



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
<http://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.

Inhaltliche Eingrenzung / Haftungsausschluss

Diese Veröffentlichung erhebt bezüglich der natürlichen Gebäudeklimatisierung nicht den Anspruch, auch sämtliche anderen für die Planung und Realisierung von Maßnahmen zur Überhitzungsminde- rung in Schulgebäuden abzudecken. Der Inhalt dieser Veröffentlichung wurde mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Hinsichtlich der Verwendung von gezeig- ten Informationen muss dennoch jeder die Anforderungen von Gesetzen, Normen oder Verordnungen eigenverantwortlich überprüfen. Jegliche Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte und Daten sowie insbesondere für eventuelle Schäden oder Konsequenzen, die durch die Nutzung des dargestellten Wissensstoffes entstehen, ist ausgeschlossen.

Abstract

Modernization efforts to retrofit school buildings were mostly concentrated on thermal insulation and reduction of costs for heating purposes. The impact of the climate change forces many decision makers to take also the more and more frequent overheating in hot summer periods into account.

Within a research project the University of Applied Sciences Offenburg and the municipality of Offenburg implemented strategies of shading combined with night ventilation in order to reduce the heat load of school buildings. An important role was given to the building automation supported by internet communication and realizing predictive control functions as well as assuring a continuous remote access for the building and energy management services of the municipality. Additionally information to users (pupils and teachers) and training of staff members were crucial aspects to assure the successful performance of the automation and user assisted operation strategy of natural cooling.

Six schools of Offenburg were involved in the project with different work packages. The taken measures go from additional programming of algorithms for the night ventilation to entire retrofit of the building envelope. The fact that retrofitting of the building envelope as municipal activity was respected for the planning and realization of measures time delays affected the project duration and the choice of the school buildings.

After four years of project duration the six schools buildings or building sections were finally prepared with different technical solutions according to individual circumstances and constructional requirements. The realized passive cooling concepts based in three cases on ventilator assisted nocturnal cooling supported by the building automation activating flaps and windows. Additionally the manual opening and closing of air flow significant doors is necessary. Two concepts do not use ventilator units and follow a cross sectional ventilation for thermal exchange with the ambient temperature. The sixth and last one is decentralized ventilation with air ducts and heat recovery in winter. During the summer period a bypass is commonly used to improve the air exchange rate. For the nocturnal ventilation there is the need of high air exchange rates, a fact which restricts air duct systems due to the limited cross section of the ducts. The challenge within the project was to integrate them in the summer period by changing the duct structure with a bypass or a fresh air flap and execute the control actions with the help of the building automation.

The monitoring was realized with different types of data acquisition systems but mainly using extended functions of the building automation by installing additional sensors and actors as well as by improving the existing archiving structure joint with a remote database access via Internet. By improving its capabilities to acquire process and store data points and view historical charts the later analysis of the building performance was prepared to facilitate the work of the technical management of the municipality.

The success of the project was the reduction of the heat load in classrooms up to 60 %. With the individual solutions the efficiency of the installed systems varies and an overall comparison is planned for the summer 2012. The project significantly demonstrated a sustainable way to reduce heat loads in class rooms and proved a high potential in avoiding CO₂-emissions reducing the need of compression based AC and cooling units.

The project in Offenburg led to the elaborated "Guidelines for the reduction of heat loads in school buildings of the southern Rhine Valley" and can be considered as a leading initiative to achieve a more sustainable operation of school buildings in the southern part of the Upper Rhine Valley. Introducing cooling concepts with a high reduction of CO₂ emissions by raising the energy efficiency of school buildings a significant demonstration environment is given for the educational sector.

Kurzfassung

Der vorliegende 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 herstellerspezifische 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“ [6] die Eignung der Nachtluftkühlung zur Entwärmung von Gebäudemassen und konnte an den Schulen erneut erfolgreich eingesetzt werden. Die Eignung der Maßnahme, die Gebäudemassen konsequent durch die Nachtluftkühlung zu entladen, wurde u.a. in einem im Jahr 2010 veröffentlichten Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude des Passivhaus-Instituts [3] 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 liefern 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 [7] 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 zent-

raler Windwächter und ein Niederschlagssensor auf dem Dach, ein Temperatursensor mit Wetzschuttschild 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.

Inhalt

Einleitung.....	10
1 Wetter- und Klima im südlichen Oberrheingraben	12
1.1 Klimatisch bedingte Wärmebelastung in Schulgebäuden	12
1.2 Nutzungsbedingte Wärmeeinträge in das Schulgebäude	14
2 Gebäudetechnik	14
2.1 Konsequenter Wärmeaustrag zur Überhitzungsvermeidung.....	14
2.2 Rolle weiterer bautechnischer Elemente	15
2.2.1 Fenster	15
2.2.2 Wärmedämmung	16
2.2.3 Einfluss der Bautechnik auf die Raumtemperatur	17
2.2.4 Nachtluftkühlung als natürlicher Temperatenausgleich.....	17
2.2.5 Effizienter Betrieb von Abschattungseinrichtungen	19
3 Lüftungskonzepte zur natürlichen Gebäudeklimatisierung	21
3.1 Lüftungskonzepte ohne mechanische Unterstützung/Lüftereinheiten	21
3.1.1 Temperaturunterschied zwischen Tag- und Nacht.....	21
3.1.2 Temperaturunterschied zwischen Gebäudeseiten	21
3.1.3 Nächtlicher Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen.....	22
3.1.4 Unterdruck oder Überdruck durch Windverhältnisse an den jeweiligen Fassadenseiten	23
3.2 Steuerbare bautechnischer Elemente und Lüftereinheiten	23
3.2.1 Fenster und Oberlichtfenster	23
3.2.2 Lichtkuppeln	24
3.2.3 Türen.....	24
3.3 Lüftereinheiten	25
3.3.1 Abluftanlagen.....	25
3.3.2 Dezentrale Raumluftheizungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (RLT- Anlagen mit WRG)	26
3.4 Wind-/Sturmwächter und Niederschlagsüberwachung	27
3.5 Dynamik von Luftwegekombinationen.....	28
3.5.1 Lüftungskonzepte der freien Nachtluftkühlung.....	28
3.5.2 Lüftungskonzepte mit mechanischer Unterstützung (Lüfter).....	30
4 Meßkonzepte und Monitoring zur Betriebsüberwachung	33
4.1 Meßkonzepte zur Beurteilung des Raumklima	33
4.1.1 Überprüfung von Raumklimadaten.....	33
4.1.2 Eigenständiges Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem	33
4.1.3 Dezentrale Lüftungseinheiten mit eigener Regelung.....	33
4.2 Monitoring für einen nachhaltigen Gebäudebetrieb	34
4.3 Funktionen der Gebäudeautomation.....	35
4.3.1 Gebäudeautomation mit Raumklima und Energie.....	35

4.3.2	Archivierung von Messgrößen und Zustandsdaten	35
4.3.3	Anbindung der Gebäudeautomation an Kommunikationsnetze	35
4.3.4	Nachhaltiger Gebäudebetrieb und technisches Gebäudemanagement	37
5	Schulgebäude mit unterschiedlichen Lüftungskonzepten.....	38
5.1	Allgemeine Einstellungen und Funktionen der Gebäudeautomation	38
5.2	Lüftungskonzept ohne Lüfereinheiten	38
5.3	Zentrale Treppenhäuser mit Abluftventilatoren.....	40
5.4	Geschoßlösungen mit komplexen Luftwegen	40
5.5	Dezentrale Systeme für zonenweise Konditionierung.....	41
6	Brandschutzrelevanz und Sicherheit von Nachtlüftungen	43
6.1	Berücksichtigung von Sicherheits- und Brandschutztechnik	43
6.2	RWA-Anlagen (Anlagen zur Raum- und Wärmefreihaltung)	44
7	Einbindung von Nutzern ins Betriebskonzept	45
7.1	Einbindung der Nutzer.....	45
7.1.1	Schulleitung	45
7.1.2	Lehrer	45
7.1.3	Schüler	46
7.2	Nutzerrelevante Parameter für Klassenzimmer	46
7.3	Weitere Akteure zum Erreichen eines nachhaltigen Gebäudebetriebs.....	47
7.3.1	Funktion des kommunalen Schulmanagement	47
7.3.2	Information und Schulung der Hausmeister	47
8	Wirtschaftlichkeitsanalyse der untersuchten Systeme	49
8.1	Referenz: Lüftung mit konventioneller Klimaanlage.....	49
8.2	Investitionen und erwartete Betriebs- und Instandhaltungskosten	49
8.3	Vergleich und Bewertung	52
8.3.1	Übersicht der Maßnahmen in den untersuchten Schulgebäuden	53
8.3.2	Signifikante Auswertekurven	55
8.3.3	Nachtluftkühlung	55
8.3.4	Analyse zum CO ₂ -Gehalt in Klassenzimmern sanierter Schulgebäude	59
9	Technische Optimierungspotenziale	61
9.1	Erhöhung der Wärmekapazität	61
9.1.1	PCM-Materialien	61
9.1.2	Lehmwandelemente.....	62
9.2	Vermeidung von solaren und internen Gewinnen.....	62
9.2.1	Einsatz von Sonnenschutzverglasung	62
9.2.2	Verstellmöglichkeit des Lamellenwinkels bei Außenjalousien	62
9.2.3	Semiopake Gläser oder Beschichtung von Fenstern und Türen.....	63
9.2.4	Baumbewuchs vor südlichen Fassaden	64
9.2.5	Begrünung von Dachflächen	64
9.2.6	Einsatz einer zusätzlichen Kühlung	65

9.2.7	Adiabatische Kühlung	65
9.2.8	Kühlregister mit Rückkühlung über eine Erdwärmesonde	66
9.2.9	Weitere Verbesserung der Gebäudeautomationsfunktionen	66
9.2.10	Zugangssperre für Sondernutzungsbereiche	66
9.2.11	Automationsunterstützte Luftqualitätsverbesserung	67
9.2.12	Unterstützende Nutzung von Wetterinformationen.....	67
9.2.13	Vollautomatisierte Einstellung der Luftwege	68
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	69
	Referenzen	71
	Anlagen	71
	I Objektdokumentationen zu den Schulgebäuden im Projekt.....	71
	II Infolyer des Schülerprojekts an der Theodor-Heuss-Realschule	71

Einleitung

In den vergangenen Jahren häufen sich Klagen über eine stärkere Überhitzungsbelastung in Schulen der Region südlicher Oberrhein. Nach dem sehr heißen August im Sommer 2003 mit Hitzerekorden und dem heißen Juni im Sommer 2006 trat die Stadt Offenburg an die Hochschule Offenburg heran, um im Rahmen einer Kooperation Maßnahmen zur Minderung der Hitzebelastung in Klassenzimmern zu erarbeiten.

Als Basis wurde die Einschätzung eines Planungsbüros herangezogen, die beachtliche kommunale Investitionen im Bereich Lüftung und Klimaanlage vorsah. Die Höhe des angesetzten Investitionsvolumens wurde von den Fachabteilungen der Stadt Offenburg als untragbar eingestuft. Abhilfe war dennoch erforderlich und die Lösungen sollten im Rahmen einer Forschungs- und Entwicklungsinitiative ausgearbeitet und am besten gleich exemplarisch umgesetzt werden.

Der gewählte Ansatz der beauftragten Forschungsgruppe net (Nachhaltige Energietechnik) an der Hochschule Offenburg sollte dem Kostendruck durch hohe Investitionen und im Betrieb konventioneller Klimaanlage (insbesondere Kompressionskälte) entgegenwirken. Hierzu sollten energieeffiziente Verfahren zur Überhitzungsvermeidung zum Einsatz kommen, die über weite Strecken ohne aktive Kühlaggregate auskommen. Drei Aspekte prägen die hier zum Einsatz kommende natürliche Gebäudeklimatisierung, die auf der konsequenten Minderung der sommerlichen Wärmelast in den Gebäuden basiert. Laufende Sanierungsvorhaben und Baumaßnahmen zur Modernisierung werden durch den Einbau zusätzlicher Komponenten ergänzt und die Funktionen einer vorhandenen Gebäudeautomation (GA) erweitert bzw. verbessert. Hinzu kommt ein Betriebskonzept, das die moderate Einbindung der Nutzer, also Lehrer und Schüler, sowie des Personals wie Hausmeister und Raumpflegekräfte vorsieht. Ergänzend unterstützt der Förderansatz des Projekts Maßnahmen, die am Leitbild eines nachhaltigen Klima- und Wasserschutzes ausgerichtet sind.

Für die erfolgreiche Umsetzung in Klassenzimmern ist ein durch die Gebäudeautomation unterstützter Betrieb unverzichtbar. Der Nutzer fordert eine bestmögliche Konditionierung der Räume für den Unterrichtsbetrieb. Mittel- und langfristig ist sogar eine automatisierte Anpassung des Schulgebäudes an die jeweiligen Wetterlagen anzustreben. Hierzu können vorausschauende Verfahren unter Nutzung von Wetterprognosen hervorragend unterstützen. Von der Forschungsgruppe net an der Hochschule Offenburg wurden im Bereich der Wetterprognose geführten Nachtluftkühlung und beim Betrieb thermoaktiver Bauteilsysteme in Nichtwohngebäuden [1] bereits beachtliche Erfolge zur Energieeinsparung und zur Steigerung der Energieeffizienz erzielt. Während ein Gebäudemonitoring von Neubauvorhaben der Überprüfung und der Einhaltung vorgegebener Planungsdaten dient und für die anschließende Überführung in den nachhaltigen Gebäudebetrieb hilfreich ist, bietet eine Gebäudeautomation weitere Möglichkeiten zur kontinuierlichen Dokumentation und zur Betriebsoptimierung [2] durch die kontinuierliche Analyse des laufenden Gebäudebetriebs.

Schulgebäude haben im Gegensatz zu Verwaltungs- und Bürogebäuden einige Besonderheiten, die es zur Ausarbeitung einer nachhaltigen Lösung zu berücksichtigen gilt. Ein Beispiel sind die Nutzungszeiträume, die durch Stundenpläne und Ferienplan jedes Jahr anders festgelegt sind. Auch Sicherheitsaspekte und Brandschutzbestimmungen haben einen hohen Stellenwert für die in Frage kommenden Lösungen. Erfahrungswerte aus den Schulen sollten in der Ausarbeitung und später bei der Überführung der Maßnahmen in den schulischen Alltag berücksichtigt und ausgewertet werden.

Der vorliegende Leitfaden geht, basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, auf die unterschiedlichen Besonderheiten der Schulgebäude ein und belegt an mehreren Beispielen wie gut und unter welchen Randbedingungen die Umsetzung erfolgreich gelingen kann. Die Projektergebnisse sollen somit Schulleitern, Planern und Entscheidungsträgern einen Einblick darüber geben, welche Aspekte für die Ausarbeitung von Ausschreibungsunterlagen und die Begleitung von Bauvorhaben erforderlich sind und mit welchen Kosten bei Investition und Betrieb zu kalkulieren sind.

Es besteht dennoch kein Anspruch auf Vollständigkeit, da viele der Maßnahmen zu veränderten Belastungen der installierten technischen Anlagen wie Außenjalousien, Türen und Fensterelementen

führen und sich im Schulalltag, der sich durch den jüngst eingeführten Ganztagschulbetrieb ebenfalls geändert hat, erst bewähren müssen.

1 Wetter und Klima im südlichen Oberrheingraben

Eine Analyse der Sommer der vergangenen 12 Jahre zeigt am südlichen Oberrhein vereinzelte Jahre mit stärkeren Überhitzungspotenzialen, die wichtige Argumente für die Auslegung und Wahl technischer Lösungen liefern. Die zu Grunde gelegten Messdaten stammen aus der langjährigen Temperaturaufzeichnungen der Hochschule Offenburg von Messstationen in Offenburg und Freiburg. Sie bilden somit sehr gut das regionale Klima des südlichen Oberrheingrabens ab. Zur Einschätzung und zum Verständnis der sommerlichen Belastungssituation können in den folgenden Abschnitten des Leitfadens die nachstehenden Definitionen des Deutschen Wetterdienstes hilfreich sein.

Lufttemperaturabhängige Kenntage im Sommer

Heißer Tag :	maximale Tagestemperatur	T_{\max}	$\geq 30 \text{ °C}$
Sommertag :	maximale Tagestemperatur	T_{\max}	$\geq 25 \text{ °C}$
Tropische Nacht :	minimale Nachttemperatur	T_{\min}	$\geq 20 \text{ °C}$

(Quelle: Wetterlexikon des DWD)

1.1 Klimatisch bedingte Wärmebelastung in Schulgebäuden

Eine wichtige Erkenntnis kann mit der Analyse der tatsächlich in Frage kommenden Belastungszeiträume gewonnen werden. Hierbei kommt der Berücksichtigung der Unterrichtszeiten eine wichtige Rolle zu. Von insgesamt ca. 210 Unterrichtstagen im Jahr fallen durchschnittlich 81 Unterrichtstage in das Sommerhalbjahr.

Beispielsweise wurde das Jahr 2003 allgemein als ein sehr heißes Jahr angesehen. Hinsichtlich der Unterrichtszeiten handelt es sich jedoch um ein eher durchschnittlich belastetes Jahr, da die starken Hitzeperioden mit Rekordtemperaturen bis 42 °C am Oberrhein in den Sommerferien lagen. Das Jahr 2006 hingegen, das bei vielen als heißes Fußball-WM-Jahr in Deutschland in Erinnerung bleibt, kann als sehr stark ausgeprägtes Belastungsjahr eingestuft werden. In diesem Sommerhalbjahr wurden knapp über 300 Unterrichtsstunden mit Außentemperaturen über 26 °C gemessen.

Die Auswertung der Temperaturaufzeichnungen der Hochschule Offenburg für die vergangenen 12 Jahre ergab wie in *Abbildung 1.1-1* für den südlichen Oberrhein eine durchschnittliche Belastung von ca. 170 Stunden oberhalb von 26 °C . Beim typischen Schulbetrieb ist zu berücksichtigen, dass sich durch fehlende Nutzung von Abschattungseinrichtungen sehr hohe Temperaturen in den späten Nachmittags- und frühen Abendstunden bei den nach Süden und Westen ausgerichteten Klassenzimmern ergeben. Bei sanierten Gebäuden tritt dabei der Überhitzungseffekt stärker hervor. Dies war bei Unterricht bis zu den Mittagsstunden wenig bedeutend, muss aber beim neuerdings eingeführten Ganztagschulbetrieb deutlich stärker berücksichtigt werden.

Bei Einschränkung auf die jeweils typischen Unterrichtszeiten im Ganztagschulbetrieb, beschränkt sich der tägliche Zeitraum zur Analyse der Temperaturverläufe auf 7.00 Uhr bis 17.00 Uhr und führt zu einer weiteren Reduzierung der tatsächlichen von Überhitzung bedrohten Schulnutzungszeiten. Findet zu den Abend- und Nachtstunden kein Ausgleich mit der Umgebung statt, nehmen die Speichermassen der Gebäude die Wärmeeinträge mit in den neuen Schultag. Für das Jahr 2010 konnte in einem zu den drei Vorjahren vergleichsweise heißen Sommer eine Umgebungstemperaturüberschreitung größer 26 °C für ca. 120 Stunden gemessen werden. Die Auswertungen der Wetteraufzeichnungen untermauern die Notwendigkeit von flexiblen Automationslösungen, die der Unterstützung von Nutzern und des Hausmeisters bedürfen, um den Ausrüstungsaufwand in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen zu halten. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Belastungssituation von Jahr zu Jahr schwankt.

Diese Schwankungen wurden im Verlauf des Offenburger Projekts deutlich, da sich die Überhitzungstendenz der ersten Jahre bis 2006 in den folgenden Jahren bis 2012 mit Ausnahme des Sommers 2010 nicht belegen ließ. Die wirtschaftliche Einstufung der untersuchten technischen Varianten wird in *Abschnitt 8* näher erläutert.

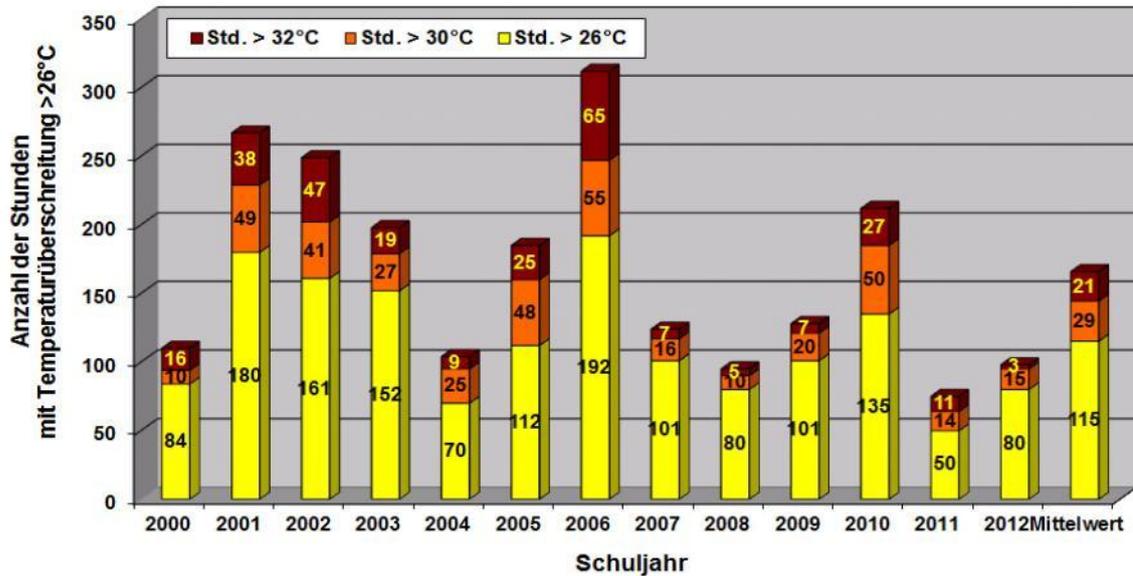


Abbildung 1.1-1: Extremtemperaturen über 26 °C an Unterrichtstagen

Bei der Untersuchung der mittleren Tagestemperaturen und der mittleren Nachttemperaturen zeigt sich über das gesamte Sommerhalbjahr eine Differenz zwischen Tag (7.00 – 17.00 Uhr) und Nacht (22.00 – 7.00 Uhr) von 5 Kelvin, die als mittleres Entwärmungspotenzial für den Tag-Nacht-Temperaturausgleich genutzt werden kann.

Die maximale Differenz von bis zu 14 Kelvin zeigt sich an heißen Tagen denen eine deutlich kühlere Nacht folgt. Die Minimalwerte bei denen die Tagtemperatur sogar geringer sein kann als die Nachttemperatur liegen in deutliche kühleren Phasen des Sommers, die mit Tagesmittelwerten um 20 °C für eine sommerliche Überhitzung ausgeschlossen werden können.

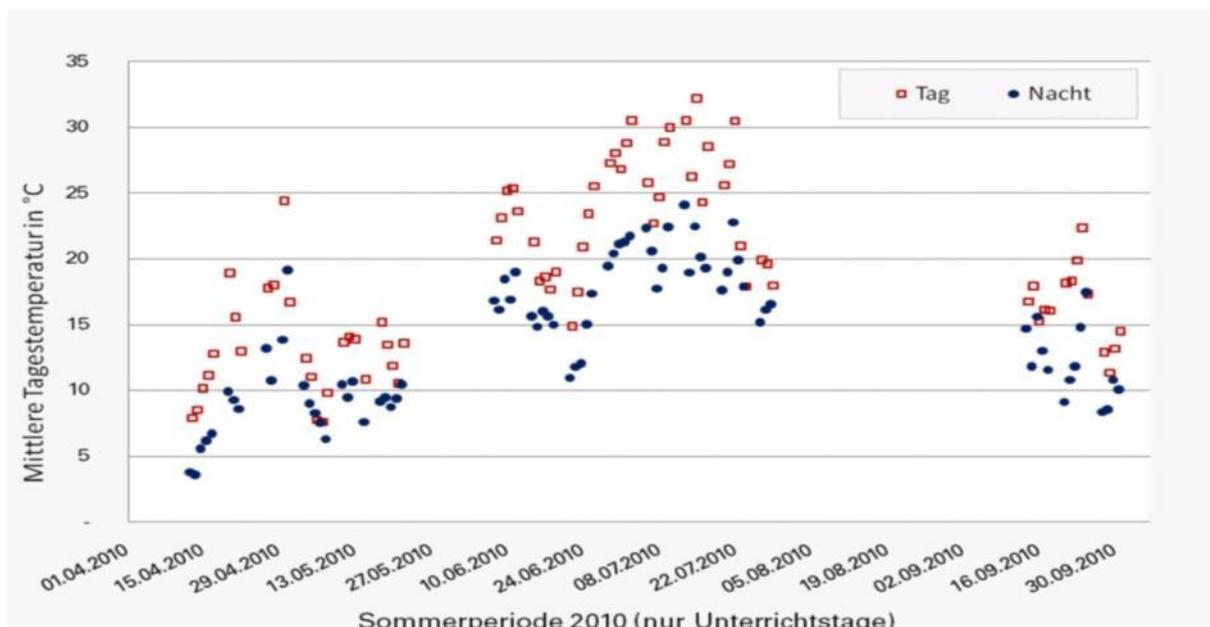


Abbildung 1.1-2: Mittlere Tagestemperatur (Nutzungszeit Schulbetrieb) und mittlere Nachttemperatur (Betriebsfenster Nachtlüftung) im Sommerhalbjahr 2010 (1.04.-30.09.)

1.2 Nutzungsbedingte Wärmeeinträge in das Schulgebäude

Gelingt es die Wärmeeinträge von außen in das Schulgebäude auf ein Minimum zu begrenzen, so bleiben noch interne Gewinne, die zur Erwärmung der Gebäudemassen beitragen. Hierzu gehören in Schulen die Personen also Lehrer, Schüler, Bedienstete im Schuldienst mit einem Hauptbeitrag und die für den Unterricht benötigten Geräte wie Projektoren, Rechner oder andere Multimediageräte.

Es kann wie in *Tabelle 1.2-1* dargestellt mit zusätzlichen internen Gewinnen zwischen 200 Wh/m² und 300 Wh/m² gerechnet werden.

Tabelle 1.2-1: Annahme für typische interne Gewinne

Klassenzimmer-Nutzfläche:	70 m ²
26 (25+1) Personen mit je	75 Wh/m ²
Nutzungszeit/Aufenthaltszeit im Klassenzimmer (ca.):	8 h
Nutzung eines Fernsehgeräts (100 W) für ca. 90 Minuten:	150 Wh
Projektor 50 W für 60 Minuten:	50 Wh

Für die Sommermonate kann nahezu über die gesamte Zeit auf künstliche Beleuchtung verzichtet werden. Für die sommerliche Belastung durch Nutzung ergibt sich typischerweise eine tägliche Summe von 15,8 kWh für die internen Wärmebeiträge durch Personen und Geräte. Bezogen auf die Nutzfläche des Klassenzimmers ergibt sich somit eine mittlere Wärmebelastung von 226 Wh/m², die täglich als Wärmeeintrag zu erwarten wäre. Weitere vergleichsweise geringfügige Reduzierungen bei der Wärmebelastung durch den Einsatz effizienterer technischer Geräte zu erwarten. Fernsehgeräte und Projektoren/Beamer neuester Technologie erreichen Leistungsaufnahmen, die 50 bis 70 % niedriger ausfallen.

2 Gebäudetechnik

Die stärkere Wärmeentwicklung in modernisierten Schulgebäuden rührt u.a. aus der Orientierung der Gebäudeplaner am Wärmeschutz für den Winter. Viele Schulen in Offenburg wurden bereits energetisch auf einen modernen Stand gebracht und benötigen häufig weniger als die Hälfte des ursprünglichen Heizwärmebedarfs. Ausschlaggebend für die erfolgreiche Reduzierung der Kosten für Heizzwecke ist eine deutliche bessere Dichtheit der Gebäudehüllen in Verbindung mit dem Auftragen einer Wärmedämmung und dem Einsatz von Fenstern mit Wärmeschutzverglasung. Während sich die Wärmedämmung mit einem gut reflektierenden Außenputz auch auf das sommerliche thermische Verhalten positiv auswirkt, gilt dies nicht für die verbesserte Luftdichtheit der Gebäude und die Wärmeschutzverglasung. In der Summe profitiert das Gebäude von der Wärmedämmung sowohl im Winter als auch im Sommer. Sommerliche Solargewinne sind jedoch unerwünscht und zu vermeiden. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle sorgt dafür, dass die in das Gebäudeinnere gelangte Wärme von den Gebäudemassen absorbiert wird. Ein natürlicher Ausgleich mit der kühleren Nachtluft kann nur sehr eingeschränkt erfolgen.

2.1 Konsequenter Wärmeaustrag zur Überhitzungsvermeidung

Die nutzungsbedingten Wärmeeinträge aus *Abschnitt 1.2* und die Teile der solaren Gewinne, die nicht über den geschickten Einsatz von Abschattungseinrichtungen vermeidbar sind, lassen die Annahme von täglichen Wärmeeinträgen in der Größenordnung von 260 Wh/m² bis 300 Wh/m² zu. Diese Wärme muss aus dem Gebäude wieder konsequent hinausbefördert werden, um die Gebäudemassen

nicht über dem Maß aufzuheizen. Die thermische Masse beeinflusst über zwei wichtigen Eigenschaften das Raumklima:

Wärmedurchlasswiderstand - Er bestimmt die Größe des Wärmestromes durch das Bauteil. Je höher der Wärmedurchlasswiderstand ist, umso besser ist die Eigenschaft, Wärme zu dämmen.

Wärmespeicherung (spezifische Wärmekapazität) - Je fähiger Bauteile sind, Wärme zu absorbieren, desto kleiner sind die Schwankungen der Raumtemperatur und es erhöht sich der Raumkomfort. Durch die Speicherung werden außerdem Temperaturspitzen abgebaut. Generell kann festgehalten werden, dass je schwerer ein Bauteil ist, umso besser kann darin die Wärme gespeichert werden kann. Unterschieden wird dann zwischen einer schweren, mittelschweren und leichten Bauweise. Bei einer leichten Bauweise sind die Temperaturhübe größer, da die Raumtemperatur tagsüber stärker steigt und über die kühlere Nacht auch stärker absinkt. Außenwände sollten also möglichst schwer sein und einen hohen Wärmedurchlasswiderstand aufweisen.

Das Gebäude der *Abbildung 2.1-1* ist in massiver Bauweise ausgeführt und wärmt sich mit jedem Tag stetig auf. An den kühleren Morgentemperaturen in den Klassenräumen ist ein Anstieg von 4 K in zehn Tagen feststellbar, während die mittlere Außentemperatur im gleichen Zeitraum um 10 K ansteigt. Um angemessene Lern- und Arbeitsbedingungen zu gewährleisten, sind Maßnahmen zur Reduktion des Temperaturanstiegs in den Räumen während der Sommerperioden zwingend empfohlen.

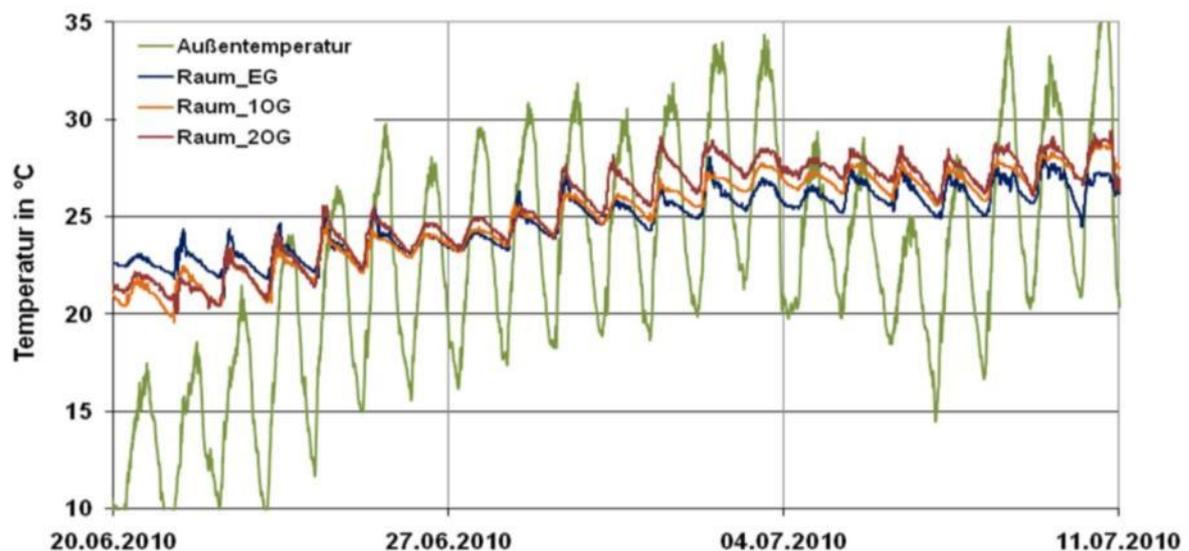


Abbildung 2.1-1: Temperaturanstieg von sanierten Schulgebäuden massiver Bauweise zu Beginn des Sommer 2010 ohne Maßnahmen zum nächtlichen Temperaturengleich

2.2 Rolle weiterer bautechnischer Elemente

Das dynamische Wärmeverhalten eines Raumes wird zusätzlich zu den thermischen Massen, stark durch die verwendeten bautechnischen Komponenten beeinflusst. Hierzu gehören Fenster, Außendämmung und Jalousien/Abschattungselemente. Nachfolgend werden die Einflüsse der unterschiedlichen Komponenten auf das Raumklima beschrieben.

2.2.1 Fenster

Fenster sind verantwortlich für die solaren Gewinne eines Gebäudes. Durch sie dringt die Sonnenstrahlung ins Innere eines Raumes und heizt durch Absorption an der Gebäudeeinrichtung und den inneren Wandflächen den Raum auf. Dabei sind die solaren Gewinne direkt proportional zu dem Standort des Gebäudes befindlichen Strahlungsangebot, der Fensterfläche und dem g-Wert (Gesamtergiedurchlassgrad) des Fensters. Ein g-Wert von 0,3 sagt aus, dass 30 % der eingestrahelten

Energie den Raum hinter der Scheibe erreichen. Ein hoher g-Wert unterstützt die Heizung in den Wintermonaten aber ebenso die Überhitzung in der Sommerzeit. Abhilfe schafft hierbei die Abschattung der Fensterfläche durch Jalousien, Bäume oder ähnliches. Außenliegende Jalousien können nach der DIN 18599-2 die Wärmeeinträge durch Solarstrahlung bis zu 90 %, innen montierte Jalousien um bis zu 30 % senken. Wärmedämmung

Um die Speicherfähigkeit bzw. die Aufnahme von Wärme aus dem Innenraum nicht negativ zu beeinflussen, sollte auf eine innenliegende Wärmedämmung verzichtet werden. Auch abgehängte Decken verringern dabei die Wärmespeicherung. Für einen sommerlichen Wärmeschutz sollten für Innenwände Materialien (Putze, Farben, Beläge) zum Einsatz kommen, die die Wärmespeicherfähigkeit begünstigen. Durch manche Baustoffe können so Phasenverschiebungen von bis zu 14 Stunden (Zeitverschiebung zwischen der maximalen Außentemperatur und der maximalen Raumtemperatur) erreicht werden. Die Mittagshitze wirkt sich auf diese Weise erst dann auf den Raum aus, wenn durch eine Nachtlüftung ohnehin die Wärme nach außen transportiert werden soll. Der äußere, winterliche Dämmschutz wirkt sich eher günstig auf das thermische Verhalten im Sommer aus, da die außen aufgebrachte Dämmung eine Aufheizung der massiven Außenwände reduziert und die aufgetragenen Außenputze in der Regel ein gutes Reflexionsverhalten zeigen.

2.2.2 Einfluss der Bautechnik auf die Raumtemperatur

Um den Einfluss der Bautechnik auf die Raumtemperatur zu verdeutlichen, werden die Kennlinien von drei Räumen mit unterschiedlicher Bauweise und der Außentemperatur in einem nutzungsfreien Zeitraum in *Abbildung 2.2-1* verdeutlicht. Alle Fenster werden durch eine automatisierte Jalousie verschattet.

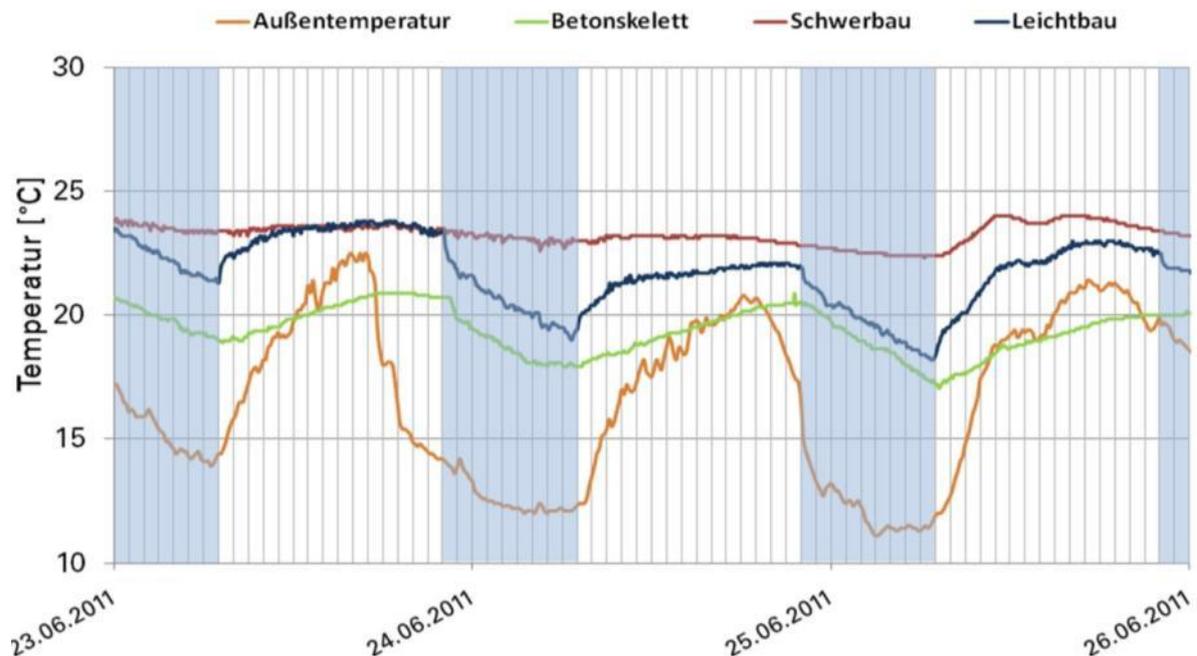


Abbildung 2.2-1: Auswirkung unterschiedlich schwerer Bauweisen auf den Verlauf der Raumtemperaturen in Klassenzimmern im Vergleich zur Außentemperatur. Die hellblauen Markierungen zeigen eine Nachtlüftungsaktivität im Leichtbau und im Skelettbau an.

Für den Schwerbau mit massiven Außenwänden wurde für den hier dargestellten Messzeitraum kein Nachtlüftungskonzept umgesetzt. Das Zeitfenster wurde über einen nutzungsfreien Zeitraum ausgewählt, um den Einfluss interner Gewinne ausschließen zu können.

In der Oststadtschule der Stadt Offenburg wurde auf das alte Kasernengebäude im Schwerbau ein Dach in Leichtbauweise aufgesetzt. Die verglichenen Räume zeigen dieselbe Ausrichtung, jedoch wurde die rote Kennlinie ein Stockwerk tiefer aufgezeichnet als die blaue. Außerdem ist im 2.OG keine Nachtlüftung verwirklicht. Dennoch ist deutlich zu sehen, dass die Raumtemperatur im 2. OG nahezu konstant bleibt (schwere Bauweise), während im Dachgeschoss mit Beginn des Tages die Raumtemperatur steigt (leichte Bauweise). Durch die Nachtlüftung und die geringe Speicherkapazität im Dachgeschoss kühlt der Raum schnell auf eine Temperatur ab, die unterhalb der des 2.OG liegt. Bei der grünen Kennlinie handelt es sich um einen Raum in Betonskelettbauweise mit südlicher Ausrichtung in der Theodor-Heuss-Realschule. Durch die Bauweise verschiebt sich der Höhepunkt der Raumtemperatur (Phasenverschiebung) um mehrere Stunden in die Nacht. Durch die Nachtlüftung wird die warme Raumluft abtransportiert und die Wände abgekühlt. So können sie sich am nächsten Tag erneut mit Wärme aufladen.

2.2.3 Nachtlüftkühlung als natürlicher Temperatenausgleich

Für die Nachtlüftkühlung kommen je nach Bauobjekt verschiedene Varianten bei Luftwegen und Anlagentechnik in Frage. Hierbei kommen neben der freien, natürlichen Lüftung vorwiegend zentrale und dezentrale Lösungen zum Einsatz, die nahezu alle auf die Hybridventilation [5] zurückgreifen. Wichtig für den Auskühleffekt ist, dass die Nachtlüftkühlung rechtzeitig und vorausschauend betrieben wird, damit Gebäudemassen sich nicht unzulässig aufheizen. Die „aktive“ Kühlleistung, die je Nacht erreicht

werden kann, ist eher gering, da sie ist stark vom Innen-zu-Außentemperaturverhältnis der Nacht abhängt. Sie schwächt sich ab je stärker die nächtlichen Außentemperaturen ansteigen.

Als maximales Potenzial zur Auskühlung wird die Energiedifferenz zwischen der mittleren Tagestemperatur und der mittleren Nachttemperatur betrachtet. Für Deutschland sind über die freie Nachtlüftkühlung Entwärmungsenergien von 150 Wh/(m²d) bis 250 Wh/(m²d) möglich. Hierbei sollte der Temperaturunterschied zwischen Raum- und Außentemperatur über 5 bis 6 Stunden mindestens 5 Kelvin betragen. Kann mit Lüftereinheiten unterstützt gearbeitet und die Betriebszeit verlängert werden, sind auch höhere Entwärmungsleistungen möglich.

Ausgehend von einem täglichen spezifischen Wärmeeintrag von 226 Wh/(m²d) Nutzfläche (Berechnungsbeispiel aus *Abschnitt 1.2*) ist in einem Klassenraum mit einer Grundfläche von 70 m² (typischer Wert für Klassenräume in Offenburger Schulen mit einer Nutzerbelastung von 26 Personen) ein Entwärmungsenergiebedarf von 21 kWh je Raum und Tag erforderlich. Soll diese Energiemenge über einen ausreichend erhöhten Luftwechsel und die Betriebszeit der Lüftung abgeführt werden, ergibt sich daraus der dafür notwendige mittlere Temperaturunterschied zwischen der Umgebungs- oder Außentemperatur und der Raumtemperatur.

Für ein typisches Obergeschoß mit 10 Klassenräumen à 70 m² mit Flurbereichen und Nebenflächen ergibt sich eine für die Lüftung relevante Grundfläche von ca. 1.200 m². Bei einer Geschosshöhe von 3 m ergibt sich ein Luftvolumen von 3.600 m³, das stündlich mindestens zweimal gewechselt werden muss, um einen geeigneten Kühleffekt zu erzielen. Mit dem Sachverhalt für die Wärmemenge, die aus dem Gebäude transportiert werden soll, ergibt sich für das in *Tabelle 2.2-1* dargestellte Berechnungsbeispiel ein Luftvolumenstrom von 7.200 m³/h.

Für die erforderliche Temperaturdifferenz dT ergibt sich ein Wert von 12,4 Kelvin.

Dieser Wert kann jedoch gemäß den Auswertungen zu den Bedingungen am südlichen Oberrhein nur in Ausnahmefällen erreicht werden. Typisch für die Auslegung wäre jedoch eine Differenz von 5 bis 6 Kelvin, wenn von dem Temperaturunterschied zwischen der mittleren Tagestemperatur und der folgenden mittleren Nachttemperatur ausgegangen wird. Diese Annahme führt zu einem deutlich höheren Luftwechsel (ca. 5-fach) oder es ist ein selektiver Betrieb zu realisieren, der nicht von einer gleichverteilten Wärmebelastung auf die 10 Klassenzimmer ausgeht.

Tabelle 2.2-1: Annahmen zur Entwärmung eines typischen Obergeschoßes

Erforderlicher Wärmemengenaustrag	Q	271,2 kWh = 976,32 MJ
Spezifische Wärmekapazität der Luft	$c_{p, \text{Luft}}$	1,005 kJ/(kg·K)
Dichte der Luft (bei 20 °C)	ρ_{Luft}	1,2041 kg/m³
Erreichbarer Volumenstrom (über 9h)	dV	7.200 m³/h

Unterstützt wird ein raumselektiver Spülbetrieb mit kühler Nachtluft durch die nächtliche Temperaturdifferenz zwischen der Raumtemperatur und der Außentemperatur, die bei einzelnen Klassenzimmern deutlich größer als 5 Kelvin sein kann. Näher beschrieben ist dieser Sachverhalt in *Abschnitt 3.1.3*. Die Grenzen der Nachtlüftkühlung zeigen sich bei Temperaturunterschieden unter 3 Kelvin (vorwiegend in warmen Sommernächten) oder bei einer Luftwechselrate größer 4. Die Nachtlüftung wird in diesem Fall als unwirtschaftlich angesehen, da einerseits der Temperaturhub zu gering ausfällt und andererseits der Energieeinsatz für die Lüfterleistung unverhältnismäßig stark ansteigt.

Als technische Lüftungsvarianten, die in den Schulobjekten vorwiegend zum Einsatz kommen, sind zwei Konzepte zu nennen:

In Verbindung mit einem zentralen über alle Stockwerke durchgängigen Treppenhaus wird der Einsatz zentraler Dachventilatoren begünstigt. Der Einsatz von Lüftern wird erforderlich, da durch eine fehlen-

de Gebäudehöhe der Kamineffekt nur schwach ausgeprägt ist. Die Ventilatoren erhöhen die Luftwechselrate für das gesamte Gebäude und erlauben so einen kontrollierten Luftaustausch.

Alternativ kommen dezentrale Lösungen mit raumluftechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz. Für die Nachtlüftung ist der Wärmetauscher zu umgehen. Dies geschieht häufig mit Kaltluftklappen oder Bypässen.

2.2.4 Effizienter Betrieb von Abschattungseinrichtungen

Im Auftrag der Stadt Frankfurt hat das Passivhaus Institut einen Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude [3] veröffentlicht, der auf umfangreiche Kriterien im Bau- und Sanierungsumfeld von Schulen eingeht. Bezieht man sich auf diesen Leitfaden, kann der effiziente Betrieb von außen liegenden Abschattungseinrichtungen bis zu 90 % der möglichen Solargewinne eines Gebäudes verringern. Dieses Ziel kann jedoch nur erreicht werden, wenn der Status der Verschattungseinrichtungen über einen Automationsprozess überwacht wird. D.h. Herunterfahren und Hochfahren von Außenjalousien in Abhängigkeit der Lichtintensität und idealerweise auch die Verstellung des Lamellenwinkels erfolgt über eine zentrale oder dezentrale Steuerung.

Typischer Ist-Zustand in Schulgebäuden

Häufig liegen Verschattungseinrichtungen in unterschiedlichen Ausstattungsvarianten vor. In der Regel können zum Beispiel Außenjalousien elektrisch unterstützt oder per Handkurbel nur manuell bedient werden. Eine Integration in einen durch die Gebäudeautomation überwachten Betrieb ist nicht vorgesehen. Dies begründet sich aus der vorgegebenen Funktion, während des Unterrichts eine ausreichende Verschattung bzw. Verdunklung des Raums (bei Projektion oder Vorführungen) zu erreichen. Deshalb sind Verschattungseinrichtungen in Schulen vielfach innenliegend verbaut.

Ist der Unterricht beendet werden nach Aussagen der Lehrkräfte die Verschattungseinrichtungen hochgefahren und die Fenster geschlossen. Damit wird verhindert, dass z.B. außen montierte Jalousien durch Sturm, Wind oder Hagel beschädigt werden oder offen stehende Fenster zu internen Schäden führen.

Gewünschter Soll-Zustand

Verschattungseinrichtungen werden sowohl vom Nutzer als auch, sofern vorhanden, von der Gebäudeautomation aktiv zur Vermeidung von Überhitzungen im Sommerhalbjahr genutzt. Im Winterhalbjahr ist eine Funktion als Auskühlungsschutz denkbar und häufig auch umgesetzt. In Bezug auf schnelle, mit Sturmböen und Niederschlag verbundene Witterungswechsel ist diese Funktion individuell zu erwägen. Zur Vermeidung von Schäden an den Verschattungseinrichtungen werden Wettersensoren zwingend erforderlich. Eine Auswertung über Grenzwerte hilft bei Gefährdung, zügig den betriebssicheren Zustand herbeizuführen, d.h. das Hochfahren der Jalousien aktivieren. Während einer automatisiert oder manuell ausgelösten Lüftungsaktivität hat ein Befehl zum Hochfahren der Jalousien vorzugehen.

Vorteile des automatisierten Betriebs von Abschattungseinrichtungen

Durch den Einsatz von Sturm- bzw. Windwächtern in Verbindung mit einem Niederschlagsmesser können außen montierte Abschattungseinrichtungen sinnvoll in einen thermisch effizienten Betrieb des Schulgebäudes integriert werden. Optimal ist dabei der Einbau je eines Windwächters und eines Einstrahlungssensors auf die Ost-, Süd- und Westfassaden. Ein zentraler Windwächter auf dem Dach mit Windrichtungsgeber kann in Verbindung mit einem Mehr-Sektoren-Intensitätsmesser, wie in *Abbildung 2.2-2* an einer Tagesmessung veranschaulicht die Anzahl der Montagestandorte auf lediglich einen reduzieren. Die Messungen sollten ungestört von Sonnen- oder Windschatten die Betriebsbedingungen um das Gebäude wiedergeben können.

Fehlerhafte Betriebszustände werden von der Einzelraumregelung bzw. Gebäudeautomation abgefangen und in einen betriebssicheren Zustand überführt. Bei Nichtnutzung des Schulgebäudes übernimmt die Gebäudeautomation den Betrieb der Abschattungseinrichtungen mit Eingriffen, die Schäden durch Witterungswechsel oder Anlagenausfall auf ein Minimum reduzieren helfen. Voreinstellungen der Gebäudeautomation können zu einer hohen Akzeptanz der Außenjalousien beitragen. Die entsprechenden Lamellenwinkel sind durch den Nutzer jederzeit veränderbar.

In vielen von außen einsehbaren Sondernutzungsbereichen mit hochwertiger, technischer Ausstattung und Geräten wird ein Sichtschutz durch die Abschattungseinrichtungen gewünscht. Hier ergeben sich beim Gebäudebetrieb Verknüpfungen zu Zutrittsschutz- und Sicherheitsaspekten, die neuerdings durch die AMOK-Verordnung und zur Verringerung von Vandalismus Beachtung finden.

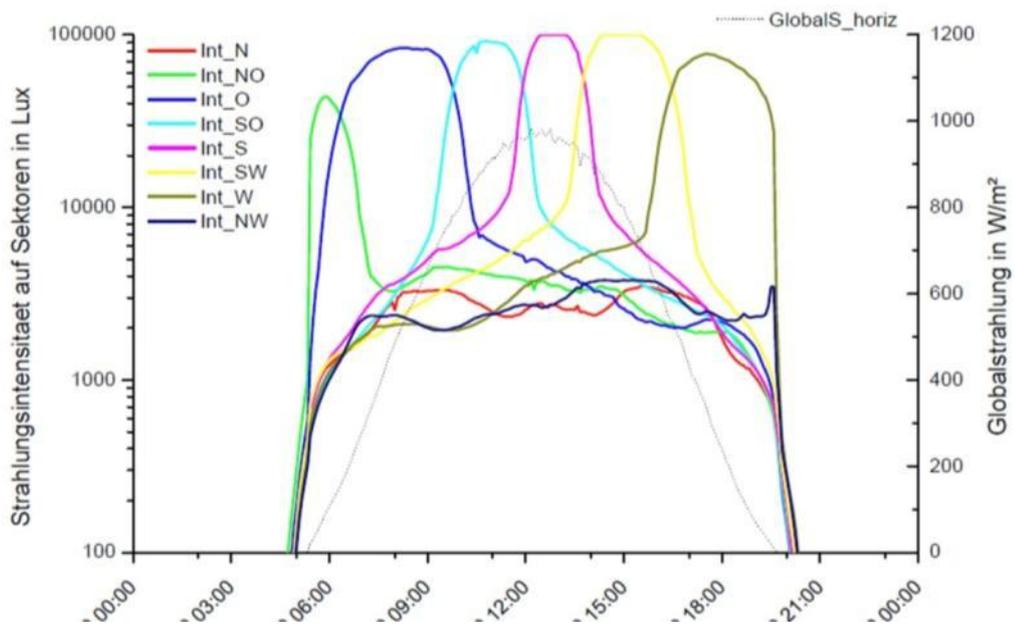


Abbildung 2.2-2: Intensitätsmessung mit einem Mehr-Sektoren-Lichtintensitätssensor und einem Globalstrahlungsmesser an der Oststadtschule, die einen fassadenselektiven Betrieb von Abschattungseinrichtungen ermöglicht.

3 Lüftungskonzepte zur natürlichen Gebäudeklimatisierung

3.1 Lüftungskonzepte ohne mechanische Unterstützung/Lüftereinheiten

Mit dem Ziel während Nichtnutzungszeiten eine deutlich höhere Luftwechselrate zu erreichen, können im Sinne einer natürlichen Gebäudeklimatisierung auch Konzepte umgesetzt werden, die auf den Einsatz von Lüftereinheiten verzichten. Hierzu ist der Automationsgrad der erforderlichen Stellelemente wie Türen, Klappen und Fensterelemente ein wesentlicher Faktor für die erfolgreiche Umsetzung. Hierbei werden vier physikalische Phänomene berücksichtigt:

3.1.1 Temperaturunterschied zwischen Tag- und Nacht

Aus den Temperaturmessungen konnte am südlichen Oberrhein (Auswertung mit Daten aus Freiburg und Offenburg) für die Sommerhalbjahre 2008 bis 2011 bestätigt werden, dass eine mittlere Temperaturdifferenz von 5 Kelvin zwischen der mittleren Tagestemperatur (7.00 bis 17.00 Uhr, Zeitraum typ. Schulbetrieb) und der mittleren Nachttemperatur (22.00 bis 7.00 Uhr, Nachtlüftungsfreigabe) vorliegt. Die Maximalwerte für diese Differenz fallen an warmen Sommertagen gefolgt von kühlen Nächten mit bis zu 14 Kelvin deutlich höher aus. Eine eher geringe Häufigkeit hat hingegen der Fall, dass einem kühlen Sommertag eine warme Nacht folgt. In diesem Fall kann die Bilanz mit bis zu -2 Kelvin auch negativ ausfallen.

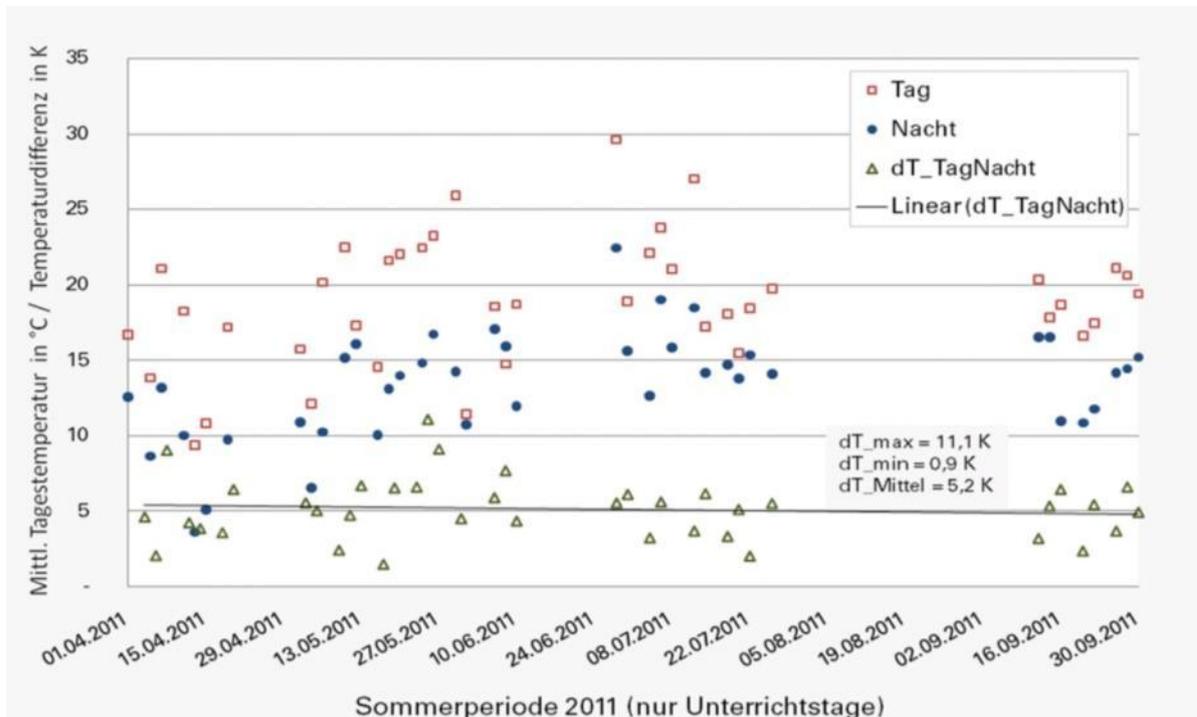


Abbildung 3.1-1: Temperaturdifferenzen zwischen der mittleren Tagestemperatur und der mittlere Nachttemperatur

3.1.2 Temperaturunterschied zwischen Gebäudeseiten

Aufgrund unterschiedlicher Solargewinne auf die opaken und transparenten Fassadenflächen des Schulgebäudes entstehen nächtliche Temperaturunterschiede zwischen den der Sonne zugewandten und den der Sonne abgewandten Gebäudeseiten. Lässt sich bei geschlossenen Fensterflächen im Gebäude ein Luftweg für freie Luftzirkulation von einer wärmeren Gebäudeseite zu einer kühleren Gebäudeseite einrichten, sorgt der Temperaturengleich für gleichmäßige Erwärmung auch der kühleren Gebäudeteile. An stark durch die Sonne geprägten Tagen wurde an der Theodor-Heuss-Realschule eine Raumtemperaturdifferenz zwischen Nord- und Südseite von 3 Kelvin gemessen. An

heißen Sommertagen kann diese Temperaturdifferenz hilfreich sein um, um ohne Hilfsenergien die Wärmegewinne über die gesamte Gebäudemasse zu verteilen.

3.1.3 Nächtlicher Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen

Der Haupteffekt, der bei der Nachtlüftkühlung im Rahmen einer natürlichen Gebäudeklimatisierung ausgenutzt wird, ist der Temperaturunterschied, der sich zwischen dem Gebäudeinnern und der Gebäudeumgebung einstellt. Dieser Effekt ist aufgrund der Wärmegewinne während der Tagstunden durch Sonneneinstrahlung, Anwesenheit von Personen und der Nutzung wärmentwickelnder Geräte eher gering. An heißen Tagen kann der Effekt sogar kontraproduktiv sein, d.h. der Temperaturunterschied sorgt für ein zusätzliches Aufheizen der Klassenzimmer. Verstärkt wird Aufwärmung auch durch die am winterlichen Wärmeschutz orientierte und bei sanierten Gebäuden relativ dichte Gebäudehülle. Abhilfe schaffen Maßnahmen zur Verstärkung des Luft- und Wärmeaustausches mit der Gebäudeumgebung. Hierzu können das betriebsrelevante Personal (Hausmeister, Raumpflegerkräfte) und die Nutzer von einer gut eingerichteten Gebäudeautomation unterstützt werden. Allein schon die Messung und Aufzeichnung der Raumtemperaturen und der Umgebungstemperatur können wie bei der Heizungsregelung allseits bekannt, wichtige regelungsrelevante Führungsgrößen der Gebäudeautomation sein.

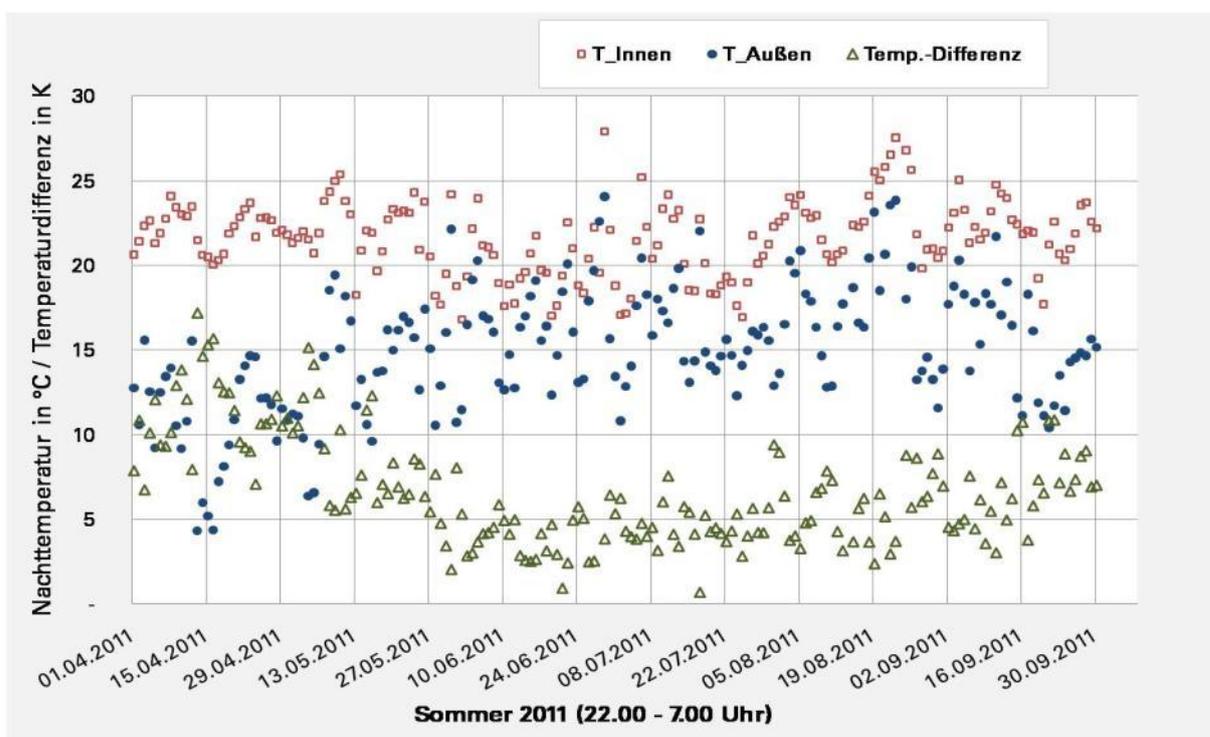


Abbildung 3.1-2: Temperaturunterschied zwischen der mittleren Raumtemperatur im DG der Oststadtschule und der auf dem Dach gemessenen Außentemperatur

Aus *Abbildung 3.1-2* geht im ersten Viertel des Zeitraums (bis ca. Mitte Mai 2011) hervor, wie sich noch kühle Gebäudemassen auf die Raumtemperatur auswirken. Während sich im Leichtbau-Dachgeschoß bereits recht hohe Temperaturen entwickeln, bleiben die Nächte vergleichsweise kühl. Die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außentemperatur ist mit bis zu 17,2 Kelvin sehr hoch und ein Betrieb der Nachtlüftung nicht erforderlich.

Dies ändert sich ab Mitte Mai, da die Außentemperaturen ansteigen. Die Nachtlüftkühlung lässt den Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen sinken. Eine Aufheizung des Dachgeschoßes wird durch den nächtlichen Ausgleich weitgehend vermieden. Bei starkem Temperaturanstieg ist beim Beispiel Dachgeschoß der Oststadtschule zu sehen, dass die fehlenden Gebäudemassen deutlich mit der Außentemperatur mitgehen. Eine deutliche Änderung im Verhalten ist nach einem ausgeglichenen

Juli mit Nachtlüftung erst wieder in der heißen Phase der Sommerferien 2011 zu sehen. In dieser Zeit war die Nachtlüftung wegen Umbauarbeiten im 2.OG nicht im Betrieb.

3.1.4 Unterdruck oder Überdruck durch Windverhältnisse an den jeweiligen Fassadenseiten

Ein erhöhter Luftwechsel kann an windigen Tagen erreicht werden, wenn dabei ein signifikanter Temperaturunterschied zwischen der Raum- und der Außentemperatur messbar ist und durch Unterdruckausbildung an Fassaden eine verstärkte Luftzirkulation durch Sogwirkung an offenen Fenstern ausgelöst wird.

Mit einer entsprechend programmierten Witterungsüberwachung können zu Erhöhung der Gesamteffizienz des gewählten Ansatzes auch an Wochenenden oder Phasen nach starken Gewittern, die i.d.R. zu einem Abfall der Umgebungstemperatur führen, ausgeschöpft werden.

3.2 Steuerbare bautechnische Elemente und Lüfereinheiten

Zur Realisierung einer nutzerfreundlichen Betriebsstrategie zur Minderung von Überhitzungen ohne den Einsatz aktiver Kühlsysteme bedarf es steuerbarer bautechnischer Elemente zur Schaffung definierter Luftwege. So können natürliche Potenziale ausgeschöpft und Störeffekte, die zur Schwächung des Effekts der Überhitzungsmaßnahme führen, vermieden werden.

Aus Kostengründen können diese Elemente häufig nicht alle automatisiert betrieben werden. Zur Einschätzung des zusätzlichen Aufwands durch Nutzer oder Personal ist nachstehende *Abbildung 3.2-1* hilfreich.



Abbildung 3.2-1: Empfohlener Automationsgrad zur Schaffung definierter Luftwege mit Hilfe bautechnischer Elemente

3.2.1 Fenster und Oberlichtfenster

Hauptfenster dienen der Stoßlüftung und je nach Geschos als Notausstieg im Rahmen des Brandschutzes. Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass ca. 50 % der Fensterfläche zur Stoßlüftung geöffnet werden kann.

Als Oberlichtfenster werden Kippfenster bezeichnet, die im oberen Fünftel einer Fensterfront untergebracht sind und als Nachströmöffnungen genutzt werden können. Wird die Bedienung von Fenstern elektromotorisch ausgeführt, können diese Fenster ideal zur Einzelraumregelung eines Raums herangezogen werden. Dabei wird überwacht ob eine untere Grenztemperatur durch die Nachtlüftkühlung unterschritten wird. Ist dem so, kann für den Klassenraum die Nachströmung von kühler Außenluft eingeschränkt bzw. gestoppt werden. Die Lüftung kann dann in stärker wärmebelasteten Räumen intensiver erfolgen.



Abbildung 3.2-2: Einheitliche Gestaltung der Fensterfront der Schule Weier (links) mit Festverglasung, Hauptfenster zur Stoßlüftung und elektromotorisch steuerbaren Oberlichtfenstern als Doppelsegment

Abbildung 3.2-3: Fensterfront im Oken-Gymnasium (rechts) als Einfachsegment.

3.2.2 Lichtkuppeln

Über Lichtkuppeln kann im Rahmen eines Entwärmungskonzepts für ein Gebäude kühlere Luft in Klassenräume nachströmen. Während die warme Luft nach oben entweicht, kann kühlere Umgebungsluft nachströmen. Die nachströmende, kühlere Luft kann dabei entweder über geöffnete Fenster, Türen oder auch über die Lichtkuppeln selbst in den Raum eindringen.

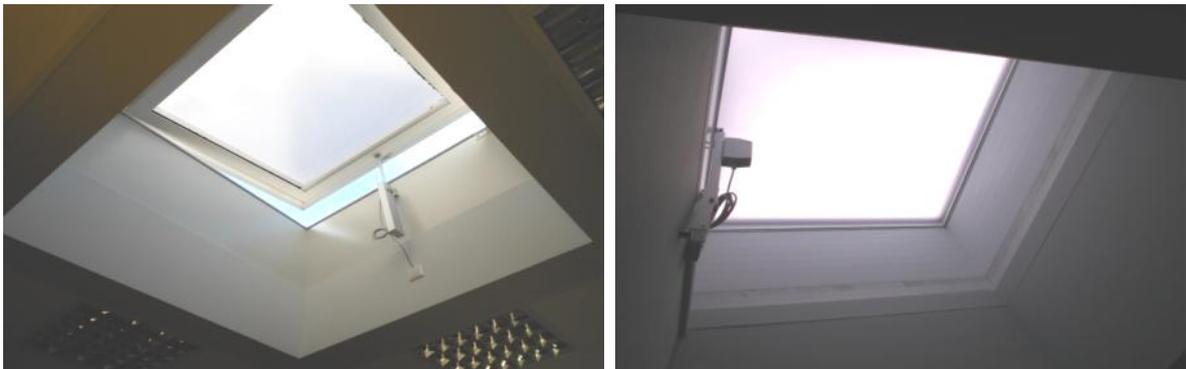


Abbildung 3.2-4: Lichtkuppeln in der Grund- und Werkrealschule Weier (Links: Anbau, Rechts: Bestand)

3.2.3 Türen

Türen gelten als wichtigste bautechnische Schaltelemente für Luftwege, wenn es um die Realisierung eines Temperatenausgleiches über die Klassenzimmergrenzen hinaus geht. Die Ausrüstung mit elektrischen Antrieben und Sensoren zur Statusmeldung erwiesen sich nach Erfahrungen der Stadt Offenburg und vieler anderer kommunaler Betreiber als sehr kostenintensiv, nahezu nicht praktikabel und sehr störanfällig im Schulalltag. Eine einfache und robuste Ausführung der Türen ist bei der starken täglichen Inanspruchnahme erforderlich.

Klassenzimmertüren

Die Nachrüstung von Klassenzimmertüren mit Überströmöffnungen konform den Brandschutzbestimmungen ist sehr kostenintensiv und wird mit ca. 3.000 Euro je Raum als sehr hoch eingestuft. Weniger kostenintensiv wird dabei das manuelle Öffnen der Türen durch den Schließdienst zu Beginn der Nachtlüftung bei leerem Schulgebäude eingeschätzt. Zum Schutz des Inventars können bei Bedarf die

Türen vor Öffnen des Schulgebäudes am folgenden Morgen wieder verschlossen werden. Dies ist jedoch nur bei hochwertigem Inventar und technischer Ausstattung des Raums von Belang.

Flur- und Treppenhaustüren

Häufig sind Flur und Treppenhaustüren gleichzeitig durch Brandmelder überwachte Türen und dienen der Trennung von Brandschutzbereichen und zur Sicherung von Fluchtwegen. In manchen Fällen werden sie auch zur Trennung von unterschiedlich temperierten Zonen als Schleusen eingesetzt.

Im Rahmen der Einbindung in einen Luftweg für die Nachtauskühlung ist abzuwägen unter welchen Bedingungen diese sich über die Gebäudeautomation ansteuern lassen.



Abbildung 3.2-5: Flurtür zum Zwischengang in der Konrad-Adenauer-Schule (links), Treppenhaustür in der Oststadtschule (Mitte u. rechts)

Sonderfall: Brandschutztüren

Viele der Türen in Schulgebäuden wurden als Brandschutztüren nachgerüstet. Sie sind ausdrücklich von einer manuellen Sperrfunktion (Arretierung jeglicher Art) auszuschließen, da ein durch Brandmelder ausgelöstes Schließen gefährdete Brandschutzbereiche jederzeit trennen muss. Fluchtwegen werden so gesichert und der Brandherd begrenzt.

Ein Öffnen oder Offenhalten von Brandschutztüren über die Gebäudeautomation wird hingegen als unkritisch bewertet, da über einen Parallelabgriff der Schließmechanismus über verschiedene Wege ausgelöst werden kann.

3.3 Lüftereinheiten

Im Bereich der Lüftereinheiten stehen sich zwei grundsätzliche Ansätze gegenüber. Die Nutzung von Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung (WRG) und die raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) mit Wärmerückgewinnung. Beide Typen wurden im Rahmen des Projekts untersucht und zeigen Stärken und Schwächen. In Verbindung mit einer gut eingerichteten Gebäudeautomation (GA) und der Unterstützung des Hausmeisters sowie der Nutzer können zentrale Abluftanlagen sehr auch energieeffizient betrieben werden. Die Ergebnisse eines Vorversuchs im Frühjahr 2011 zeigte ein beachtliches Potenzial bei den zentralen Abluftanlagen auf, das es näher zu untersuchen gilt.

3.3.1 Abluftanlagen

Abluftanlagen werden in sehr unterschiedlicher Ausführung (raumbezogene dezentrale Einheiten oder zentrale Abluftanlagen mit einem zentralen Abluftventilator) für Lüftungen eingesetzt. In der einfachsten Form handelt es sich um Wandlüfter, die die Raumluft ansaugen und nach Draußen befördern. Dabei ist nur sicherzustellen, dass ausreichend Luft nachströmen kann. In den Schulen werden Lüftereinheiten eingesetzt, die große Luftvolumina (3.000 m³/h bis 17.000 m³/h) befördern. Der Druckausgleich findet über die Oberlichtfenster der Klassenzimmer statt. Hierzu müssen jedoch Klappen, Klassenzimmertüren oder Flur- und Treppenhaustüren mit geöffnet werden. Ein zu hoher Unterdruck durch fehlendes Nachströmen von Luft ist zu vermeiden. In manchen Fällen müssen Türen auch ge-

geschlossen werden, um definierte Strömungsverhältnisse zu sichern. Strömungsanteile aus Gebäudeabschnitten, die nicht für die Auslegung des Luftwegs bestimmt waren, reduzieren den erreichbaren Luftwechsel. Komplexere Systeme sind zentrale Abluftanlagen, die an einer Stelle (z.B. Glasabdeckung des Innenhofes) Luft aus dem Gebäude absaugen und nach außen führen.

Der Vorteil von Abluftanlagen bei der Nachtlüftung liegt in der Entkopplung von Zuluft und Fortluft. Der Raum selbst wird zum Luftkanal und der Wärmeaustausch erfolgt direkt an den absorbierenden Flächen der Gebäudemassen.



Abbildung 3.3-1: Abluftanlage mit Schalldämpfereinheit, DG der Oststadtschule (links) und Fortluftauslass im 2.OG der Oststadtschule (rechts)

3.3.2 Dezentrale Raumlufthanlagen mit Wärmerückgewinnung (RLT-Anlagen mit WRG)

Der verstärkte Einsatz von raumluftechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung rührt aus dem Vorteil der deutlichen Reduzierung von Heizwärmeverlusten. Da sich der winterliche Wärmeschutz in mittleren Breiten Europas als Aspekt der energetischen Modernisierung entwickelt hat, gehört dieser Anlagentyp zum Portfolio im Rahmen von Maßnahmen zur Effizienzsteigerungen im Gebäudebereich.

Eine CO₂-geführte Lüftung konnte auch im Projekt zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität beitragen. Lediglich deren Eignung für die Nachtluftkühlung war aufgrund der vordefinierten Querschnitte von Luftkanälen und Öffnungen zu prüfen. Ein Berechnungsbeispiel zeigt die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Auslegung:

Nachtluftkühlung

Die Auslegung einer Nachtluftkühlung orientiert sich am notwendigen Luftwechsel, der erreicht werden muss, um die Wärmeeinträge bei Tage wieder auszugleichen. Relevant sind hier das umströmte Raumvolumen aller Flächen im Luftweg der Lüftungsanlage und der zu erzielende Luftwechsel. Mit dem Beispiel aus *Abschnitt 1.2* müsste für eine Einzelraumlüftung mit einem Luftvolumen von 210 m³ gerechnet werden. Sollte die Anlage mindestens einen zweifachen Luftwechsel erreichen, wäre eine RLT-Anlage für einen maximalen Volumenstrom von 420 m³/h auszulegen.

Taglüftung

Aus Sicht der Luftqualität ist gemäß dem Leitfaden für Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamt [7] ein Luftvolumenstrom von 17 m³/(h*Person) – 20 m³/(h*Person) z.B. für weiterführende Schulen empfohlen.



Abbildung 3.3-2: RLT-Flachgerät mit WRG, Quelle: AEREX

Bei einer Personenzahl von 26 ergibt sich ein maximaler Luftvolumenstrom von 520 m³/h für die Auslegung der Lüftungsanlage. Die Nachlüftungsfunktion wäre somit mit ca. 2,5-fachem Luftwechsel möglich, ihre Wirkung ist aber stark von dem sich ausbildenden Strömungsverhältnissen an den Gebäudemassen abhängig.

3.4 Wind-/Sturmwächter und Niederschlagsüberwachung

Der Betrieb der Nachlüftung erfordert zwingend den Einsatz eines Windwächters und eines Niederschlagswächters. Die vorgefundenen Wettersensoren zeigten sich bei den Schulgebäuden häufig als nicht ausreichend für einen langfristig ausgerichteten, zuverlässigen Betrieb. Gerade im Hinblick auf die für die Gebäudesicherheit und den Anlagenschutz relevante Funktion, die diesen Sensoren beigegeben wird, sollte die Auswahl der Komponenten sorgfältig erfolgen und die Installationsorte gut gewählt sein.



Abbildung 3.4-1: Wettermesstechnik zur Überwachung über die Gebäudeautomation (Links: Wetterstation der Oststadtschule)

Abbildung 3.4-2: Kombigerät der Theodor-Heuss-Realschule(rechts)

Windsensoren, die im Windschatten montiert sind, zeigen bei aufkommenden starkem Wind, Windböen oder Sturm selten das Gefährdungspotenzial für Außenjalousien an, um rechtzeitig die Jalousien hochzufahren. Gleiches gilt für flach geneigt montierte Sonneneinstrahlungssensoren, die den Einstrahlungswinkel auf die jeweils direkt bestrahlte Fassadenfläche nicht auflösen können und so für einen fassadenselektiven Betrieb ungeeignet sind.

3.5 Dynamik von Luftwegekombinationen

3.5.1 Lüftungskonzepte der freien Nachluftkühlung

Bei der Luftwegekombination, die auf die Querlüftung über offene Kippfenster basiert, ist das Potenzial für eine nächtliche Auskühlung lediglich über die Dynamik der Temperaturdifferenz zwischen der nächtlichen Außentemperatur und der Raumtemperatur des Klassenraums gegeben. Wirksam ist dieses Konzept nur bei hohen Temperaturgradienten zwischen Innen und Außen. Unterstützt werden kann der Effekt über die Konstellation, dass Klassenraumaußenwände unterschiedlich warm sind. Dies ist zum Beispiel abends der Fall, wenn eine Außenwand mit Kippfenster nach Süden (Westen) und die gegenüberliegende Außenwand nach Norden (Osten) ausgerichtet sind. Dies ist in der Regel nur selten innerhalb eines Schulgebäudes der Fall.

Die *Abbildung 3.5-1* zeigt Temperatúrausgleichsprozesse beim Öffnen von Kippfenstern und Klassenzimmertür, wenn die Umgebung des Klassenraums kühler ist als der Klassenraum selbst. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass eine Einzelraumregelung über die Gebäudeautomation oder einen dezentralen Regler unkompliziert zu realisieren ist, wenn die Raumtemperatur und die Außentemperatur gemessen werden.

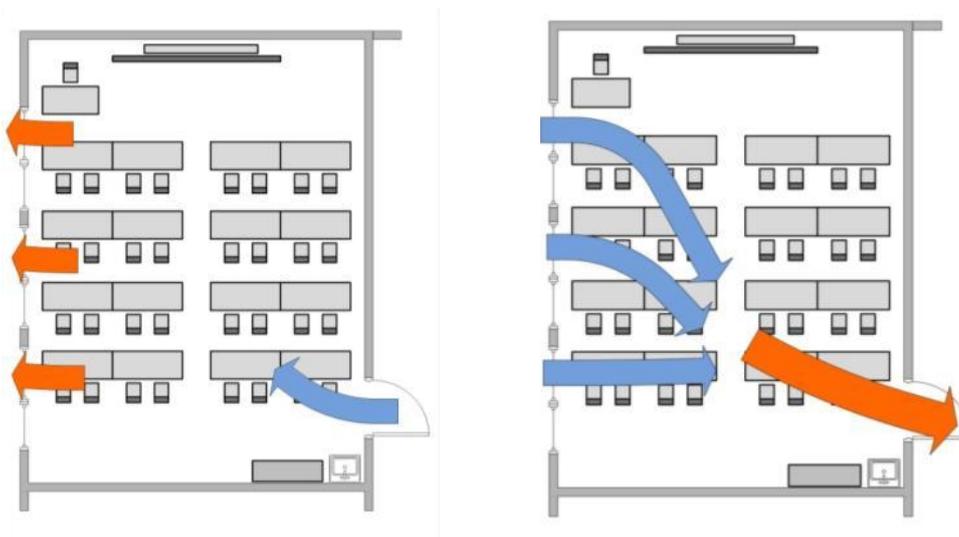


Abbildung 3.5-1: Freie Lüftung von Klassenzimmern

Links: Nachströmen kühler Luft in das Klassenzimmer, Entweichen der warmen Luft über die Kippfenster

Rechts: Erzwungenes Nachströmen kühler Luft über die Kippfenster bei Entweichen der warmen Luft über die offene Klassenzimmertür in kühlere Gebäudeteile



Abbildung 3.5-2: Temperaturlüftung durch freie Lüftung über einen Innenhof und über die Oberlichter des Klassenzimmers. Kühle Luft strömt aus anderen Gebäudeteilen nach.

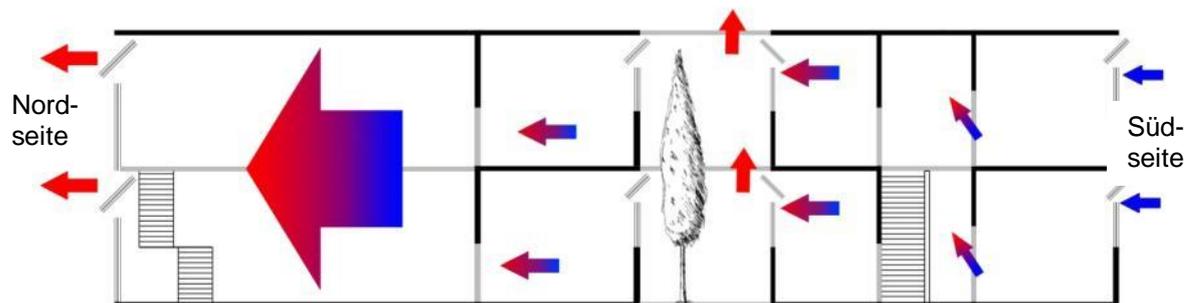


Abbildung 3.5-3: Strömung der Warmen Luft über einen Flur zum nördlichen Trakt und über ein Treppenhaus zum Innenhof.

Während sich die Temperaturlüftung aus der *Abbildung 3.5-1* auf das Klassenzimmer mit seinen Wärme speichernden Abgrenzungsflächen beschränken, kann der Ausgleich wie in *Abbildung 3.5-2* und *Abbildung 3.5-3* veranschaulicht auch weitere Gebäudeabschnitte wie Innenhöfe oder kühlere, nördlich ausgerichtete Bauabschnitte einbinden. Hier gilt es die definierten Luftwege sehr genau einzuhalten, damit Störeffekte die Kühlmaßnahmen nicht unwirksam werden lassen.

Weitere typische Varianten für Luftwege der freien Lüftung sind:

- Kippfenster, Klassenzimmertür, Flurtür(en), Kippfenster
- Lichtkuppel, Kippfenster
- Lichtkuppel, Klassenzimmertür, Flurtür, Kippfenster
- Kippfenster, Klassenzimmertür, Flurtür, Treppenhaustür, Kippfenster

3.5.2 Lüftungskonzepte mit mechanischer Unterstützung (Lüfter)

Bei der Lüftungsausführung mit mechanischer Unterstützung sorgen Lüftereinheiten für definierte Luftwechsel und Strömungsgeschwindigkeiten. Zur Erreichung vorgegebener Randbedingungen müssen deshalb auch die zugeordneten Luftwege gesichert sein.

Typische Störungen der Luftwege werden verursacht durch verschlossene Raum- oder geschlossene Flurtüren, offene oder gekippte Hauptfenster oder offene Türen zum Treppenhaus. Die genannten Störungen sorgen für eine Veränderung der gewünschten Strömungswege und des Strömungswiderstands und können Maßnahmen wirkungslos werden lassen. Im Rahmen eines Regelungskonzepts für die Nachtluftkühlung, können Störungen auch sinnvoll für die Intensitätssteuerung genutzt werden. Prägnantes Beispiel für den Einsatz in der Einzelraumregelung für Klassenzimmer ist das Schließen der Oberlichtfenster (oder Klappfenster) wenn im betroffenen Klassenraum die untere Grenztemperatur unterschritten wurde. Der Vorgang führt dazu, dass bestimmte Klassenräume, die das Temperaturziel erreicht haben, aus dem Kühlvorgang herausgenommen werden und so andere stärker mit kühler Außenluft gespült werden.

Häufig auftretende Konstellationen für Luftwege sind nachfolgend beschrieben.

Luftweg 1: Kippfenster, Klassenzimmertür, Flurlüfter oder Treppenhauslüfter

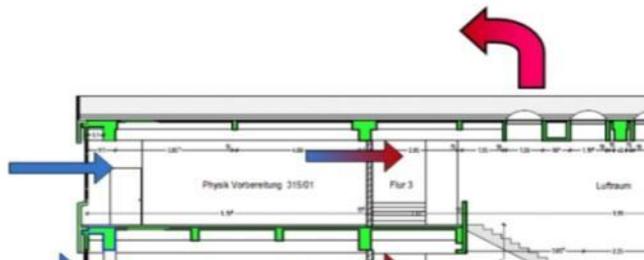


Abbildung 3.5-4: Zentrale Dachlüfter im Treppenhaus mit Nachströmung kühler Frischluft über Oberlichtfenster

Der Ausschnitt zeigt einen Teilbereich in der Theodor-Heuss-Realschule. Über je zwei Oberlichter strömt kühle Frischluft in die Klassenzimmer. Die warme Luft im Klassenzimmer wird über geöffnete Klassenzimmertüren in das zentrale Treppenhaus geleitet und dort über die Dachventilatoren aus dem Gebäude befördert.

Luftweg 2: Kippfenster, Klassenzimmertür, Flurtür, Geschoßlüfter

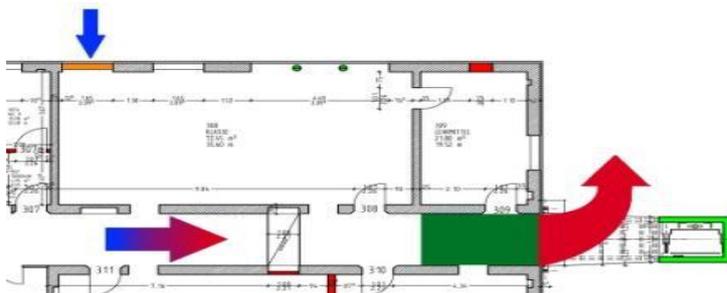


Abbildung 3.5-5: Geschoßlüftung mit Nachrüstung von Klappfenstereinsätzen als Nachströmöffnungen für kühle Frischluft

Nachströmöffnung für kühle Luft über Klappfenster, Überströmung über die offene Klassenzimmertür in den Flur und Absaugung im Flur über die Geschoßlüfter.

Luftweg 3: Frischluftklappe, RLT-Einheit mit WRG, Zuluft-Auslass, Raum, Abluft-Einlass, WT, Fortluftklappe

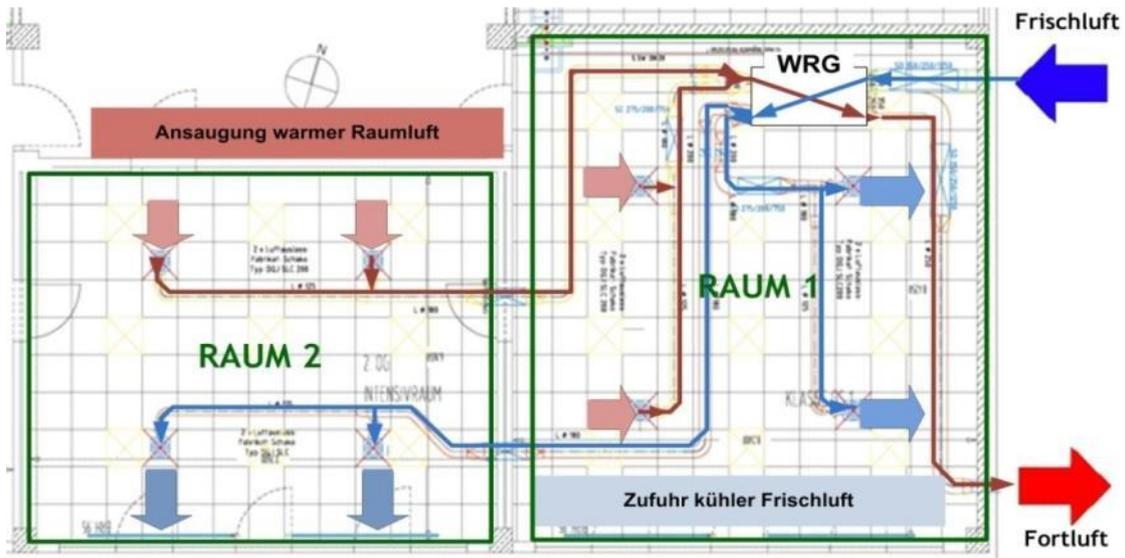


Abbildung 3.5-6: Zufuhr kühler Frischluft über die Luftauslässe einer dezentralen raumluft-technischen Anlage mit Wärmerückgewinnung. Die Abluft wird am Wärmetauscher mit Hilfe eines Bypass vorbeigeleitet.

Auf die Sicherung von frischer Luft bei der Taglüftung ausgerichtetes Lüftungskonzept für zwei Klassenzimmer mit CO₂-geführter Regelung. Auslegung erfolgt in der Regel über die Anforderungen für die typische Belegung. Die Leistungsfähigkeit einer Funktion zur Nachlüftungskühlung wird in der Regel durch den maximal erreichbaren Luftwechsel begrenzt, wenn keine Kaltluftklappen eingebaut werden.

Luftweg 4: Kippfenster/Nachströmöffnung, Abluftventilator

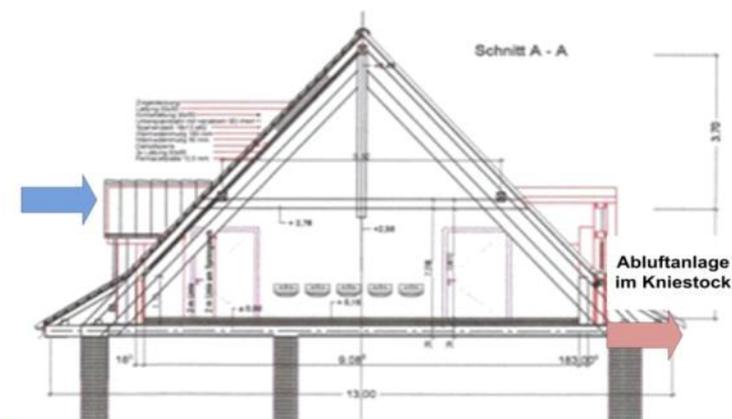


Abbildung 3.5-7: Abluftventilator im Kniestock mit Nachströmöffnung über Kippfenster

Eine Abluftanlage im Dachgeschoß des alten Teils im Schillergymnasium saugt über eine Nachströmöffnung kühle Frischluft in die Fachräume ein.

Die beschriebenen Luftwegetypen entwickeln in Verbindung mit der Steuerung über eine zentrale Gebäudeautomation eine deutlich höhere und besser kontrollierbare Dynamik als es mit der freien Lüftung möglich wäre. Es kommt hinzu, dass die Intensität der freien Lüftung sehr viel stärker von dem Wechselspiel der Temperaturunterschiede und unterschiedlichen Drücken an den jeweiligen Fassadenseiten abhängt. Hier sind bis zu 40-fache Luftwechsel über Fensterlüftung möglich, die jedoch mit schlagartig hohen Strömungsgeschwindigkeiten verbunden sind und zu Schäden durch Zuschlagen von Türen und Fenstern führen können.

Dies gilt es insbesondere bei der Stoßlüftung über Hauptfenster mit geöffneten Klassenzimmertüren zu beachten. Nicht selten werden im Sommer durch zu hohe Geschwindigkeiten (starke und abrupte Sogwirkung) die Lamellen von Jalousien beschädigt, da sie bei Sonneneinstrahlung während der Stoßlüftungsintervalle heruntergefahren bleiben.

4 Messkonzepte und Monitoring zur Betriebsüberwachung

4.1 Messkonzepte zur Beurteilung des Raumklima

Ohne messtechnische Überprüfung des Raumklimas befindet sich der Gebäudemanager im „Blindflug“. Er steuert und regelt das Klima im Raum, weiß aber zu keinem Zeitpunkt wie sich diese Maßnahmen auf das Raumklima auswirken. Bei Beschwerden der Nutzer kann er einen einwandfreien Betrieb nicht nachweisen. Das sogenannte Monitoring schließt den Kreis und liefert Daten für den einwandfreien Betrieb und die Bearbeitung von Beschwerden.

Das Raumklima in Schulobjekten ist stark von der individuellen Nutzung der Klassenräume geprägt. Ergänzend kommen Sondernutzungsbereiche vor, die ebenfalls individuell einstellbar sein sollten.

Die Messung der Lichtintensität kann wichtige Aufschlüsse über die Wirkung und Nutzung von Abschattungseinrichtungen geben und die Messung der CO₂-Konzentration bei der Sicherung einer guten Luftqualität helfen.

4.1.1 Überprüfung von Raumklimadaten

Eine Überprüfung von Raumklimadaten kann mit autonomen Mehr-Kanal-Kleindataloggern erfolgen, die in definierten Intervallen ausgelesen werden. Für die Überprüfung der Klassenzimmer empfiehlt es sich folgende physikalische Größen zu erfassen:

Raumtemperatur	in °C
Relative Luftfeuchte	in %
Lichtintensität	in Lux
CO ₂ -Konzentration	in ppm[CO ₂]

Um eine ausreichende Auflösung bei der Aufzeichnung des Raumklimas zu erhalten, wird ein Intervall von maximal 5 Minuten empfohlen. Dies rührt aus den kleinsten Zeitfenstern, die bei der Nutzung von Schulgebäuden definiert werden. So entspricht ein 5-Minuten-Intervall einer kurzen Pause innerhalb eines Unterrichtsblocks und für die Pause (Hofpause) mit 15-20 Minuten können bis zu 5 Messwerte für einen Trend erreicht werden.

4.1.2 Eigenständiges Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem

Die Leistungsfähigkeit der Gebäudeautomation fällt in Schulgebäuden hinsichtlich der Aufzeichnung historischer Verläufe von physikalischen Messgrößen häufig unterschiedlich aus. Die kontinuierliche Überwachung zur Einschätzung des Gebäudebetriebs ist jedoch unerlässlich.

Stehen über die vorhandene Gebäudeautomation die entsprechenden Möglichkeiten zur Einbindung von Sensoren und zur Übertragung von aufgezeichneten Messdaten nicht zur Verfügung, empfiehlt es sich ein unabhängiges Meßkonzept auszuarbeiten mit einem eigenständigen Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem zu arbeiten. Im vorliegenden Projekt kam ein GSM-Controller basiertes Konzept mit einem RS 485-Feldbus zum Einsatz. Es ermöglichte der Hochschule die Vermessung von sieben Klassenräumen und einer Wettermessstation. Der Controller speichert die Messdaten in 5-Minuten-Intervallen ab und sendet diese täglich als E-Mail-Anhang über das GSM-Netz an eine Mailadresse an der Hochschule Offenburg. An der Hochschule werden die Messdaten in eine Datenbank eingelesen und ausgewertet.

4.1.3 Dezentrale Lüftungseinheiten mit eigener Regelung

Der Einsatz dezentraler Anlagen mit eigenständiger Mess-, Regel- und Steuertechnik erfordert eine Modifikation des Meßkonzepts, das ein Monitoring des Gebäudebetriebs über die Gebäudeautomation ermöglicht. Häufig verfügen diese Anlagen nicht über die Möglichkeit zur Weiterleitung von Messgrößen. Bei einigen kann ein externes Steuersignal oder ein Sensor (Temperatur, Feuchte, CO₂) angeschlossen werden. Für die Überprüfung des Raumklima muss zusätzliche Messsensorik installiert

werden. Das nachstehende Konzept wurde ausgearbeitet, um möglichst viele Messgrößen aus den dezentralen Raumluftechnik-Anlagen über den Bus der Gebäudeautomation zugänglich zu machen und Signale aus der Gebäudeautomation für die Steuerung bereitzustellen.

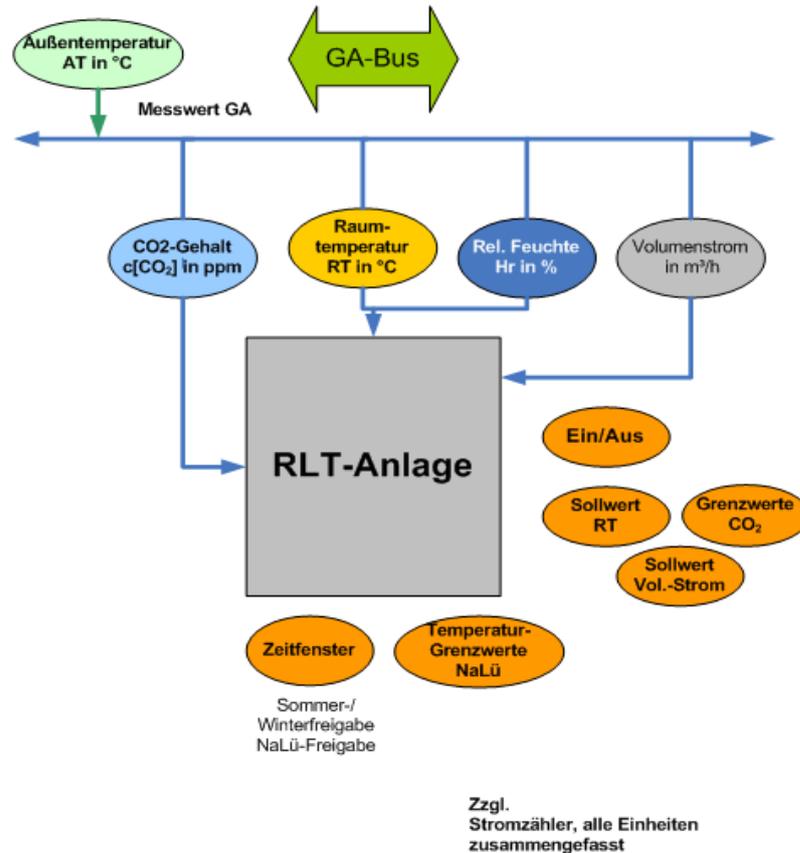


Abbildung 4.1-1: Konzept zur Erfassung und Überwachung des Betriebs der RLT-Anlage und physikalischer Messgrößen in der Konrad-Adenauer-Schule. Die in orange gehaltenen Ellipsen zeigen Einstellungen, die über die Gebäudeautomation die Integration der Anlage in übergeordnete Regelkreise erlauben.

Dies gilt zum Beispiel für den CO₂-Gehalt der Luft oder die Außentemperatur, die einmal gemessen für die Regelung der Nachluftkühlung dient. Die in orange gehaltenen Ellipsen der *Abbildung 4.1-1* zeigen Einstellungen, die über die Gebäudeautomation die Integration der Anlage in übergeordnete Regelkreise erlauben. Für die Erfassung von Sensorsignalen wie Außentemperatur, Raumtemperatur oder Volumenstrom kommen häufig zusätzliche Sensoren zum Einsatz, die in der Gebäudeautomation verfügbar sind und durch eine Schnittstelle zur RLT-Anlage zu einem effizienteren Betrieb beitragen können.

4.2 Monitoring für einen nachhaltigen Gebäudebetrieb

Die Potenziale der Nachluftkühlung werden sehr stark über den Gebäudeautomationsgrad der Schule beeinflusst. Die Nachlüftung wird nachts und bei Bedarf an unterrichtsfreien Tagen aktiviert. Hierfür werden die erforderlichen Luftwege durch Öffnen von Oberlichtern, Klappen oder anderen Schließelementen automatisiert frei gemacht sowie die Abluftanlage eingeschaltet. Die Dauer der Nachlüftung wird durch Freigabezeitfenster, einen definierten Arbeitstemperaturbereich und eine Mindesttemperaturdifferenz zwischen der Außen- und der Raumtemperatur regelungstechnisch umgesetzt. Nahezu alle im Projekt bearbeiteten Schulen verfügen über eine Modemanbindung an das Technische Rathaus der Stadt Offenburg. Eine Gebäudeautomation ist zwar in einigen, kürzlich sanierten Objekten vorhanden, erweist sich aber häufig bei der Realisierung einer automationsgestützten natürlichen

Gebäudeklimatisierung als nicht ausreichend. Hier wurde ein wichtiges Handlungsfeld identifiziert, dass es weiter zu bearbeiten gilt.

4.3 Funktionen der Gebäudeautomation

4.3.1 Gebäudeautomation mit Raumklima und Energie

Die Stadt Offenburg verfügt bereits seit den 1980er Jahren über einen hohen technischen Ausrüstungsgrad beim Betrieb der Heizungsanlagen in kommunalen Bauobjekten. Die meist auf Modem-Kommunikation basierte Technik erweist sich für die erforderliche Funktionalität der Gebäudeklimatisierung als nicht leistungsfähig genug, um das technische Management der Stadt hinreichend zu unterstützen. Zum einen sind es die Datenmengen, die sich durch die Messung und Aufzeichnung von Raumklimaparametern sowie für ein modernes Energiecontrolling anfallen, zum anderen sind es Betriebszustände, Alarmer und andere Statusmeldungen, die Ereignisse anzeigen. Durch den Nutzungscharakter der Schulräume als Klassenzimmer, ist eine Einzelraumregelung empfohlen. Diese ist auch erforderlich, um eine gegenseitige Störung während der Nutzung/des Unterrichts zu vermeiden.

4.3.2 Archivierung von Messgrößen und Zustandsdaten

Die Aufzeichnung von Datenpunkten der Gebäudeautomation hat in Verbindung mit dem Monitoring und somit mit der Sicherstellung eines nachhaltigen Gebäudebetriebs immer mehr an Bedeutung gewonnen.

Rückschlüsse im Fall eines Geräte- oder Anlagenausfalls können nur gezogen werden, wenn eine abgelegte Historie, die 2- 3 Tage zurückgeht, vorliegt. Für länger zurückliegenden Auswertungen empfiehlt es sich für ausgewählte Datenpunkte (Messwerte, Steuergrößen oder Zustände) eine Datenbank in der Gebäudeautomation oder auf dem Leitrechner anzulegen, die 2 bis 3 Monate zurückgreift. Die Datenbank sollte ein gut zugänglich sein und keine herstellerspezifische Software für das Handling benötigen. Ein Typ, der häufig in Verbindung mit diesen Aufzeichnungen genutzt wird, ist die SQL-Datenbank. Das technische Management der Stadt/Kommune kann dann über einen geeigneten Zugang, die Daten abrufen und auswerten. In der Datenbank sollten auch die erhobenen Daten (Zählerstände) für das Energiedatenmanagement integriert sein.

4.3.3 Anbindung der Gebäudeautomation an Kommunikationsnetze

Die nachstehende Abbildung zeigt den Status der Kommunikationsinfrastruktur zu Beginn des Projekts. Die dargestellte Struktur ist durch proprietäre Automationssysteme dominiert und historisch gewachsen. Entsprechend hoch ist der Aufwand zu sehen, der für das technische Gebäudemanagement der Stadt zu leisten ist.

Das Projekt zielte auf die mittelfristige Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Überhitzungen im Sommer in 5 von 22 Schulgebäuden der Stadt Offenburg und langfristig auf die Aufrüstung der Gebäudeautomationssysteme. Damit soll eine Anbindung an das zentrale Gebäude- und Energiemanagement der Stadt erreicht werden, das künftig Zusatzinformationen bereitstellen soll oder den Einsatz prädiktiver Betriebsverfahren [4] ermöglicht.

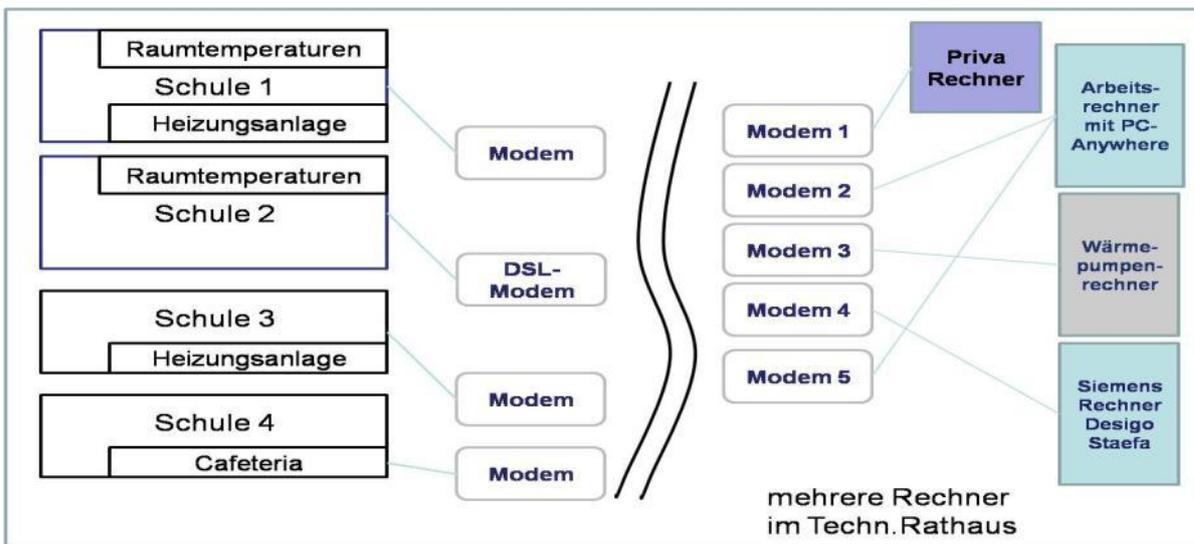


Abbildung 4.3-1: Bestehende Kommunikationsstruktur für das technische Gebäudemanagement von Schulgebäuden in Offenburg

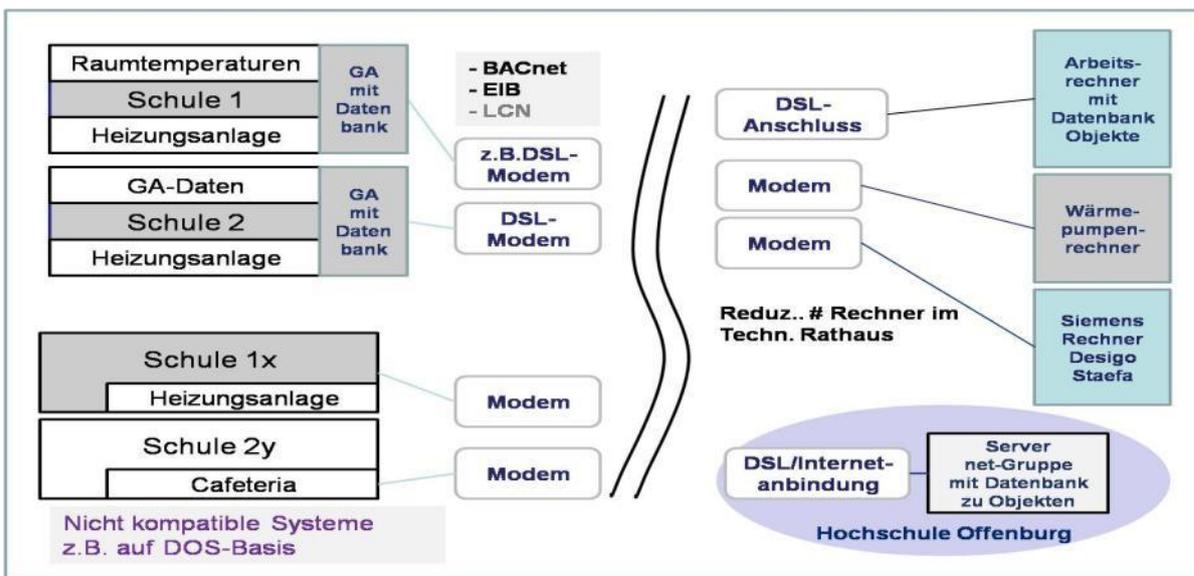


Abbildung 4.3-2: Einheitliche Struktur für neuere Systeme unter Weiterführung der bestehenden inkompatiblen Systeme und Auswerteschnittstellen zur Entwicklung von Betriebswerkzeugen für das technische Gebäudemanagement.

4.3.4 Nachhaltiger Gebäudebetrieb und technisches Gebäudemanagement

Die Integration neuer Funktionen für Gebäudehülle und Automation zeigt, dass die Arbeitspakete zur Kommunikation als schwierigste Aufgaben bei der Umsetzung einzustufen sind. Da es sich bei den GA-Systemen der Bestandsgebäude um proprietäre Systeme handelt, werden von der Stadt Offenburg mehrere Rechner für die Remoteverbindungen betrieben.

Um die Nachtlüftung konsequent und zuverlässig einzusetzen, ist die Integration der angesteuerten Elemente in die Gebäudeautomation eine unerlässliche Aufgabe. Zur Überprüfung des Gebäudebetriebs ist die Aufzeichnung von Messdaten zu gewährleisten und die Kommunikationswege zu auswertenden Stellen so einzurichten, dass eine Analyse des Gebäudebetriebs über einen Fernzugang möglich ist.

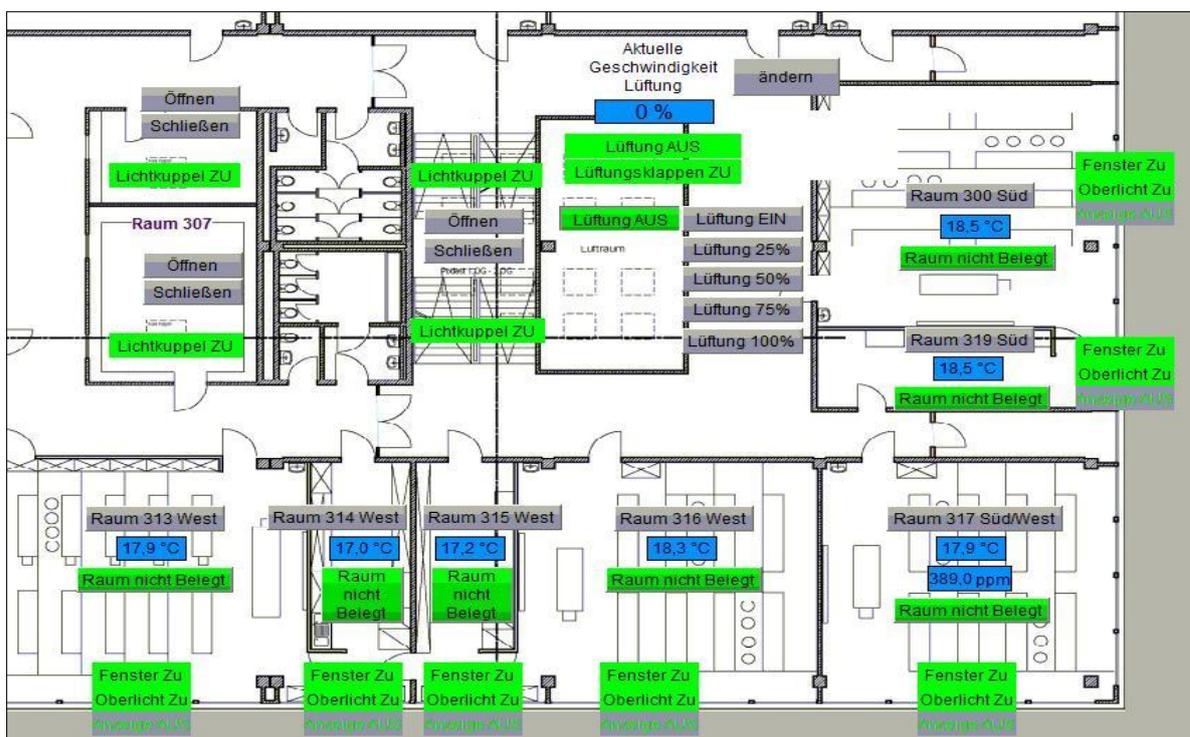


Abbildung 4.3-3: Fernbedienoberfläche für den Hausmeister mit Bedienbuttons, Messgrößen wie Temperatur oder CO₂-Konzentration und Statusinformationen

Die Einrichtung einer zuverlässigen Internetanbindung, um die Automation der Schule mit den erforderlichen Daten von Wetterprognosen zu versorgen und ein zentralisiertes Gebäudemanagement über das Technische Rathaus zu realisieren, konnte lediglich im Testbetrieb eingerichtet werden. Es bedarf umfangreicher vorbereitender Arbeiten um das Konzept allgemeingültig für alle Schulen umzusetzen. Der Ansatz soll in den kommenden Jahren weiterentwickelt und eingerichtet werden.

5 Schulgebäude mit unterschiedlichen Lüftungskonzepten

5.1 Allgemeine Einstellungen und Funktionen der Gebäudeautomation

Zur Realisierung der unterschiedlich ausgeprägten Lüftungskonzepte wurde eine allgemeine Strategie für den Temperatenausgleich mit der Umgebung und zur Vermeidung unnötiger Wärmeeinträge ausgearbeitet. Die Einstellungen gelten für nahezu alle Objekte und sollten herstellerunabhängig eine Vorbereitung der Gebäudeautomation erlauben. Unterstützt werden die Zeitfenster und Schaltvorgänge durch manuelle Eingriffe durch den Hausmeister oder das Raumpflegepersonal.

Teilautomatisierter oder vollautomatisierter Betrieb	
Freigaben Zeitfenster	
Zeitfenster Periode:	1. April bis 30. September
Zeitfenster Uhrzeit:	22.00 Uhr abends bis 7.00 Uhr morgens
Freigaben Temperaturen	
Raumtemperaturen:	> 23 °C
Außentemperatur:	< 26 °C
Temperaturdifferenz:	> 3 °C (Innentemperatur – Außentemperatur)
Stopp-Temperatur:	< 19 °C (Raumtemperatur)
Befehle	
Jalousien hochfahren (alle Fassadenseiten)	
Raumweise Öffnen der Oberlichter/Stellelemente	
Einschalten Nachtlüftung (Raumluftechnische Einheit /Ventilator ein)	
Manuelle Aktionen (Hausmeister, Raumpflegepersonal)	
Türen am Nachmittag/Abend öffnen	
Fachraumtüren Öffnen 22.00 Uhr / Schließen 7.00 Uhr	

Abbildung 5.1-1: Grundeinstellungen der Gebäudeautomation für die Schulen ohne kanalgeführte Raumluftechnische Einheiten mit WRG.

Ergänzend werden Funktionen für die Betriebsüberwachung und für die Überführung in einen sicheren Gebäudezustand erforderlich, die individuelle angepasst werden und die Ausrüstung des Gebäudes mit Wettermesstechnik und Präsenzmeldern erfordern.

5.2 Lüftungskonzept ohne Lüftereinheiten

Da die Dynamik der passiven Lüftungskonzepte ohne Hilfsmittel wie Lüftereinheiten bei vielen Schulgebäuden nicht ausreicht, müssen die Objekte bei denen dieses Konzept zum Einsatz kommt, genauer untersucht werden. In Frage kommen hierfür 2-geschoßige Gebäude oder Gebäudetrakte, die durch Laubhölzer auf den südlichen Seite gut verschattet werden können oder über Lichtkuppeln verfügen, die zum Nachströmen von kühler Außenluft oder Entweichen von angestauter Wärme dienen.

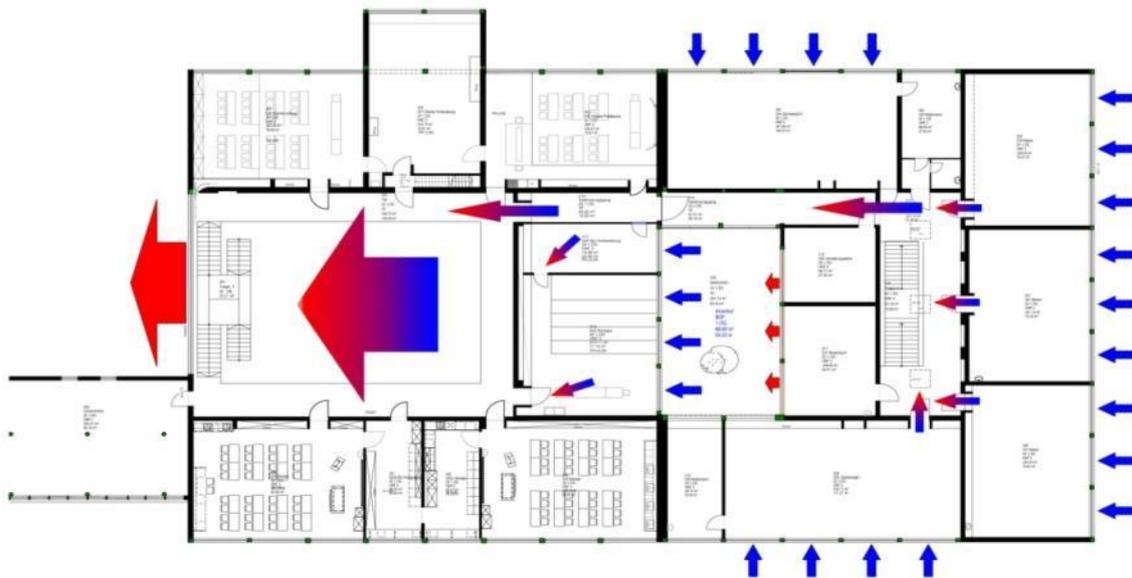


Abbildung 5.2-1: Ausnutzung von Temperaturgefälle an unterschiedlichen Gebäudeseiten und zwischen Innen- und Außentemperatur

Am Beispiel des südlichen Teiltrakts des Oken-Gymnasiums aus *Abbildung 5.2-2* und *Abbildung 5.2-3* kann auf zwei Effekte zurückgegriffen werden, die es bei der Programmierung der Funktionen in die Gebäudeautomation zu berücksichtigen gilt. Zum einen können durch Öffnen der Oberlicht-Klappfenster in den Klassenräumen und im Flur-/ Treppenhausbereich ein deutlicher Temperaturausgleich mit der Umgebungstemperatur erreicht werden. Alternativ steht die Nutzung der Luftwege über die Flure in den nördlichen Aulabereich zur Verfügung. Die Fensterfront verfügt über zwei Reihen mit Klappfenstern, die das Kühlpotenzial der nördlichen Gebäudeseite abrufen können. Je nach Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen kann der sich zur kühlen Seite hin ausbildende Sog zu sehr starken Luftwechseln führen.



Abbildung 5.2-2: Südseite (Bild links) des Teiltrakts des Oken-Gymnasium

Abbildung 5.2-3: Nördliche Fensterfront der Aula mit Klappfenstern (Bild rechts)

Zu beachten ist hierbei, dass die geöffneten Fenster und Türen gegen ein zuschlagen ausreichend gesichert sind. Bei Bedarf ist hier das unterstützende Eingreifen des Hausmeisters gefragt.

Sollte das Konzept der freien Lüftung allein nicht ausreichen, besteht die Möglichkeit die Lüftungsanlage der Aula in das Lüftungskonzept einzubinden.

5.3 Zentrale Treppenhäuser mit Abluftventilatoren

Als erfolgreiches Beispiel für die Demonstration der Potenziale der natürlichen Gebäudeklimatisierung hat sich die Theodor-Heuss-Realschule in Offenburg erwiesen. Nach vollständiger Sanierung der Gebäudehülle wurde eine Gebäudeautomation mit Einzelraumregelung eingebaut.

Zum sommerlichen Wärmeschutz gehören raumweise steuerbare Außenjalousien, je zwei von vier über die GA ansteuerbare Oberlichtfenster und seit Sommer 2010 zwei Dachventilatoren im zentralen Treppenhaus. Die erstmals im Sommer 2010 umgesetzte Betriebsweise lässt sich wie folgt beschreiben:

Im Sommerhalbjahr (1.04.- 30.09.) ist die Nachtlüftung von 22.15 Uhr bis 7.30 Uhr freigegeben. Bei Raumtemperaturen oberhalb von 23 °C und einer Temperaturdifferenz von mindestens 3 Kelvin zur Außentemperatur werden die Oberlichter der Klassenräume geöffnet und die Dachventilatoren bei voller Leistung (ca. 5 kW und 17.500 m³/h) betrieben. Das Raumpflegepersonal oder der Hausmeister unterstützen am Nachmittag und sorgen dafür, dass die Türen der Klassenräume offen stehen. Sobald die Raumtemperatur einzelner Räume den unteren Grenzwert von 19 °C unterschreitet, werden für das jeweilige Klassenzimmer die Oberlichtfenster geschlossen. Noch warme Klassenräume werden hingegen weiter und intensiver mit kühler Nachtluft gespült.

Die Türen der Klassenräume bleiben auch über die Wochenendtage oder Schulferien offen. Damit besteht die Möglichkeit den Betrieb der Nachtluftkühlung auch an unterrichtsfreien Tagen freizugeben. Bei Bedarf und günstigen Außentemperaturen kann der Lüftungsbetrieb über die Nachtfreigabe hinaus ausgeweitet werden. Eine Leistungsminderung beim Luftvolumenstrom vermindert die Geräuschentwicklung bei Nutzung der Lüftungskühlung während der Tagesstunden.

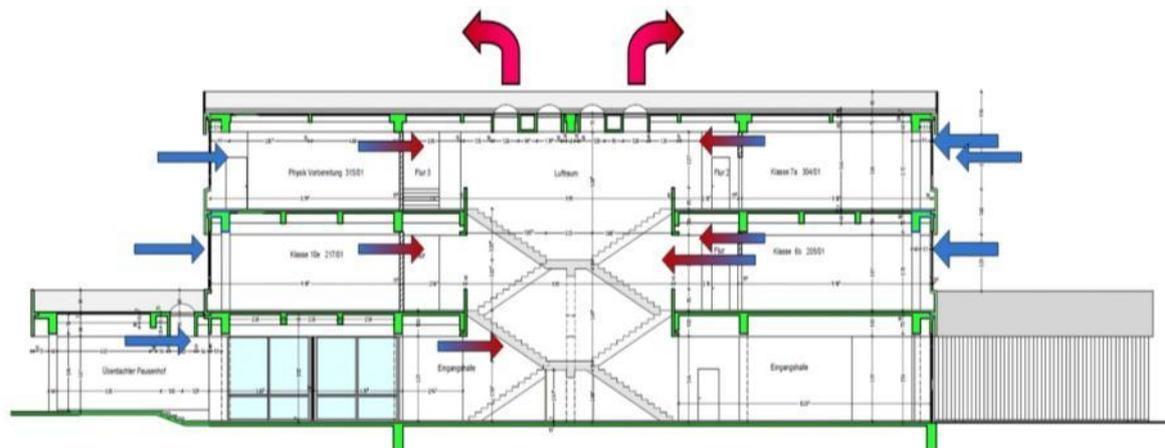


Abbildung 5.3-1: Luftwegeschema in einer Schule mit zentralem Treppenhaus

Für die Aktivierung der Jalousien wird die Lichtintensität fassadenparallel für drei Fassadenausrichtungen gemessen. Bei Überschreiten des eingestellten Grenzwerts werden die Jalousien bei nichtbelegten Räumen heruntergefahren. Eine wiederholte Prüfung der Jalousien erfolgt erst wieder, wenn im jeweiligen Raum das Präsenzmeldersignal länger als 15 Minuten auf „nichtbelegt“ steht. Dem Nutzer wird bei dieser Betriebsweise eine hohe Priorität gewährt. Bei Nachtluftkühlung bleiben die Jalousien oben.

5.4 Geschoßlösungen mit komplexen Luftwegen

In einer weiteren Schule, der Oststadtschule, wurde ein aufgesetztes Dachgeschoß als extrem stark belastet eingestuft. In einer ersten Phase wurden die Oberlichter der Fenster in die zentrale Gebäudeautomation eingebunden. Zusätzlich wurden auf den Stirnseiten des Geschoßflures zwei Abluftanlagen eingebaut. Die Anordnung ist in *Abbildung 5.4-1* veranschaulicht. Im Sommer 2010 stellte sich heraus, dass das Konzept für das Dachgeschoß deutlich besser mit den Nutzern abge-

stimmt und technisch ergänzt werden musste. Eine ausreichende Abluffunktion wird nur dann erreicht, wenn die Brandschutztüren des Flurs geöffnet und die Türen zu den beiden Treppenhäusern und die Lichtkuppeln im Flur geschlossen bleiben.

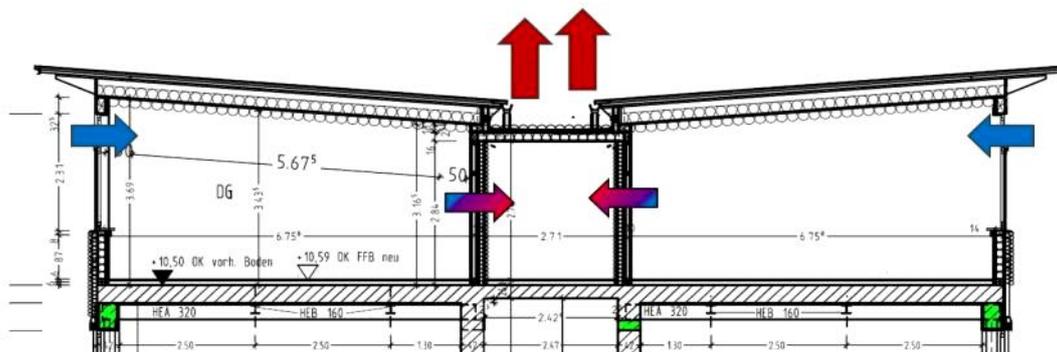


Abbildung 5.4-1: Luftwegeschema im Dachgeschoß der Oststadtschule

Zu hohe Grenzwerte, ein Steuermodulausfall der Lüftereinheiten während der heißesten Phase sowie die Aufheizung des Unterbaus (energetisch saniertes, früheres Kasernengebäude mit ca. 40 cm dicken Außenwänden), der keiner Kühlmaßnahme unterzogen wurde, wirkten sich nachteilig auf das Wärmeverhalten im Dachgeschoß aus. Im Sommer 2011 wurde deshalb zusätzlich das 2.OG entsprechend *Abbildung 5.4-2* mit einer Etagenlüftungsanlage auf der Nordostseite ausgerüstet, die sich im Sommerbetrieb 2012 gut bewährt hat.

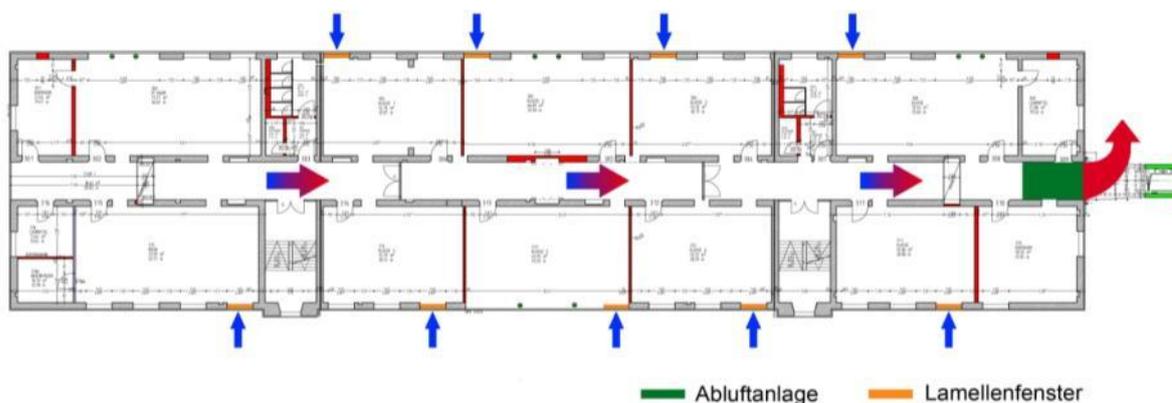


Abbildung 5.4-2: Luftwegeschema des 2. OG in der Oststadtschule

5.5 Dezentrale Systeme für zonenweise Konditionierung

Messungen zur Luftqualität haben bestätigt, dass die energetische Sanierung von Schulgebäuden, bedingt durch die verbesserte Gebäudeabdichtung, zu einer deutlich stärkeren und schnelleren Verschlechterung der Luftqualität in Klassenzimmern führt. Die Lüftungskonzepte zur Reduzierung der sommerlichen Überhitzungen müssen somit mit der Verbesserung und Sicherung einer ausreichenden Luftqualität in Einklang gebracht werden. Synergieeffekte bei den Investitionen, abgestimmte

Luftwege und verbesserte GA-Funktionen helfen Betriebskosten einzusparen und das Arbeitsklima in Klassenzimmern nachhaltig zu verbessern.



Abbildung 5.5-1: Sanierte Gebäudehülle der Konrad-Adenauer-Schule.

In einer dritten, in der Sanierungsphase befindlichen Schule wurde in der ersten Modernisierungsphase die Gebäudehülle erneuert und das Dachgeschoß mit dezentralen Lüftungseinheiten mit WRG für je zwei Klassenräume ausgerüstet. Die Lüftungsanlagen werden CO₂-gesteuert betrieben und sollten mit Hilfe einer Außenluftklappe als Bypass zum Wärmetauscher auch für die Nachtlüftungskühlung einsetzbar sein.

Bei diesem Projekt wurde die Einrichtung der Anbindung der GA an das zentrale Gebäudemanagement und die Internetkommunikation in die Planung aufgenommen.

Die Montage des dezentralen Lüftungsgeräts mit Kreuzstromwärmetauscher zur Wärmerückgewinnung erfolgt in der abgehängten Decke eines Klassenraums. Die kanalgeführten Luftwege zur Versorgung von zwei Klassenräumen zeigt *Abbildung 3.5-6*. Die Nachtlüftungsfunktion wurde für den Sommer 2011 eingerichtet. Messungen aus der ersten Sommerhälfte des Jahres 2011 zeigen im zweiten Obergeschoß bzw. Dachgeschoß der Schule ein eher schwach ausgeprägtes Kühlverhalten. Mit dem Einbau der Lüftungsanlagen in das erste Obergeschoß soll auch die große Dachfensterfläche im Treppenhaus zur Entwärmung automationsgestützt in das Kühlkonzept eingebunden werden. Leider blieben die Messungen des Sommers 2012 hinter den Erwartungen zurück. Ein signifikantes Nachtlüftungsverhalten konnte mit dem Monitoring nicht belegt werden. Als Ursachen wird ein Fehler bei der Einrichtung und Programmierung der Automationsfunktionen in der zweiten Ausrüstphase vermutet, da die Leittechnik des Gebäudes durch mehrere zusätzliche Komponenten und Funktionen neu aufgesetzt werden musste.

6 Brandschutzrelevanz und Sicherheit von Nachtlüftungen

Hinsichtlich der Realisierung von Maßnahmen zur Reduzierung der Überhitzung in heißen Sommerperioden durch eine Nachtluftkühlung wurden im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ unterschiedliche Lüftungskonzepte umgesetzt. In drei Schulen soll der Lüftungsansatz, der Verlauf der Luftwege und die Betriebsweise, hinsichtlich der Verträglichkeit mit bestehenden Brandschutzgutachten kommentiert und bewertet werden.

Die Hochschule Offenburg hat bei der Ausarbeitung der Lösungen und Betriebsweisen sehr stark auf die Belange von Sicherheitstechnik, Zugangsbestimmungen und Brandschutz geachtet, sofern ein entsprechendes Fachgutachten für das Schulobjekt vorlag. Zur hinreichenden Prüfung der Nachrüstung mit lufttechnischen Anlagen in Verbindung mit der automationsgestützten Betriebsweise, wurde dennoch eine abschließende Bewertung durch einen Gutachter angestrebt. Hierzu wurden relevante Sachverhalte und Erläuterungen nachstehend zusammengestellt.

6.1 Berücksichtigung von Sicherheits- und Brandschutztechnik

Bei der Untersuchung der Randbedingungen für die Realisierung einer Taglüftung wurde Probleme bzw. erheblicher Finanzierungsaufwand erkannt für:

- Einhaltung der Brandschutzvorschriften für definierte Zonen
- Erheblicher Wartungsaufwand für Feuerschutzklappen und zugehörige Begleittechnik
- Hohe Investitionskosten für Brandschutzkonforme bauliche Maßnahme und technische Komponenten
- Filteraufwand wg. Lärmbelästigung zwischen Klassenräumen
- Der Zugang zur Schule muss mit ausreichenden Maßnahmen für Unbefugte verwehrt werden. Die gilt insbesondere für Türen, Fenster, Zuluft- und Abluftklappen sowie Nachströmöffnungen und Lichtkuppeln.

Hierzu sind neben den zwingend erforderlichen Sensoren für Wind- und Sturmüberwachung sowie Niederschlag eventuell Bewegungsmelder auf Flachdächern zu integrieren. Diese sollen die Schließung geöffneter Lichtkuppeln auslösen, wenn Bewegungen im Dachbereich erkannt werden.

Die durchgeführten Maßnahmen/Nachrüstungen beschränken sich auf Arbeiten zur Einrichtung einer intensiven Nachtluftkühlung mit und ohne Lüftereinheiten. Der Betrieb der Nachtlüftung ist nur außerhalb der Heizperiode vorgesehen, also vom 1.04. bis 30.09. eines Jahres. Aufgrund starker Unterdrücke während des Nachtlüftungsbetriebs ist bei nächtlicher Präsenz von Personen die Aussetzung der Nachtlüftung zu erwägen, da der Personenschutz vorrangig einzustufen ist.

Die nachstehend beschriebenen Luftwegeschemata ergaben sich in den Schulobjekten Theodor-Heuss-Realschule, Oststadtschule (Erich-Kästner-Realschule/ Anne-Frank-Schule) und den Fachklassentrakt mit Aula des Oken-Gymnasiums in Offenburg und sollen von Brandschutzgutachtern kommentiert und bewertet werden.

Typ 1: Zentrales Treppenhaus mit Dachlüftern

Zum sommerlichen Wärmeschutz gehören raumweise steuerbare Außenjalousien, je zwei über die Gebäudeautomation zu bedienende Oberlichter und zwei Dachventilatoren im zentralen Treppenhaus. Der Betrieb der Nachtlüftung beschränkt sich auf die Zeit zwischen 22.00 Uhr nachts und 7.00 morgens. Die Türen zu den Klassenzimmern werden durch das Raumpflegepersonal nachmittags aufgestellt. In Absprache mit der Schulleitung können in sehr heißen Perioden auch Türen von Fachräumen geöffnet bleiben, die am folgenden Morgen vor Unterrichtsbeginn wieder verschlossen werden. Die Luftwege im Gebäude sind in *Abbildung 5.3-1* veranschaulicht. Aus Gründen des Personenschutzes vor dem Gebäudeschutz ist eine Erkennung der Anwesenheit von Personen einzurichten, da es durch den Betrieb der starken Lüftereinheiten im zentralen Treppenhaus zu starken Unterdruckscheinungen kommen kann. Die Kopplung der Freigabe der Nachtlüftung an die Scharfschaltung der Alarman-

lage sichert den Nachtlüftungsbetrieb nur bei Abwesenheit von Personen und sorgt damit für einen erhöhten Personenschutz.

Typ 2: Geschoßlüftung über gemeinsame Flurbereiche und zentralen Lüftern

Eine ausreichende Abluffunktion wird nur dann erreicht, wenn die Brandschutztüren des Flurs offen bleiben und die Türen zu den beiden Treppenhäusern geschlossen werden. Die Lüftereinheiten befinden sich auf den Stirnseiten des Dachgeschoß und der Nordostseite im 2.OG. Die Luftwege des 2. Obergeschosses sind in *Abbildung 5.4-2* dargestellt. In *Abbildung 6.1-1* sind die Brandschutztüren des Flurs geschlossen abgebildet. Die Abluftventilatoren der Stirnseiten (rechts und links) bleiben so wirkungslos. Die Flurtüren sollten durch den Hausmeister während seines Rundgangs nach 22.00 Uhr aufgestellt und die Treppenhautüren geschlossen werden. Geöffnet werden sollten auch die Türen der Klassenzimmern und bei Bedarf der Fachräume. In der Regel ist es auszuschließen, dass sich Dritte im Gebäude aufhalten. Der Betrieb der Nachtlüftung beschränkt sich wie bei Typ 1 auf die Zeit zwischen 22.00 Uhr nachts und 7.00 morgens.

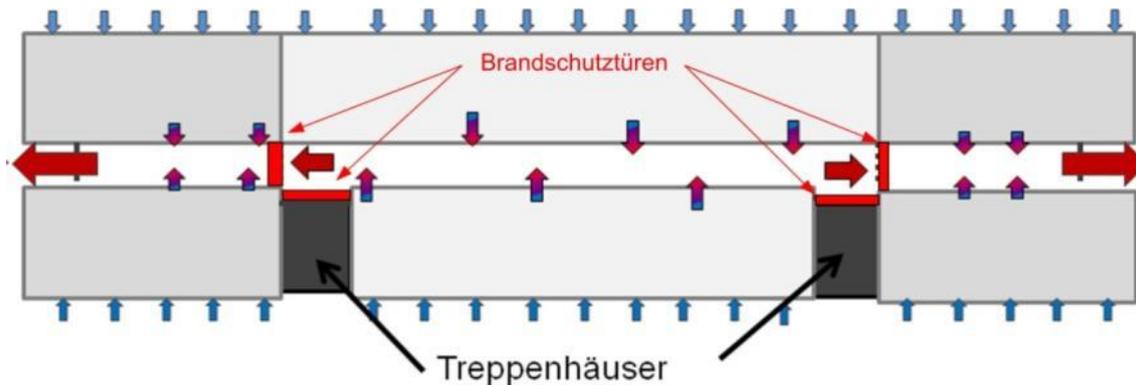


Abbildung 6.1-1: Brandschutztüren und Luftwege im Dachgeschoß der Oststadtschule

Typ 3: Geschoß übergreifende Lüftung über gemeinsame Flurbereiche und Innenhof ohne Lüftereinheiten

Die zur Anwendung kommende freie Lüftung ist automationsunterstützt. Die Querlüftung erfolgt entweder über den Innenhof des südlichen Teiltrakts oder bei Bedarf über den gemeinsamen Flur zwischen dem nördlichen und südlichen Bauabschnitt über die Klappfenster der Aula auf der Nordseite. Ein ausgeprägtes Temperaturgefälle zwischen der Nordseite und der Südseite des Gebäudes kann für einen ausreichenden Antrieb innerhalb des Gebäudes sorgen. Gleiches gilt für den Temperaturunterschied zwischen nächtlicher Innen- und Außentemperatur. Der Betrieb der Nachtlüftung beschränkt sich wie bei Typ 1 und 2 auf die Zeit zwischen 22.00 Uhr nachts und 7.00 morgens. Die Türen zu den Klassenzimmern und bei höheren Wärmebelastungen die Flurtüren zum Nordteil werden durch den Hausmeister während seines Rundgangs nach 22.00 Uhr aufgestellt. Auf Wetterumschwünge und Unwetterwarnungen ist dabei zu achten. Das Luftwegschemata ist in *Abbildung 5.2-1* dargestellt.

6.2 RWA-Anlagen (Anlagen zur Raum- und Wärmefreihaltung)

Auf eine Verquickung der RWA-Anlage mit den Funktionen der Lüftung/ natürlichen Klimatisierung wurde soweit möglich verzichtet, da es sich bei RWA-Anlagen um sicherheits- und brandschutztechnisch kritische Anlagen handelt. Sofern keine anderen Maßnahmen zur kontrollierten Lüftung über das Dach umsetzbar sein sollten, wurde für Ausnahmefälle und bei Schulgebäuden ohne mechanische Lüftung, die manuelle Einbindung der RWA-Anlage vorgesehen. Unter Aufsicht des Hausmeisters konnte insbesondere in den frühen Morgenstunden ein guter Auskühleffekt erreicht werden. Der Test wurde in der Schule Weier als kurzfristige Abhilfe im Sommer 2008 durchgeführt.

7 Einbindung von Nutzern ins Betriebskonzept

Ausgehend von dem in *Abschnitt 2.2.5* beschriebenen Verhalten des Nutzers zum Schutz der Einrichtungen und zur Verhinderung unbefugten Zutritts in das Schulgebäude, zeigt sich ein wichtiger Bedarf an Information und Aufklärung. Lehrer, Schüler, Bedienstete und das Raumpflegepersonal sollten über die Möglichkeiten der technischen Einrichtungen für die Konditionierung der Klassenzimmer informiert sein.

Im Projektverlauf zeigte sich in mehreren Schulobjekten, dass die Kommunikation mit den Nutzern insbesondere mit dem Hausmeister und der Schulleitung gesucht werden muss. Zum einen lag dies an den immer wieder durch Verzögerungen begleiteten Bauausführungen und zum anderen an besonderen Kommunikationsstrukturen, die mit Zuständigkeiten und Organisationsstrukturen in der kommunalen Bewirtschaftung von Gebäuden liegen. Ein unmittelbares Reagieren auf Fehlfunktionen oder Störungen ist eher die Ausnahme. Die infrastrukturellen Verbesserungen im technischen Gebäudemanagement durch Messung von Raumklimadaten zusätzlich zur Heizungsanlagenüberwachung, die Einrichtung eines Fernzugriffs auf die Leitrechner der Schulen und die kontinuierliche Speicherung der Gebäudebetriebsdaten vor Ort für Analysezwecke sollen einen Weg für ein effizienteres Betreiben der Schulgebäude aufzeigen.

Um diesen Weg beschreiten zu können und bis die erforderlichen Werkzeuge bereitgestellt werden können, ist für den Übergang die Unterstützung der Nutzer und des unterstützenden Personals erforderlich. Die Einbindung der Beteiligten und häufig auch Betroffenen gestaltet sich auf unterschiedlichen Ebenen und Wegen.

7.1 Einbindung der Nutzer

Sämtliche Maßnahmen, die den eingespielten Rhythmus im Schulbetrieb stören oder verändern können, müssen mit der Schulleitung abgestimmt sein. Um den Umfang der Einwirkungen so gering wie möglich zu halten, ist es angeraten, den Nutzergruppen Lehrer, Schüler und Bedienstete im Schulumfeld einen eher moderaten Umfang an Umstellung bzw. Mithilfe zuzumuten. Bereits das Öffnen der Klassenzimmer im Sommerhalbjahr bewirkte allseits eine Irritation.

Ganz besonders schwierig gestaltet sich die Organisation der Sondernutzungsbereiche in denen häufig hochwertige, technische Geräte, Giftstoffe und sonstige Substanzen aufbewahrt werden. Eine Öffnung ist aus Sicherheitsgründen meist nicht empfohlen. Als Ausnahme und unter Berücksichtigung des Sachverhalts, dass der Aufenthalt Dritter im Schulgebäude ausgeschlossen werden kann, wurden im Sommer 2010 über den Schließdienst zwischen 22.00 Uhr und 7.00 Uhr die Türen der Sondernutzungsbereiche ebenfalls geöffnet. Die Wirkung bezüglich der Vermeidung von Überhitzungen konnte erfolgreich und deutlich nachgewiesen werden.

7.1.1 Schulleitung

Bei den Abläufen im Schulbetrieb handelt es sich um Prozesse, die sich mitunter über Jahrzehnte eingespielt haben. Damit Bedarf es bei technischen Neuerungen und noch mehr bei einer Umstellung im Tagesverhalten einer intensiven Vermittlung der Möglichkeiten und Auswirkungen. Die Schulleitung ist somit erster Ansprechpartner bezüglich Kommunikation zum Lehrerkollegium und weiteren Mitarbeitern im Schulbetrieb. Hier gilt es zusammen mit den kommunalen Verantwortlichen für den Schulbetrieb die wichtigsten Änderungen darzustellen und abzustimmen. Die Schulleitungen erhalten dann Empfehlungen und Unterlagen, die zur Integration in den schulischen Betrieb erforderlich sind.

7.1.2 Lehrer

Im Rahmen der Nutzung der Klassenzimmer als Arbeitsplatz sind Lehrer als Hauptakteure in der Gruppe der Nutzer zu sehen. Sie sind in der Regel daran interessiert unter den gegebenen technischen Möglichkeiten möglichst angenehme Arbeits- und Lernbedingungen vorzufinden oder diese mit geringem Aufwand zu erreichen sind. Technische Neuerungen in Bezug auf die Einzelraumregelung für Klassenzimmer und Handlungsempfehlungen können deutlich zur Verbesserung des Raumklimas mit gleichzeitig hohen Akzeptanzwerten beitragen. Voraussetzung für die Nutzung der technischen Möglichkeiten sind jedoch ausreichende Kenntnisse zu Wirkung und Bedienung.

7.1.3 Schüler

Die Schüler sind als zahlenmäßig größter Nutzerkreis in Schulgebäuden so wenig wie möglich in das Betriebskonzept des Einzelraums mit Aufgaben zu belegen. Die Zugänglichkeit der Bedienelemente für die Einzelraumregelung und die Notwendigkeit aktiv an der Schaffung eines angenehmen Raumklimas mitzuwirken, erfordert Informationsmaterial mit Handlungsempfehlungen wie ein angenehmes Raum- und Lernklima erreichbar ist. In diesem Zusammenhang bedarf es nicht nur Aktivitäten während oder für die Unterrichtseinheit, sondern auch für das Verlassen des Klassenzimmers nach dem Unterricht oder während Pausenzeiten. Sehr wirken hier Projektinitiativen bei denen Schülern aus ihrer Sicht die Handlungsempfehlungen ausarbeiten und versuchen die neuen Sachverhalte ihren Mitschülern zu vermitteln. Ein Beispiel für die Durchführung eines derartigen Projekts in einer siebten Klassenstufe wurde an der Theodor-Heuss-Realschule in Offenburg umgesetzt. Der von der Schülergruppe für ihre Mitschüler ausgearbeitete Info-Flyer ist als Anhang II dieses Leitfadens beigelegt.

7.2 Nutzerrelevante Parameter für Klassenzimmer

Angaben zur Einstellung des Raumklimas können unter den folgenden drei Zuständen gruppiert werden und variieren je nach technischer Ausstattung von Schulobjekt zu Schulobjekt:

Klassenzimmer vor der Unterrichtseinheit

- Raumtemperatur (Bereitschaft)
- Abschattung (Bereitschaft)
- Beleuchtung (Kunstlicht aus)
- Fensterstatus (alle geschlossen)

Einstellmöglichkeiten während des Unterrichts

- Raumtemperatur (-3 K bis +3 K über Regelung)
- Abschattung (Lamellenstellung in Bereitschaft oder angepasst)
- Beleuchtung (Kunstlicht /Lamellenwinkel)
- Fensterstatus (angepasst)

Klassenzimmer bei Verlassen des Klassenzimmers

- Raumtemperatur (Bereitschaft)
- Abschattung (Bereitschaft)
- Beleuchtung (Kunstlicht aus)
- Fenster (alle geschlossen)

In drei Schulen des Projekts steht ein Bedienpanel je Klassenzimmer zur Verfügung. Das Panel wie in *Abbildung 7.2-1* veranschaulicht verfügt über LED-Statusanzeigen (z.B. Fenster offen) und Schalter zur Verschiebung des Temperaturwerts für die Heizung (Sollwert +- 3K), Beleuchtung, Bedienung der Oberlichter und Bedienung der Jalousien. Die Beleuchtung wird zusätzlich mit Hilfe eines Präsenzmelders überwacht, der nach ca. 15 Minuten Abwesenheit, die Beleuchtung abschaltet.

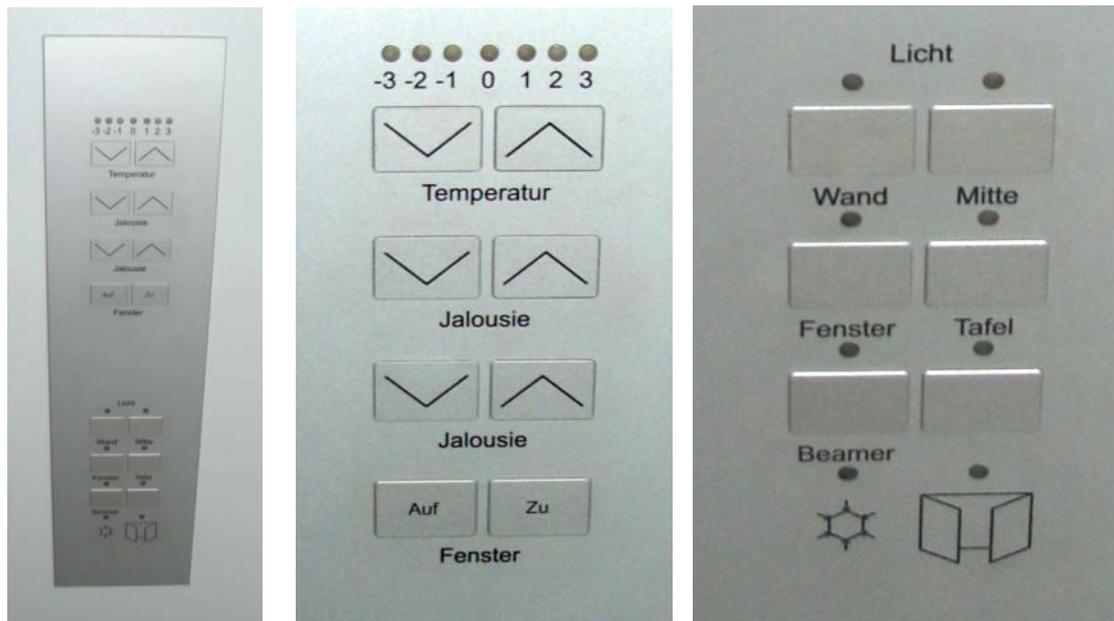


Abbildung 7.2-1: Bedienpanel mit Anzeigen und Bedienmöglichkeiten für Oberlichter, Jalousien und Temperatur-Sollwertverschiebung (Mitte) und Statusanzeigen für Beamerbetrieb und offene Fenster sowie Bedienelemente für das Zu- und Abschalten von Leuchtengruppen (rechts).

Wichtige Empfehlung zur Luftqualität

Es wird empfohlen, Intervalle von 5-10 Minuten Dauer zur Stoßlüftung in den Unterrichtsablauf einzurichten, um eine ausreichende Luftqualität zu sichern. Dabei sollte, wenn möglich, die Klassenzimmertür geöffnet sein. Diese Empfehlung sollte sowohl für das Sommerhalbjahr als auch für das Winterhalbjahr gelten. Dringend ist dabei zu achten, dass Abschattungseinrichtungen vor dem Stoßlüften hochgefahren werden.

7.3 Weitere Akteure zum Erreichen eines nachhaltigen Gebäudebetriebs

7.3.1 Funktion des kommunalen Schulmanagement

Für die Organisation und verwaltungstechnische Koordination des Schulbetriebs im Sinne des Bewirtschaftens kommunaler Liegenschaften ist das Schulmanagement der Kommune verantwortlich. Die Abstimmung hier sorgt für die erforderliche Kommunikation der Maßnahmen gegenüber den Hausmeistern, den Raumpflegekräften und anderen Beschäftigten im schulischen Umfeld. Zusätzliche Aktivitäten im Rahmen von Neuerungen beim Gebäudebetrieb müssen in die jeweiligen Organisations- und Arbeitsprozesse aufgenommen und die Bereitstellung notwendiger Finanzmittel für Zusatzaufgaben sichergestellt werden. Gleiches gilt für die Ausarbeitung und Erstellung von Arbeitsanweisungen und Durchführung von Schulungen und Einweisungen. Dies gilt in hohem Maß bei der Einrichtung neuer Funktionen in der Gebäudeautomation, die zu Änderungen im gewohnten Arbeitsablauf führen.

7.3.2 Information und Schulung der Hausmeister

Der Hausmeister einer Schule ist der erste Ansprechpartner für den Gebäudebetrieb und bei Maßnahmen zur Überhitzungsminderung die wichtigsten Akteure. Mit der Einführung neuer Funktionen bei der Gebäudeautomation und bei den Möglichkeiten der neuen Technik ergeben sich hier die wichtigsten Änderungen im Schulbetrieb. Nachstehend sind drei Aspekte als Hauptaktionsfelder der Hausmeister zu sehen:

Bedienung über die Gebäudeautomation:

- Nutzen von Wetterinformationen wie Wetterwarnungen und Hinweisen
- Monatliche Sicherung historischer Messdaten

Unterstützung bei Kühlmaßnahmen durch Freischalten der Luftwege:

- Öffnen und Schließen der Klassenzimmertüren
- Manuelles Lüften bei Bedarf

Technik:

- Überwachung des zuverlässigen Betrieb
- Umsetzen von Handlungsempfehlungen bei Einführung einer neuen Betriebsweise

8 Wirtschaftlichkeitsanalyse der untersuchten Systeme

Die Komplexität der Aufgabenstellung zeigt, dass die Kühlmaßnahmen mit konventioneller Kühltechnik nicht unmittelbar mit dem im Projekt verfolgten Ansatz vergleichbar sind. Während konventionelle Anlagen wie Splitgeräte oder Kühlregister in kanalgeführten Lüftungseinheiten dem momentanen Wärmeentzug während der Nutzungszeiten dienen, greift das umgesetzte natürliche Klimatisierungskonzept auf die aktive Vermeidung von Wärmeeinträgen und die Entwärmung mit passiven Klimatisierungsansätzen zurück. Dennoch wird im folgenden Abschnitt ein Vergleich der technischen Lösungen über die Entwärmungsleistungen aufgestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die erforderliche Spitzenleistungen für heiße Schultage aus dem öffentlichen Energienetz zu beziehen sind und besonderen Bezugskonditionen unterliegen, die nicht näher beziffert werden können. Die Bedingungen werden sich im Zuge der Transition der Energienetze künftig zusätzlich verschärfen.

Für den Stand der Sanierungsvorhaben wird zudem davon ausgegangen, dass eine zuverlässig einzubindende Möglichkeit für die Abschattungseinrichtungen besteht. Gleiches wird für den zeitgemäßen Stand bei der Gebäudeautomation vorausgesetzt. Da Lüftungsanlagen in erster Aufgabe der Versorgung mit Frischluft dienen, handelt es sich bei der Nachtlüftungsfunktion um eine Zusatzfunktion. Angesichts der Überhitzungstendenz mit der zunehmender thermischer Belastung entwickelt sich die Überhitzungsvermeidung zu einer Primäraufgabe im Sommer. Der Vergleich zielt somit auf die Eigenschaft von Lüftungssystemen für die Entwärmung von Schulgebäuden und den dazu in Konkurrenz stehenden, häufig zielgerichtet eingesetzten, vergleichsweise energieintensiven Splitgeräten.

8.1 Referenz: Lüftung mit konventioneller Klimaanlage

Als Ausgangsbasis für das durchgeführte Projekt wurde die Ausarbeitung eines Planungsbüros für das Dachgeschoss der Oststadtschule aus dem Jahr 2006 herangezogen, die den Einbau einer Klimatisierung mit konventioneller Technik vorsieht. Eine an der Lüftungsanlage orientierte Variante zur Kühlung sieht eine Leistungsaufnahme in der Größenordnung von 60 kW je Geschöß mit einer Kühlleistung von 75 W/m² vor. Die Auslegung erfolgte für das belastete Dachgeschöß der Oststadtschule dessen kühlungsrelevante Nutzfläche mit ca. 800 m² angegeben werden kann.

Die Investitionskosten der Anlage belaufen sich dabei auf ca. 80.000 Euro. Hinzu kommen jährliche Wartungskosten von ca. 600 Euro und die Betriebskosten in Höhe von 45,- Euro/Tag bei einer Betriebszeit von 6 Stunden pro Tag. Ausgehend von ca. 40 Betriebstagen von durchschnittlich 81 Unterrichtstagen ergibt sich die finanzielle Belastung zu Investitionskosten in Höhe von 80.000,- Euro und jährlichen Kosten für Wartung und Betrieb in Höhe von 2400,- Euro. Nicht berücksichtigt wurden die Kosten für die Änderung des Stromanschlusses durch den lokalen Energieversorger. Die aus dem Betrieb der Kühlanlage folgende Kühlenergiemenge kann nur abgeschätzt werden, da keine Erfahrungswerte vorliegen. Anzumerken ist noch, dass das Kühlregister mit der Kältebereitstellungsanlage nur im Sommerhalbjahr betrieben wird und für maximal 81 Unterrichtstage zum Einsatz kommt. Für den reinen Lüftungsanteil sind die Kosten für die Luftkanäle und RLT-Anlage heraus zu rechnen, da sie ganzjährig zum Einsatz kommen. Mit einem Zuschlag von 10 % für die Preissteigerung seit 2006 kann die Klimatisierungsvariante als reine Kühlvariante mit ca. 88.000 Euro absolut und 115 Euro/m² Nutzfläche gerechnet werden. Für den Betrieb der Anlage über 10 Jahre hinweg ergeben Gesamtkosten in Höhe von 112.000,- Euro.

Die Variante mit dem Split-Kühlgerät für Klassenzimmer führt zu Investitionskosten der Größenordnung 33.000 Euro und ist verbunden mit Kosten für Wartung und Betrieb in Höhe von ca. 3000,- Euro/Jahr. Für den 10-Jahreswert ergibt sich für diese Lösung ein Finanzierungsvolumen von 63.000,- Euro. Hierbei ist zu bemerken, dass die eingesetzten Splitgeräte ausschließlich zur Kühlung dienen.

Bei beiden Annahmen ist eine Energiekostenentwicklung nicht berücksichtigt. Bezüglich der CO₂-Emissionen sind die strombetriebenen Anlagen ähnlich einzustufen. Der Bezug von Strom aus erneuerbaren Energien kann in allen Fällen die Umweltbilanz deutlich verbessern.

8.2 Investitionen und erwartete Betriebs- und Instandhaltungskosten

Die Investitionskosten der Stadt Offenburg sind je nach durchgeführter Maßnahme unterschiedlich hoch ausgefallen. Eine abschließende Bewertung zur Bewertung hinsichtlich der Energieeffizienz der

natürlichen Klimatisierungsmaßnahmen steht nicht für alle Objekte zur Verfügung. Insbesondere die Schulen Weier, Oken und Schiller verfügen nicht über eine ausreichende Datenbasis für eine abschließende Bewertung. Für die Schulen, die im Rahmen des Forschungsprojekts mit raumluftechnischen Anlagen nachgerüstet wurden, ergibt sich folgende Bewertung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Energieeffizienz.

Bezüglich der Lüftungsvarianten kann zwischen drei grundsätzlichen Varianten unterschieden werden:

- Zentrale Dachlüfter im Treppenhaus
- Etagenlüftung mit Flurlüftern
- Zonenlüftung mit RLT-Anlagen mit WRG

Die Zusammenstellung der *Tabelle 8.2-1* enthält Angaben zu Kosten, die im Laufe des Projekts für die drei Kostengruppen Investitionen, Betriebskosten und Wartung- und Instandhaltung anzusetzen bzw. zu erwarten sind. Die Position Abschattungseinrichtungen, reguläre Fenster und Gebäudeautomation für das Gebäude wird als gegeben angenommen, da sie im Baubudget bereits vorgesehen sind.

Tabelle 8.2-1: Kostenansatz für die Lüftungsvarianten in Euro

	Lüftungsvariante		
	Zentrales Treppenhaus mit Dachlüftern	Zentrale Etagenlüftung mit Flurlüftern (2 Geschoße)	Dezentrale Zweizonenlüftung mit RLT-Anlage und WRG (8 Doppelzonen)
Fenster	k.A.	k.A.	5.550,- / 6.400,- Ohne/mit Oberlichtern
Lufttechnische Steuerelemente (elektr. Luftklappen/ Oberlichter, Lichtkuppeln)	1.200,- / Kippfenster, 40 Räume mit je 2 Oberlichtern	11.000,- (9 Klappfenster)	1.100,- (Differenzbetrag zur Verglasung ohne Oberlichter inkl. Motor, 20 Fenster)
Kostenansatz Gebäudetechnik (nur Programmieraufwand)	12.000,-	12.000,-	12.000,-
Lüftungseinheiten	29.000,- (ca. 16.600 m ³ /h bei ca. 5 kW)	23.000,- (ca. 13.200 m ³ /h bei ca. 4 kW)	130.000,- (ca. 6.400 m ³ /h bei ca. 7,3 kW)
Betriebskosten	900,-	720,-	1.300,-
Wartungsaufwand	500,-	500,-	1.000,-
Aktivierung durch Personal/ Nutzer/ Gebäudeautomation	ja/ ergänzend/ ja, Zeitfenster u. Grenzwerte	ja/ ergänzend/ ja, Zeitfenster u. Grenzwerte	Nur Notschalter/ nein/ dezentrales Steuergerät und Gebäudeautomation

Zum Teil waren für einzelne Schulobjekte keine aktuellen Kostenangaben verfügbar, da die Bauelemente oder Komponenten bereits vorhanden waren. Dies gilt insbesondere für Abschattungseinrichtungen und Oberlichtfenster, die bereits installiert waren, aber technisch überholt und zum Teil in die Ansteuerung über die Gebäudeautomation überführt werden mussten.

Tabelle 8.2-2: Abschätzung der Gesamtkosten in Euro

	Zentrales Trep-	Zentrale Etagen-	Dezentrale Zweizo-
--	-----------------	------------------	--------------------

	penhaus mit Dachlüftern Bezugsfläche: 2900 m ²	lüftung mit Flurlüftern Bezugsfläche: 1800 m ²	nenlüftung mit RLT-Anlage und WRG Bezugsfläche: 1.120 m ²
Investitionen o. Abschattungseinrichtungen	99.000,-	51.000,-	159.059,20
Betriebskosten /Jahr bei 0,25 Euro/kWh, 80 Tage	900,-	720,-	1310,-
Wartung u. Instandhaltung /Jahr inkl. Personaleinsatz ca. 1,5 h an 40 Schließdiensttagen	1400,-	1400,-	1000,-
Gesamtinvestitionen je m² klimarelevante Nutzfläche	34,93	29,51	144,08
Betriebskosten (10 Jahre)	23.000,-	21.200,-	23.104,-

Aus einer Veröffentlichung des BINE-Informationendienstes kann die nachstehende Tabelle für die zu erwartenden Kosten für Lüftungen als Vergleich herangezogen werden. Die Kosten im Projekt bewegen sich somit innerhalb der Bandbreiten, die als Kostenabschätzungen bekannt sind. Die zentralen Abluftanlagen in Treppenhäusern und Geschoßen kommen etwas günstiger weg, werden jedoch als Lüftungssysteme nicht für die reguläre Taglüftung eingesetzt. Hier ist ein Untersuchungsbedarf gegeben, um den energieeffizienten Einsatz der um die Taglüftungsoption zu erweitern.

Tabelle 8.2-3: Investitionsmargen und Bewertung von Lüftungssystemen

Lüftungssystem	Luftqualität	Energieeinsparung	Pro m ² Klassenraum
Fensterlüftung	schlecht		
Abluftsysteme	gut	gering	65 – 90 €/m ²
Zentrale Lüftung mit WRG	gut	hoch	100 – 150 €/m ²
Dezentrale Lüftung mit WRG	gut	hoch	90 – 170 €/m ²

Quelle: Kostenansatz für Lüftungskonzepte nach BINE Themeninfo „Gebäude Sanieren – Schulen“, I/2006

8.3 Vergleich und Bewertung

Hinsichtlich der Investitionskosten als auch bei den Betriebskosten fällt die RLT-Anlage mit WRG deutlich stärker ins Gewicht. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie in eine zentrale Gebäudeautomation integriert wird. Die Kosten für die zusätzliche Nachtlüftungsfunktion sind hier bereits kalkuliert.

Trotz einer noch nicht optimalen Abstimmung der Steuerungsprozesse bei der Einbindung in den Alltagsbetrieb der Schulen funktionierte der Ansatz mit der automationsunterstützten Nachtluftkühlung sehr zufriedenstellend. Mitunter wurden die Lüftungseinheiten im Projekt sehr knapp bemessen. Damit wird bei Betrachtung der gesamten kühlrelevanten Nutzung eher die untere Leistungsgrenze der Nachtlüftung ausgenutzt. Die zentrale Steuerung des Betriebs über die Gebäudeautomation zeigt hier klar Vorteile bei der Realisierung einer Raumselektion über die Innenraumtemperatur. Stärker belastete Räume können so stärker mit Nachtluft gespült werden. Aus den Messungen in der Oststadtschule wurden 1,6 MWh für die Nachtluftkühlung des eher mäßigen Sommers 2011 eingesetzt. Die Überhitzungsstunden mit Temperaturen oberhalb 26 °C in den Klassenräumen konnten während der Unterrichtszeiten um bis 60% reduziert werden.

Das Aufrüstpotenzial für die RLT-Anlage mit WRG für weitere Maßnahmen ist mit Hilfe eines Kühlregisters in der Regel gut. Der Aufbau einer Kälteverteilung und die engen Räumlichkeiten in den oft in die abgehängten Decken montierten Einheiten, lassen jedoch sehr hohen Nachrüstkosten vermuten. Bei den zentralen Treppenhaus- und Etagenlüftern sind kostengünstige Nachrüstungen zur Steigerung der Wärmekapazität wie mit dem Auftragen von PCM-Putzen, die in *Abschnitt 9.1* näher beschrieben sind, und mit Hilfe kleiner Kühleinheiten für stark belastete Räume denkbar.

8.3.1 Übersicht der Maßnahmen in den untersuchten Schulgebäuden

Die nachstehenden Tabellen geben einen Überblick über die Maßnahmen, die in den ausgewählten Schulen in der ersten Projektphase umgesetzt wurden und inwieweit Anregungen in die Planung einer anstehenden Bausanierung einfließen konnten.

Eine zweite Phase mit Optimierungsmaßnahmen konnte nicht überall umgesetzt werden, da größere Umbaumaßnahmen nur während der Ferienzeiten durchgeführt werden können, um den Schulbetrieb nicht zu sehr zu stören.

Nähere Angaben zu den Schulen und zu den durchgeführten Maßnahmen finden sich in den beige-fügten Objektdokumentationen der Schulgebäude. Die Steckbriefe enthalten auch Auswertungen und Schlussfolgerungen, die für das jeweilige Schulobjekt spezifisch sind. Dies betrifft insbesondere Handlungsempfehlungen für den Hausmeister, der als wichtigster Akteur kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Überhitzungsminderung unterstützen sollte.

Schule	Natürliche Querlüftung	Nachtlüftung mechanisch	Zu-/Abluftanlage	Zusatzmaßnahmen
Theodor-Heuss-Realschule	1 Kippfenster in Klassenräumen und manuell geöffnete Türen	Seit 2010 über 2 Dachlüfter	Nicht vorgesehen!	Vorbereitung zur LQ-Verbesserung
Oststadtschule (DG) EG, 1.OG + 2.OG	2 Oberlichtfenster, Fenster u. Türen (zum Flur) Fachräume	2 Lüfter in den Stirnseiten des Flurs im DG 2 Lüfter im 2. OG	Option für Sonderbereiche	Oberlichter im DG und Klappfenster im 2. OG auf Kippstellung heiße Phase: Fachräume hinzunehmen
Konrad-Adenauer-Schule	3 Dachfenster im Treppenhaus	Nicht vorgesehen!	8 RLT-Anlagen mit WRG im 1. OG und 2. OG	Integration in Gebäudeautomation



Abbildung 8.3-1: Maßnahmen zum sommerlichen Überhitzungsschutz in den intensiv untersuchten Schulgebäuden.

Schule		Natürliche Querlüftung	Nachtlüftung mechanisch	Zu-/Abluftanlage	Zusatzmaßnahmen
Schule Weier	4	Oberlichtfenster und Lichtkuppeln der RWA und seit 10/2009 auch in Einzelräumen	Optional	Nicht vorgesehen!	Programmierung der Querlüftung mit Unterstützung der GA
Oken-Gymnasium Fachklassentrakt	5	Oberlichtfenster in Klassenräumen und Treppenhaus, Flurtüren und Klappfenster der Aula	Nicht vorgesehen!	Nicht vorgesehen!	Integration der Kipp- und Klappfenster in die zentrale GA
Schiller-Gymnasium (DG), Fachräume	6	k. A.	Abluftanlagen für Fachräume im DG		Programmierung Nachlüftungsfunktion



Abbildung 8.3-2: Maßnahmen zum sommerlichen Überhitzungsschutz in Teilbereichen von Schulgebäuden

8.3.2 Signifikante Auswertekurven

Das Klima im südlichen Oberrheingraben zeigte in den vergangenen 13 Jahren eine starke Streuung bei der Intensität der Sommerhalbjahre. Wie aus den Dauerlinien der *Abbildung 8.3-3* zu entnehmen ist, hatten drei der vier Projektjahre eine eher moderate Ausprägung und ein Jahr (2010) eine intensivere im Vergleich zum sehr warmen Jahr 2006. Um die Maßnahmen im Rahmen des Offenburger Projekts angemessen bewerten zu können, wurden Messdaten der Jahre 2009 und 2011 genauer betrachtet. Da das Projekt erst zum Juni 2008 starten konnte, liefern die Jahre 2009 und 2011 die beste Verfügbarkeit bei den Messdaten für die Lern- und Arbeitsbedingungen vor und nach der Durchführung von Maßnahmen.

Zur Abhilfe bei Überhitzungssituation wurden kurzfristige Maßnahmen mit Hilfe der Hausmeister vor allem in den ersten drei Projektjahren durchgeführt. Diese beschränken sich jedoch auf den manuellen Betrieb von Abschattungseinrichtungen und das Öffnen von Fenstern, Lichtkuppeln und Oberlichtern zur Querlüftung insbesondere in den Morgenstunden ab ca. 6.00 Uhr.

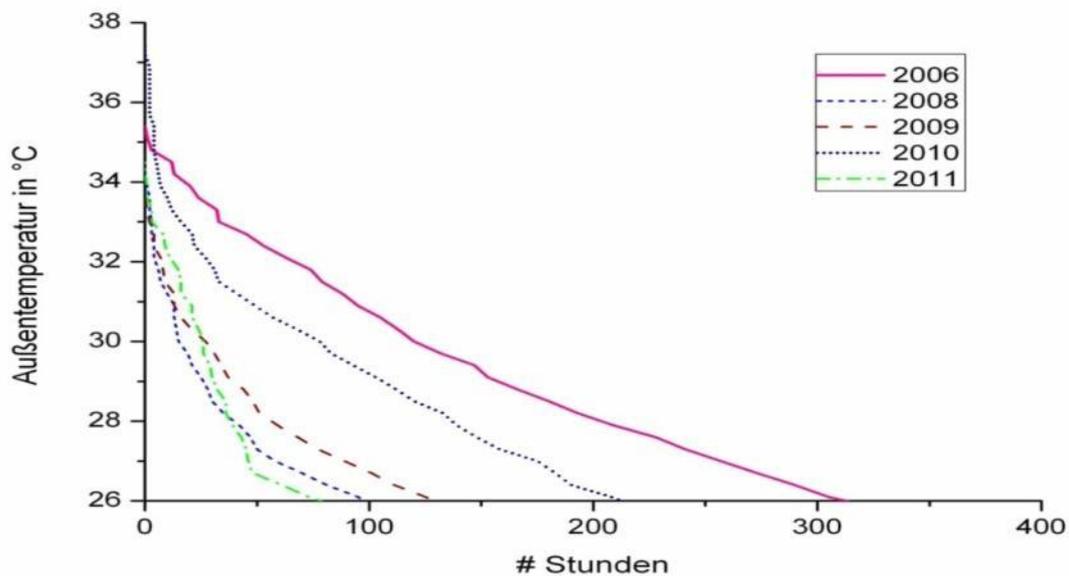


Abbildung 8.3-3: Dauerlinien der Außentemperaturen oberhalb 26 °C an Unterrichtstagen in den Projektjahren 2008 bis 2011 im Vergleich zum sehr warmen Jahr 2006

8.3.3 Nachtluftkühlung

Die Nachtluftkühlung zeigt sehr gute Ergebnisse bei der Reduzierung des Überhitzungspotenzials bei den untersuchten Schulgebäuden. Die Lern- und Arbeitsbedingungen konnten über die Sommerperiode hinweg verbessert werden indem die Anzahl der Stunden mit Raumtemperaturen über 26 °C um bis zu 50% reduziert werden konnten.

Bei aufeinanderfolgenden Hitzetagen mit Außentemperaturen größer 30 °C denen tropischen Nächten folgen, kommt die Nachtluftkühlung an ihre Grenzen. Das Nachtlüftungspotenzial kann in diesen Fällen häufig nicht abgerufen werden, da die geringste Nachttemperatur bei deutlich über 20 °C liegt und die Temperaturdifferenz zwischen der Außentemperatur und der Raumtemperatur unter 3 Kelvin sinkt. Fällt dann die Außentemperatur im Laufe der Nacht auf kühlere Werte ab, so reicht anschließend die Zeit nicht mehr aus, um einen notwendig langen Betrieb der Nachtlüftung zu gewährleisten. Verfügt die Lüftungsanlage in diesem Fall nicht über eine gute Luftwechselleistung (3 bis 4 Luftwechsel je Stunde), reicht die reduzierte Betriebszeit bis zu den frühen Morgenstunden nicht aus, um die am Vortag eingetragene Wärme wieder hinaus zu transportieren.

Die Auslegung der Lüftungsanlagen orientiert sich häufig an der geforderten Mindestfördermenge für eine definierte Anzahl an Personen (z.B. 25 Schüler und ein Lehrer) je Raum. Damit erreichen die Nachtlüftungen nur bei einem konsequent raumselektiven Betrieb (unterstützt durch eine Einzelraumregelung) einen ausreichenden Temperaturhub. Hier sind Leistungsreserven gefordert, wenn die Nachtlüftung als einzige Kühlmaßnahme eingeplant wird.

Die Wirkung der Nachtlüftung zeigt sich am besten bei zwei der Schulobjekte, die bereits seit Projektbeginn vermessen wurden. Es handelt sich dabei um die Theodor-Heuss-Realschule und die Oststadtschule, die die Erich-Kästner-Realschule und die Anne-Frank-Grundschule beherbergt. Anfangs wurde mit Hilfe von Kleindatenloggern in stark belasteten Klassenzimmern ein Wärmeprofil aufgezeichnet, um den Ausgangszustand zu erfassen. In den Folgejahren wurden dann Lüftungsanlagen eingebaut und unterstützend Programmierungen der Gebäudeautomation vorgenommen. Das thermische Verhalten konnte so gut dokumentiert und bewertet werden.

Bei der *Abbildung 8.3-4* handelt es sich um die nächtlich Temperaturabsenkung in der Theodor-Heuss-Realschule im Juni 2010. Der erreichbare Temperaturhub ist mit knapp 3 Kelvin zwar relativ gering. Beachtet man jedoch, dass die Nachtlüftung erst ab 23 °C für einen Raum durch das Öffnen der Oberlichtfenster freigegeben wird, ist er ausreichend, wenn es sich bei dem Gebäude ein Gebäude mit hoher thermischer Masse handelt (vgl. hierzu *Abbildung 2.2-1*).

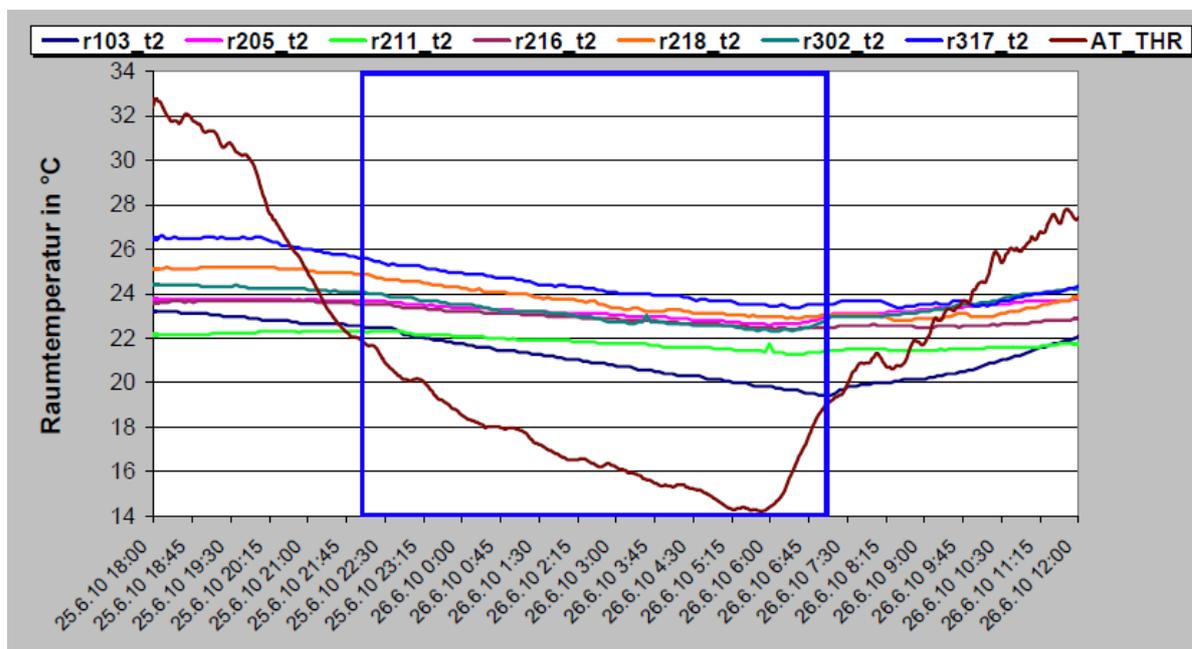


Abbildung 8.3-4: Nachtlüftungszeitfenster und Temperaturhub bei der Theodor-Heuss-Realschule, r103_t2 bis r317_t2 Klassenräume in den Geschosse EG bis 2.OG mit südlicher Ausrichtung.

Beim Leichtbau-Dachgeschoß der Oststadtschule zeigt sich der Nachtlüftungseffekt im Temperaturhub wie in *Abbildung 8.3-5* dargestellt deutlich stärker. Auch wenn die Kühlmaßnahmen in der Oststadtschule im Mittel den Ausgleich gut umsetzen, wird das Lern- und Arbeitsklima der Theodor-Heuss-Realschule durch die gedämpften Temperaturspitzen als angenehm empfunden. Durch Änderung der Grenzwerte wurden noch Verbesserungen vorgenommen, die im Jahr 2011 umgesetzt wurden.

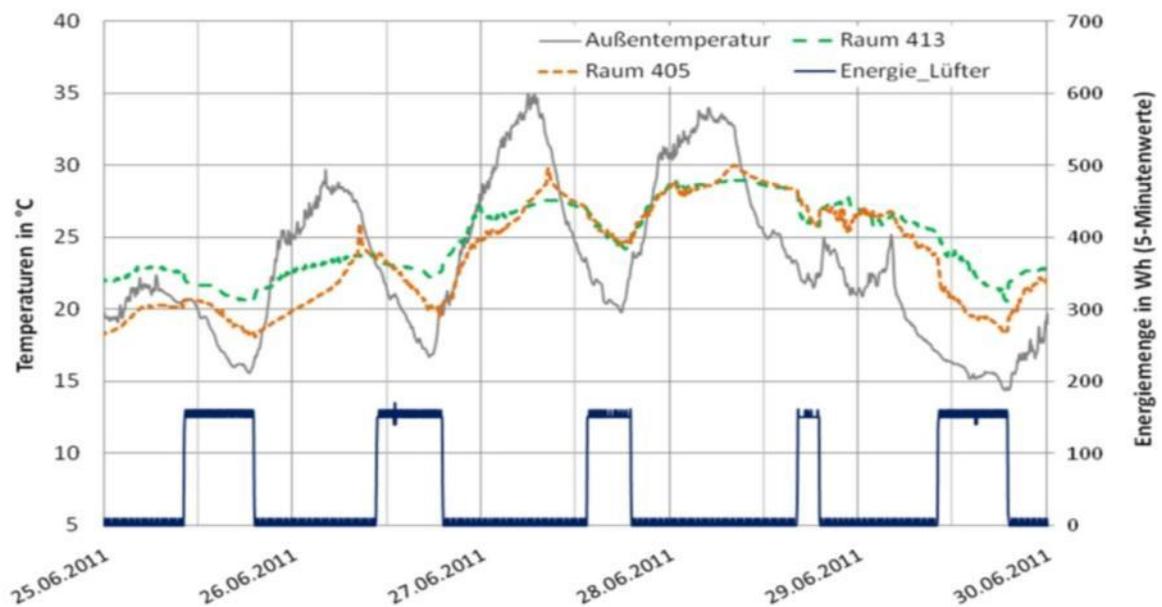


Abbildung 8.3-5: Nachtlüftungszeitfenster und Temperaturhub bis zu 5 Kelvin an heißen Tagen bei der Oststadtschule. Ein zu niedriger Außentemperaturgrenzwert führte in einer Tropennacht zu verminderter Betriebszeit und damit zur Abschwächung des Kühleffekts. Folge war eine Überhitzung am 28.06.2011, die am Folgetag schnell wieder abgebaut wurde.

Vergleichsmessungen aus dem Jahr 2009 zeigen deutliche Reduzierungen bei den Überhitzungsstunden an Unterrichtstagen. Die *Abbildung 8.3-6* und *Abbildung 8.3-7* zeigen die Erfolge bei der Minderung der Wärmebelastungen in Referenzräumen der Oststadtschule und der Theodor-Heuss-Realschule, die beide nach Südosten ausgerichtet sind. Mit aufgetragen ist zum Vergleich die Überschreitung der Außentemperatur über den Grenzwert von 26 °C hinaus. Damit wird die Vergleichbarkeit der beiden Jahre 2009 und 2011 belegt. Bezugnehmend auf die *Abbildung 1.1-1* und die *Abbildung 8.3-3* ist anzumerken, dass das Jahr 2009 in der Belastung während der Unterrichtszeiten ca. 42 % wärmer ausfällt als das Jahr 2011. Dennoch sind die beiden Jahre vergleichbar, da Minderungsmaßnahmen während der Ferien (außer Sommerferien) und an Wochenenden weiterlaufen. Ein Vergleich mit dem besser geeigneten Jahr 2008 ist aufgrund fehlender Daten nicht möglich, da das Projekt im Sommer 2008 erst gestartet wurde.

Während die Erwärmung des Referenzraums in der Oststadtschule um ca. 56 % reduziert wurde, gelang dies bei der Theodor-Heuss-Realschule nur um 49 %. Die geringere Reduzierung bei der Theodor-Heuss-Realschule liegt in erster Linie an der allgemein geringeren Tendenz zur Überschreitung von 30 °C als Innenraumtemperaturgrenze durch den internen Temperatenausgleich über das gemeinsame Treppenhaus, die geringere Geschoßanzahl und den günstigeren Standortbedingungen durch Schatten spendenden Baumbewuchs auf der Südseite. Bei beiden Schulen werden auch nach Projektabschluss Optimierungspotenziale gesehen, die über Gebäudeautomation, die Feineinstellung von Parametern und die Einbindung von Nutzern erreicht werden können.

Die Ergebnisse des nachgeschalteten Monitorings zeigen beim Oken-Gymnasium eine Konsolidierung des Betriebskonzepts und belegen wie *Abbildung 8.3-8* veranschaulicht eindrucksvoll den Wärmelast mindernden Effekt der Maßnahmen. Ein Optimierungsprozess, der auf starke Wärmephasen durch entsprechende Anpassung der Lüftungsintensität reagiert, konnte durch den sehr milden Schulsummer nicht umgesetzt werden. Die bisher eingerichteten Maßnahmen erwiesen sich als voll ausreichend für den Sommer 2012 ohne auf die intensiveren Stufen (stärkere Querlüftung und mechanische Abluftanlage) zurückgreifen zu müssen.

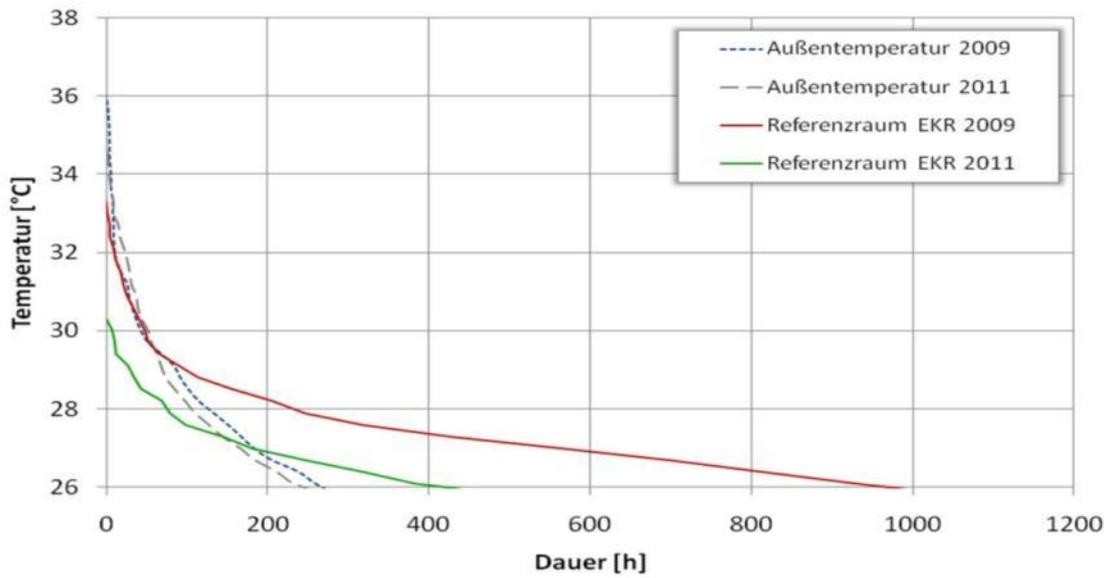


Abbildung 8.3-6: Minderung der Temperaturbelastung in einem Referenzraum im Dachgeschoß der Oststadtschule

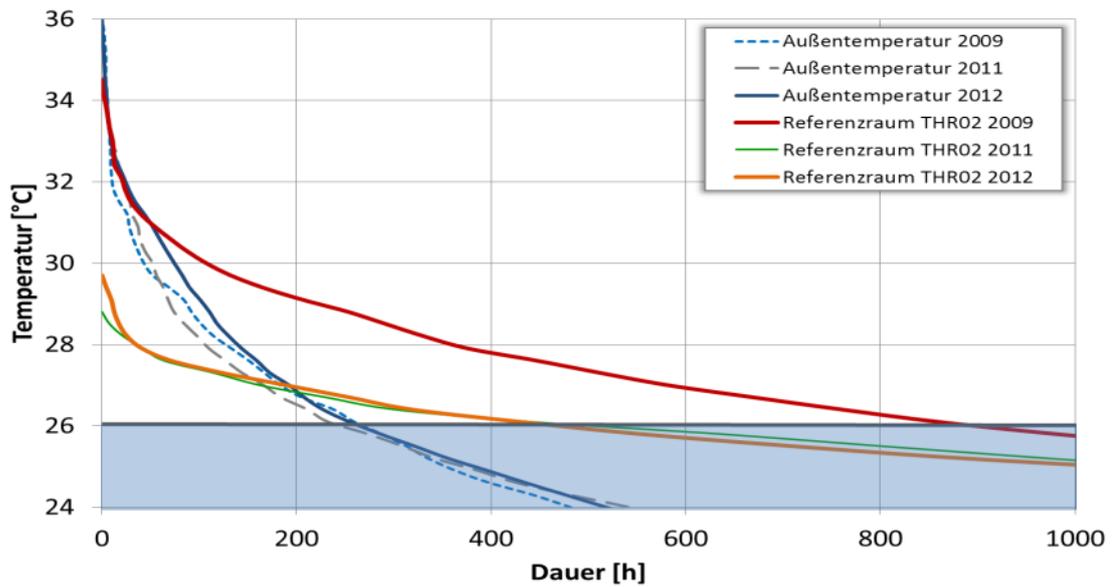


Abbildung 8.3-7: Minderung der Temperaturbelastung in einem Referenzraum im 2.OG Dachgeschoß der Theodor-Heuss-Realschule

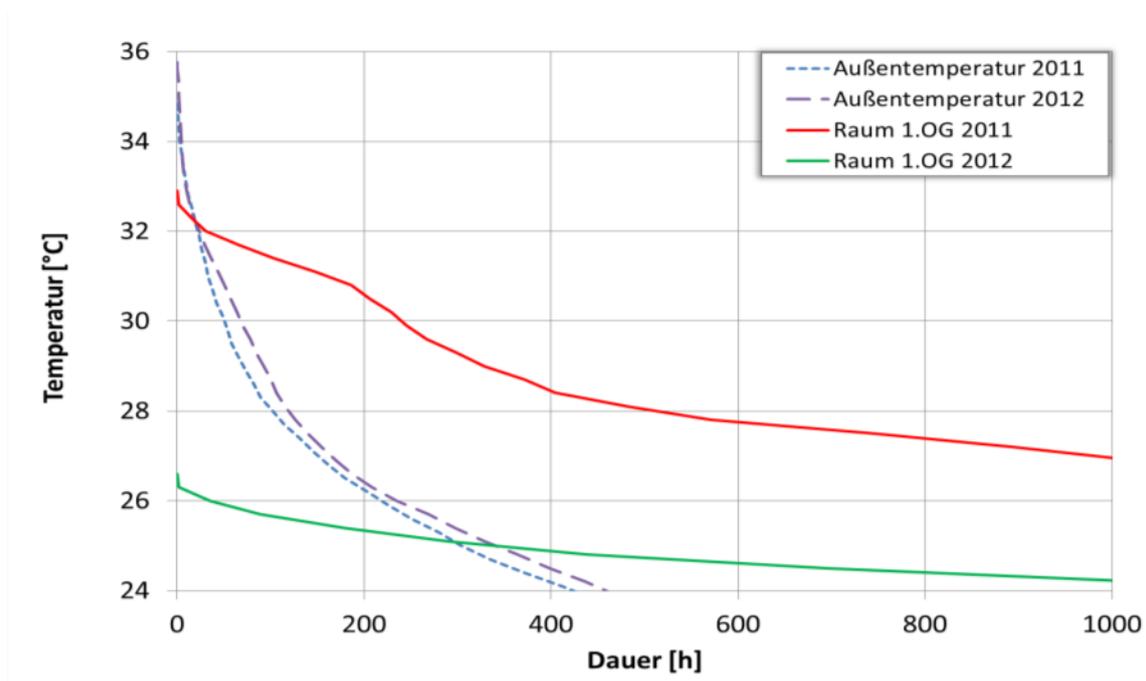


Abbildung 8.3-8: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Süden ausgerichteten Raum des 1. OG im Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums

8.3.4 Analyse zum CO₂-Gehalt in Klassenzimmern sanierter Schulgebäude

Durch den Einsatz von mobilen und festinstallierten CO₂-Messgeräten konnten erste Untersuchungen zum Einsatz zentraler Abluftventilatoren durchgeführt werden, die zu einer Verbesserung der Raumluftqualität beitragen können.

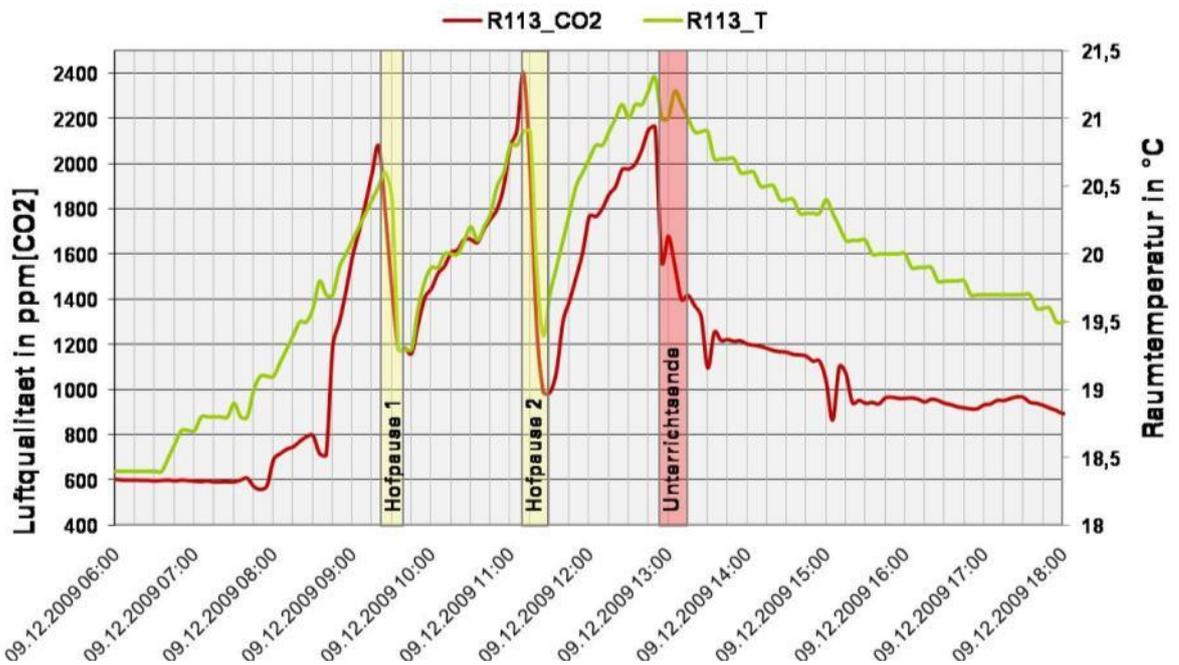


Abbildung 8.3-9: Analyse der CO₂-Konzentration im Schulbetrieb über den Tagesverlauf

Basierend auf den Konzentrationsmessungen in der Oststadtschule aus *Abbildung 8.3-9* wurden in der Theodor-Heuss-Realschule im Februar 2011 Algorithmen in die Gebäudeautomation programmiert. Die Erfahrungen aus dem Testbetrieb sind vielversprechend und zeigen ein beachtliches Potenzial an, das es den zentralen Abluftanlagen ermöglicht die Stoßlüftungsaktivitäten zwischen den Unterrichtsblöcken zu unterstützen.

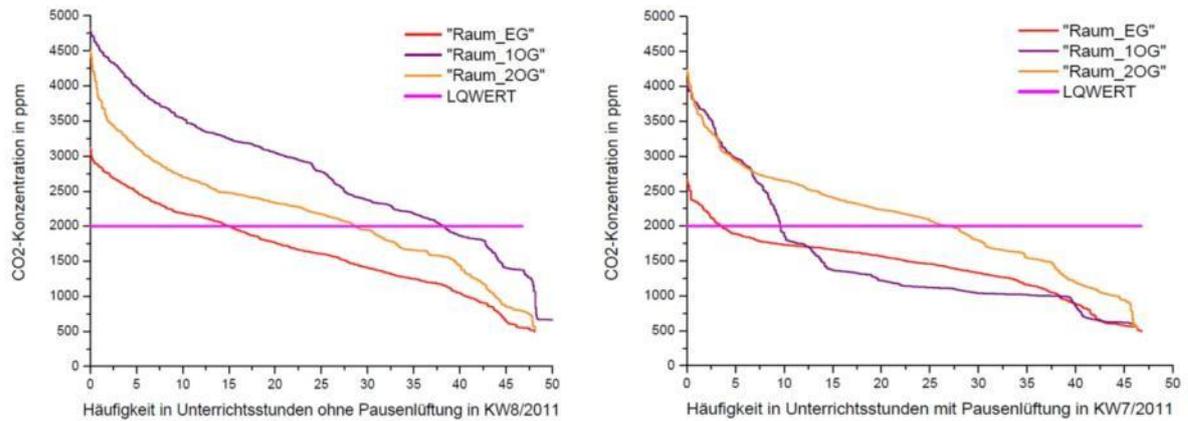


Abbildung 8.3-10: Analyse der CO₂-Konzentration bei unterstützender Pausenlüftung

Die Messungen in drei Klassenräumen der *Abbildung 8.3-10* zeigen für den Testräume im EG und 1.OG der Theodor-Heuss-Realschule starke Reduzierungserfolge bei den Überschreitungen des gesetzten Grenzwerts von 2.000 ppm. In beiden Fällen wird Überschreitungsdauer auf etwa ein Drittel des Vergleichswerts gesenkt. Der Testraum im 2.OG zeigt hingegen keine Auswirkung. Die Ursache ist beim Nutzerverhalten zu suchen, da in der Pause bei geschlossener Tür der Luftaustausch kaum erfolgen kann. Dies weist auch auf die Notwendigkeit der Information von Nutzern hin, die erst auf die Möglichkeiten der Technik aufmerksam gemacht werden müssen.

Die durchgeführten Tests belegen ein Potenzial bei der Luftqualitätsverbesserung, das nahe an die Effizienz der RLT-Anlagen mit WRG herankommt. Die Einrichtung dieser Funktion über die Gebäudeautomation könnte die Wirtschaftlichkeit von Lüftereinheiten ohne Wärmerückgewinnung interessant machen und den Betrieb der sommerlichen Nachtlüftung auf den Luftverbesserungsbetrieb im Winter ausweiten. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit sollte an dieser Stelle fortgesetzt werden.

9 Technische Optimierungspotenziale

Für die Optimierung der natürlichen Gebäudeklimatisierung stehen weitere innovative Technologien zur Verfügung, die im untersuchten Vorhaben nur vereinzelt zum Einsatz kamen. Sie werden hier zur Vervollständigung aufgeführt.

9.1 Erhöhung der Wärmekapazität

Unter Beachtung der bautechnisch zulässigen Massezunahmen, kann das wärmekapazitive Verhalten mit Hilfe von Wand-, Boden- und Deckeneinträgen in einem Schulgebäude verbessert werden. Hierzu dienen Putze, Fertigwandelemente, Decken – und Bodenplatten oder Beläge, die Wärmeeinträge tagsüber absorbieren. Um dieses Verhalten über längere Zeiträume aufrecht zu halten, ist für eine regelmäßige Entladung/Entwärmung der kapazitiven Elemente Sorge zu tragen. Dies kann relativ aufwendig über ein aktives Kühlsystem erfolgen oder über einen ausreichenden nächtlichen Wärmeaustausch durch Nachtluftkühlung sicherzustellen.

Fällt die Entwärmungsleistungen des Entladeverfahrens zu schwach aus, bleiben die zusätzlichen Kapazitäten nahezu wirkungslos oder verstärken gar die Effekte der Wärmebelastung. Die folgenden Abschnitte beschreiben zwei in Frage kommende Beispiele zur nachträglichen Erhöhung der Wärmekapazitäten in Schulgebäuden

9.1.1 PCM-Materialien

Der Einsatz von PCM-Materialien wurde anfangs für das Projekt in Erwägung gezogen. Nach Recherchen zu Erfahrungsberichten wurde festgestellt, dass der Erfolg stark von den Möglichkeiten zur nächtlichen Entladung des Systems abhängt. Das Bestreben im Projekt ging deshalb in erster Linie zur Realisierung der Entladungsleistungen, die mit den umgesetzten Maßnahmen erreicht werden sollten. Bei PCM-Materialien kann mit einer Wärmekapazität von 70 Wh/m² bis 90 Wh/m² gerechnet werden. Geeignete Schmelzpunkte liegen bei 26 °C für den oberen Schmelzpunkt bzw. 22 °C – 23 °C für den unteren Schmelzpunkt. Die Schmelzpunkte erfordern somit eine Mindesttemperaturdifferenz von 4 Kelvin. Wird die Entladeleistung nicht über eine Kühlmaßnahme bereitgestellt, bleiben die Materialien in ihrer Funktion unwirksam.

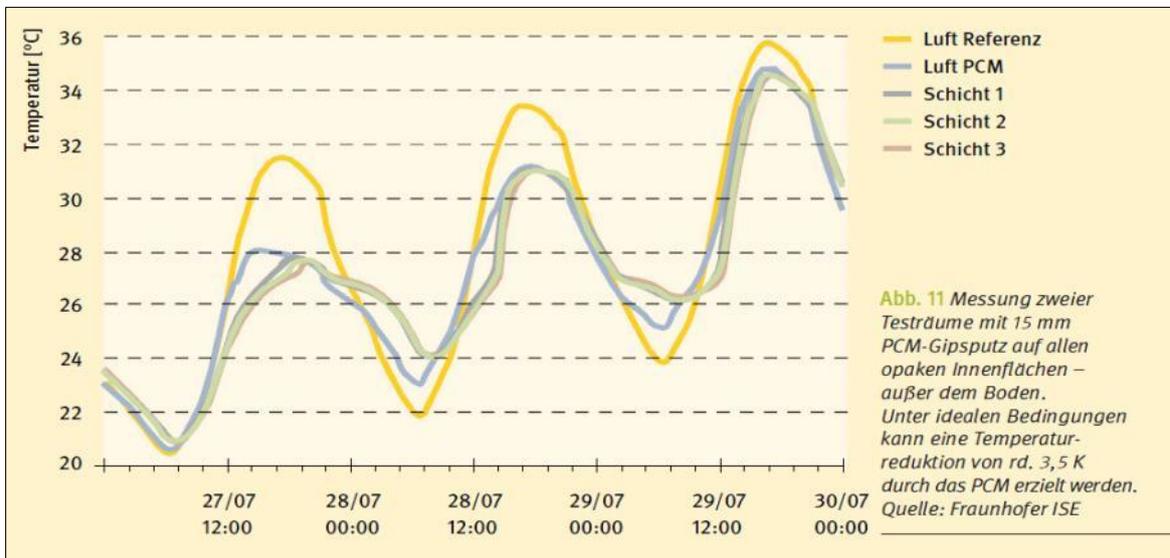


Abbildung 9.1-1: Verhalten von PCM-Gipsputzen, Quelle: BINE Themeninfo 1/2009/ Fraunhofer ISE

9.1.2 Lehmwandelemente

Zur Erhöhung der Wärmekapazität von Klassenräumen kann auch Lehm als Naturwerkstoff zum Einsatz kommen. Werden Lehmwandelemente mit Kapillarrohren wie dem Klimaregister der *Abbildung 9.1-2* eingesetzt, wird die Ergänzung um ein aktives Kühlsystem begünstigt. Der Vorteil der Lehmplatten ist dabei, dass auch eine gute Feuchteregulierung erfolgt, da es kaum zur Ausbildung von Kondenswasser durch eine zu niedrig gewählte Kühlwassertemperatur kommt, da das Kondenswasser vom Lehm sehr gut absorbiert wird.

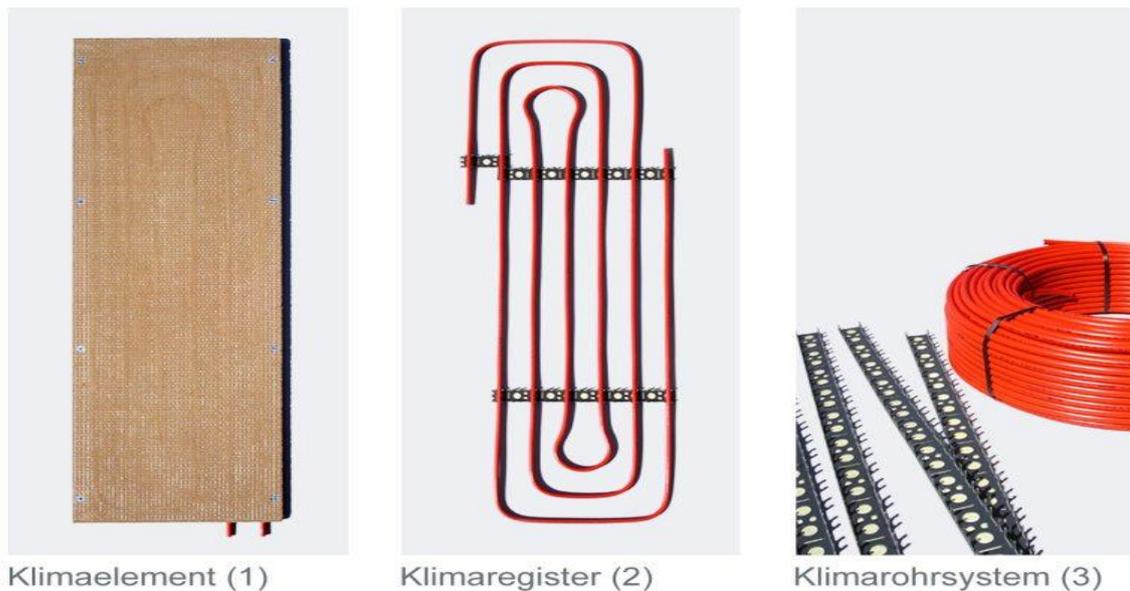


Abbildung 9.1-2: Komponenten eines Lehmwandelement-Kühlsystems, Quelle: WEM Wandheizung GmbH

9.2 Vermeidung von solaren und internen Gewinnen

Mit dem Einsatz von außen liegenden Abschattungseinrichtungen können bis zu 90% der solaren Gewinne vermieden werden. Die Möglichkeiten des Nutzereingriffs während der Nutzungszeiten führen dennoch zu solaren Gewinnen, die den erreichbaren Wert von 90% deutlich reduzieren können. Lässt der Nutzer (Schüler oder Lehrer) die Außenjalousien während des Unterrichts hochfahren, ist mit einer erhöhten Sonneneinstrahlung in das Klassenzimmer zu rechnen. Hier kann die Optimierung durch den Einsatz von Sonnenschutzverglasungen, die Verstellung des Lamellenwinkels der Jalousien oder das Bekleben transparenter Flächen erfolgen.

9.2.1 Einsatz von Sonnenschutzverglasung

Der Einsatz einer Sonnenschutzverglasung wurde in zwei Klassenzimmern der Theodor-Heuss-Realschule untersucht. Die Auswirkungen auf den Tagelichtkoeffizienten in den Klassenzimmern waren mit den eingesetzten Sonnenschutzgläsern nur geringfügig schlechter. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Sonnenschutzglas ist bei vorhandenen außen montierten Abschattungseinrichtungen, die über die Gebäudeautomation betrieben werden, in Frage zu stellen. Insbesondere gilt dies bei der Theodor-Heuss-Realschule durch die bereits eingerichtete Möglichkeit, den Lamellenwinkel von Außenjalousien bedarfsorientiert einzustellen.

9.2.2 Verstellmöglichkeit des Lamellenwinkels bei Außenjalousien

Die Einstellung des Lamellenwinkels bei Jalousien erfordert eine präzise Ansteuerung durch den Stellmotor. Gelingt diese Genauigkeit bei Ansteuerung sowohl für den manuellen Betrieb als auch für

die Steuerbefehle über die Gebäudeautomation, kann der Lamellenwinkel und die abgeschattete Fensterfläche so eingestellt werden, dass ein störungsfreier Unterricht gewährleistet ist. Es ist somit eine ausreichende Lichtzufuhr in den jeweiligen Klassenraum ohne störende Blendeffekte gesichert. Die *Abbildung 9.2-1 bis 9.2.3* zeigen Empfehlungen wie der Lamellenwinkel in Abhängigkeit des Sonnenstands eingestellt sein sollte.



Abbildung 9.2-1: Sonnenschutz bei tiefstehender Sonne und verbesserter Wärmeschutz, bevorzugt im Winter (links)

Abbildung 9.2-2: Sonnenschutz bei hochstehender Sonne und als Bereitschaftstellung für bei der Ansteuerung durch die Gebäudeautomation (Mitte)

Abbildung 9.2-3: Sonnenschutz bei tiefstehender Sonne und verbesserter Wärmeableitung nach außen, bevorzugt im Sommer (rechts)

9.2.3 Semiopake Gläser oder Beschichtung von Fenstern und Türen

Milchglaseinsätze bei Oberlichtern tragen zur Reduzierung von solaren Energieeinträgen bei und reduzieren störende Blendeffekte durch die morgendlich oder abendlich tief stehende Sonne. Häufig werden die nachträglichen Beschichtungen bei Fensterbereichen eingesetzt, die nicht in den Genuss einer Beschattung z.B. durch Jalousien kommen.

Häufig werden auch Notausgänge hinsichtlich der Verglasung transparent gehalten. Liegen diese Notausgänge auf der südlich, ausgerichteten Fassadenseiten, ist eine Sonnenschutzverglasung zur Reduzierung der Solareinträge empfohlen.



Abbildung 9.2-4: Transparent gehaltenener Notausgang bei der Schule Weier (links)

Abbildung 9.2-5: Beschichtete bzw. beklebte Oberlicht-Kippfenster im Dachgeschoß der Oststadtschule, die keine Abschattung durch Außenjalousien erhalten (rechts).

9.2.4 Baumbewuchs vor südlichen Fassaden

Die geschickte Nutzung von Laubbölgern im Gelände südlich der Schulgebäude wertet zum Einen den Schulhof und das bebaute Umfeld der Schule auf und sorgt für natürliche Verschattung des Gebäudes im Sommer und durch den Blattwechsel im Winter für zusätzliche solare Gewinne. Diese Maßnahmen sollten im Rahmen der langfristig ausgerichteten Hofgestaltung/Hofsanierung in Betracht gezogen werden, da die Wachstumszeiten von Bäumen keine unmittelbare Abhilfe darstellen.

Bei den untersuchten Schulobjekten wirkten sich umliegende Bäume bei der Theodor-Heuss-Realschule, dem Oken-Gymnasium und bei der Schule Weier aus. Aufgrund von Form und erreichbarer Baumhöhe bleiben Abschattungseffekte auf untere Geschoße beschränkt.



Abbildungen 9.2-6: Schatten spendender Baum im Südwesten der Schule in Weier im Sommer (links)

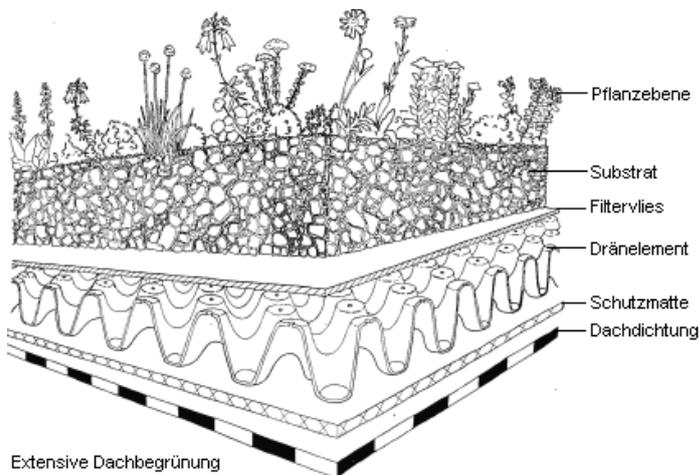
Abbildung 9.2-7: Baum im Südwesten der Schule in Weier im Winter (rechts)

9.2.5 Begrünung von Dachflächen

Verdunstungskälte (adiabatische Kühleffekte) durch begrünte Dachflächen verhindert die starke Aufheizung von Flachdächern. Weit verbreitete Erfahrungen mit Undichtigkeiten bei Flachdachlösungen lassen die Begrünung von Dachflächen bei Schulgebäuden auf dem ersten Blick unwirtschaftlich erscheinen. Tatsächlich soll nach Angaben des Verbands für Bauwerksbegrünung die Lebensdauer um eine halbe Lebensdauer eines herkömmlichen Flachdachs verlängern.

Bei der Begrünung wird die Vegetation auf eine Vegetationstragschicht angepflanzt unter der sich eine Filterschicht und eine Dränschicht befinden. Aufgesetzt wird die Dränschicht auf einer Schutzlage

unter der ein Durchwurzelungsschutz die Trennung zur Dachhaut mit oder ohne weitere Trennlage bildet.



Extensive Dachbegrünung

Abbildung 9.2-8: Schichtaufbau einer typischen Dachbegrünung [Quelle: www.gruendachtechnik.de]

Eine wichtige Rolle bildet bei der Begrünung von Dachflächen die zusätzliche Dachlast bei der statischen Belastungsrechnung. Bei intensiven Dachbegrünungen sind Flächenlasten bis ca. 300 kg/m² in Erwägung zu ziehen. Häufig wird bei einer extensiven mit einer Belastung von ca. 15 kg/cm bis 20 kg/cm Gründachaufbau gerechnet. Dieser ist auch bei Wegfall der Bekiesung nicht unerheblich. Die Kosten liegen je nach Intensität der Begrünung zwischen 15 bis 50 Euro/m².

Die fachgerechte Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen erfolgt nach den Richtlinien und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL). Der Einsatz der Dachbegrünung wird bei Schulgebäuden im Bestand als eher gering eingestuft, da die Statik des Dachs häufig keine größeren Flächenlasten zulässt.

9.2.6 Einsatz einer zusätzlichen Kühlung

Reichen die Maßnahmen der Nachtluftkühlung nicht aus, um die Wärmegevinne des Vortrages in der Nacht wieder aus dem Gebäude hinauszubefördern, so ist eine aktive Kühlung zur Spitzenlastkapung möglich. Hierbei ist entscheidend, dass die Anlage selbst deutlich kleiner dimensioniert werden kann. Als klimaschutztechnisch hocheffiziente Verfahren können die nachstehend beschriebene adiabatische Kühlung bei vorhandener RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung und die Kühlleistung aus Erdwärmesonden zum Einsatz kommen.

9.2.7 Adiabatische Kühlung

Es handelt sich hierbei um eine kostengünstige Kühlungsvariante durch Realisierung einer Verdunstungskühlung. Die aus dem Raum hinausgeführte warme Abluft wird mit Wasser bedüst, berieselt oder anders befeuchtet und über den Wärmetauscher geführt. Durch die Befeuchtung der Abluft kühlt diese ab und kann über den Wärmetauscher der Wärmerückgewinnungsanlage die Zuluft um bis zu 10 Kelvin abkühlen.

Das Verfahren wird derzeit zur Produktreife gebracht und es stehen dem Markt nur wenige Geräte zur Verfügung. Die Kosten werden auf ca. 50 % einer konventionellen Kühltechnik angegeben während die Energieeinsparungen bei bis zu 40 % beziffert werden. Die Vorteile dieser Technik liegen vor allem in der Umweltfreundlichkeit, da weder FCKW noch andere Kältemittel zum Einsatz kommen. Beim Einsatz von Wasser werden Geräte erprobt, die eine Rezyklierung des Wassers vorsehen und in die Regenwassernutzung eingebunden werden können.

9.2.8 Kühlregister mit Rückkühlung über eine Erdwärmesonde

Ein sehr effizienter und erprobter Weg zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist der Einbau eines Kühlregisters in den Zuluftstrang der RLT-Anlage. Erste Erfahrungen mit dieser Technik konnte die Forschungsgruppe net beim vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technik BMWi geförderten EnOB-Projekt „Langzeitmonitoring des Solar Info Center Freiburg“ [6] sammeln. Sehr effizient wurde dort die Kühlleistung von 5 ca. 80 m langen Erdsonden für die Kühlung eines 220 m² großen Seminarraums und des Foyers genutzt. Der Hauptteil des erforderlichen Energieaufwands auf die Lüfterleistung, die für die Belüftung des Raums ohnehin erforderlich ist und die Umwälzpumpen um die Kälte aus dem Erdreich zum Kühlregister zu befördern.

9.2.9 Weitere Verbesserung der Gebäudeautomationsfunktionen

Bei der Optimierung der Einstellvorgänge mit Hilfe der Gebäudeautomation sind nicht nur Parameteränderungen oder die Verbesserung von Algorithmen als Verbesserungsbereiche zu sehen. Temperaturgrenzwerte, die in den Objekten eingestellt sind, basieren auf Erfahrungswerten und haben sich nach der bisherigen Ausprägung der Sommerperioden als ausreichend erwiesen. Je nachdem wie sich die Gebäude bei der Nachtlüftkühlung individuell verhalten, kann es vorkommen, dass Grenzwerte korrigiert/nachjustiert werden müssen. Auch bei der technischen Ausstattung sind Erweiterungen denkbar, die zum Beispiel Sondernutzungsbereiche besser einbeziehen oder Orientierungshilfen und Zusatzinformation bereitstellen.

9.2.10 Zugangssperre für Sondernutzungsbereiche

Räume wie Chemie-, Physik- oder Technikräume, Sekretariat oder Rektorenbüros bedürfen einer gesonderten Betrachtung. Es können dabei zwei Wege zur Anwendung kommen.

Zum einen ist es der nachträgliche Einbau von Rollläden mit Metallsegmenten, die teilweise ausgestanzt sind um einen ausreichenden Luftwechsel zu sichern. Die Rollläden werden elektromotorisch betrieben und können über einen Schüsselschalter aktiviert werden. Die bestehenden Raumtüren können dann wie in Abbildung 9.2-9 offen stehen. Die Kosten für eine derartige Nachrüstung liegen bei ca. 2.000 Euro je Tür. Die Anwendung dieser Lösung lässt sich im Rahmen eines zentralen Lüftungskonzepts mit Etagen oder Treppenhauslüftern realisieren. Eine Integration in die zentrale Infrastruktur der Gebäudeautomation ist nicht zwingend erforderlich, da bei versehentlich verschlossener Tür ohnehin der Weg zum Raum zum Öffnen der Tür ansteht.



Abbildung 9.2-9: Rollläden mit ausgestanzten Metallsegmenten zur Integration von Sondernutzungsbereichen in zentrale Nachtlüftungskonzepte (li: Montage im Innenbereich des Fachraums, re: Zugang zum Flur gesichert)

Zum anderen kann eine dezentrale Lüftung für Räume wie Rektorenbüros, Lehrerzimmer oder Sekretariat geplant und ausgeführt werden. Die Räume bilden in Schulgebäuden häufig einen gut zusammenfassbaren Gebäudeteil. Die dezentrale raumlufttechnische Anlage mit WRG und variablen Volu-

menstromregelung kann für mehrere Räume mit einem maximalen Volumenstrom für die maximale Personenkapazität des Lehrerzimmers ausgelegt werden. Der Aufwand für die Verlegung von Rohrleitungen für Zu- und Abluftöffnungen hält sich räumlich begrenzt und innerhalb einer definierten Brandschutzzone. *Abbildung 9.2-10* und *Abbildung 9.2-11* zeigen Beispiele für derartige Raumkonstellationen.

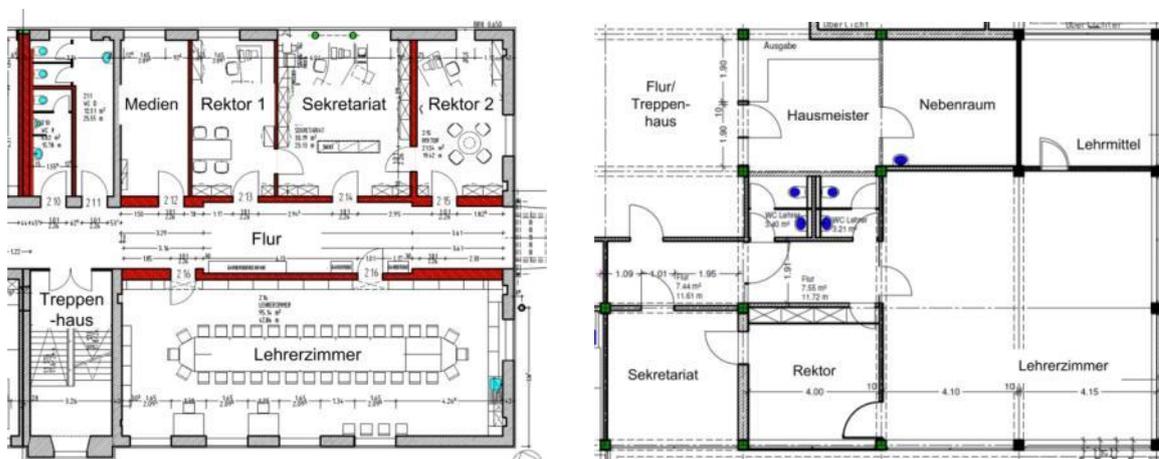


Abbildung 9.2-10: Organisationsbereich in der Oststadtschule (links),

Abbildung 9.2-11: Organisationsbereich in der Schule Weier (rechts)

9.2.11 Automationsunterstützte Luftqualitätsverbesserung

In einigen der Schulobjekte wurden zur Erfassung des Raumklimas Kombisensoren eingesetzt, die die Raumtemperatur, relative Feuchte und CO₂-Konzentration messen. Näheres zu den Untersuchungen und Testläufen ist den Steckbriefen der jeweiligen Schulen zu entnehmen, die als Anhang diesem Leitfaden beigefügt sind.

Das Thema Luftqualität hat sich in Forschungsarbeiten zum Thema effiziente Schulgebäude als besonders wichtig erwiesen und auch im Laufe des Projekts als investitionsrelevant herauskristallisiert. Insbesondere im Vergleich von RLT-Anlage mit WRG und zentralen Abluftanlagen hat sich ein neues Arbeits- und Entwicklungsfeld ergeben. Bei den RLT-Anlagen besteht Bedarf an Lösungen für die Verbesserung des Luftwechsels für die Nachtlüftung und bei den zentralen Abluftanlagen im Bereich der Möglichkeiten zur Unterstützung bei der Luftqualitätsverbesserung. Vorversuche liefern sehr erfolgversprechend und die Lösungsansätze müssen näher untersucht und bezüglich Umsetzbarkeit vermessen und validiert werden.

Für die Gebäudeautomation ist in Zusammenhang mit Maßnahmen zur Luftqualitätsverbesserung mit der Einbindung neuer Funktionen zu rechnen.

9.2.12 Unterstützende Nutzung von Wetterinformationen

Die starke Schwankung im Entwärmungspotenzial bedingt durch die Tag-Nacht-Folge, temporäre Abkühlung durch Gewitter, Ausnutzung kühlerer Phasen an Wochenenden oder in den Ferienzeiten spricht für den Einsatz von Wetterprognose gestützten Verfahren als Optimierungsmethode für den Gebäudebetrieb. Die erfolgreiche Anwendung ist jedoch nur bei einer guten und zuverlässigen datentechnischen Anbindung der Schulen und einer gut eingerichteten Gebäudeautomation mit Aufzeichnung von Wetter- und Raumklimamessdaten möglich. Die Nutzung von Wetterinformationen und Wetterprognosen für die Minderung von Überhitzungen im Sommer konnte im Projekt nur konzeptionell ausgearbeitet werden.

Die Potenziale sind vorhanden und werden in einer ersten Stufe durch die Messung, Bereitstellung und Anzeige aktuell gemessener Wettermessdaten umgesetzt.

In einer zweiten Stufe erhält der Hausmeister Zusatzinformationen zur Wetterentwicklung, die zur Umsetzung von Handlungsempfehlungen führen. Diese können zum Beispiel das Öffnen der Klassenzimmertüren, das Kippen von Hauptfenstern in Obergeschoßen oder das Öffnen der Türen von Sondernutzungsbereichen sein.

In einer dritten Stufe werden Gebäudeautomationsfunktionen mit Hilfe von Wetterprognosen eingerichtet, die eine automatisierte Einstellung von Anlagenparametern zulassen.

Das Konzept bedarf einer sehr gut eingerichteten Kommunikationsinfrastruktur bei der die Einbindung eines Webservices oder der Zugriff auf einen Datenserver reibungslos funktioniert.

9.2.13 Vollautomatisierte Einstellung der Luftwege

Die vollautomatisierte Einstellung wird im Schulgebäudebereich als zu kostenintensiv eingestuft. Mit empfindlichen Türsensoren und dem Aufwand für brandschutzkonforme Überströmöffnungen können die Luftwege über die zentrale Gebäudeautomation freigelegt werden. Der erforderliche Einsatz von Sensoren und Aktoren würde einen beachtlichen Aufwand für die Wartung und Instandhaltung nach sich ziehen.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Jedes Schulgebäude stellt bei Klimaschutz und Lernklima eine Herausforderung dar. Die Ähnlichkeit in der Nutzung von Schulgebäuden begünstigt die Erstellung eines Leitfadens, der eine bewertete Zusammenstellung von Raumkonstellationen in Verbindung mit empfohlenen Maßnahmenpaketen enthält. Kommunale und private Träger werden durch den Leitfaden bei Entscheidungen unterstützt und es wird eine Multiplikatorwirkung für den Klimaschutz einer ganzen Region erzielt.

Die im Projekt untersuchten Nachtlüftungskonzepte erreichen unterschiedliche Entwärmungsleistungen bei der Reduzierung der Kühllast. Nahezu alle werden jedoch unwirksam, wenn die vorhandenen außen liegenden Abschattungseinrichtungen die eingeplanten Abminderungsfaktoren nicht erreichen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die vorliegenden Schulgebäude nicht über ausreichende Wärmespeicherkapazitäten verfügen. Bei geringer Wärmekapazität der Gebäudemassen, reagiert das Gebäude stärker mit dem Verlauf der Außentemperatur, d.h. schnelle Temperaturanstiege und -Abfälle wirken sich auch über entsprechend schnelle Anstiege und Abfälle bei den Innentemperaturen aus. Besonders bei den sogenannten tropischen Nächten mit nächtlichen Tiefsttemperaturen oberhalb von 20 °C können in diesen Gebäuden hohe Innentemperaturen über 30°C nicht verhindert werden. Dies gilt vor allem für Klassenräume, die nach Süden oder Südwesten ausgerichtet sind. Hier muss nachmittags und abends besonders stark Wert auf eine Vermeidung von solaren Einträgen gelegt werden.

Die frühzeitige Einstellung der Betriebsparameter und die Information der Nutzer können dafür sorgen, dass bei angekündigten Hitzeperioden, ein Schulgebäude rechtzeitig konditioniert wird, damit es zu keinen Überhitzungen kommt. Steht hingegen eine kühlere Periode an, kann Energie eingespart werden, wenn die Kühlung in der Intensität reduziert gefahren wird oder ganz entfällt. Vielversprechend ist hier der seit mehreren Jahren verfolgte Ansatz des prädiktiven Gebäudebetriebs, der von der Forschungsgruppe net der Hochschule Offenburg erfolgreich umgesetzt wird. Bei den Offenburger Schulen konnte aufgrund der kommunikationstechnischen Randbedingungen die Anwendung nicht erfolgen, soll jedoch in Zusammenarbeit mit der Stadt Offenburg für die Schulen weiterentwickelt werden.

Eine wichtige Aufgabe erfüllen bei den untersuchten und durchgeführten Maßnahmen der zuverlässige Betrieb der Gebäudeautomation und die korrekt einprogrammierten Algorithmen für die Regelung und Steuerung der notwendigen Anlagen und steuerbaren Elemente. Die abschließende Abnahme der Gewerke übergreifenden Funktionen wird zwingend empfohlen. Die Sicherstellung, dass Fehlfunktionen und Fehleinstellungen rechtzeitig erkannt werden, kann nur über das zentrale Gebäudemanagement der Kommune gewährleistet werden. Ein Monitoring zur Überprüfung des Betriebs sollte nach erfolgter Abnahme für mindestens eine funktionsrelevante Periode erfolgen und bei der Auftragsvergabe berücksichtigt werden.

Proprietäre Systeme in einzelnen Bestandsgebäuden sind häufig nicht miteinander kompatibel. Eine Integration unterschiedlicher Gebäudeautomationssysteme an einer zentralen Stelle ist mit Zusatzkosten verbunden, die in der Bauplanung bisher kaum Beachtung fanden.

Die Dynamik einer nachhaltigen Betriebsführung für ein Gebäude überfordert in der Regel die zeitlich in längeren Zeiträumen und mit Kennzahlen agierenden CAFM-Systeme. Ergänzende prädiktive Betriebsverfahren haben ein hohes Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden, können jedoch nur umgesetzt werden, wenn die Durchgängigkeit bei der Kommunikation, d.h. der Zugang zu den Funktionen der Gebäudeautomation jederzeit möglich ist.

Hinsichtlich der Investitionskosten zeigen die zentralen Lüftungssysteme für Geschosse und Treppenhäuser in Verbindung mit dem automationsgestützten Betrieb der Abschattungseinrichtungen den geringsten Aufwand. Über die Gebäudeautomation unterstützt durch das Reinigungspersonal, den Hausmeister und die Nutzer können zentrale Systeme mit einem vertretbaren Mehraufwand deutlich effizienter arbeiten. Erste Tests dieses Lüftungstyps zur Verbesserung der Luftqualität verliefen sehr vielversprechend für die Unterstützung der Stoßlüftung in den großen Hofpausen. Diese Betriebsweise soll im Rahmen von Anschlussprojekten tiefer gehend untersucht werden.

Die RLT-Anlagen mit WRG und Bypass für die Nachtlüftung zeigten einen vergleichbar hohen Investitionsaufwand in Verbindung mit relativ hohen spezifischen Betriebskosten. Vorbehaltlich der Bewertung durch eine lufthygienische Untersuchung lassen sich in Bezug auf den CO₂-Gehalt der Raumluft sehr gute Ergebnisse erzielen. Die Leistungsfähigkeit bei der Nachtlüftung ist bei der üblichen Auslegung zur Sicherung einer guten Luftqualität eher bescheiden und lässt Optimierungsbedarf erkennen. Der Weg über Kaltluftklappen, der als Alternative zu den Bypässen wurde im Projekt nicht umgesetzt und sollte primär als Variante zur Frischluftzufuhr eingeplant werden.

Bei der Energieeffizienz zeigen die Nachtlüftungskonzepte deutliche Vorteile zu konventionellen Klimaanlageanlagen auf der Basis von Kompressionskälte, die unverhältnismäßig hohe Anschlussleistungen bei den Schulgebäuden nach sich ziehen. Ein geringeres Investitionsvolumen folgt für Splitgeräte in stark exponierten Einzelräumen. Durch den konsequenten, über die Gebäudeautomation zentral gesteuerten nächtlichen Austrag überschüssiger Wärme konnten die Unterrichtsstunden mit Temperaturüberschreitungen über 26 °C um bis zu 60 % reduziert werden und so zu einem angenehmeren Lern- und Arbeitsklima führen. Die verbleibenden Unterrichtsstunden mit Tendenz zur Überhitzung fallen in stark exponierten Klassenzimmern und Fachräumen an und bedürfen zusätzlicher Maßnahmen zur Minderung. Beispielsweise zeigte der Einsatz von Rollladenelementen für Sondernutzungsbereiche wie Technikräume mit hochwertigen Geräten, Chemie- oder Physiksäle sehr gute Wirkungen. Die Fachräume können so gut in das zentrale Nachtluftkühlkonzept eingebunden werden.

Eine optimale Anpassung der Algorithmen und Parameter konnte durch die eher moderaten Sommer während der Projektlaufzeit nicht erfolgen. Die Erweiterung des Monitoring auf den Sommer 2012, d.h. nach Durchführung aller Maßnahmen im Projekt, zeigte auf, dass eine Integration der Maßnahmen in den Schulbetrieb erforderlich ist. Der Sommer 2012 fiel wie im Vorjahr eher mild aus und zeigte keine wesentlichen technischen Erkenntnisse. Die Fortführung der Einbindung der Projektmaßnahmen in den Gebäudebetrieb ist geboten, da sich viele Funktionen ohne Mitwirkung der Akteure vor Ort nicht erfolgreich umsetzen lassen.

Referenzen

- [1] Biesinger, A., Feldmann, T., Hettler, F.: Planungsleitfaden "Nachhaltige sommerliche Klimatisierung", Klimazwei-Projekt Simulationsgestützte Automation für die nachhaltige sommerliche Klimatisierung von Gebäuden", BMBF, März 2010
- [2] Bollin, E., da Costa Fernandes, J., Feldmann, T.: „Langzeitmonitoring des Neubauvorhabens Solar Info Center (SIC) Freiburg“, Poster/Vortrag zum EnOB-Symposium, 1.-2.Oktober 2008 in Dresden, 2008
- [3] Passivhaus Institut: „Leitfaden energieeffiziente Bildungsgebäude“, Darmstadt, 7/2010
- [4] Bollin, E., Feldmann, T.: Prädiktive Gebäudeautomation, Fachbeitrag zum Tagungsband des Mesago FM-Kongress in Frankfurt, 9.-11.3.2010
- [5] A. Delsante, Tor Arvid Vik (Editors): Hybrid Ventilation, Annex 35 – HyBvent Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, A State-of-the-Art Review, Publikationen der IEA – ECB&CS Annex 35, 2002
- [6] 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
- [7] Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Umweltbundesamt, Berlin, 2008

Das Projekt wurde im Auftrag der Stadt Offenburg durchgeführt und vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG gefördert.

Anlagen

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 Nachtluftkühlung 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 Nachtluftkühlung 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:

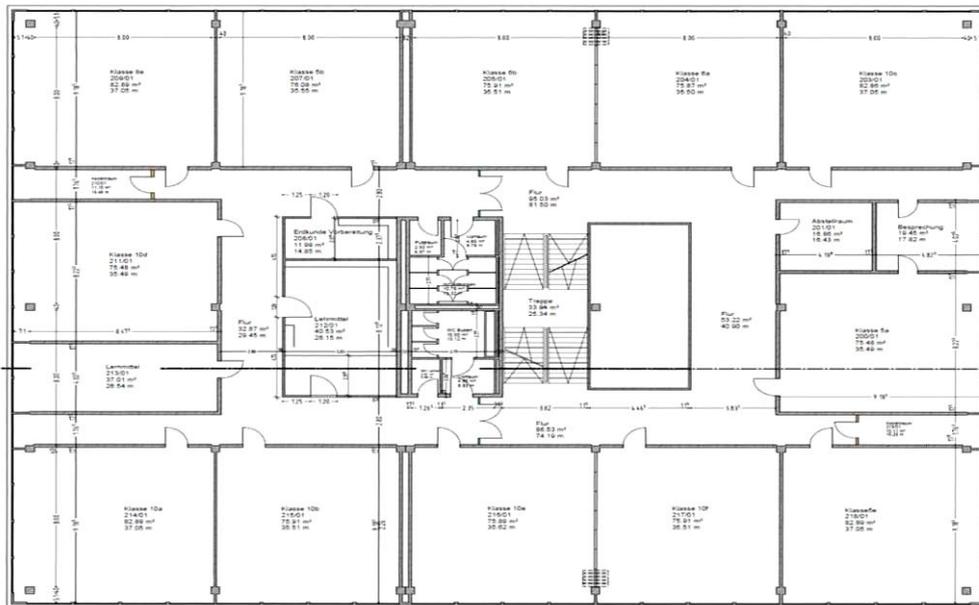


Abbildung 2: Grundriss des 1. Obergeschosses der Theodor-Heuss-Realschule.

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).

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.



Abbildung 10: Die Theodor-Heuss-Realschule in den Wintermonaten mit heruntergefahrenen Jalousien als Auskühlungsschutz.

Lüftungskonzept

Durch das zentrale Treppenhaus wird gewährleistet, dass die beiden im Dach integrierten Abluftventilatoren, warme Luft aus dem ganzen Gebäude abführen.

Der Betrieb der Nachtlüftung wird über zwei Zeitfenster freigegeben. Zum einen verhindert das Periodenfenster (Datumsfenster) mit der Beschränkung auf das Sommerhalbjahr (1.04. bis 30.09.) Kollisionen mit dem Heizungsbetrieb. Zum anderen wird die Nachtlüftungsfunktion über ein Zeitfenster auf den Zeitraum zwischen 22.00 Uhr nachts und 7.00 Uhr morgens begrenzt. In diesem Zeitraum werden die kühlest, sommerlichen Temperaturen eines Tages erwartet.

Bei Raumtemperaturen oberhalb von 23 °C und einer Temperaturdifferenz von mindestens 3 K zwischen der Außentemperatur und der Raumtemperatur werden die Oberlichter der Klassenzimmer geöffnet und die Ventilatoren im Treppenhaus bei voller Leistung betrieben.

Um die Luftwege für eine gute Querlüftung freizulegen, ist es erforderlich, die Türen der Räume durch das Reinigungspersonal am Nachmittag oder den Hausmeister (Schließdienst gegen 22.00 Uhr) aufzustellen. Die dabei entstehenden Luftwege in der Theodor-Heuss-Realschule sind in Abbildung 11 veranschaulicht.

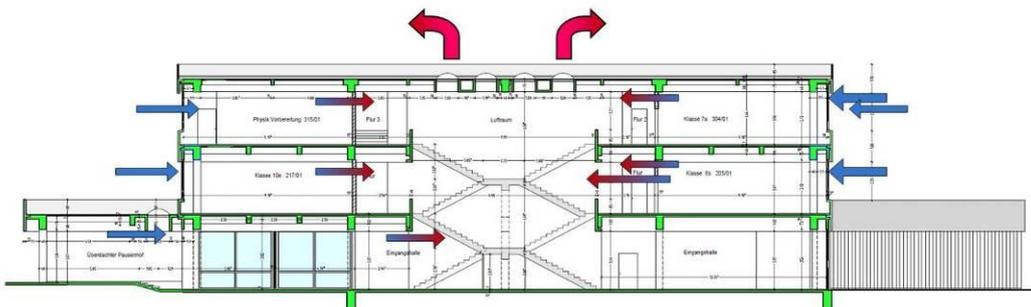


Abbildung 11: Luftwegeschema der Theodor-Heuss-Realschule.

Regelung und Steuerung

Eine übermäßige Auskühlung einzelner Räume wird vermieden, wenn die Raumtemperatur den Grenzwert von 19 °C unterschreitet. Der entsprechende Raum wird aus dem Nachtlüftungsvorgang durch das Schließen der Oberlichtfenster herausgenommen. Die verbliebenen Räume können dadurch intensiver gespült werden, bis alle Räume die Temperatur von 19 °C unterschritten haben oder das Nachtlüftungszeitfenster am frühen Morgen um 7.00 Uhr schließt. Der Vorteil dieses raumselektiven Verfahrens ist, dass bei einer kleiner dimensionier-

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.

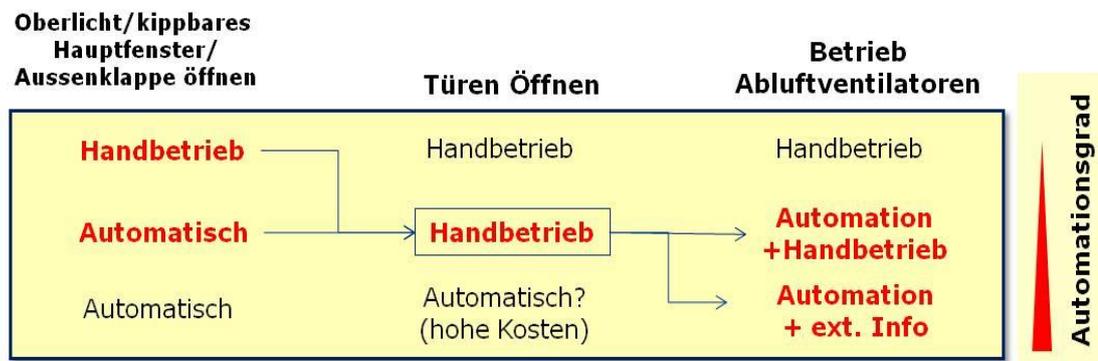


Abbildung 12: Darstellung des Automationsgrads beim halbautomatischen Betrieb der Nachtlüftung.

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.

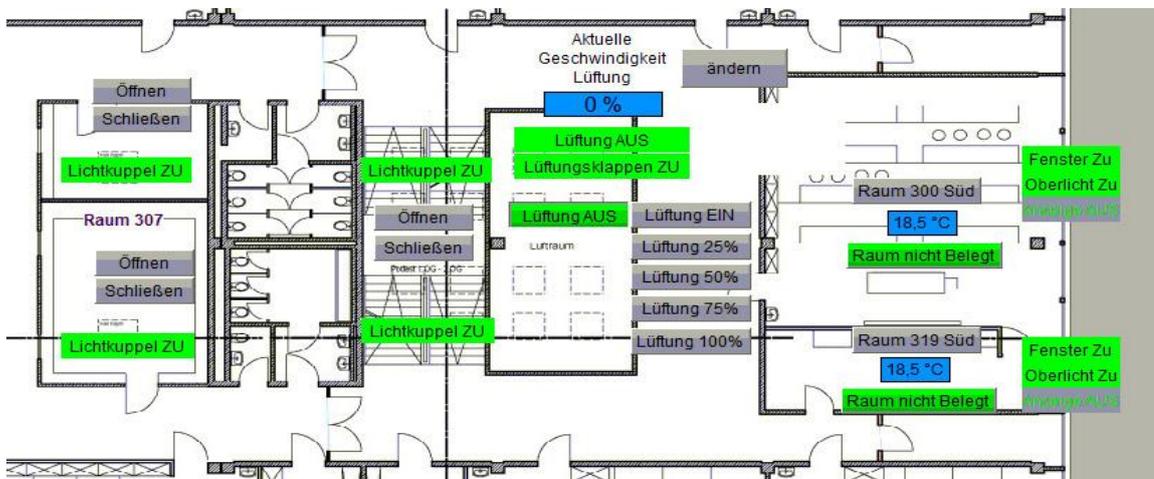


Abbildung 13: Ausschnitt von Bedienelementen der Gebäudeautomation für das 2.OG.

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.

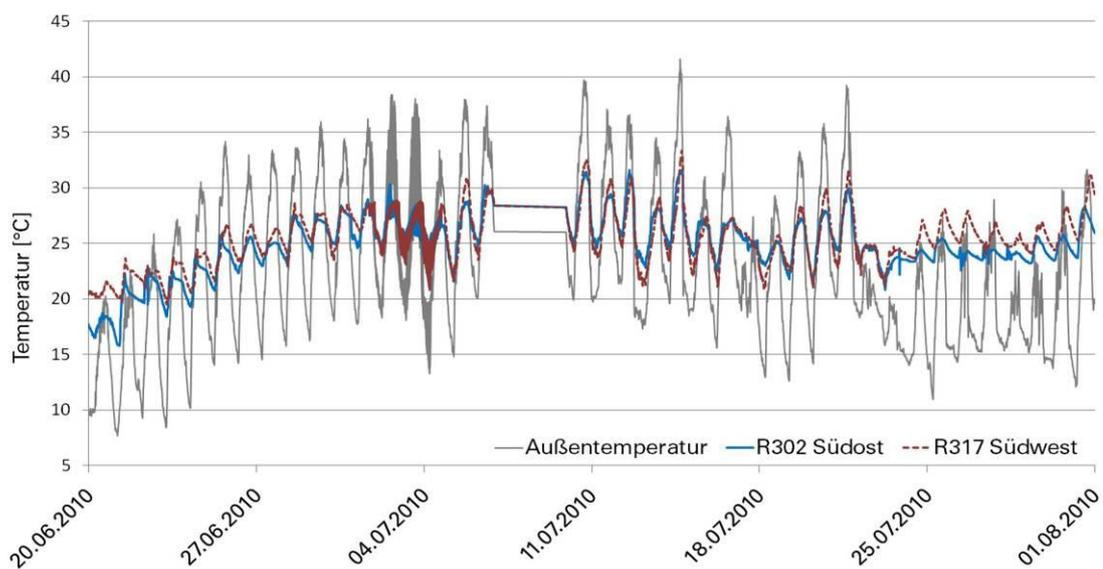


Abbildung 14: Temperaturverlauf im Jahr 2010 von 2 Räumen mit südöstlicher und südwestlicher Ausrichtung im 2. Obergeschoß der Theodor-Heuss-Realschule.

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.

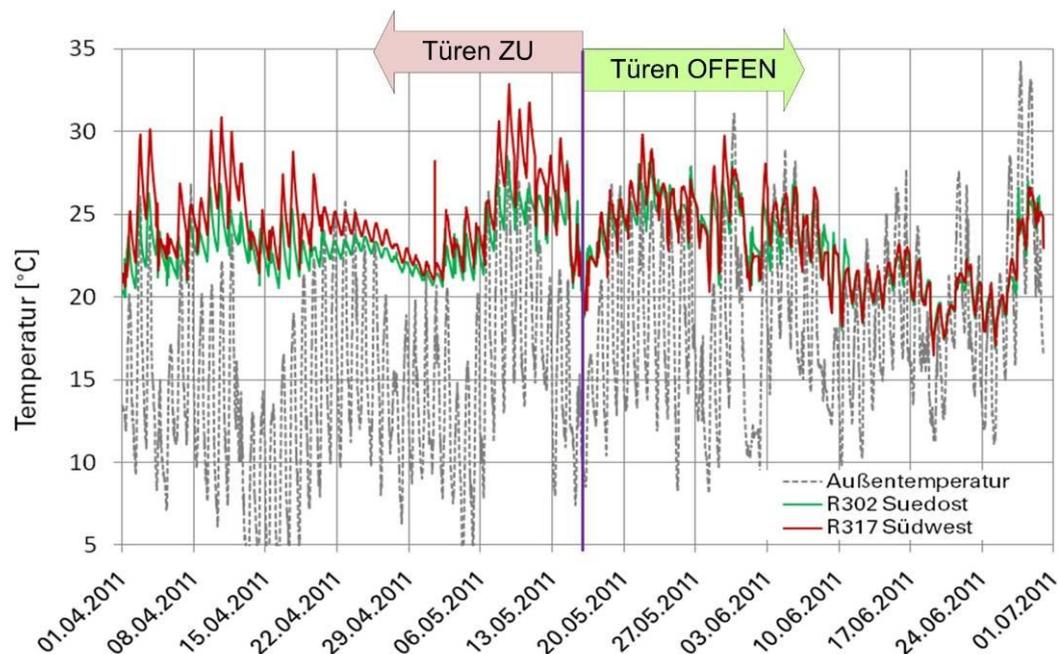


Abbildung 15: Darstellung der Außentemperatur und Raumtemperaturen von Räumen mit südlicher und östlicher Ausrichtung für den Zeitraum von Anfang April bis Ende Juni im Jahr 2011. Deutlich zu sehen die Überschreitungen der Raumtemperaturen über 30 °C durch die verschlossene Tür des Fachraums 317 (rote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

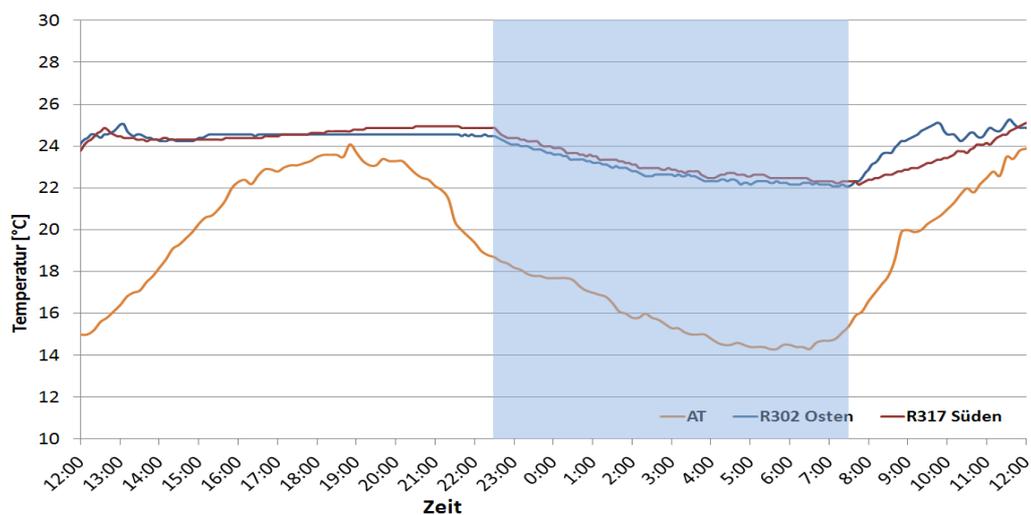


Abbildung 16: Lüftungseffekte in der Theodor-Heuss-Realschule. Der Zeitraum des Lüftungsbetriebs ist blau hervorgehoben.

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.

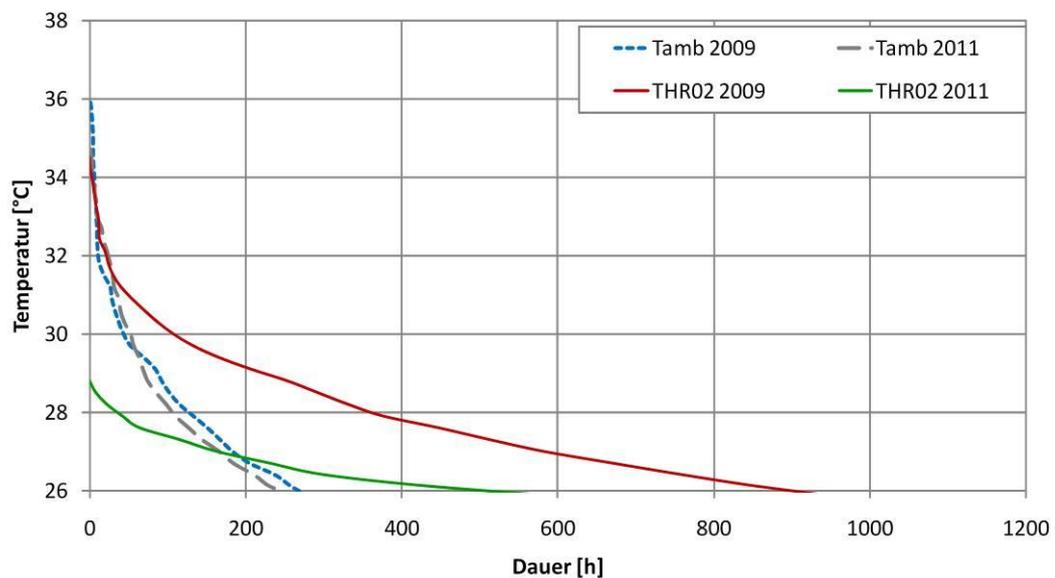


Abbildung 17: Dauerlinien zur Überschreitung von 26 °C in einem Referenzraum für die Jahre 2009 und 2011.

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).

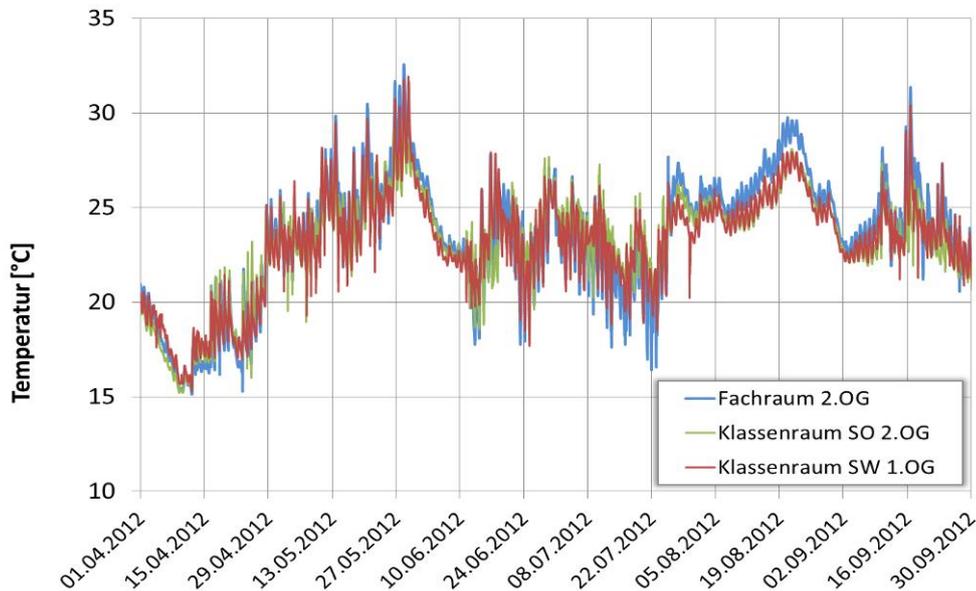


Abbildung 18: Temperaturverlauf zweier stark belasteter Klassenräume und eines Fachraums der Theodor-Heuss-Realschule im Sommerhalbjahr 2012.

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).

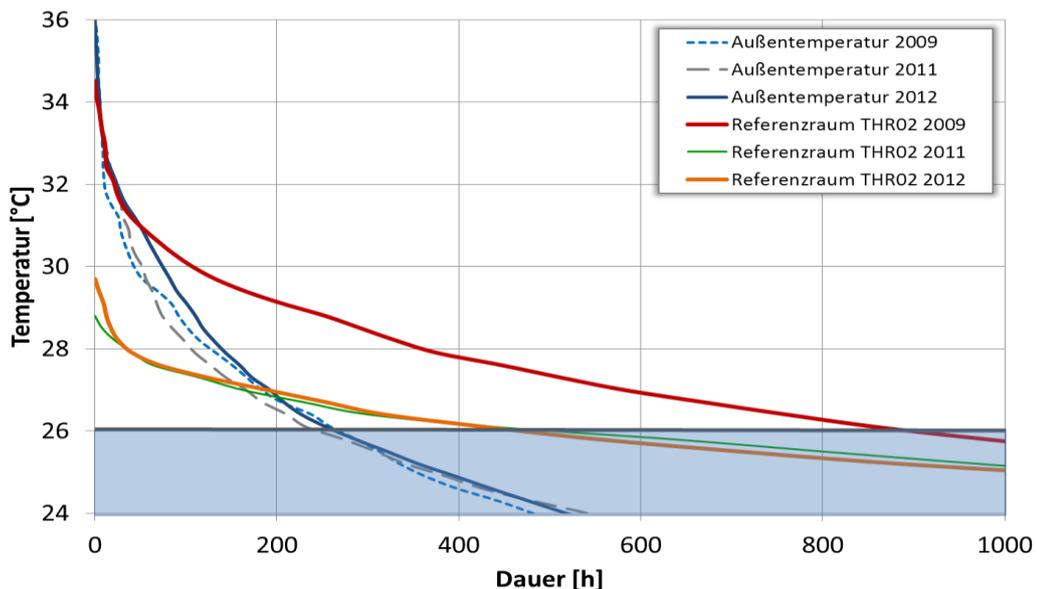


Abbildung 19: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südosten ausgerichteten Raum des 2.OG der Theodor-Heuss-Realschule.

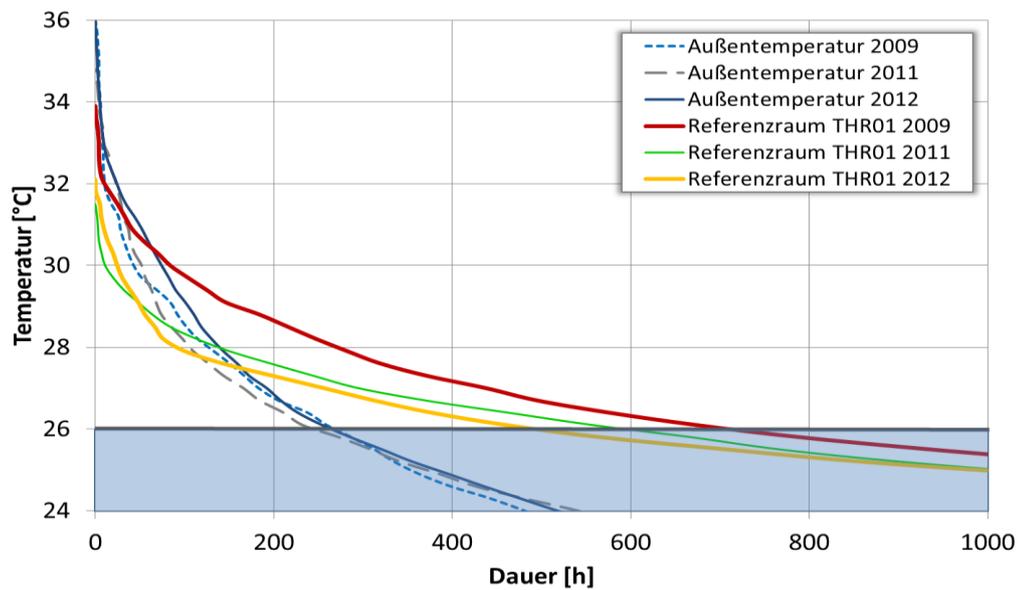


Abbildung 20: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südwesten ausgerichteten Raum des 1.OG der Theodor-Heuss-Realschule.

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.

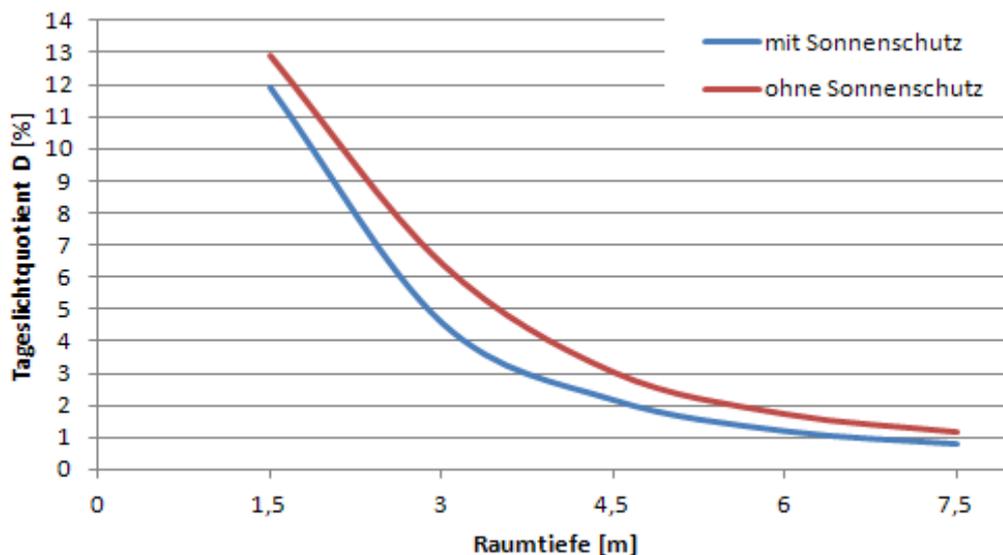


Abbildung 21: Der Tageslichtquotient als Indikator für die Abnahme des Beleuchtungsstärke mit der größer werdender Raumtiefe bei Räumen mit und ohne Sonnenschutzverglasung.

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.

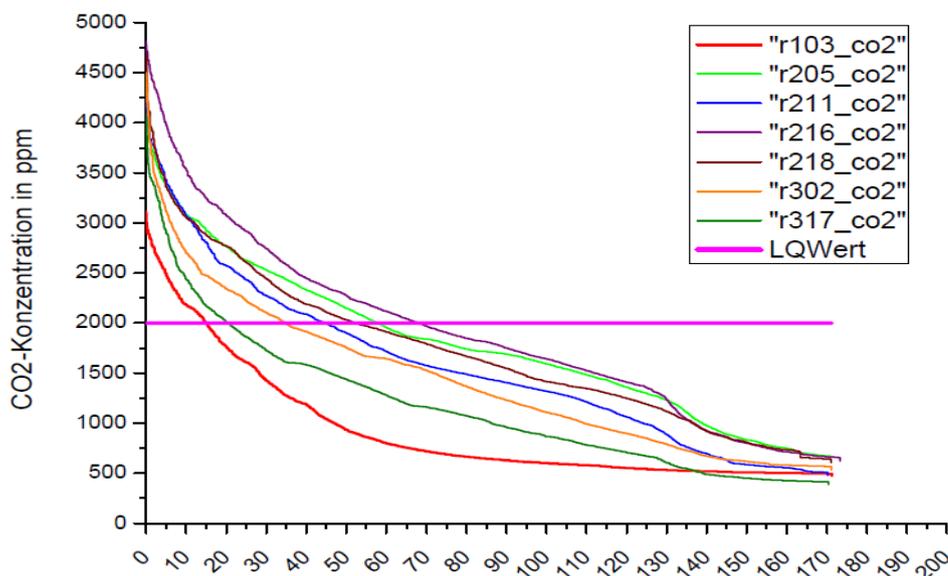


Abbildung 22: Ergebnis der Luftqualitätsprüfung ohne Pausenlüftung in der Theodor-Heuss-Realschule. Aufgetragen ist die Dauerlinie mit Markierung der Überschreitungen einer CO₂-Konzentration von mehr als 2.000 ppm.

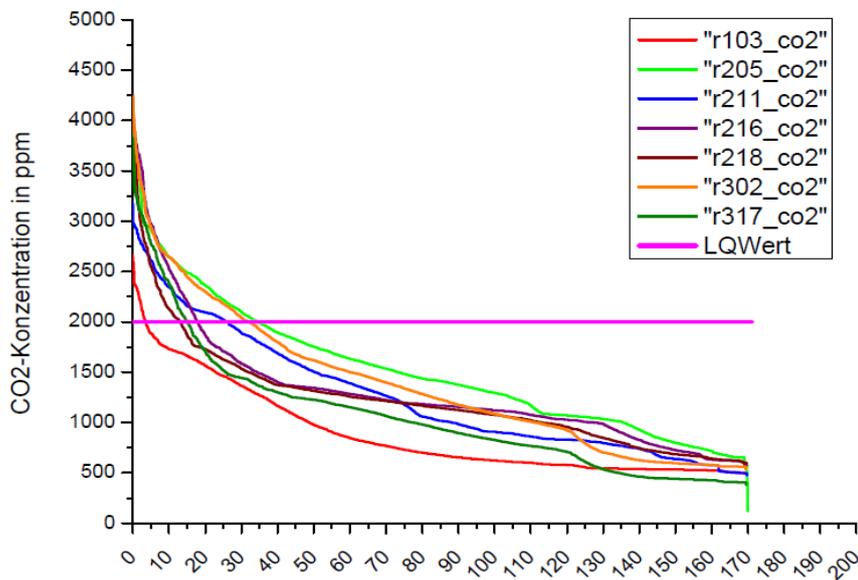


Abbildung 23: Ergebnis der Luftqualitätsprüfung mit Pausenlüftung. Aufgetragen ist die Dauerlinie mit Markierung der Überschreitungen einer CO₂-Konzentration von mehr als 2.000 ppm.

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 Raumpflepersonal 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

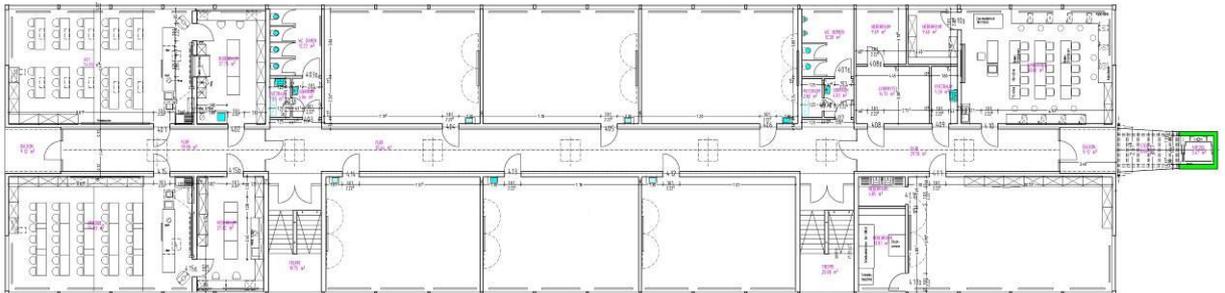


Abbildung 2: Grundriss des Dachgeschosses der Erich-Kästner-Realschule mit 4 Fachräumen und 6 Klassenzimmern.

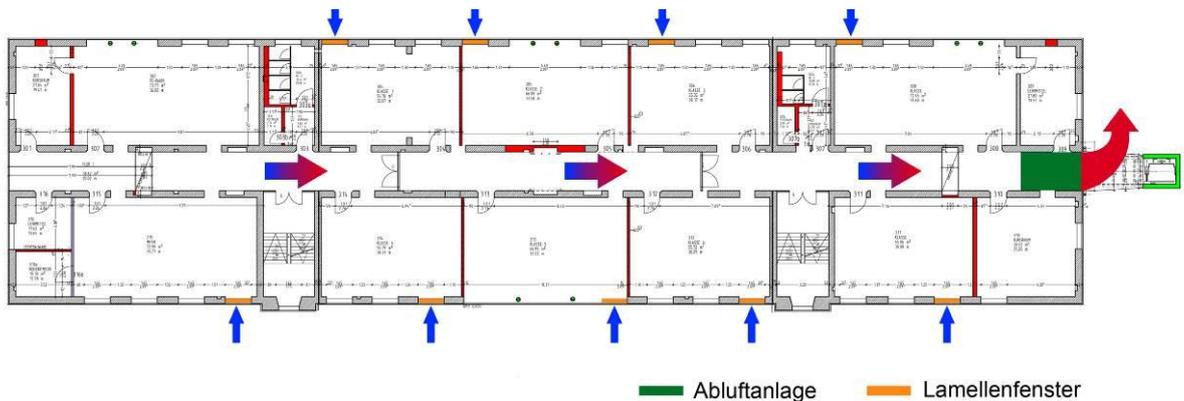


Abbildung 3: Grundriss des zweiten Obergeschosses der Oststadtschule mit dem Luftwegeschema und den Klassenräumen, die mit Klappfenstern ausgerüstet wurden.

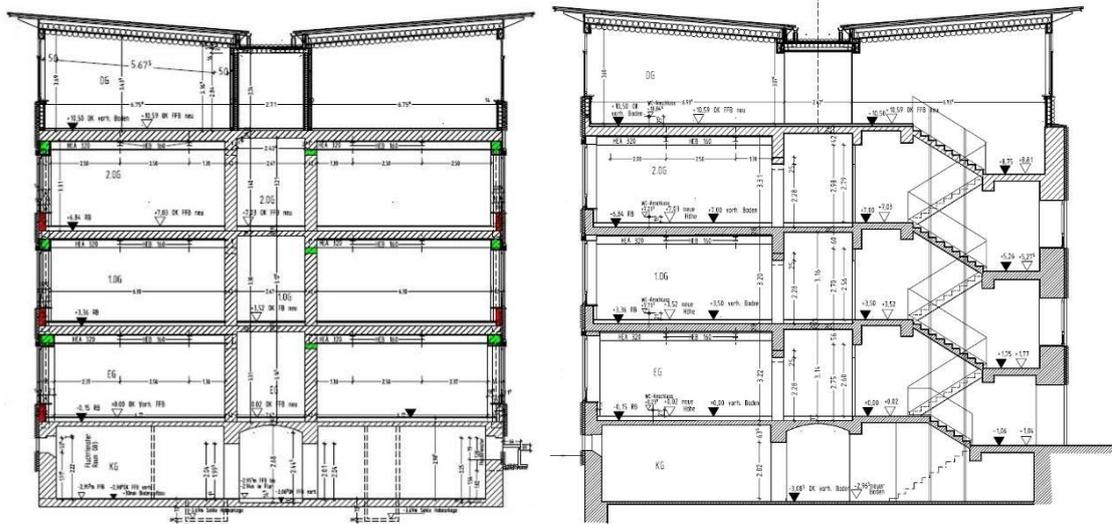


Abbildung 4: Querschnitte der Oststadtschule.

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.

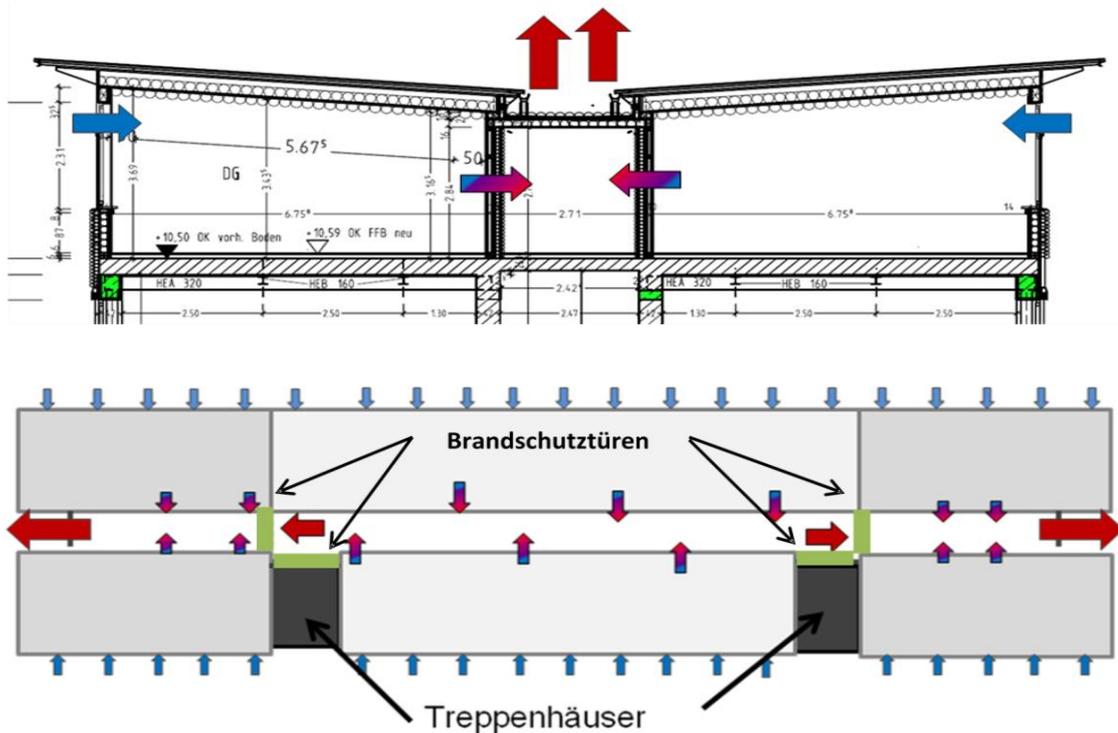


Abbildung 9: Luftwegeschema der Oststadtschule mit Abluftventilatoren an der Stirnseite.

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 Hitzeperioden 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.

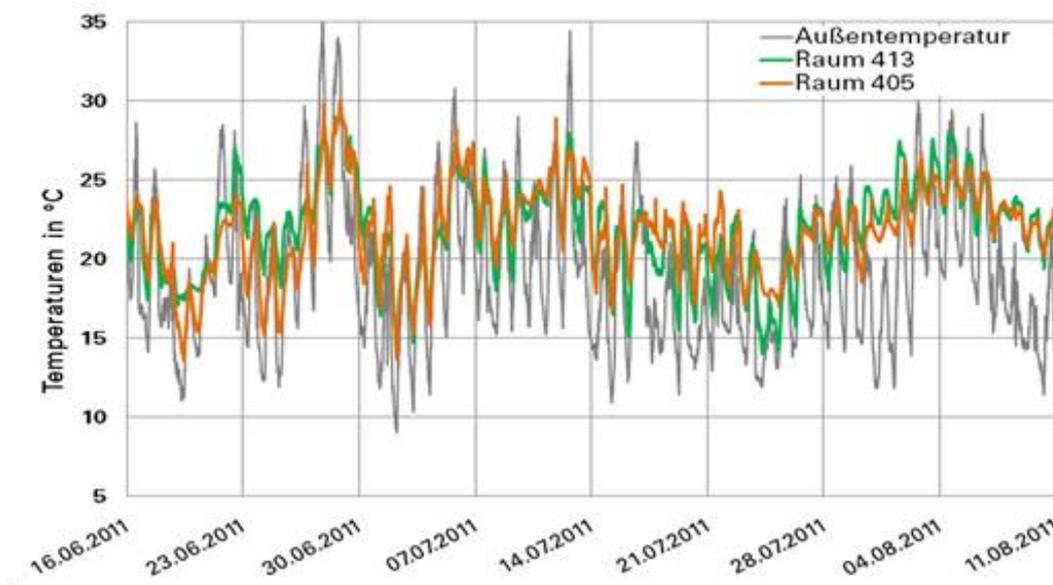


Abbildung 10: Überblick über die Außentemperatur und die Innentemperaturen in zwei Klassenzimmern im Dachgeschoss der Oststadtschule.

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.

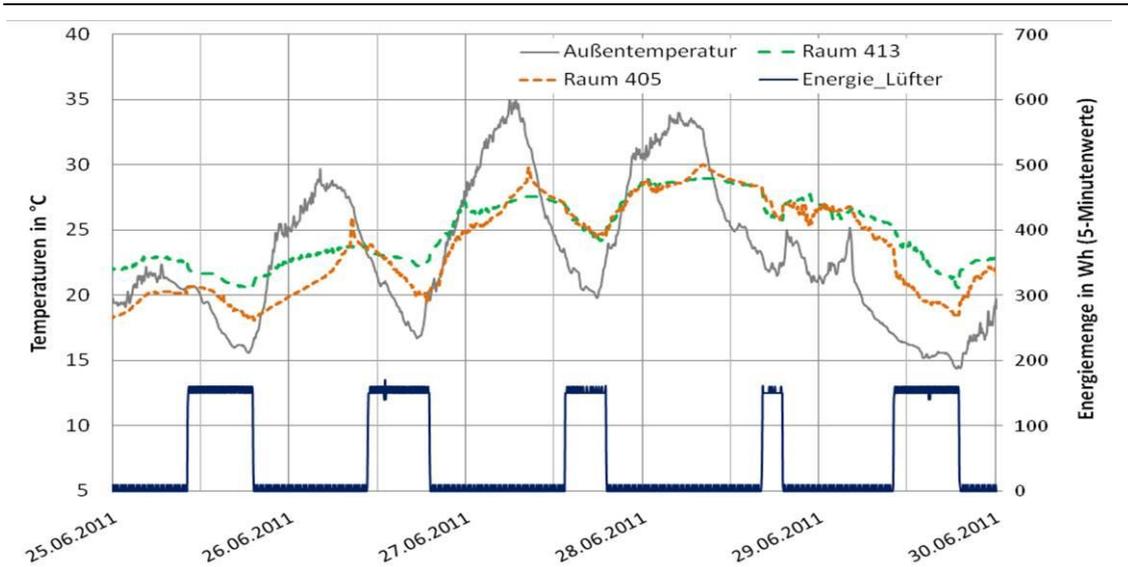


Abbildung 11: Temperaturverlauf in zwei Klassenzimmern des Dachgeschoß, eines in südöstlicher (Raum 413) und das andere in nordwestlicher (Raum 405) Ausrichtung. Der von der Gebäudeautomation geforderte Außentemperaturgrenzwert blieb oberhalb 24 °C und verhinderte den Start der Nachtlüftung (Energie_Lüfter)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

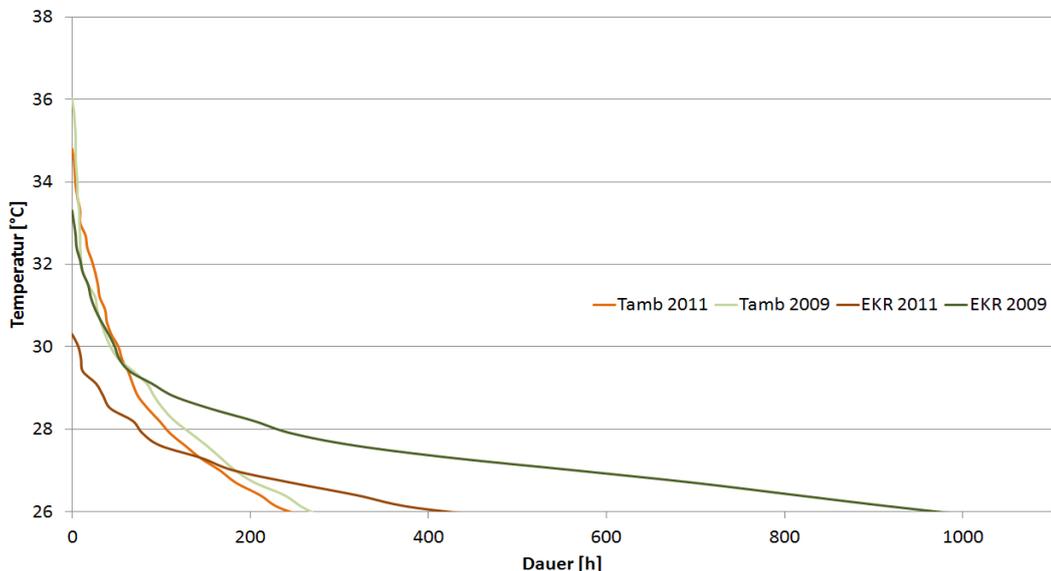


Abbildung 12: Dauerlinien-Vergleich der Jahre 2009 und 2011 für Außentemperaturen (Tamb2009 und Tamb2011) und Raumtemperaturen (EKR2009 und EKR2011) oberhalb 26 °C.

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.

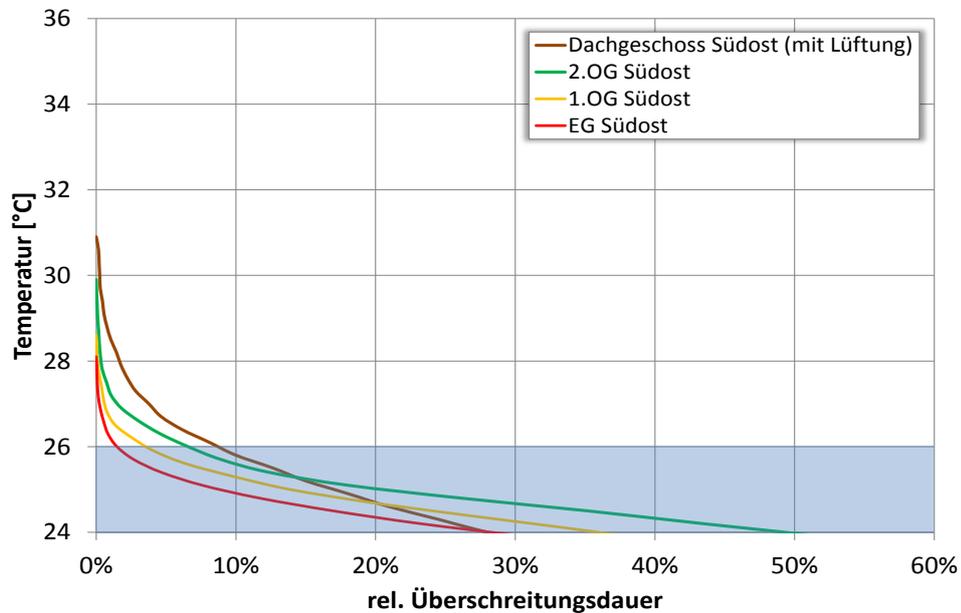


Abbildung 13: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadtschule im Sommer 2011.

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.

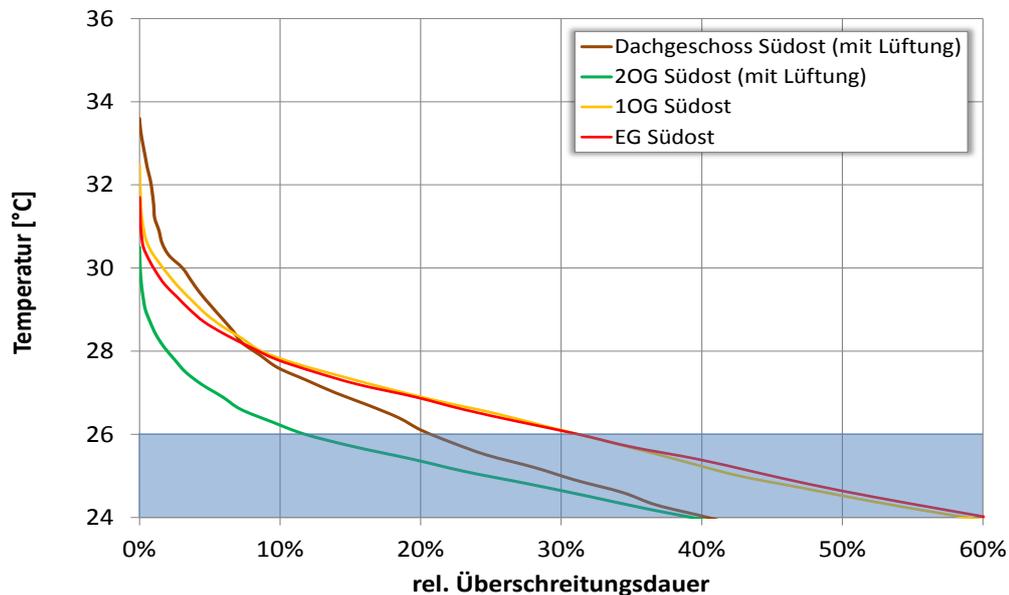


Abbildung 14: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadtschule im Sommer 2012.

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.

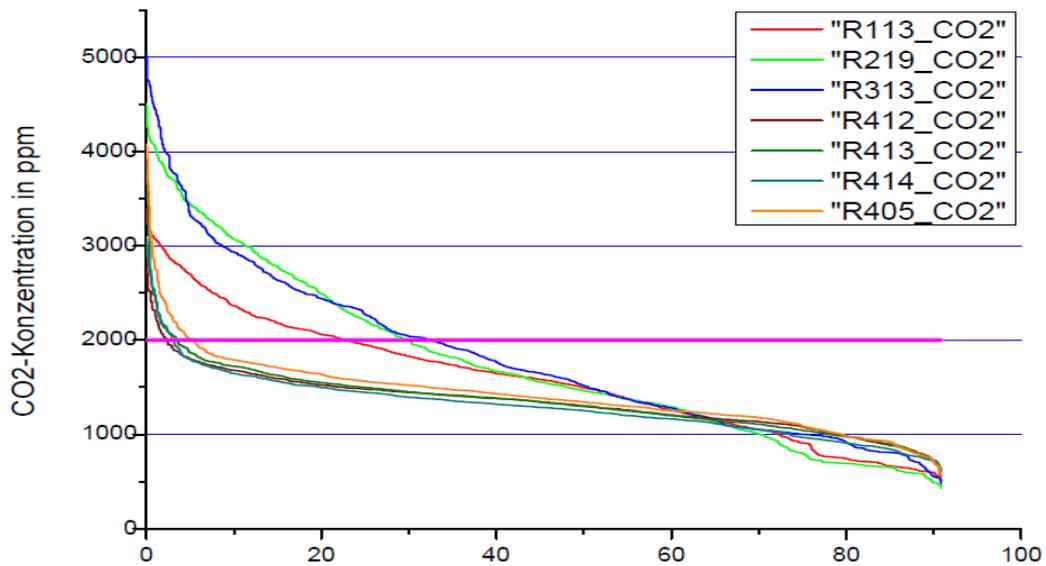


Abbildung 15: Dauerlinien der CO₂-Konzentration über einen Zeitraum von 2 Wochen. Dargestellt sind nur die CO₂-Werte, die während der Unterrichtszeit auftraten. Die Räume 113, 219 und 313 werden ohne mechanische Belüftung betrieben.

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 Treppenhaustüren. 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:

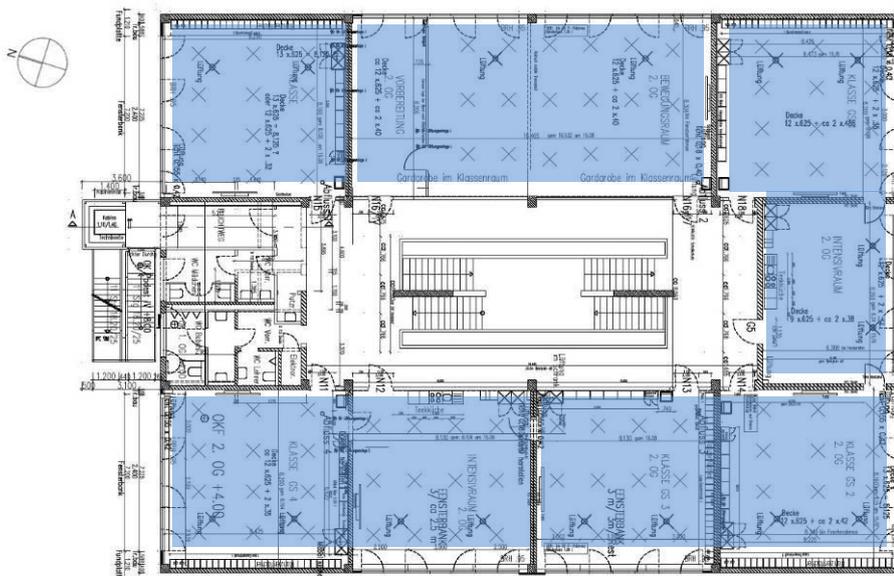


Abbildung 2: Grundriss der Konrad-Adenauer-Schule in Offenburg.

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.

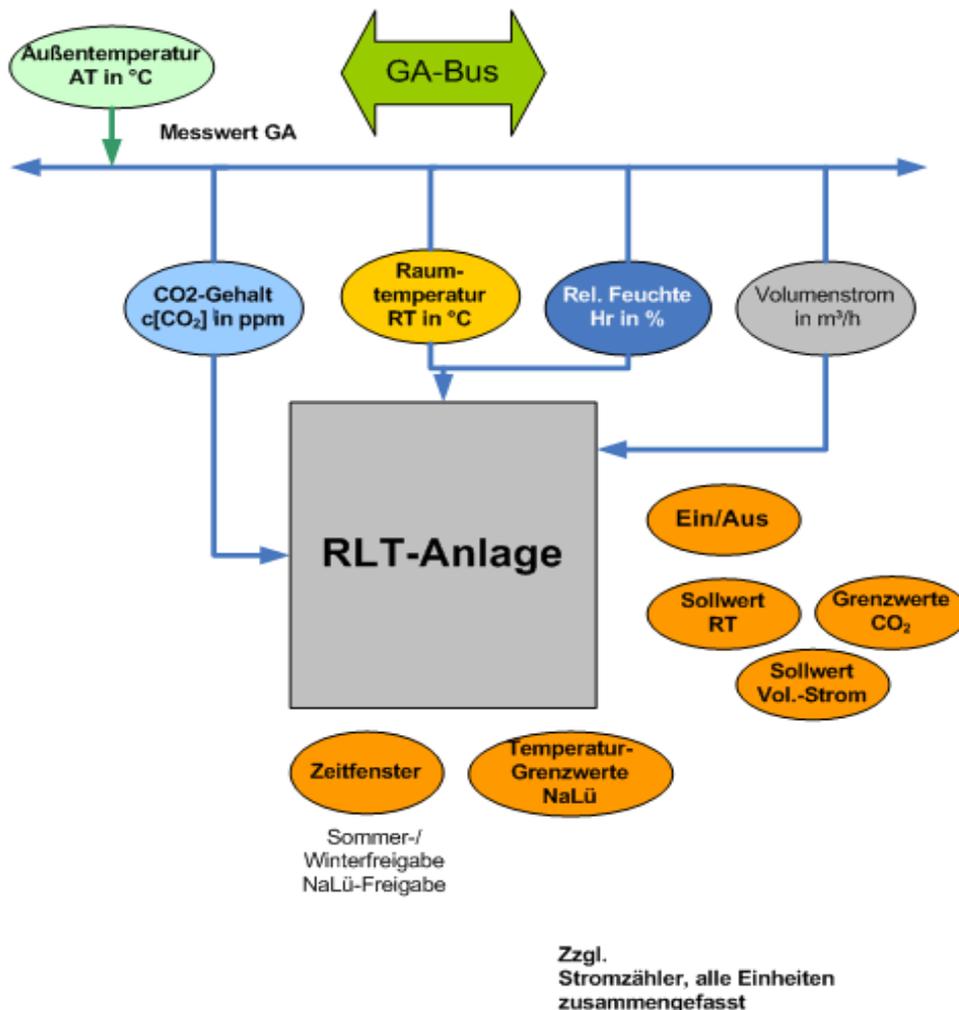


Abbildung 5: Mess- und Steuersignale der Konrad-Adenauer-Schule in Offenburg.

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.

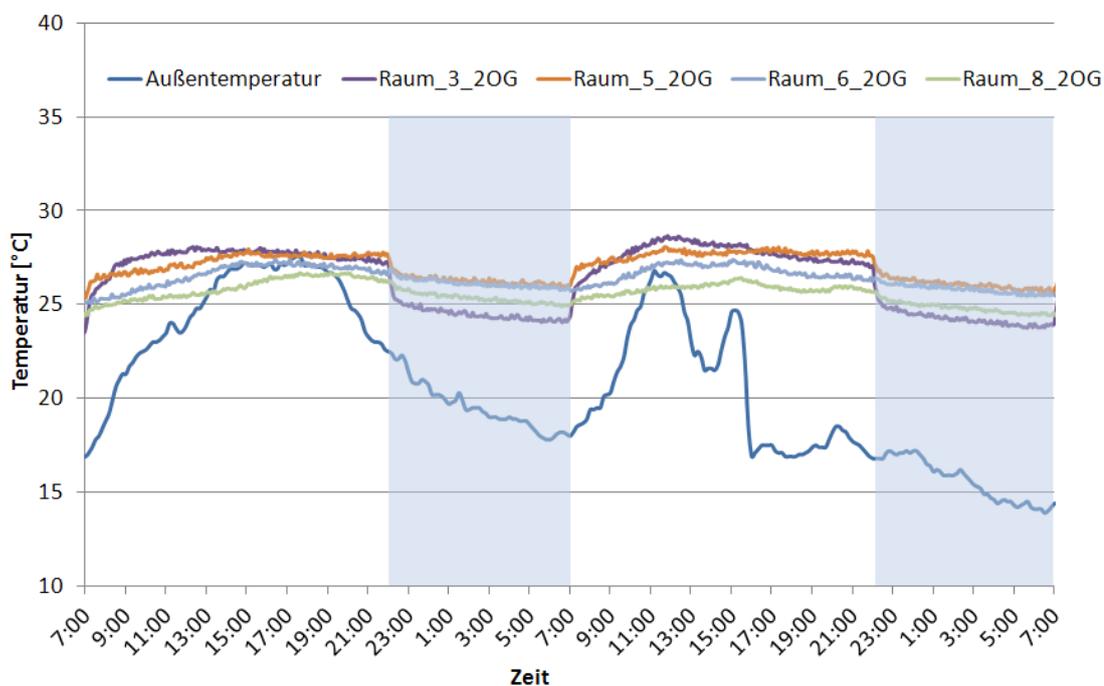


Abbildung 7: Verlauf der Raumtemperaturen im 2.OG der Konrad-Adenauer-Schule mit Nachtlüftungsbetrieb am 21. und 22. Juni 2011.

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.

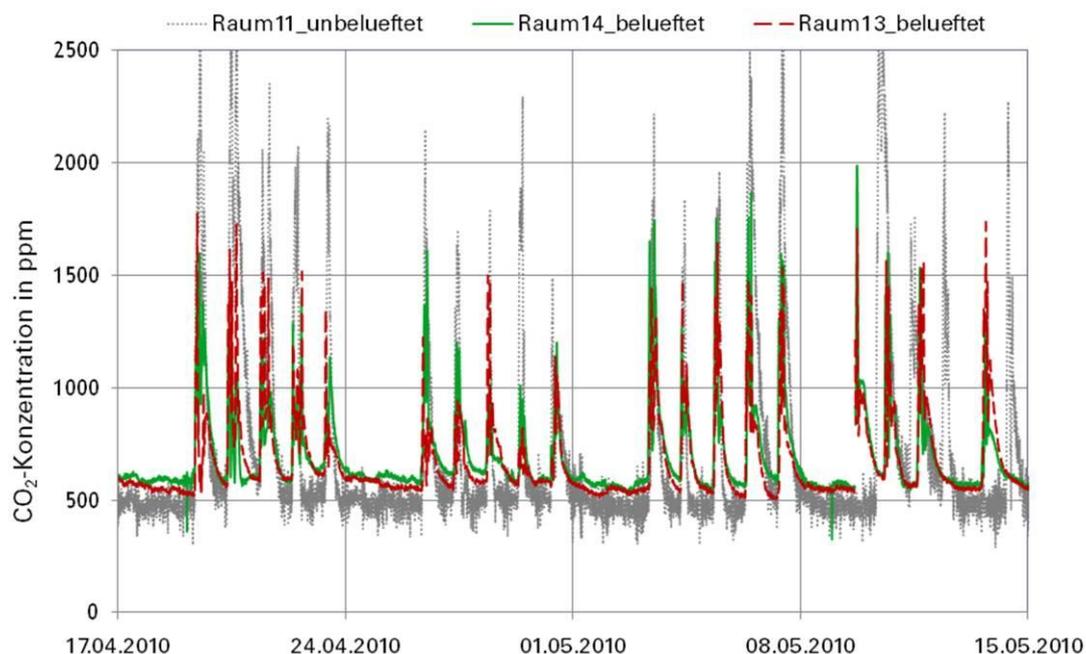


Abbildung 8: Verläufe der CO₂-Konzentrationen in der Konrad-Adenauer-Schule in 3 Klassenräumen. In grau der Verlauf des Raumes ohne RLT-Anlage.

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:

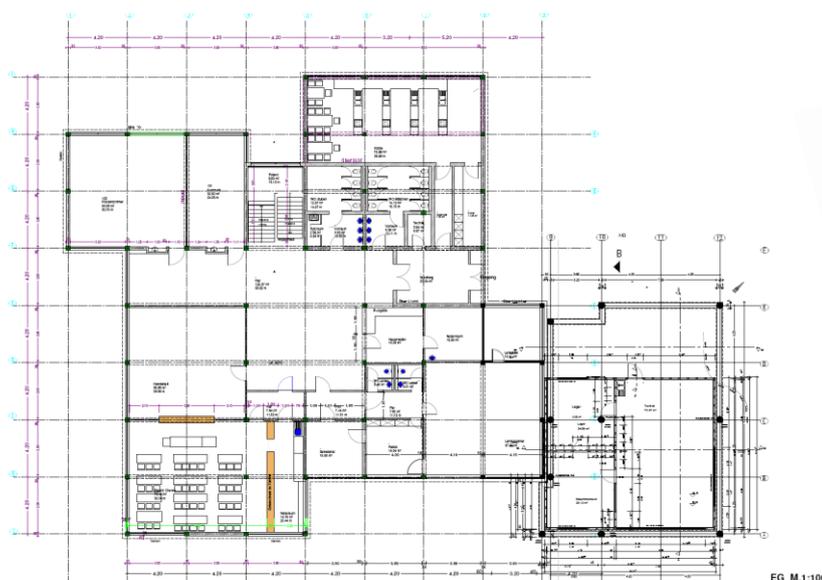


Abbildung 2: Grundriss des Erdgeschoß mit Verwaltungsbereich und Sondernutzung.



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.

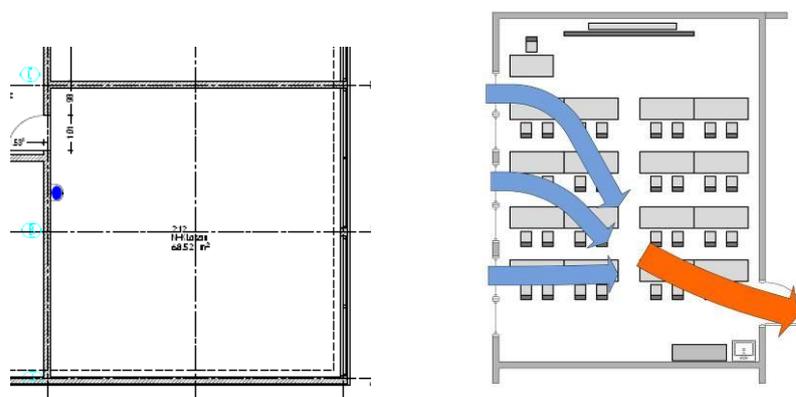


Abbildung 5: Querlüftungsvariante C1

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.

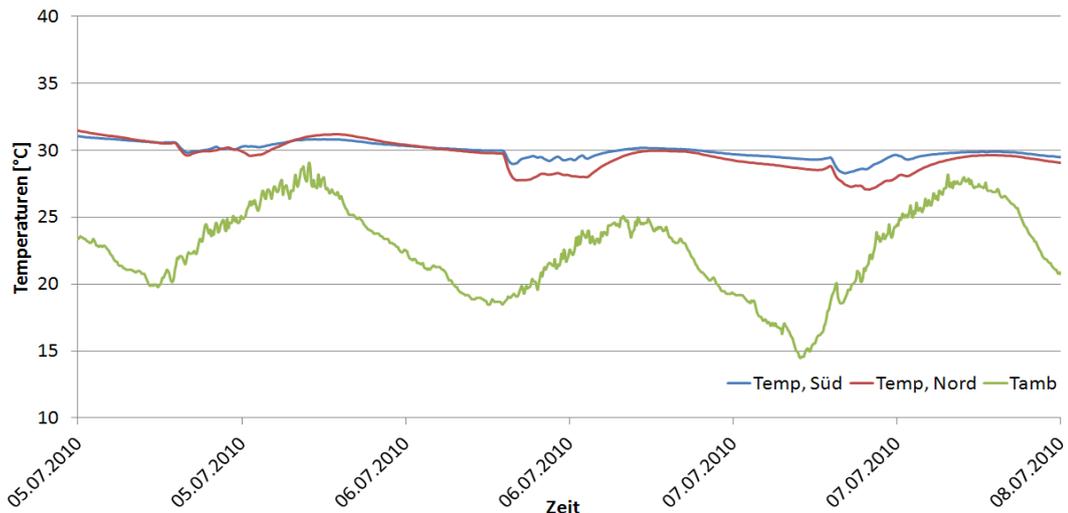


Abbildung 11: Temperaturverläufe vor dem Umbau der GHS Weier.

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.

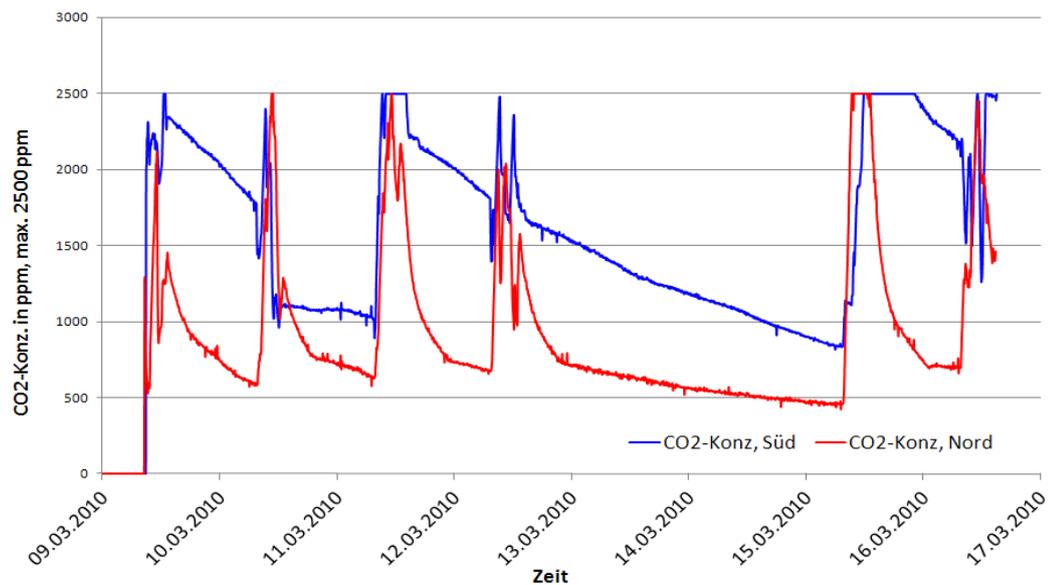


Abbildung 12: CO₂-Konzentrationen in zwei Räumen der Schule Weier mit dezentraler Zu- und Abluftanlage (rot) und rein passiver Lüftung (blau).

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 m²

Mittlere Raumhöhe: 3,1 m

Luftvolumen: 10.266 m³

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.

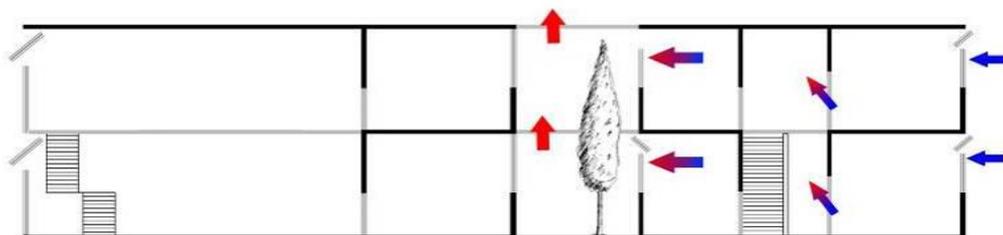


Abbildung 8: Luftwegschemata des Oken-Gymnasiums für den südöstlichen Teil des Fachklassentrakts.

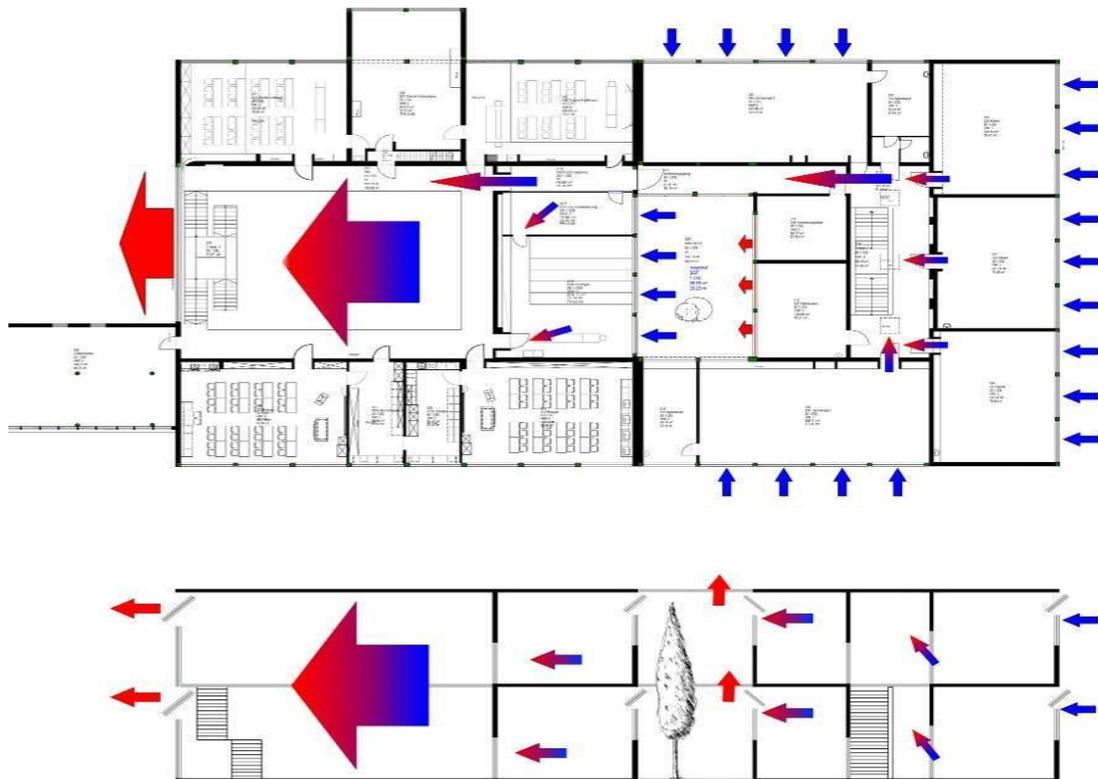


Abbildung 9: Luftwegschemata des Oken-Gymnasiums mit Erweiterung der Luftwege zur Nordwestseite des Gebäudes.

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. Morgendliche 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.

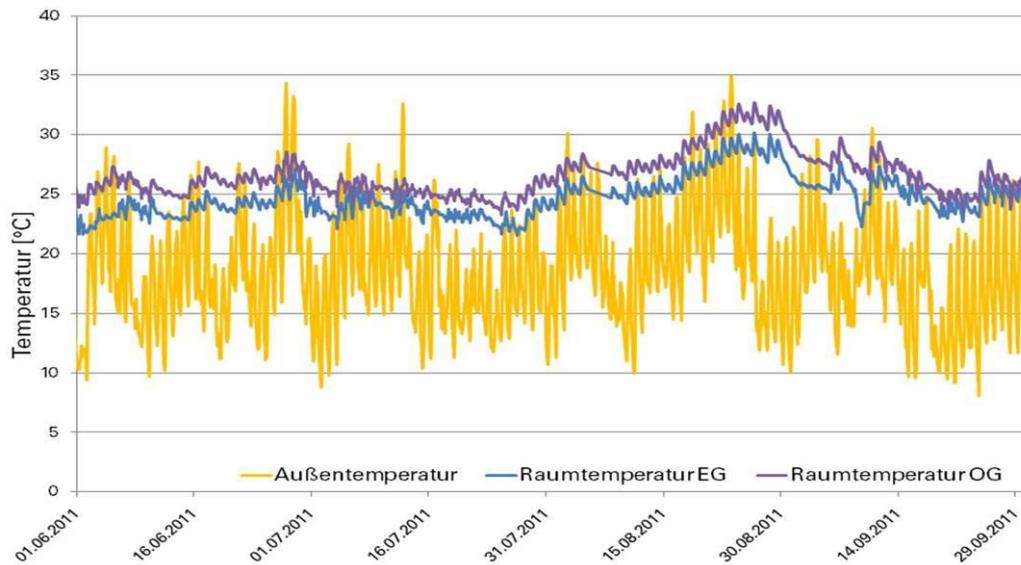


Abbildung 10: Temperaturverlauf im Oken-Gymnasium im Zeitraum zwischen Juni und Ende September mit der Außentemperatur (gelb) und zwei Räumen im Erdgeschoss und 1.Obergeschoß.

Das Monitoring der Nachtlüftkühlung 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.

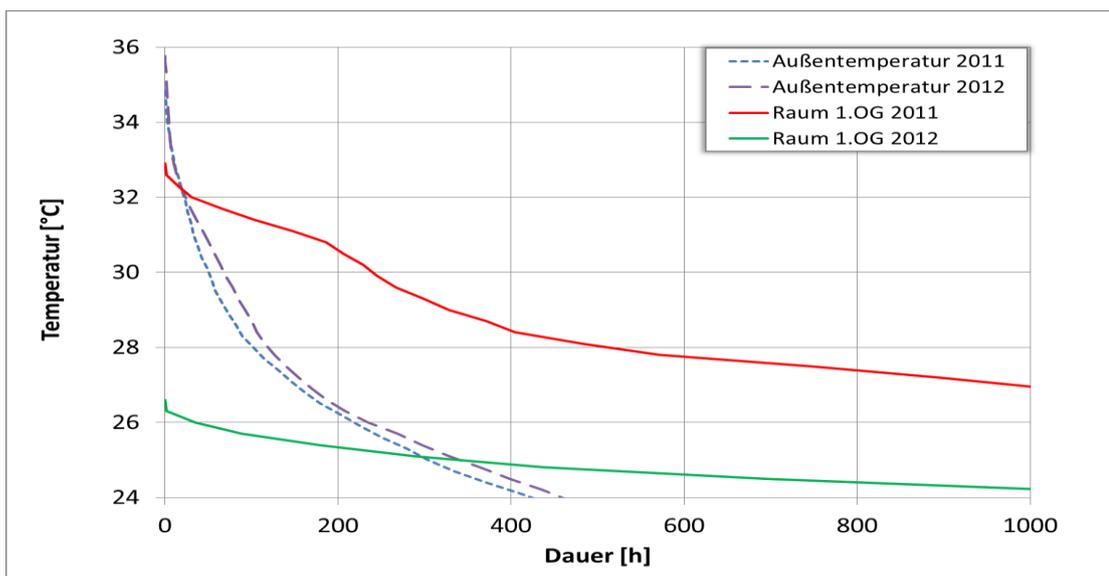


Abbildung 11: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Süden ausgerichteten Raum des 1. OG im Fachklassentrakt des Okengymnasiums.

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:

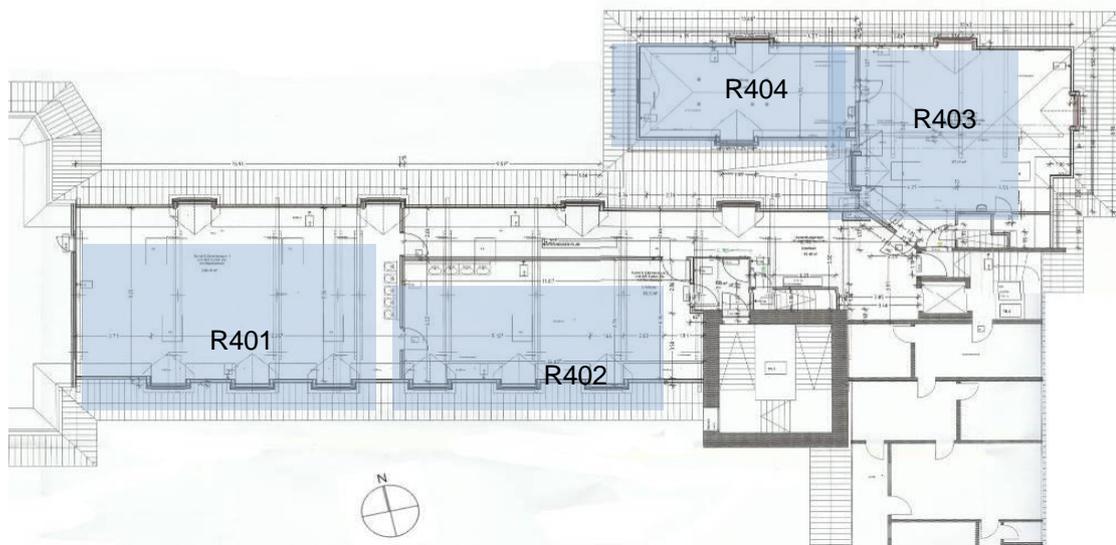


Abbildung 2: Grundriss des Dachgeschosses im alten Trakt des Schiller-Gymnasiums. Die blauen Flächen kennzeichnen vier Räume, die durch die raumluftechnische-Anlagen belüftet werden.

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.

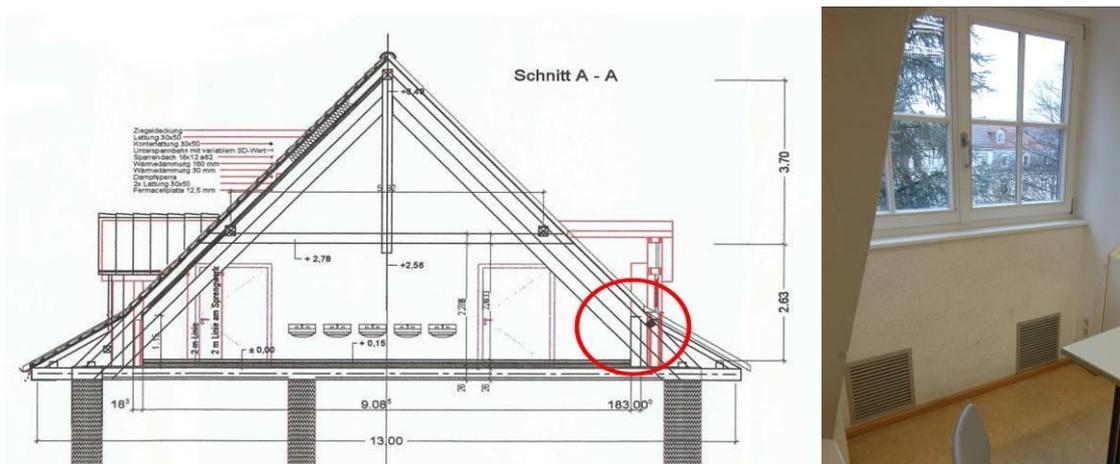


Abbildung 4: Querschnitt eines Fachraums im Dachgeschoß. Der rote Kreis zeigt den Bereich im Kniestock mit der Abluftanlage und den Abluftöffnungen (rechts) an.

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

Temperaturauswertung 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).

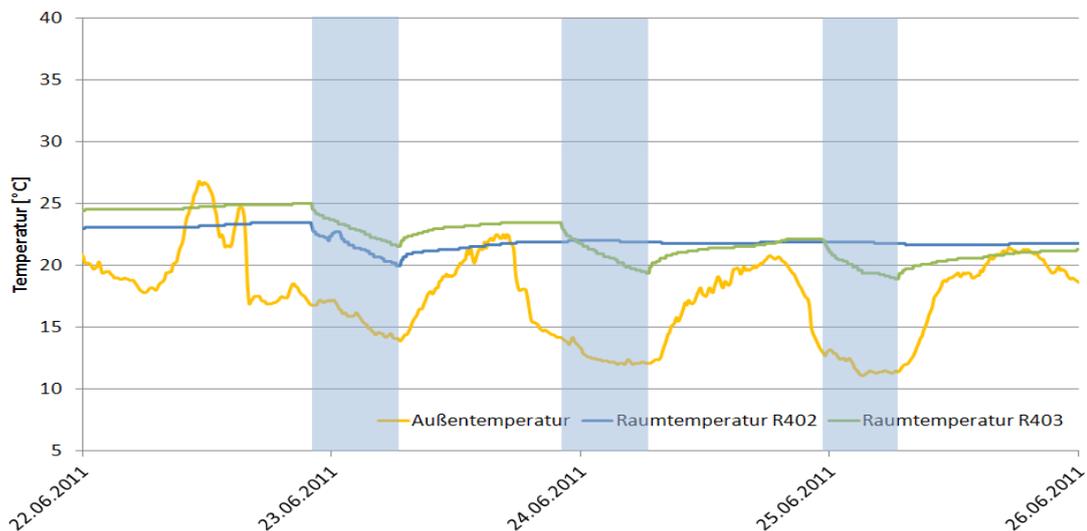


Abbildung 6: Darstellung der Raumtemperatur und der Außentemperatur zweier Fachräume im Dachgeschoss des Schiller-Gymnasiums.

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

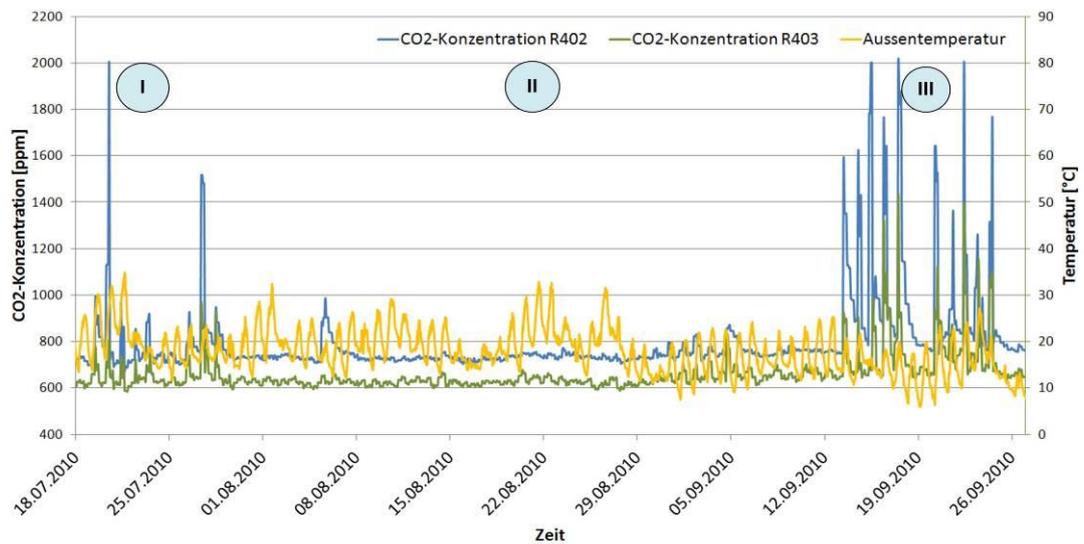


Abbildung 7: Darstellung der CO₂-Konzentration im Dachgeschoß des Schiller-Gymnasiums vor und nach den Sommerferien. Bedingt durch kühlere Außentemperaturen steigt die CO₂-Konzentration in den Fachräumen deutlich an.

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/gebäude/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:

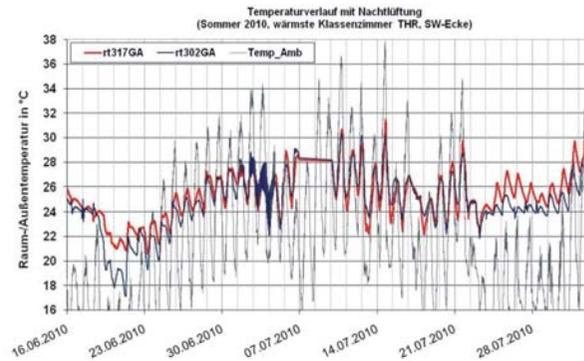
- Erneuerung der Jalousien
- Verbesserung der Isolierung
- neue Verglasung der Fenster (energiesparend)
- Erneuerung der Heizung

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.

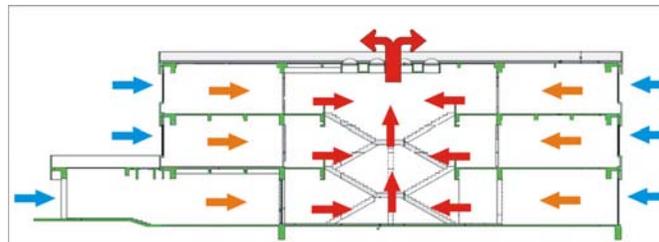
Aber die Nutzer müssen auch intelligent mit den Möglichkeiten der Technik umgehen. Diese Broschüre soll darüber informieren...

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:

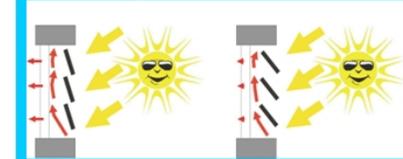
**In den Pausen alle Fenster auf und die Tür öffnen
= Stoßlüften**

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.

