Die heißesten Tage waren Ende Juni und Ende August mit Außentemperaturen von bis zu 35 °C.

Im August lässt sich gut beobachten, wie sich die Räume ohne Schulbetrieb und Lüftungsaktivitäten verhalten. Über einen Zeitraum von zweieinhalb Wochen heizen sich in den Sommerferien die Räume so sehr auf, dass Raumtemperaturen bis 32 °C gemessen werden. Die Wärme staut sich in den Klassenzimmern bis die Umgebungstemperaturen wieder absinken. Der natürliche Temperatúrausgleich bei den Gebäudemassen durch den Tag-Nacht-Wechsel liegt bei 1 bis 2 Kelvin. Während des Schulbetriebs bis zu den Sommerferien lagen die maximalen Raumtemperaturen an wenigen Tagen bei 28 °C.

Während des ganzen Jahres waren im Oken-Gymnasium die Klassenzimmer wie bisher gewohnt abgeschlossen. Morgentliche Lüftungsaktivitäten des Hausmeisters sind an den warmen Phasen ab ca. 7:00 Uhr anhand der Messdaten ersichtlich. Da sich die zentrale Gebäudeautomation im Jahr 2011 im Aufbau befand, sind die Funktionen nicht eindeutig zu belegen. Es fehlten auch die erforderliche Anweisungen und Empfehlungen an Personal und Nutzer im Gebäude. Umfangreiche Ergebnisse zum Betriebsverhalten werden somit im Sommer 2012 über ein nachgeschaltetes Monitoring erwartet. Das Monitoring soll der Stadt Offenburg auch Hinweise zur weiteren Optimierung geben.

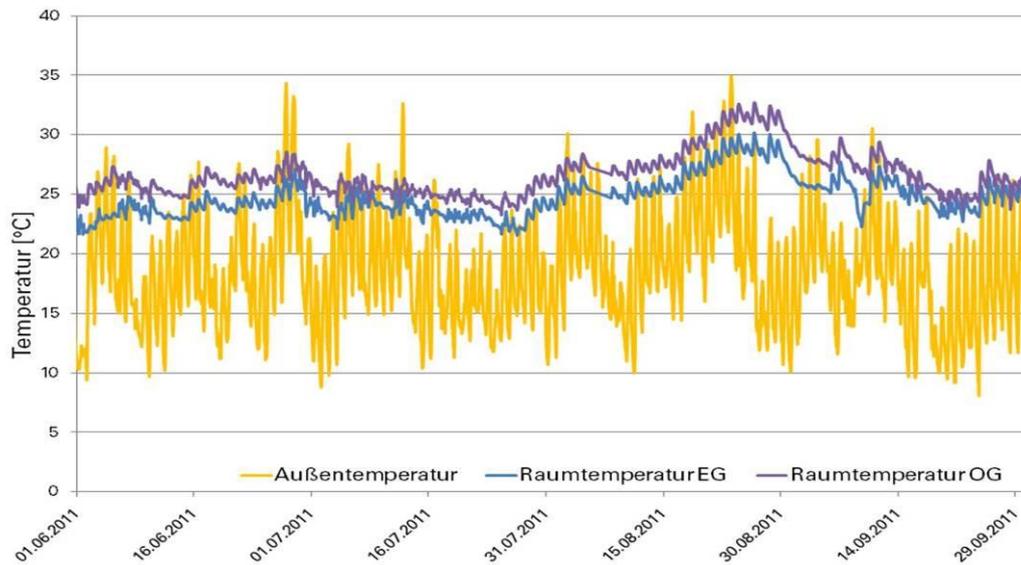


Abbildung 10: Temperaturverlauf im Oken-Gymnasium im Zeitraum zwischen Juni und Ende September mit der Außentemperatur (gelb) und zwei Räumen im Erdgeschoss und 1.Obergeschoß.

Das Monitoring der Nachtluftkühlung im Sommer 2012 zeigte wie der Abbildung 11 zu entnehmen ist, eine sehr gute Umsetzung des Betriebskonzeptes zur Wärmelastminderung. Die Ergebnisse stellen die Temperaturverläufe eines Klassenzimmers mit südlicher Ausrichtung ohne (Daten des Sommers 2011) und mit Nachtlüftungskonzept im Jahr 2012 dar. Im Sommerhalbjahr 2011 liegt die Raumtemperatur des Klassenzimmers über 1.000 Stunden oberhalb von 26 °C. Durch die Nutzung der passiven Nachtlüftung (Öffnung von Oberlichtern und Öffnen von Klassenzimmer- und Flurtüren) und durch konsequenten Einsatz von Verschattungseinrichtungen können diese Temperaturüberschreitungen auf ca. 50 Stunden im Sommer 2012 reduziert werden.

Bei stärkeren, sommerlichen Wärmephasen sind weitere wärmelastmindernde Maßnahmen ergänzend vorgesehen, deren Einsatz im Sommer 2012 nicht erforderlich war.

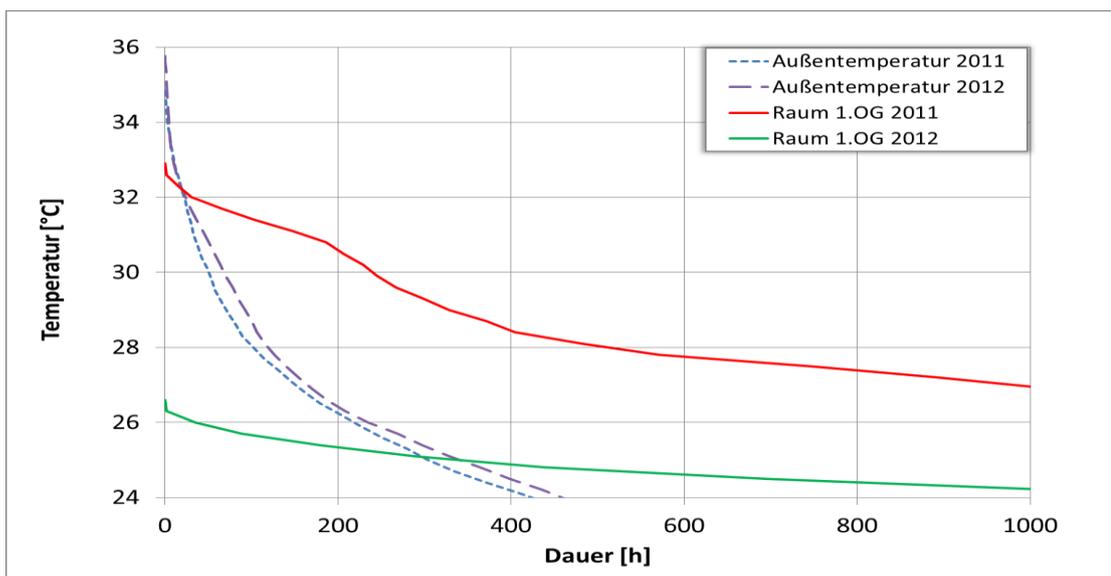


Abbildung 11: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Süden ausgerichteten Raum des 1. OG im Fachklassentrakt des Okengymnasiums.

Handlungsempfehlungen

Ergänzend zur einwandfreien Funktion der Gebäudeautomation spielen der Hausmeister und das Raumpflegepersonal eine wichtige Rolle. Ohne das Öffnen der Klassenzimmertüren zur Nachtlüftung findet ein zu geringer Luftaustausch statt und der Auskühlungseffekt bleibt nahezu aus. Durch die Querlüftung über das Treppenhaus und die Aula kann der Kühleffekt verstärkt werden.

Die Handlungsempfehlungen für den Hausmeister/Schließdienst umfassen beim Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums die folgenden vier Punkte:

- Überprüfung der Funktion der Nachtlüftung durch die Gebäudeautomation ab dem 1. April eines jeden Jahres. Dies kann beim abendlichen Schließdienst (ca. 22:00 Uhr) erfolgen.
- Durch das Raumpflegepersonal sollte das Öffnen und Offenlassen von Klassenzimmertüren in den Monaten April bis Oktober umgesetzt werden.
- Gegebenenfalls sind Fachräume bei Tendenz zu sehr hohen Temperaturen (Vorhersagewerte > 25 °C) mit in die Kühlmaßnahmen einzuschließen.
- Bei Bedarf Abschließen der Türen ab 7:00 Uhr morgens (insbesondere Fachräume)

Die Nutzung der passiven Nachtlüftung führt je nach Außentemperatur und Wetterlage zu unterschiedlich hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei der definierten Freilegung von Luftwegen. Bei schnellen Temperaturwechseln wie sie bei aufkommenden Gewittern auftreten, können Wind- bzw. Sturmwächter Schäden durch zu fallende Fenster und Türen verhindern. Hier kommt den elektromotorisch steuerbaren Oberlichtern oder Klappfenstern eine wichtige Rolle zu, da nur diese über die Gebäudeautomation geschlossen werden können. Hauptfenster sollten deshalb zur Verstärkung der Lüftungsintensität (z.B. in den frühen Morgenstunden oder bei Stoßlüftung) nur dann hinzugezogen werden, wenn ein unmittelbares Eingreifen durch den Hausmeister oder anderer Personen/Nutzer gewährleistet ist.

Schiller-Gymnasium

Schultyp: Gymnasium

Adresse: Zellerstraße 33
77654 Offenburg



Abbildung 1: Das Schillergymnasium mit dem fast 100-jährigem Altbau (links) und dem 1974 eingeweihten Zubau (rechts) [Quelle: www.schiller-gymnasium.de].

Kurzfassung der Projektergebnisse

Das Schiller-Gymnasium wurde im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ mit dem geringsten Aufwand bearbeitet. Gründe liegen insbesondere bei der geringen Häufigkeit in Bezug auf sommerlichen Beschwerden, die sich hauptsächlich auf das zu Fachräumen sanierte Dachgeschoß im Altbau beschränkten. Der Projektablauf war zudem durch eine schlechte Datenverfügbarkeit gekennzeichnet, die eine genaue Analyse des Betriebsverhaltens erschwerte.

Jeder der Fachräume des Dachgeschoß wurden im Rahmen des Umbaus mit einer Taglüftung ausgestattet, die mit Hilfe einer Abluftanlage und automatisiert gesteuerten Nachströmöffnungen arbeitet. Analysen der verfügbaren Messdaten aus der Gebäudeautomation bestätigen die gute Luftqualität in den Lehr- und Arbeitsräumen, wiesen aber auch auf die Tendenz zu hohen sommerlichen Temperaturen hin, die im Jahr 2010 besonders ausgeprägt war. Abschattungseinrichtungen sind aus Denkmalschutzgründen innenliegend montiert und eignen sich damit lediglich als Blendschutz.

Daraufhin wurden die Abluftanlagen, die in die Gebäudeautomation integriert sind, um die Funktion einer Nachtlüftungskühlung erweitert. Erste verfügbare Messdaten bestätigen die Funktion der Nachtlüftung mit einer Temperaturabsenkung bis zu 4 Kelvin. Allerdings konnte der Sachverhalt nicht für alle Fachräume überprüft werden. Eine bessere Datenverfügbarkeit zur Aufzeichnung des Betriebsverhaltens ist für das technische Management zwingend anzustreben.

Das Monitoring des Sommers 2012 zeigte keine Verbesserung bei der Datenverfügbarkeit. Die bereitgestellten Messdaten zeigen eine Wirkung der Nachtlüftungsfunktion in den Räumen 403 und 402. Die Daten weisen auf eine geringe thermische Belastung hin, so dass für diesen Teil des Schulgebäudes keine weiteren Maßnahmen getroffen werden müssen.

Gebäudeinformationen

Gebäudetyp:

Dachgeschoß in schwerer Bauweise als Fachraumbereich

Baujahr Hauptgebäude: 1915

Anzahl der Nutzer/Innen: 1.150 (Schule gesamt)

Nutzungszeiten:

1.Stunde:07:40 – 8:25 Uhr	7. Stunde: 13:10 – 13:55 Uhr
2.Stunde:08:30 – 9:15 Uhr	8. Stunde: 14:00 – 14:45 Uhr
3.Stunde:09:30 – 10:15 Uhr	9. Stunde: 14:50 – 15:35 Uhr
4.Stunde:10:20 – 11:05 Uhr	10./11. Stunde: 15:40 –17:10 Uhr
5.Stunde: 11:25 – 12:10 Uhr	
6.Stunde: 12:15 – 13:00 Uhr	

Lüftungsvariante:

Einzelraumlüftungen mit Abluftanlage

Lufttechnisch relevante Daten:

Gekühlte Fläche: 394 m²

Mittlere Raumhöhe: 3,6 m

Gekühltes Luftvolumen: ca. 1.400 m³

Grundriss:

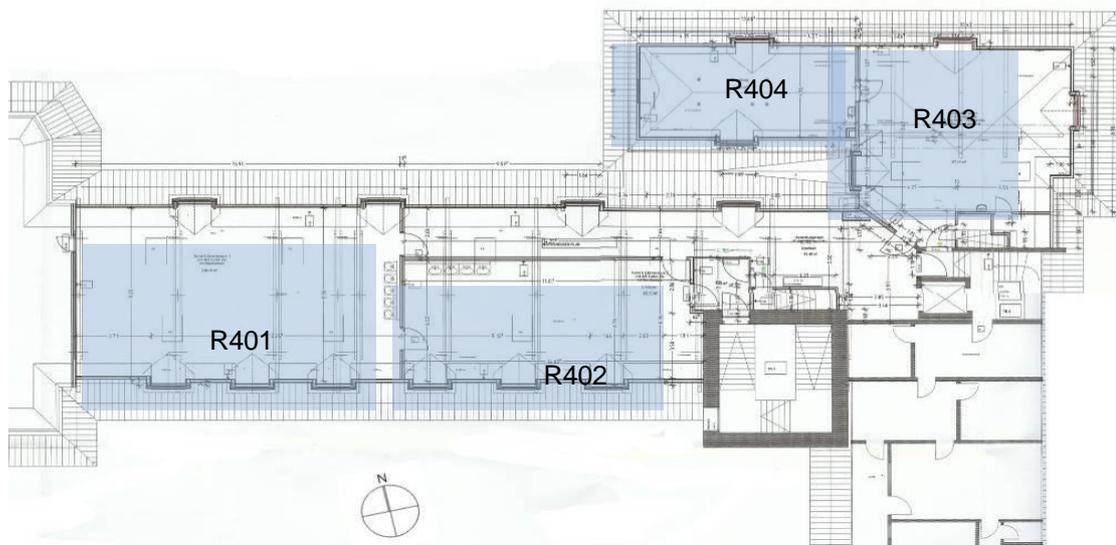


Abbildung 2: Grundriss des Dachgeschosses im alten Trakt des Schiller-Gymnasiums. Die blauen Flächen kennzeichnen vier Räume, die durch die raumluftechnische-Anlagen belüftet werden.

Informationen zum Baukörper

Das Schiller-Gymnasium besteht aus zwei Gebäuden. Einem ca. 100 jährigen Altbau und einem in 1974 fertiggestellten Zubau in schwerer Betonskelettbauweise. In Abbildung 3 sind der neuere Anbau links und der Altbau rechts zu sehen.



Abbildung 3: Die beiden Gebäude des Schiller-Gymnasiums.

Für die Maßnahmen im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ kann bei beiden Gebäuden von einer schweren Bauweise ausgegangen werden. Es liegen somit ausreichende Kapazitäten für die Nutzung der Nachtluftkühlung vor. Aus Denkmalschutzgründen wurden beim Dachgeschoß, das nach dem Ausbau eine starke Tendenz zur Überhitzung aufweist, keine außenliegenden Abschattungseinrichtungen eingebaut. Damit fehlt eine wichtige bautechnische Komponente, die in den anderen Schulgebäuden zur Reduzierung von Wärmeeinträgen beiträgt. Die Anzahl der Fensterflächen, die nach Süden ausgerichtet sind halten sich jedoch in Grenzen und beeinflussen überwiegend die Räume 401 und 402.

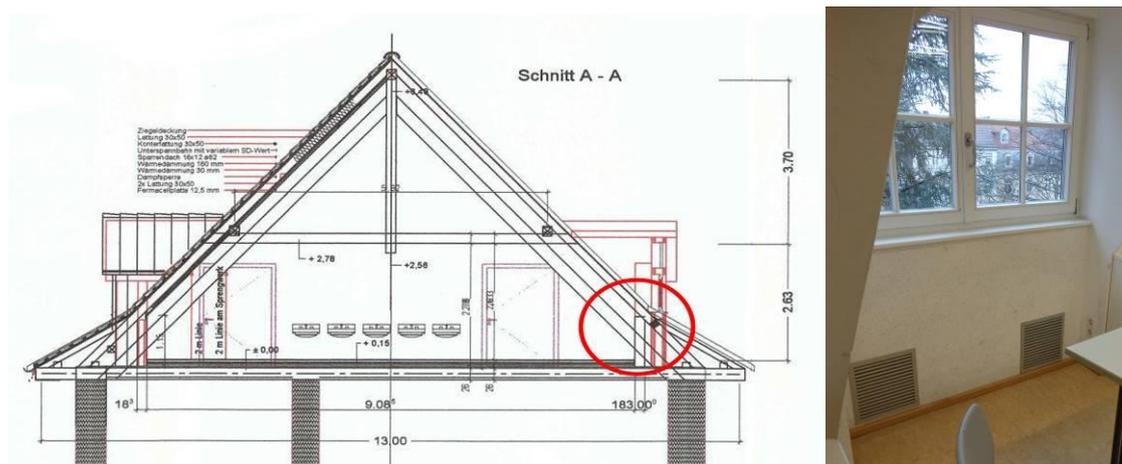


Abbildung 4: Querschnitt eines Fachraums im Dachgeschoß. Der rote Kreis zeigt den Bereich im Kniestock mit der Abluftanlage und den Abluftöffnungen (rechts) an.

Der Grenzwert wird von der Programmierern häufig auf 18 °C gesetzt und sollte auf mindestens 24 °C angehoben werden. Die Kriterien für die Nachtlüftungsfunktion können wie folgt zusammengestellt werden:

Freigabezeitfenster

Freigabe Zeitfenster Datum: 01.04. – 30.09.

Freigabe Zeitfenster Uhrzeit: 22:00 Uhr bis 7:00 Uhr

Temperatursauswertung Nachtlüftung:

Temperaturdifferenz: $RT - AT > 3 \text{ K}$

Optional: Außentemperatur $AT < 24 \text{ °C}$

Starttemperatur: $RT > 23 \text{ °C}$

Stopptemperatur: $RT < 19 \text{ °C}$

Charakteristische Messergebnisse

Auswertungen zum Raumklima

Im Diagramm der Abbildung 6 werden Raum 402 und 403 miteinander verglichen. Dabei hat Raum 402 eine südliche Ausrichtung und Raum 403 eine nordöstliche. In der Nacht des 22. Juni 2011 haben beide Räume um 22:00 Uhr eine Raumtemperatur, die höher als 23 °C liegt. Die Nachtlüftung wird aktiviert und kühlt die Räume bis ca. 6:30 Uhr um ca. 3 - 3,5 K ab. Im Laufe des 23. Juni heizen sich beide Räume erneut auf. Raum 403 stärker als Raum 402. In der Nacht des 23. Juni wird daraufhin die Nachtlüftung bei Raum 403 aktiviert und der Raum um ca. 4 K abgekühlt. Bei Raum 402 hingegen bleibt die Raumtemperatur nahezu konstant. Am nächsten Tag wiederholt sich der Vorgang. Gründe liegen hier in der Unterschreitung der Raumtemperaturfreigabe (Raum 402 ist kälter als 22 °C).

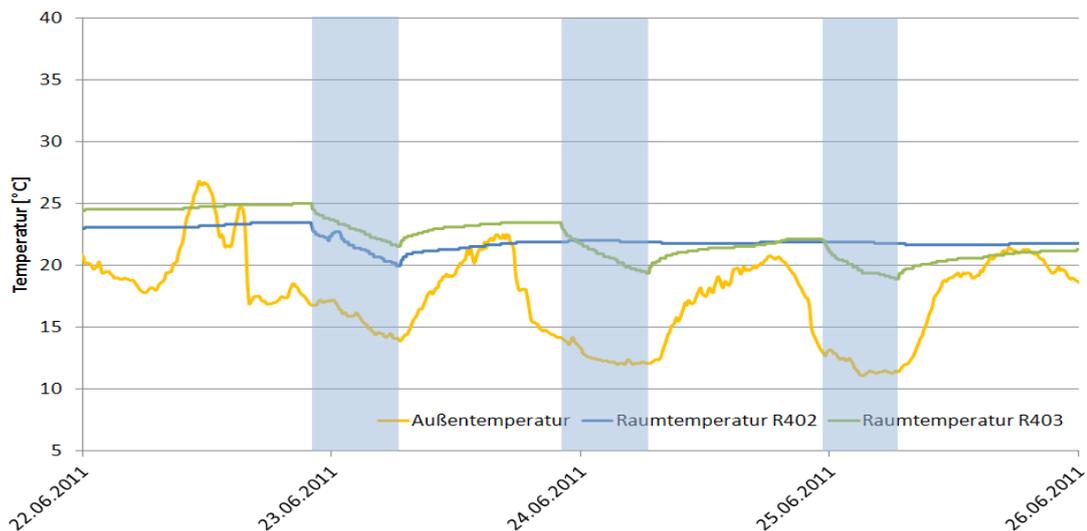


Abbildung 6: Darstellung der Raumtemperatur und der Außentemperatur zweier Fachräume im Dachgeschoss des Schiller-Gymnasiums.

Die Nachtlüftung funktioniert und führt zu einer Temperaturabsenkung bis zu 4 Kelvin. Die Analyse des weiteren Verlaufs zeigt, dass die maximale Raumtemperatur des am 22.06.2010 ca. 1,5 K wärmeren Raums 403 sogar um 0,5 Kelvin abgesenkt wird. Der Vergleichsraum R402

bleibt über den dargestellten Zeitraum konstant bei ca. 22 °C und bleibt damit kühl genug, damit die Aktivierung der Nachtlüftung nicht erfolgt.

Voruntersuchungen zur Luftqualität

Als Vorlauf zur Umsetzung der Nachtluftkühlfunktion wurden im Dachgeschoß des Schiller-Gymnasiums Messungen zur Luftqualität ausgewertet. In Abbildung 7 ist die Luftqualität der Dachräume 402 und 403 dargestellt. Insgesamt sind folgende drei Bereiche erkennbar.

- I. 18.07.2010 – 28.07.2010 Unterricht im Sommerzeitraum
- II. 29.07.2010 – 12.09.2010 Sommerferien
- III. 13.09.2010 – 27.09.2010 Anfangsphase des neuen Schuljahr

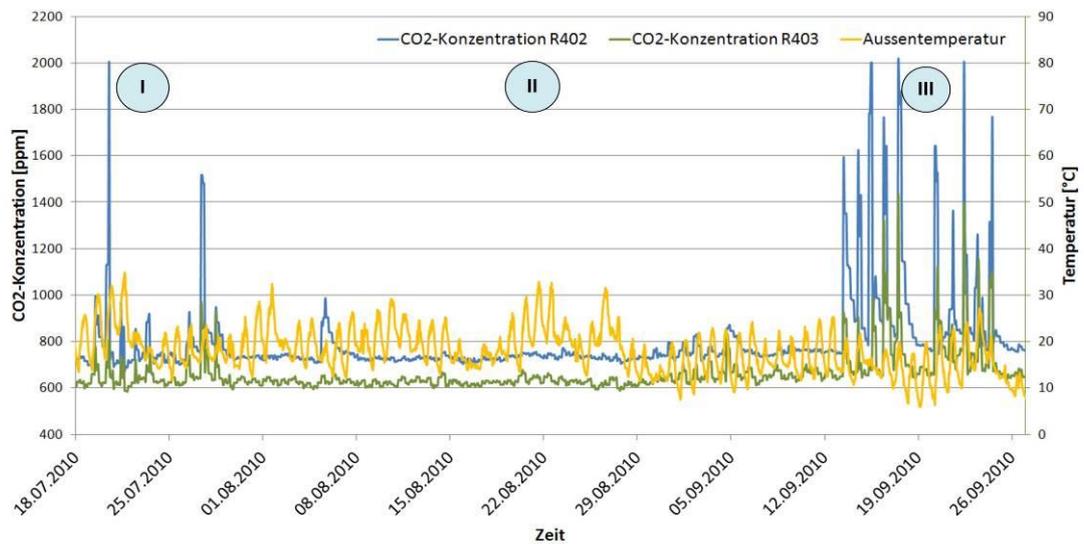


Abbildung 7: Darstellung der CO₂-Konzentration im Dachgeschoß des Schiller-Gymnasiums vor und nach den Sommerferien. Bedingt durch kühlere Außentemperaturen steigt die CO₂-Konzentration in den Fachräumen deutlich an.

Die CO₂-Konzentration ist im Sommer wegen offener Fenster und durch die Unterstützung der Abluftanlage gering. Gerade einmal pro Woche steigt der Kohlendioxidwert über 1.000 ppm an. Angenehme Außentemperaturen begünstigen einen hohen Luftaustausch und sorgen für einen reduzierten Betrieb der Abluftanlage. Nach den Sommerferien bleiben wegen kalten Außentemperaturen die Fenster häufig geschlossen und die CO₂-Konzentration steigt stark an. In Raum 402 kann dies im Auswertejahr 2010 stärker als Raum 403 nachgewiesen werden. Gründe können eine stärkere Nutzung sein oder daran liegen, dass bei Raum 403 die Türen häufig offenstehen. Der Luftaustausch ist über das angrenzende Treppenhaus und den Gang stärker. Aufgrund einer schwachen Datenverfügbarkeit konnten nicht alle Räume des Dachgeschoßes ausgewertet werden. Die vorliegenden Messdaten erlaubten über die gesamte Projektlaufzeit keine durchgängige Auswertung der Sommerperioden.

Handlungsempfehlungen

Da Abluft- und Frischluftöffnungen im selben Raum untergebracht sind und die Abluftanlagen nur für die jeweiligen Räume ausgelegt wurden, ist es empfehlenswert, die Zimmertüren geschlossen zu halten. Bei geöffneten Türen wird der Luftraum schlagartig vergrößert und Luft aus dem Gang angesaugt. Der Kühleffekt für den Raum wird dadurch stark geschwächt.

Der Hausmeister sollte die Funktion der Nachtlüftung zu Beginn der Sommerzeit überprüfen und sicherzustellen, dass die in Bodennähe (am Kniestock) befindlichen Abluftöffnungen nicht zugestellt werden.

Eine kontinuierliche Überprüfung des Gebäudeverhaltens kann nur über eine durchgängige Aufzeichnung steuerungstechnisch relevanter Datenpunkte gewährleistet werden. Der Zugang zu diesen Messdaten sollte für das technische Management der Stadt Offenburg jederzeit möglich und gesichert sein. Fachfirmen, die den kommunalen Trägern diesen Zugang gewähren, sollten somit bei der Ausschreibung bevorzugt werden.

Infos über das Projekt im Internet:

Projektwebseite der Forschungsgruppe net
(Nachhaltige Energietechnik) der
Hochschule Offenburg:

<http://fgnet.hs-offenburg.de/gebaeude/schulklima/>

Projektseite des Badenova
Innovationsfonds für Klima- und
Wasserschutz:

https://www.badenova.de/web/de/umweltundregion/innovationsfonds_1/projekte_1/innovationsfondsdetail_10112.html

Webseite des Institut für angewandte
Forschung der Hochschule Offenburg:

www.iaf.fh-offenburg.de

(Projekte 2011 → Projekt Nr. 16)

„Natürliche Gebäudeklimatisierung in
Klassenzimmern.“

Herausgeber:

Nicole Riske, Alex Schaad, Marvin Aliov
Theodor-Heuss-Realschule
Klasse 7D 2010/11
77656 Offenburg



Verbessertes Raumklima in den Klassenzimmern der THR



Bei welchem Raumklima kann man gut lernen?

Man kann am besten lernen, wenn es im Raum nicht zu warm und nicht zu kalt ist. Die Raumtemperatur sollte bei ca. 20°C liegen. Wenn sich viele Menschen in einem Raum aufhalten geben sie Wärme ab und es entsteht viel CO₂. Dieses Gas macht müde, deshalb sollte der Raum immer gut gelüftet sein. Viel Licht ist gut, aber wenn die Sonne ins Zimmer scheint blendet das und es wird im Sommer sehr schnell zu warm. Im Winter wird es sehr schnell zu kalt, wenn man ständig lüftet. Bleiben die Fenster zu wird jedoch die Luft „schlecht“.

Was also tun? Wie verhält man sich richtig um einerseits ein gutes Raumklima zu haben, andererseits aber auch keine zu hohen Kosten durch Heizung oder gar eine Klimaanlage zu produzieren?

Die Generalsanierung der THR:

Im Rahmen der Renovierung unserer Schule durch die Stadt Offenburg wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

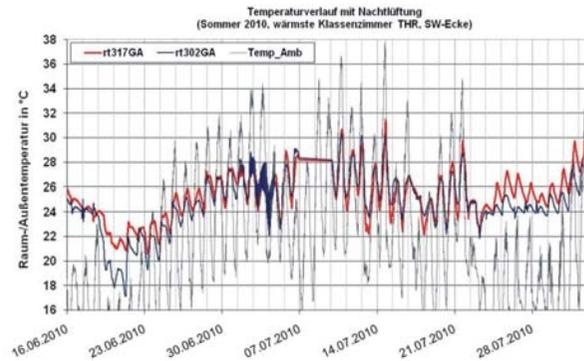
- Erneuerung der Jalousien
- Verbesserung der Isolierung
- neue Verglasung der Fenster (energiesparend)
- Erneuerung der Heizung

Es wurde auch untersucht, ob unsere Schule eine Klimaanlage bekommen soll. Dabei wurde festgestellt, dass man sich eine Klimaanlage sparen kann. Stattdessen wurde die Gebäudetechnik so optimiert, dass durch automatisierte Abläufe für ein gutes Raumklima gesorgt werden kann, z.B. Nachtlüftung zum Abkühlen der Räume mit Dachventilatoren, automatische Verschattung der Räume durch die Jalousien und Einiges mehr.

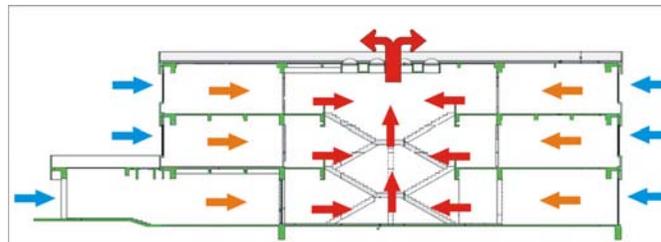
Aber die Nutzer müssen auch intelligent mit den Möglichkeiten der Technik umgehen. Diese Broschüre soll darüber informieren...

Das Projekt verbessert das Raumklima:

Im Rahmen der Sanierung haben die Stadt Offenburg und die Hochschule Offenburg gemeinsam nach einer Lösung für das Problem mit der Raumtemperatur und der Lüftung gesucht. Die Wissenschaftler der Hochschule installierten Messgeräte an unserer Schule und untersuchten die Temperatur und die CO₂-Konzentration in einigen Räumen während des Schulbetriebes an den Sommertagen.



Dabei verbesserten sie durch Steuerung der Jalousien und Belüftung der Räume die Werte, programmierten und ergänzten die Haustechnik, u.a. durch Abluftventilatoren in der Aula.



Wir, die Klasse 7d der THR haben anschließend in einem WVR-Projekt Verhaltensregeln für unsere Schule erarbeitet, damit die Lehrer und Schüler die Möglichkeiten der installierten Technik auch optimal nutzen können.

Regeln für gute Luft im Klassenzimmer



Winter



Richtiges Lüften im Winter:

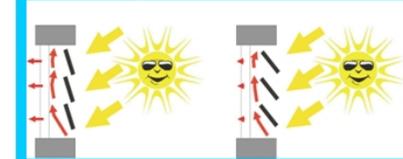
**In den Pausen alle Fenster auf und die Tür öffnen
= Stoßlüften**

Erklärung: Schneller Luftaustausch, nur geringes Auskühlen des Zimmers durch Pausenlüftung. Heizung schaltet bei offenem Fenster ab. Dachventilatoren unterstützen den schnellen Luftaustausch in den Hofpausen.

Bei störender Sonneneinstrahlung:

Die runde Seite der Jalousien zeigt nach außen. Die Lücken zwischen den Lamellen sollten dabei sehr gering sein. Nachts Auskühlungsminimierung und tagsüber Wärmegewinne.

Jalousien herunterfahren, jedoch so kippen, dass genug Tageslicht eintritt und der Blendschutz gesichert ist.



Sommer



Richtiges Lüften im Sommer: **Fenster offen, Klassenzimmertür offen**

= Stoßlüften

Erklärung: Stoßlüften für Luftaustausch in jeder Pause. Dabei die Stellung der Lamellen waagrecht lassen oder Jalousien hochfahren. Nach dem Lüften die Lamellen zum Blendschutz steiler stellen!

Bei Sonneneinstrahlung:

Wärme wird nach außen abgeführt und dringt nicht ins Klassenzimmer ein.

Morgens: Jalousien runterfahren und Lamellen so nachstellen, dass die runde Lamellenseite nach innen zeigt.

Mittags: Bei hochstehender Sonne die Lamellen relativ flach mit runder Seite nach außen zeigend.

