



NATÜRLICHE GEBÄUDEKLIMATISIERUNG IN KLASSENZIMMERN

Abschlussbericht zum Projekt 2008-1

Verfasser:

Hans-Jürgen Schneble¹

Jesus da Costa Fernandes²

Matthias Niederklostermann²

Elmar Bollin²

¹Stadt Offenburg

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

28.01.2013, Offenburg

Im Rahmen des Forschungsprojekts 2008-1 gefördert durch den Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG.



Inhalt

1	Zusammenfassender technischer Bericht.....	3
2	Schulen im Projekt	7
2.1	Theodor-Heuss-Realschule	8
2.2	Oststadtschule	11
2.3	Konrad-Adenauer-Schule	14
2.4	Schule Weier.....	15
2.5	Oken-Gymnasium	16
2.6	Schiller-Gymnasium.....	18
3	Schlussfolgerungen und Ausblick	19
4	Einsparpotenzial bei Kohlendioxidemissionen und Klimaschutzbeitrag.....	21
4.1	Optimierter Einsatz und Nachrüstung von Verschattungseinrichtungen.....	21
4.2	Interne Gewinne und erforderlicher Wärmeaustrag	21
4.3	Energieeinsatz für die Nachtluftkühlung	21
4.4	CO ₂ -Emissionen durch Nachtluftkühlung.....	21
4.5	Alternative Kühlung mit Kompressionskälte oder Splitgeräten	21
4.6	Wärmebelastung und erforderlicher Wärmeaustrag	21
4.7	CO ₂ -Emissionen durch konventionelle Klimatechnik	22
5	Finanzbericht der Stadt Offenburg zu Kosten und Finanzierung des Projekts	24
5.1	Baubegleitende Maßnahmen.....	24
6	Bewertung des Projekts und Anschlussfähigkeit in der Region	27
7	Referenzen/Quellen	28
8	Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts	29
9	Vorträge	29

1 Zusammenfassender technischer Bericht

In vielen Schulgebäuden der Region südlicher Oberrhein zeigte sich seit Beginn dieses Jahrhunderts eine verstärkte Überhitzungstendenz. Besonders bei energetisch sanierten Schulen und durch die Umstellung des Schulbetriebs auf den Ganztagsunterricht zeigt sich eine stärkere Wärmebelastung durch die sommerlichen Temperaturen. Die Stadt Offenburg sah hier einen wichtigen Handlungsbedarf, um Klassenräume ohne den Einsatz energieintensiver Kältemaschinen thermisch zu entlasten. Durch einen deutlichen Anstieg beim Energieeinsatz für Kühlmaßnahmen würden die starken Einspareffekte bei den Heizkosten im Sommer neutralisiert. Interessant waren deshalb nachhaltige Lösungen die bei niedrigem Primärenergieeinsatz ein hohes Reduktionspotenzial bei der Kühllast bewirken. Verfahren der natürlichen Gebäudeklimatisierung führten in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe nachhaltige Energietechnik der Hochschule Offenburg zu unterschiedlichen Nachtlüftungsstrategien zusammen mit ergänzenden Wärmeschutzmaßnahmen. Durch eine intensive Nutzung der Gebäudeautomation tragen die Maßnahmen zu einer deutlichen Verbesserung des Lernklimas und der Arbeitsbedingungen bei. Neben den baulichen Maßnahmen übernimmt die Gebäudeautomation Mess-, Steuer- und Regelungsaufgaben (MSR), dient zur Archivierung von Messdaten und dem Fernzugriff für das technische Management der Stadt Offenburg. Eine Herausforderung ist die Einbindung von Nutzern und Mitarbeitern der Schulen, die den Erfolg der Maßnahmen beeinflussen, da ein vollautomatisierter Betrieb technisch und finanziell für viele kommunalen Betreiber unrealistisch ist. Die Ergebnisse aus dem Projekt stehen einer breiten Öffentlichkeit in Form eines Leitfadens zur Verfügung [1].

Bei Schulen in Offenburg wurde in den vergangenen Jahren durch den Einsatz von Fenstern mit Wärmeschutzverglasung und dem Anbringen von Wärmedämmung energetisch die Gebäudehülle modernisiert. Der Heizwärmebedarf reduzierte sich dadurch deutlich. Während sich die Wärmedämmung positiv auf das winterliche Verhalten eines Gebäudes auswirkt, führt die verbesserte Luftdichtheit zu einer deutlichen Reduzierung der Fugenverluste, die bisher im Sommer zu einem stärkeren Temperatenausgleich mit der Umgebung geführt haben. In modernisierten Schulen führt der reduzierte thermische Ausgleich zur Verschärfung von Überhitzungssituationen. Dies gilt insbesondere dann, wenn aufgrund des Gebäudeschutzes die Fenster nach Verlassen der Unterrichtsräume geschlossen und die Abschattungseinrichtungen hochgefahren werden.

Nutzungsbedingte Wärmeeinträge durch Personen und für den Schulbetrieb erforderliche Geräte können sich kaum vermeiden lassen, hingegen können solare Gewinne durch eine konsequente Nutzung außenliegender Jalousien um bis zu 90 % reduziert werden. Bei idealem Betrieb der Abschattungseinrichtungen tragen tägliche, nutzungsbedingte Wärmeeinträge zwischen 260 und 300 Wh/m² dazu bei, dass sich Gebäudemassen entsprechend Abbildung 1 kontinuierlich aufheizen, wenn der thermische Ausgleich in den späten Nachtstunden und während der Nichtnutzung entfällt.

Gebäudeschutz, Personenschutz, Betriebssicherheit der technischen Anlagen und die Berücksichtigung der Nutzungszeiten/Anwesenheit erfordern eine komplexe Betriebsstrategie und die Einrichtung neuer Funktionen. Hierzu ist eine gut eingerichtete Gebäudeautomation unabdinglich, die beispielsweise die Jalousien in Abhängigkeit von Windaktivität, Präsenz und Lichtintensität auf der jeweils beschienenen Fassadenseite steuert und überwacht oder bei Sturm und Regen Anlagen in eine betriebssicheren Zustand überführt.

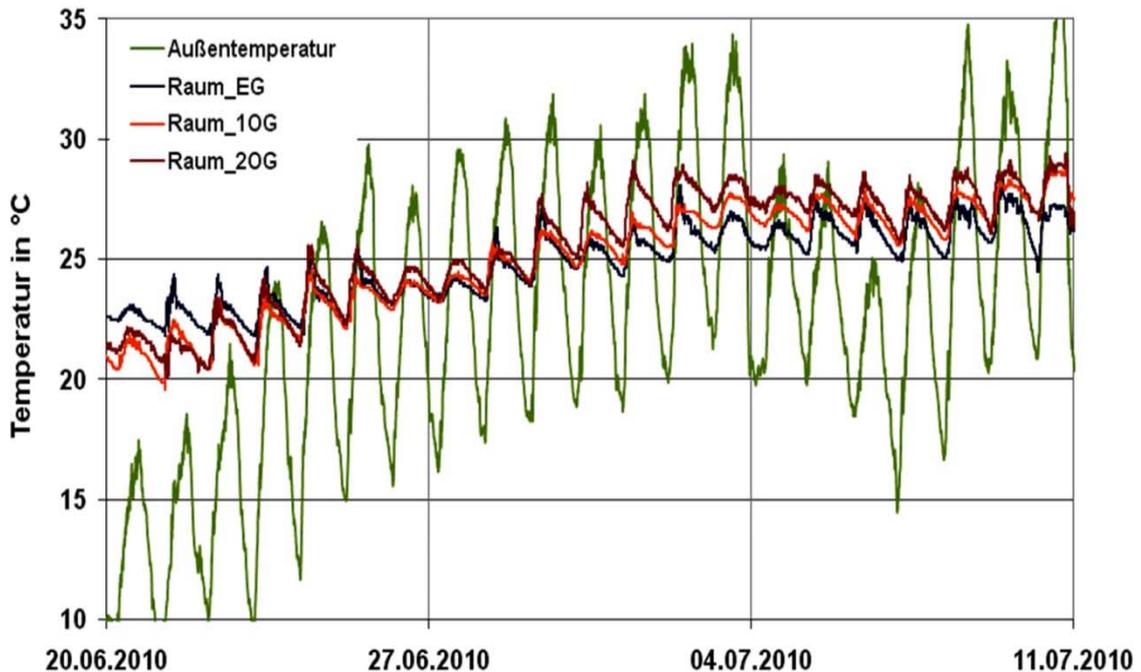


Abbildung 2.1.1: Temperaturanstieg in den massiven Geschößen der Oststadtschule ohne Maßnahme für nächtlichen Temperatenausgleich, ab Anfang Juli manuelle Querlüftung durch Mitarbeiter und Nutzer.

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, Abrufen von Wärmeschutzfolien auf Fenstern 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.

Zur besseren Analyse und zur Dokumentation des Gebäudebetriebs werden historischen Daten aufgezeichnet und ein Fernzugriff für das unterstützende technische Management der Stadt und für Auswertezwecke eingerichtet. (Die Stadt Offenburg setzt bei Sanierungsvorhaben durchgängig den Einbau einer Gebäudeautomation öffentlicher Nichtwohngebäude um).

Größere Gebäudemassen können dem Gebäude 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“ [2] die Eignung der Nachtlüftkühlung zur Entwärmung von Gebäudemassen. Die Art der Entwärmung konnte an den Schulen erneut erfolgreich eingesetzt werden. Die Eignung der Maßnahme, die Gebäudemassen konsequent durch die Nachtlüftkühlung zu entladen, wurde u.a. in einem im Jahr 2010 veröffentlichten Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude des Passivhaus-Instituts [3] bestätigt. Als erreichbares Temperaturziel für passive Kühlmaßnahmen in der Klimaregion um Frankfurt werden dort 28 °C genannt.

Auswertungen im Projekt wie die Häufigkeitsverteilung der *Abbildung 2* 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.

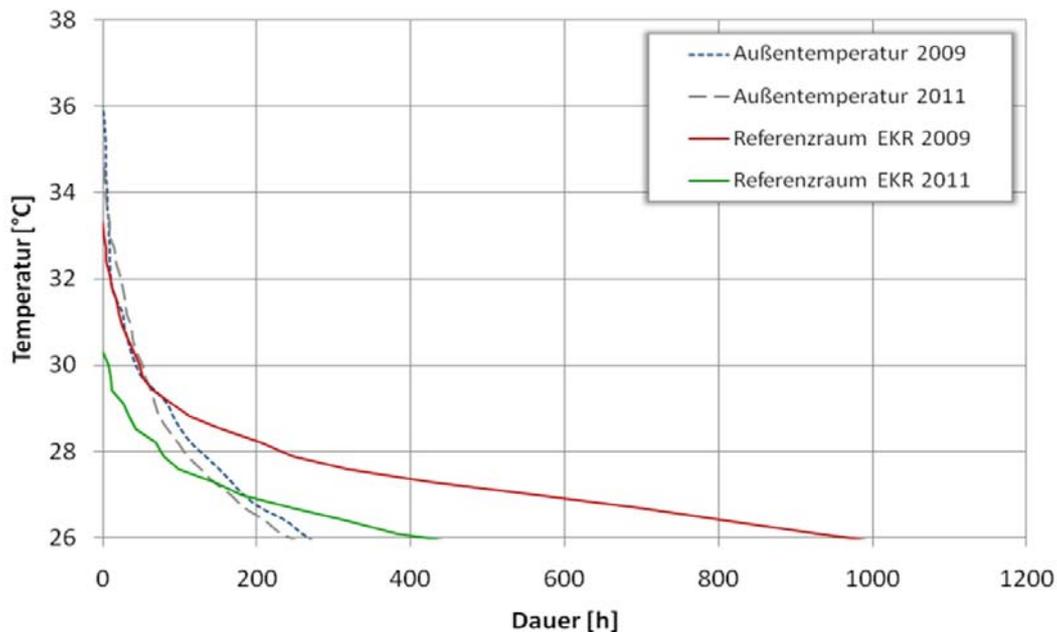


Abbildung 2.1.2: Häufigkeitsverteilung der Raumtemperaturen in den Messperioden 2009 und 2011. Deutlich ist Minderung der Temperaturbelastung im Referenzraum im Dachgeschoß der Oststadtschule zu sehen, in deren 2.OG und DG die Erich-Kästner-Realschule (EKR) untergebracht ist.

Während die Raumtemperatur in den bearbeiteten Offenburger Schulen nur selten die 30-Grad-Marke überschreitet, sehen sich Schüler wie Lehrer einer schlechten Luftqualität und einer 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 mit Lüftungsanlagen (Abluftventilatoren und raumluftechnische Einheiten mit Wärmerückgewinnung) die zur Verbesserung der Luftqualität im Winter beitragen können, liefern vielversprechend und sollen tiefergehend in einem Folgeprojekt untersucht werden. Der vorliegende Leitfaden soll dann um die entsprechenden, die Verbesserung der Luftqualität betreffenden Kapitel, erweitert werden.

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 in der Regel weder für den hohen Luftwechsel 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.

Eine robuste und zuverlässige Ausführung der eingesetzten Wettermesstechnik war nicht in jedem der Schulobjekte gegeben, ist aber unabdingbar für eine zuverlässige Überwachungsfunktion, die die Gebäudeautomation über Jahre hinweg gewährleisten soll. Kostengünstige Kombisensoren wie sie in der Gebäudeautomation häufig eingesetzt werden, zeigen qualitative Schwächen und sollten durch Einzelsensoren ersetzt werden. Als minimale Ausstattung für die Wettermesstechnik werden ein zentraler Windwächter und ein Niederschlagssensor auf dem Dach, ein Temperatursensor mit Wetterschutzschild und ein Strahlungsintensitätssensor je sonnenbeschienene Fassadenseite empfohlen.

Der folgende Abschnitt enthält zusammenfassend die wichtigsten Ergebnisse bei den einzelnen Schulen, die im Laufe des Projekts bearbeitet wurden. Für Details und umfassende Projektergebnisse wird auf den im Projekt ausgearbeiteten Leitfaden mit dem zugehörigen Anhang mit Dokumentationen zu den Schulobjekten verwiesen.

2 Schulen im Projekt

2.1 Entwicklung der klimatischen Bedingungen

Der sich in den Projektjahren abzeichnende Trend zu eher milden, mit nur wenigen Wärmephasen belasteten Sommern, während der Unterrichtszeiten hielt in der Region Südlicher Oberrhein auch im Jahr 2012 an. Dies belegt die aktualisierte Auswertung der Überschreitungsstunden im Sommer 2012 aus Abbildung 2.1.1. Bis auf den Sommer des Jahres 2010 zeigten die Sommer 2007 bis 2012 nur geringe Tendenzen zu Außentemperaturüberschreitungen größer 26 °C. Damit widerspricht die Entwicklung dem bisherigen Verlauf einer starken Tendenz zu sommerlichen Überhitzungen, die vor 2007 dokumentiert werden konnte. Damit wird der im Projekt verfolgte Ansatz bestärkt, bedarfsorientiert und mit Unterstützung der Gebäudeautomation und den Nutzern auf starke Wärmephasen zu reagieren statt auf den konsequenten Festeinbau aktiver Klimaanlage zu setzen.

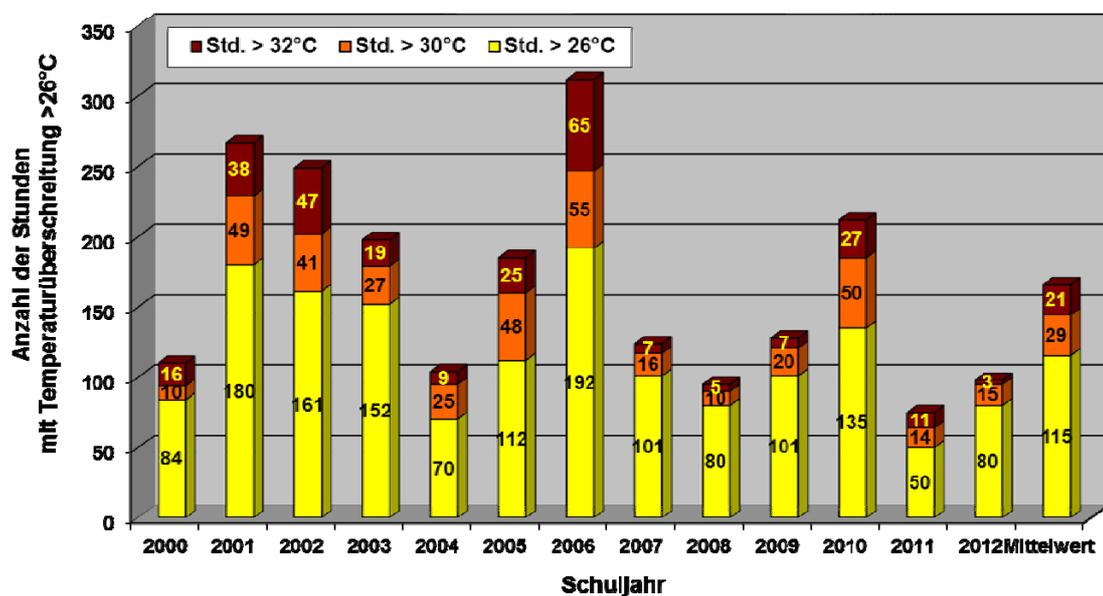


Abbildung 2.1.1: Auswertung der Außentemperaturüberschreitungen über 26 °C während der unterrichtsrelevanten Zeit von 7.00 bis 17.00 Uhr.

Bei der Umsetzung kann als wichtiges Ergebnis im Projekt festgehalten werden, dass grundsätzliche Entscheidungen im Rahmen des künftigen, kommunalen Gebäude- und Energiemanagements zu treffen sind, die eine Kontinuität bei der Datenerfassung und -übermittlung sowie abschließende Auswertung und Bewertung sicherstellen. Diese Leistung konnte im Rahmen des vorliegenden Projekts strukturell gut angegangen werden, ließ sich jedoch aus den ursprünglich angesetzten Finanzmitteln und wegen der Anzahl bereits vorhandener proprietärer Systeme nicht zufriedenstellend umsetzen.

Da für kommunale Abläufe hier Neuland betreten wird, ist ein Projekt zur IT-Strukturverbesserung bei Schulobjekten und kommunalen Liegenschaften empfohlen. Die beteiligten Fachfirmen sahen sich mehrfach nicht in der Lage Maßnahmen, die von den gewohnten Abläufen bei der Auftragsabwicklung abwichen, vollständig umzusetzen. Dies zeigte sich verstärkt bei der Umsetzung von Optimierungen, die zum Sommer 2012 für das nachgeschaltete Monitoring festgehalten waren. Die Auswertung der Messdaten in 2012 wurde bei einigen Objekten stark durch eine reduzierte Datenverfügbarkeit beein-

flusst. Dies gilt vor allem bei Schulen, die sich noch im abschließenden Teil der Sanierungsmaßnahmen befinden, da nicht auf eine abgeschlossene Einrichtung der Gebäudeautomation zurückgegriffen werden konnte. Die Auswirkungen im Projekt auf die einzelnen Schulobjekte werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

2.2 Theodor-Heuss-Realschule

Schultyp: Realschule
Adresse: Vogesenstraße 16
77652 Offenburg



Abbildung 2.2.1: Die Theodor-Heuss-Realschule in Offenburg mit Blick auf die Südwest-Fensterfront.

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 viele Prozesse automatisiert abarbeitet.

Im Rahmen des Projekts „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ wurde in der Theodor-Heuss-Realschule in einer ersten Phase der natürliche Kamineffekt für die Nachtluftkühlung als nicht ausreichend bewertet und der Einbau von zwei Ventilatoren 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 den Hausmeister zeigten Wirkung und führten im Sommer 2010 zu sehr angenehmen Arbeitsbedingungen für Schüler und Lehrkräfte der Schule.

Zu Beginn des eher mäßigen Sommers 2011 wurde festgestellt, dass die Wirkung der Nachtluftkühlung nicht reproduzierbar war. Als Ursache stellten sich organisatorische Defizite heraus, die darauf zurückzuführen waren, dass die Maßnahmen/Änderungen des Jahres 2010 als einmaliger Test interpretiert wurden. Nach Klärung stellten sich wieder die positiven Temperatureffekte im Gebäude ein.

Um die neuen technischen Möglichkeiten den Nutzern des Gebäudes aufzuzeigen wurde beispielsweise im Rahmen eines WVR-Projekts (themenorientiertes Projekt Wirtschaften, Verwalten und Recht) einer siebten Schulklasse ein Infolyer mit Handlungsempfehlungen und Informationen für Schüler ausgearbeitet. Weitere Schulungen und Informationsveranstaltungen sollen folgen.

Im Monitoring des Sommers 2012 zeigte sich beim Betrieb der Nachtlüftung, dass die Freigabe erst mit der ersten starken Wärmeperiode erfolgte. Der bis dahin milde Verlauf des Sommers führte dazu, dass die Klassenraumtemperaturen nur langsam an 25 °C kamen und die Kriterien für die Aktivierung der Nachtlüftung bis zu diesem Zeitpunkt eher selten erfüllt wurden. Erst nach dem stärkeren Anstieg zu Ende Mai wurde die Temperaturmarke von 25 °C überschritten und die Freigabe durch den Hausmeister ab Mitte Juni erteilt. Der weitere Verlauf des Sommers bestätigte die Leistungsfähigkeit der eingerichteten natürlichen Gebäudekühlung. Die Nachtlüftungsfunktion ließ kaum Temperaturerhöhungen über 28 °C zu. Dies gilt im Sommer 2012 insbesondere für die Fachräume, die mit luftdurchlässigen Rollläden vor den Fachraumtüren ergänzt wurden, aber wie in Abbildung 2.2.2 erst bei Erreichen hoher Fachraumtemperaturen in das Lüftungskonzept über das zentrale Treppenhaus eingebunden werden. Durch die Rollläden wurde in den Fachräumen bei offener Tür eine Zugangssperre während der Nachtlüftungsaktivität gewährleistet. Während längerer Schulferien wird der Lüftungsbetrieb in der Theodor-Heuss-Realschule in der Regel ausgesetzt.

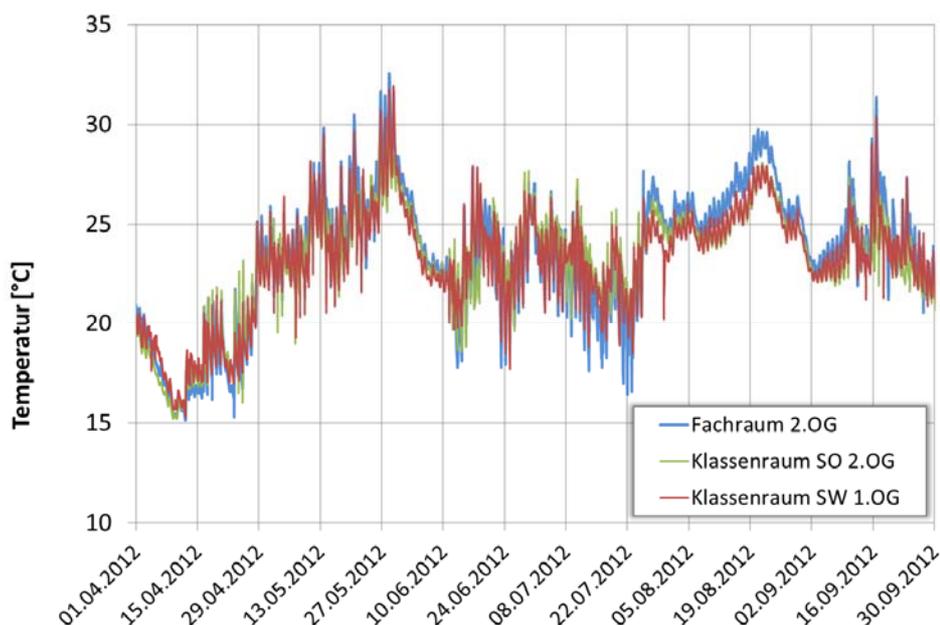


Abbildung 2.2.2: Temperaturverlauf zweier stark belasteter Klassenräume und eines Fachraums der Theodor-Heuss-Realschule im Sommerhalbjahr 2012

In der Theodor-Heuss-Realschule diente das nachgeschaltete Monitoring als Konsolidierungsphase für das neue Betriebskonzept und bestätigte die Leistungsfähigkeit der umgesetzten, technischen Maßnahmen, die in 2011 bereits erfolgreich zur Wärmelastminderung beigetragen haben. In 2012 zeigte sich erneut wie stark der Einfluss durch den Nutzer bzw. das technische, betriebsverantwortliche Personal den Erfolg des Verfahrens beeinflussen kann. Aus diesen Erkenntnissen ist es zur Sicherung des Erfolgs über Jahre hinweg erforderlich, dass Informationsveranstaltungen für Reinigungskräfte, Hausmeister und Lehrer zum Frühjahr, d.h. zu Beginn einer Sommerperiode, stattfinden. Gespräche mit Lehrern der THR bestätigen die positive Entwicklung beim Arbeits- und Lernklima in den Klassenzimmern. Die thermische Entwicklung bei der Theodor-Heuss-Realschule in den vergleichbaren Messjahren 2009, 2011 und 2012 belegt den Erfolg der Maßnahmen anhand der Dauerlinien der Abbildung 2.2.3 und Abbildung 2.2.4, die aufzeigen wie häufig die Temperaturgrenze von 26 °C in den Klassenräumen überschritten wurde. Um die Vergleichbarkeit der Sommerhalbjahre zu gewährleisten wird hier der Temperaturverlauf des gesamten Sommerhalbjahres inklusive der Wochenenden und Ferienzeiten gegenübergestellt. Während schulfreie Wochenenden die Darstellung stark unterstützen, wirken sich Sommerferien mit starken Wärmemonaten wie im August 2012 eher nachteilig aus,

da an der Schule die kühllastmindernden Maßnahmen über die Gebäudeautomation während längerer Ferien ausgesetzt werden. Deutlich zu erkennen sind diese Ausschaltphasen in der Abbildung 2.2.2 an den schwächer ausgeprägten Temperaturhüben der Tag- und-Nacht-Wechsel durch den geringeren Wärmeaustausch mit dem Gebäudeumfeld.

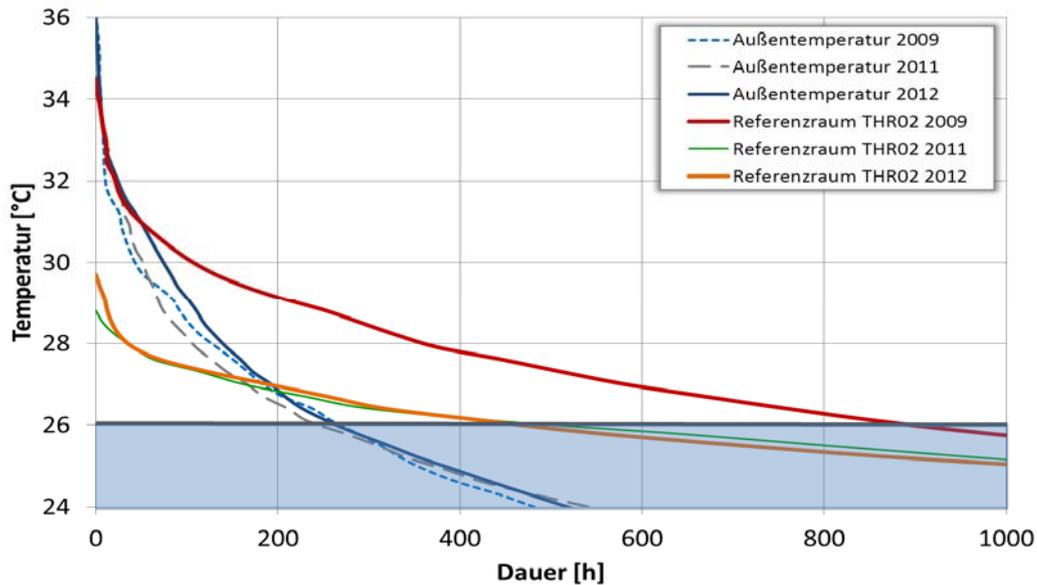


Abbildung 2.2.3: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südosten ausgerichteten Raum des 2. OG der Theodor-Heuss-Realschule

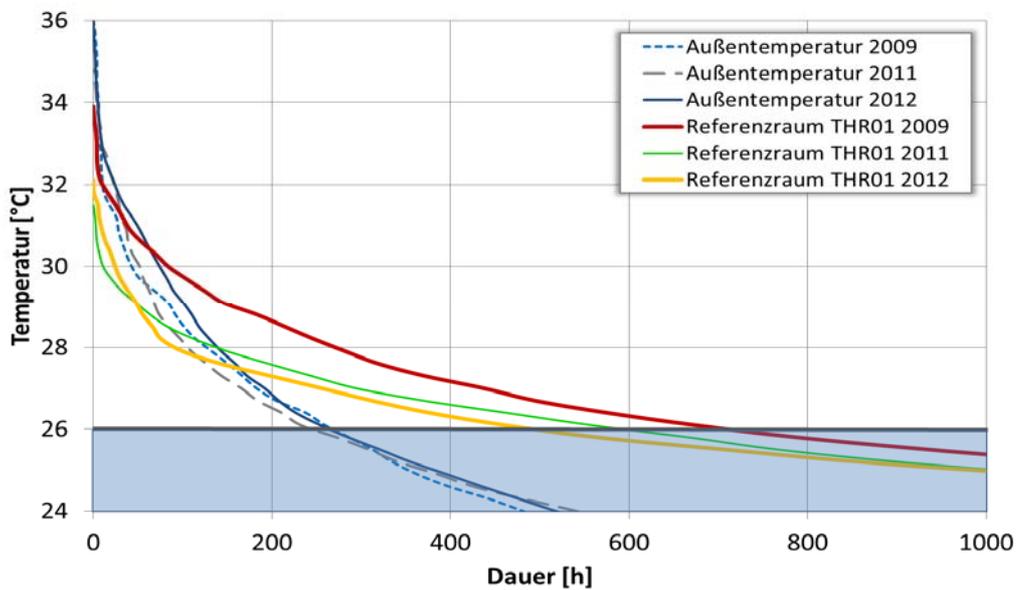


Abbildung 2.2.4: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Südwesten ausgerichteten Raum des 1. OG der Theodor-Heuss-Realschule

2.3 Oststadtschule

Schultyp: Realschule und Grundschule
Adresse: Prinz-Eugen-Str. 76
77654 Offenburg



Abbildung 2.3.1: Südostfassade der Oststadtschule in Offenburg.

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 ehemalige 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 ENEV 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 und 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 Lüfter 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 wurden die Gebäudeautomation durch die Öffnung der Klassenzimmer und Flurtüren durch den Hausmeister.

Leider war die vorhandene Gebäudeautomation nur beschränkt für die Messung und Aufzeichnung von Raumklimadaten geeignet und wurde für das Monitoring im Projekt durch ein Messwerterfassungssystem mit Datenübertragung über das GSM-Mobilfunknetz für sieben Klassenräume und die neue Wetterstation erweitert. Das Messsystem erlaubt umfangreiche Analysen zum Raumklima und bei Bedarf die spätere Integration der zusätzlich eingebauten Sensoren in die Gebäudeautomation. Aufbauend auf den Erfahrungen des eher milden Sommers 2009 und des darauffolgenden relativ warmen Sommers 2010 wurde festgestellt, dass weitere Maßnahmen beim Jalousienbetrieb und auch in den Ge-

schoßen unterhalb des Dachgeschoßes erforderlich waren. Dies führte im Sommer 2011 zum Einbau zweier weiterer Lüfter 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 ausgetauscht werden.

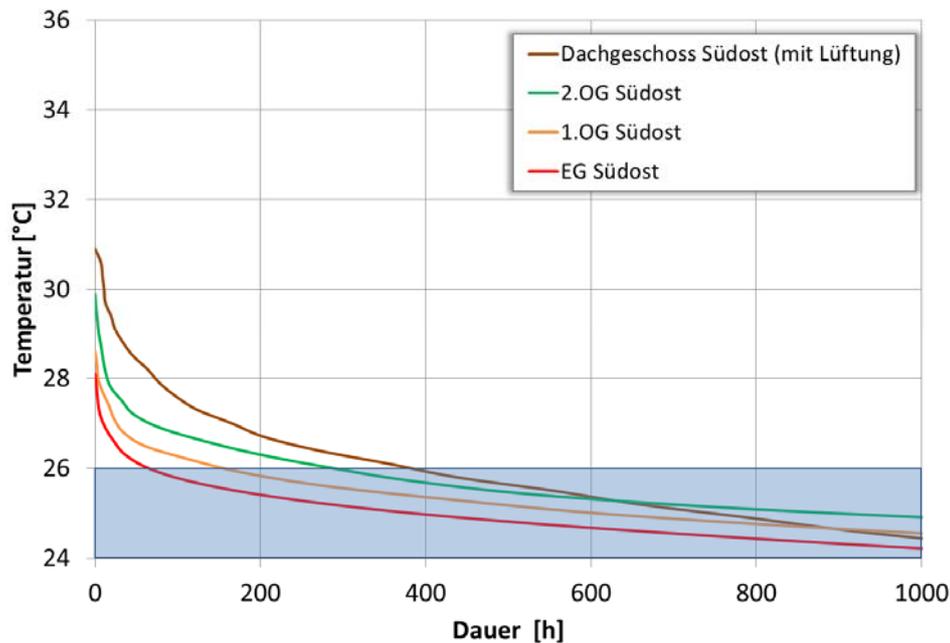


Abbildung 2.3.2: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadt-schule im Sommer 2011

Die Wirkung der umgesetzten Maßnahmen konnten im Dachgeschoß sehr gut nachgewiesen werden. Die fehlenden Wärmekapazitäten lassen das Dachgeschoß empfindlich auf starke Außentemperaturschwankungen reagieren. Um diesem entgegen zu wirken wurden Maßnahmen auf das zweite Obergeschoß ausgeweitet. Die Temperaturdauerlinie des 2. OG verläuft entsprechend Abbildung 2.3.2 auch ohne Lüftungsmaßnahmen und Dank der Speichermassen deutlich kühler. Eine erste Inbetriebnahme der Abluftanlage mit den neuen Klappfenstern konnte zum Winter 2011 durchgeführt werden.

Das Monitoring des Sommers 2012 bestätigte sehr erfolgreich die Ausweitung der Maßnahmen auf das 2.OG. Das Nachtlüftungskonzept im 2.OG sorgt für eine deutliche Absenkung der Innenraumtemperaturen in wärmeren Phasen des Sommers. Der Vergleich der übereinanderliegenden Klassenräume aus Abbildung 2.3.3 zeigt wie stärkere Nutzung der Verschattung und die Nachtlüftung im Sommer 2012 für eine deutlich niedrigere Temperatur sorgt. Die Abbildung 2.3.2 veranschaulicht, dass die kühleren Räume der nicht belüfteten Etagen EG und 1.OG in 2012 um ca. 1,7 K wärmer bleiben. Der Klassenraum im Dachgeschoß zeigt aufgrund der Leichtbauweise immer noch eine stärkere Empfindlichkeit gegenüber den Schwankungen der Außentemperatur.

Dies wird besonders in einem Vergleich der drei massiven Geschoße EG, 1.OG und 2.OG in den Jahren 2011 und 2012 deutlich. Bezüglich des aufgesetzten Dachgeschoßes in Leichtbauweise zeigt sich somit auch im Sommer 2012 der Trend zur stärkeren Beeinflussung der Innenraumtemperaturen durch den Verlauf der Außentemperatur. Im Vergleich zu den massiven Geschoßen darunter heizen sich die Räume in warmen Sommerphasen stärker auf und in kühlen Phasen kühlen sie stärker ab. Hier wäre eine Verbesserung des thermischen Verhaltens nur mit einer Erhöhung der Speicherkapazität möglich, die sich jedoch aus statischen Gründen verbietet. Der Einsatz von PCM-Materialien ist nach heutiger Kenntnis baurechtlich nicht möglich.

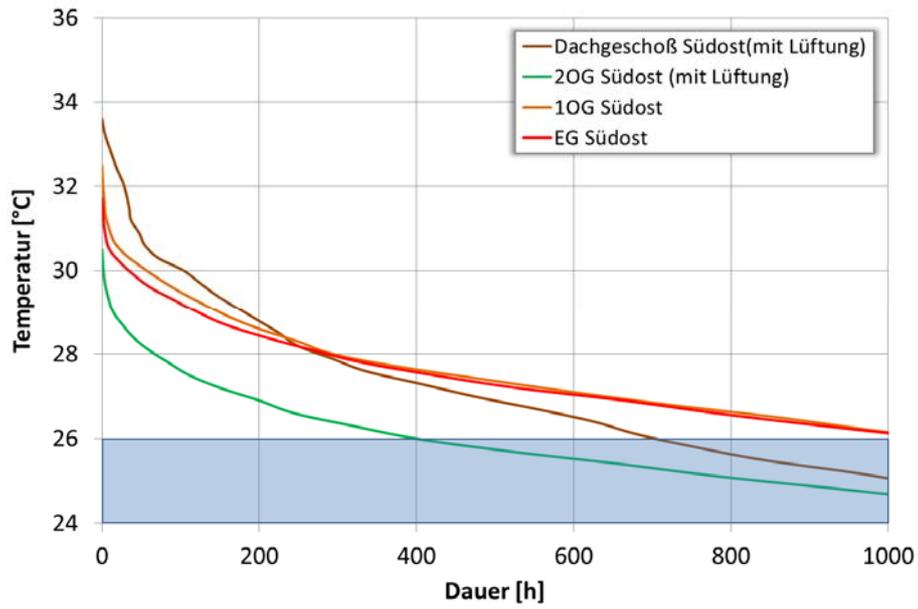


Abbildung 2.3.3: Dauerlinien von übereinanderliegenden Klassenzimmern in der Oststadt-
schule im Sommer 2012.

2.4 Konrad-Adenauer-Schule

Schultyp: Werkrealschule
Adresse: Platanenallee 9
77656 Offenburg



Abbildung 2.4.1: Teilgebäude der Konrad Adenauer Schule in Offenburg mit Blick auf die Südfassade

Zur Untersuchung der Eignung von raumlufttechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung für die Nachtlüftkühlung 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 Nachtlüftungsbetrieb 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 Nachtlüftkühlung 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 Nachtlüftung mit einer maximalen Temperaturabsenkung von 2 bis 4 Kelvin. Da die Mindestforderung eines 2-fachen Luftwechsels für die Nachtlüftungsfunktion nicht erreicht wird, steht hier eine Verbesserung des Algorithmus für den Betrieb der Steuerung 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.

Leider konnte das nachgeschaltete Monitoring im Sommer 2012 auf keine vollständig auswertbare 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 werden in einer nicht erfolgreichen Umsetzung der Regelalgorithmen nach Neueinrichtung des Verteilerschranks und des Leitrechners der Gebäudeautomation vermutet. Es bedarf weiterer Klärung mit der beteiligten Fachfirma, da hier Nachbesserungen dringend empfohlen werden. Zudem zeigte sich im Zusammenhang mit Inbetriebnahmen bei mehreren Schulgebäuden, dass nicht die erfolgte Auftragsausführung abgenommen werden sollte, sondern künftig ein Protokoll über den Betrieb als Ergebnis einer erfolgreichen Auftragsausführung abgenommen werden sollte.

2.5 Schule Weier

Schultyp: Grund- und Werkrealschule
Adresse: Wiesenweg 8
77656 Offenburg



Abbildung 2.5.1: Die Grund- und Hauptschule Weier mit dem kürzlich fertiggestellten Anbau

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 soll im Sommer 2012 das erste Mal genutzt werden. Hierzu sollte die Nachtlüftungsaktivität zu Beginn der Sommerzeit durch das zuständige Personal überprüft werden. Durch offen stehen lassen der Türen und die damit gewonnene Querlüftung kann der Luftumsatz deutlich erhöht werden. Die Verschattungseinrichtung sollten auch während der Unterrichtszeit konsequent genutzt werden.

Leider konnte das nachgeschaltete Monitoring in Weier im Projektzeitraum nicht erfolgreich durchgeführt werden, da es durch technische Inkompatibilitäten zweier Automationssysteme zu Störungen des automatisierten Gebäudebetriebs und damit der Einrichtung und der Aufzeichnung von Raumtemperaturen kam. Zu Ende des Monitorings

lag weder die Bestätigung über eine intakte Funktion des Gebäudebetriebs vor noch war ein Fernzugriff auf die Leitrechner der Betriebstechnik möglich. Inzwischen wird vom Gebäudemanagement berichtet, dass die Anlage abgenommen ist und korrekt funktionieren soll.

2.6 Oken-Gymnasium

Schultyp: Gymnasium
Adresse: Vogesenstraße 10
 77652 Offenburg



Abbildung 2.6.1: Eingangsbereich des Oken-Gymnasiums Offenburg

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 Schließdiensts die Klassenzimmer- und Flurtüren belasteter Gebäudebereiche aufstellt. Bei Bedarf werden Fachklassenräume hinzugenommen.

Im Sommer war die Umstellung noch nicht vollständig erfolgt, sodass nur die Stoßlüftung durch den Hausmeister in den frühen Morgenstunden für Kühleffekte sorgte. Die Raumtemperatur im eher milden Sommer 2011 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 von der beauftragten Fachfirma 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. Vor Beginn des Sommers 2012 wurde eine Abnahme der Funktionen und der Gebäudeautomation durchge-

führt und mit Hilfe eines Monitoring die Temperaturentwicklung in den Klassenzimmern des Flachklassentrakts im Sommer 2012 bewertet.

Die Ergebnisse des nachgeschalteten Monitorings zeigen beim Oken-Gymnasium eine Konsolidierung des Betriebskonzepts und belegen wie Abbildung 2.6.2 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 Schulsommer 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.

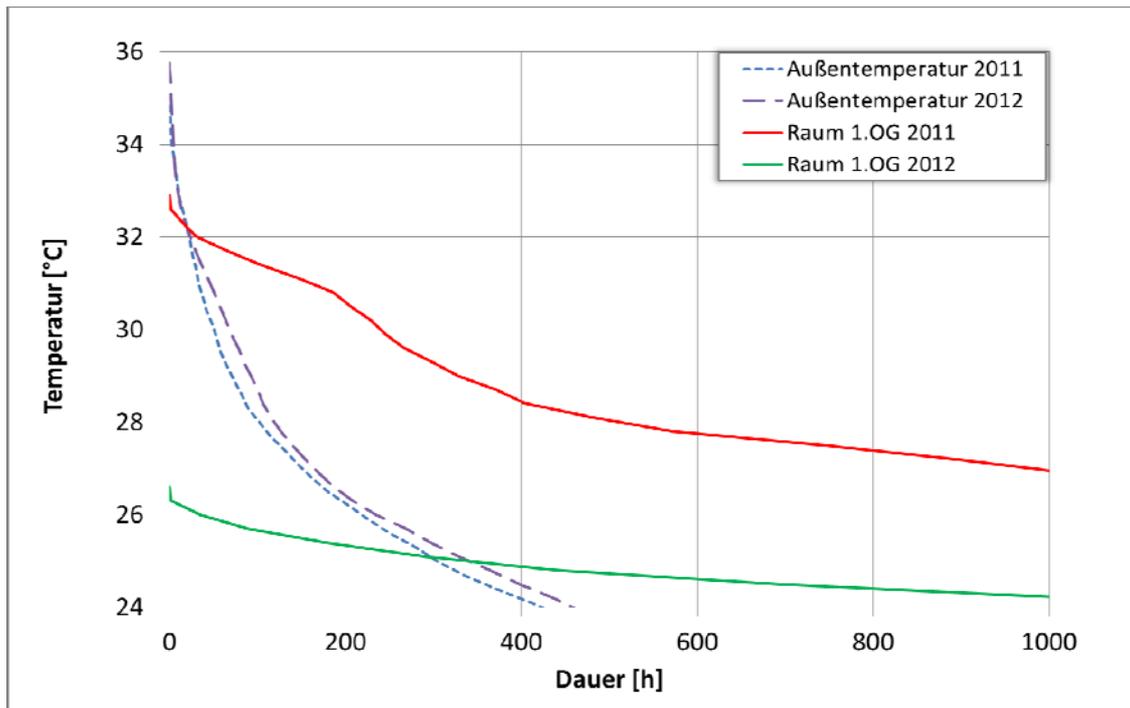


Abbildung 2.6.2: Dauerlinie zur Temperaturbelastung in Stunden in einem nach Süden ausgerichteten Raum des 1. OG im Fachklassentrakt des Oken-Gymnasiums

2.7 Schiller-Gymnasium

Schultyp: Gymnasium
Adresse: Zellerstraße 33
 77654 Offenburg



Abbildung 2.7.1: Das Schillergymnasium mit dem fast 100-jährigem Altbau (links) und dem 1974 eingeweihten Zubau (rechts) [Quelle: www.schiller-gymnasium.de].

Das Schiller-Gymnasium wurde im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ mit dem geringsten Aufwand bearbeitet. Gründe liegen insbesondere darin, dass im Projekt nur die im Rahmen der Ganztagesesschule neugeschaffenen Fachräume des sanierten Dachgeschoß im Altbau zu untersuchen waren. Der Projektlauf war zudem durch eine schlechte Datenverfügbarkeit gekennzeichnet, die eine genaue Analyse des Betriebsverhaltens erschwerte.

Jeder der Fachräume des Dachgeschosses 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 Nachluftkühlung erweitert. Erste verfügbare Messdaten bestätigen die Funktion der Nachlüftung 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.

Auch für das nachgeschaltete Monitoring im Sommer 2012 zeigte sich keine Verbesserung bei der Datenverfügbarkeit. Die bereitgestellten Messdaten für die Räume 402 und 403 zeigen die Wirkung der Nachlüftungsfunktion. Eine bessere Datenverfügbarkeit sollte nach wie vor beim Schiller-Gymnasium erreicht werden, die Auswertung der vorliegenden Daten weist auf eine eher geringe thermische Belastung hin und lässt vorerst keinen akuten Bedarf für weitere Maßnahmen erkennen.

3 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 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 die 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 Kühlungen der Intensität reduziert gehen oder ganz entfällt. Derzeitig liegt die Verantwortung zur temperaturabhängigen Regelung noch bei den Hausmeistern. Der seit mehreren Jahren verfolgte Ansatz des prädiktiven Gebäudebetriebs, der von der Forschungsgruppe net der Hochschule Offenburg erfolgreich umgesetzt wird, gilt hierbei als sehr vielversprechende Entlastung. Dabei werden mit Hilfe von Wetterprognosen gebäudetechnische Anlagen zur Klimatisierung geregelt und gesteuert. Bei den Offenburger Schulen konnte aufgrund der kommunikationstechnischen Randbedingungen die Anwendung des prädiktiven Gebäudebetriebs nicht umgesetzt werden, 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 wie Abschattungseinrichtungen und steuerbaren, lufttechnischen 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 bereits bei der Auftragsvergabe berücksichtigt werden.

Proprietäre Systeme in einzelnen Bestandsgebäuden sind häufig nicht miteinander kompatibel. Im Projekt zeigte sich dies bei der Schule Weier im Laufe des Sommers 2012. Inkompatibilitäten zwischen den beiden eingesetzten Leittechnik-Systemen führten dazu, dass keine Messdaten verfügbar waren und die Schule für das technische Gebäudemanagement zum Ende des Projekts nicht vollständig integriert werden konnte. Eine Integration unterschiedlicher Gebäudeautomationssysteme an einer zentralen Stelle ist mit Zusatzkosten verbunden, die in der Bauplanung bisher kaum Beachtung fanden. Hier sollten an bei Ausschreibung und Spezifikation sowie bei der Auftragsvergabe und bei der kommunalen Auftragsabwicklung Änderungen vorgenommen werden, die zu mehr Nachvollziehbarkeit führen und der Qualitätssicherung dienen. Zudem sollte im Rahmen einer In-

betriebsnahme nicht die Ausführung eines Auftrags abgenommen werden, sondern der korrekte Betrieb, der als Ergebnis des erteilten Auftrags zu sehen ist.

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 muss als unzureichend eingestuft werden und lässt Optimierungsbedarf erkennen. Der Weg über Kaltluftklappen, als Alternative zu den Bypässen konnte im Projekt nicht umgesetzt und sollte als bevorzugte Variante zur Frischluftzufuhr eingeplant werden.

Durch den konsequenten 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. In Fachräumen hat der Einsatz von Rollladenelementen im Sommer 2012 ein guten Erfolg gezeigt und übererfüllte die Erwartungen.. Die Rollladenelemente schützen die Fachräume vor unbefugtem Zutritt und ermöglichen dennoch eine gute Durchlüftung durch ausgestanzte Lamellenelemente.

Bei der Energieeffizienz zeigen die Nachtlüftungskonzepte zur Entwärmung der Schulgebäude deutliche Vorteile im Vergleich zu konventionellen Klimaanlageanlagen auf Basis von Kompressionskältemaschinen, die unverhältnismäßig hohe Anschlussleistungen bei den Schulgebäuden nach sich ziehen. Der Einsatz von Splitgeräten sollte in stark belasteten Einzelräumen höchstens unterstützend zur Spitzenlastkappung eingesetzt werden. Eine optimale Anpassung der Algorithmen und Parameter konnte durch die eher moderaten Sommer der Projektlaufzeit nicht erfolgen. In einem nachgeschalteten Monitoring im Sommer 2012 sollte der sommerliche Betrieb in allen Objekten begleitet und abschließend ausgewertet werden. Als Ergebnisse des Monitoring kann Folgendes zusammengefasst werden:

Während in der Theodor-Heuss-Realschule, der Oststadtschule und dem Oken-Gymnasium die Maßnahmen für vergleichsweise milde Sommer sehr gut greifen, bleibt bei der Integration der Maßnahmen bei der Konrad-Adenauer-Schule und der Schule Weier die Inbetriebnahme für die erfolgreiche Ausführung und den korrekt implementierten Betrieb offen. Beim Schiller-Gymnasium zeigten sich die durchgeführten Maßnahmen als ausreichend, konnten jedoch nicht für alle in Betracht kommenden Räume geprüft werden.

4 Einsparpotenzial bei Kohlendioxidemissionen und Klimaschutzbeitrag

Aus den Maßnahmen zur Überhitzungsminderung im Rahmen des Projekts „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ kann unter Beachtung klimaschädlicher Emissionen folgende Bewertung zu CO₂-Emissionen erfolgen.

4.1 Optimierter Einsatz und Nachrüstung von Verschattungseinrichtungen

Der optimierte Einsatz und über die Gebäudeautomation überwachte Betrieb von Verschattungseinrichtungen erreicht sommerliche Reduzierungen bei den solaren Wärmeeinträgen von bis zu 90 %. Dadurch kann die thermische Belastung um bis zu 60 % gemindert und damit der Kühlenergiebedarf deutlich niedriger angesetzt werden.

4.2 Interne Gewinne und erforderlicher Wärmeaustrag

Aus Tabelle 2.2-1 des Leitfadens wird der erforderliche Wärmeaustrag für ein Obergeschoss mit ca. 700 m² Nutzfläche bei ca. 270 kWh/d angenommen. Er setzt sich aus einem Anteil für interne Gewinne (Nutzer und Geräte) und den restliche Solareinträgen zusammen, die zur Erwärmung von Klassenzimmern beitragen.

Mit Nebenflächen wie im Luftweg befindliche Flure kann mit einer Gesamtfläche von 1.000 m² und einer Raumhöhe von ca. 3 m gerechnet werden. Damit muss ein Luftvolumen von 3.000 m³ mindestens 2-mal je Stunde umgesetzt werden, um eine ausreichende Nachluftkühlung zu erreichen.

4.3 Energieeinsatz für die Nachluftkühlung

Der Luftvolumenstrom von ca. 6.000 m³/h wird mit einer Lüfterleistung von ca. 2 kW erreicht. Für den Nachlüftungskühlbetrieb über 9 Stunden (22.00 Uhr bis 7.00 Uhr) ist damit ein Energieeinsatz (Stromverbrauch) von 18 kWh/Nacht erforderlich. Mit einer angenommenen Aktivierung der Nachlüftung an 80 Tagen bzw. Nächten eines Sommerhalbjahres (1.04. bis 30.09.) ergibt sich ein Energiebedarf von 1.440 kWh.

Mit einem Primärenergiefaktor für den nichterneuerbaren Anteil des Strom-Mix von 2,6 (nach DIN 4701-10 bzw. ENEC) ergibt sich ein Primärenergieeinsatz von 3.744 kWh je Sommer. CO₂-Emissionen durch Nachluftkühlung

Für den Strom-Mix (Bundesmix) wird bei den verbrauchsgebundenen CO₂-Emissionen nach der GEMIS-Datenbank (www.gemis.de, Vers. 4.5) von einem CO₂-Äquivalent von 0,601 kg/kWh ausgegangen. Damit können die mit dem Nachlüftungsbetrieb verbundenen CO₂-Emissionen während eines Sommers mit 2,34 Tonnen angegeben werden.

4.4 Alternative Kühlung mit Kompressionskälte oder Splitgeräten

Im Vergleich zur Nachluftkühlung in einer Sommerperiode stehen die zu erwartenden CO₂-Emissionen durch die Bereitstellung der Kühlleistung beim Betrieb einer konventionellen Kältemaschine bzw. den Betrieb von Klima-Splitgeräten in einzelnen Klassenräumen entgegen.

4.5 Wärmebelastung und erforderlicher Wärmeaustrag

Hierbei wird nicht von einem begleitenden, überwachten Betrieb (z.B. Wetterschutz) eventuell vorhandener Außenjalousien ausgegangen. Die abzuführende Wärmeleistung beträgt deshalb zwischen 400 kWh /d und 600 kWh/d und hängt stark von der Umsetzung zusätzlicher, überhitzungsmindernder Maßnahmen während der Nutzung selbst ab. Auf den Süd- und Südwestseiten werden in sanierten Objekten nachmittags und abends somit deutlich höhere Wärmebelastungen auch außerhalb der Nutzungszeiten angenommen, die den Betrieb der konventionellen Klimatechnik erzwingen. Aus den Auswertungen zur

Außentemperaturentwicklung in der Region südlicher Oberrheingraben der vergangenen 12 Jahre kann bei Nutzung der Mittelwerte das folgende Berechnungsbeispiel zum Vergleich herangezogen werden.

Die Außentemperatur überschreitet während des Unterrichtszeitraums von 7.00 bis 17.00 Uhr in 171 Stunden den Wert von 26 °C. Wird dieser Betriebsstundenwert als Richtgröße für den sinnvollen Betrieb der Klimaanlage herangezogen, ergibt sich ein Energiebedarf von 12.000 kWh bei einer Kälteanlage mit einer angenommenen Gesamtanschlussleistung von ca. 70 kW für das Obergeschoss mit 700 m² Nutzfläche. Im Forschungsprojekt wurde beispielsweise für das Dachgeschoß der Oststadtschule mit ca. 936 m² Nutzfläche eine Kälteanlage mit 60 kW Anschlussleistung vorgeschlagen. Die Anschlussleistung der Kältetechnik liegt somit um den Faktor 20 bis 30 höher als die installierten Leistungen zur Nachtluftkühlung.

4.6 CO₂-Emissionen durch konventionelle Klimatechnik

Für den Primärenergieeinsatz bei Strombezug (Strom-Mix nach GEMIS-Datenbank) ergibt sich mit dem Primärenergiefaktor 2,6 nach ENEV somit ein Primärenergiekennwert von 31.200 kWh. Die daraus folgenden CO₂-Emissionen ergeben eine neunfach höhere Klimabelastung in Höhe von 18,75 Tonnen. Der Einsatz von Klima-Splitgeräten verbessert den CO₂-Ausstoß durch den gezielten Einsatz der Einheiten in stärker belasteten Klassenzimmern, bleibt mit einem vierfachen CO₂-Ausstoß (3 bis 4 kW je Splitgerät und Klassenraum) immer noch deutlich höher.

Beim Vergleich der Klimatisierungslösungen schneidet die Kombination aus Vermeidung von Wärmeeinträgen und kontinuierlicher thermischer Ausgleich durch Nachtluftkühlung in der Umweltbilanz deutlich besser ab. Messungen der Energieverbräuche im Dachgeschoß der Oststadtschule bestätigen den Energiebedarf für die Nachtluftkühlung, ließen jedoch erkennen, dass die Abschattungseinrichtungen mit Hilfe der Gebäudeautomation deutlich besser arbeiten sollten.

4.7 Berechnung der vermiedenen CO₂-Emissionen im Vergleich mit konventioneller Klimatechnik

Eine Abschätzung der CO₂-Einsparung durch das Projekt ist nur begrenzt möglich, da ein erspartes Klimagerät natürlich nicht exakt gemessen werden kann. Da jedoch für die Klimatisierung des Dachgeschosses der Oststadtschule eine Anlagenprojektierung durch ein Ingenieurbüro vorlag, lässt sich anhand dieser Werte eine Umrechnung auf m² vornehmen und so auf alle untersuchten Schulen interpolieren. In der nachfolgenden Tabelle ist auf dieser Basis der ersparte CO₂ – Ausstoß errechnet.

Die tatsächliche Ersparnis dürfte aber höher sein, da die Erfahrung zeigt, dass installierte Klimageräte nicht nur dann betrieben werden, wenn wirklich Temperaturen über 26° C herrschen.

Die Abschätzung des ersparten CO₂-Ausstoßes in Höhe von 68,5 t/a berechnet sich wie folgt:

		Nutzfläche Schule	26°C Jährl. Übschr. in h	angenommen 0,06 KW/m²	Endenergie Strom für Klimati- sierung pro Jahr
Oststadtschule	DG	824,43 m²			
	2.OG	798,06 m²			
		1.622,49 m²	171 h/a	97,35 kW	16.646,75 kWh/a
Okengymnasium	Fachklas- sentrakt	2.630,68 m²	171 h/a	157,84 kW	26.990,78 kWh/a
Theodor-Heuss- Realschule		4.867,21 m²	171 h/a	292,03 kW	49.937,57 kWh/a
Schule Weier		1.761,55 m²	171 h/a	105,69 kW	18.073,50 kWh/a
Schiller- Gymnasium	DG	439,36 m²	171 h/a	26,36 kW	4.507,83 kWh/a
Konrad-Adenauer- Schule	Grundschul- Trakt	1.425,33 m²	171 h/a	85,52 kW	14.623,89 kWh/a
				Gesamt	130.780,32 kWh/a
Energieeinsatz unterstützende Lüfter				2 kWh/m²a	
(Nur in einigen Schulen notwendig)					
Oststadtschule		1.622,49 m²		3.244,98 kWh/a	-3.244,98 kWh/a
Theodor-Heuss- Realschule		4.867,21 m²		9.734,42 kWh/a	-9.734,42 kWh/a
Schiller	DG	439,36 m²		878,72 kWh/a	-878,72 kWh/a
Konrad-Adenauer- Schule	Grundschul- trakt	1.425,33 m²		2.850,66 kWh/a	-2.850,66 kWh/a
					114.071,54 kWh/a
				Einsparung	114 MWh/a
2.) Umrechnung Klimawirksamkeit					
Primärenergie- einsparung	Umrechnungsfaktor Endenergie / Pri- märenergie (lt. EnEV 2009 Anlage 1 Abschnitt 2.1.1)			2,6	296 MWh/a
CO2- Einsparung jährlich	Umrechnung mit spezifischem CO2- Emmissionsfaktor Strom (lt. KEA Bad.- Wttbg.)			0,601 t/MWh	68,51 t/a

Tabelle 4.7.1: Abschätzung jährliche Energieeinsparung elektr. Endenergie in den Projektschulen

Darüber hinaus werden die Ergebnisse des Projekts bei den folgenden Bau- und Sanierungsmaßnahmen an Schulen und anderen kommunalen Objekten der Stadt Offenburg zur Grundlage der diesbezüglichen Planungen gemacht und ersparen auch dort den Einsatz von aktiven Klima- und Kühlgeräten. Durch die Systematisierung und Veröffentlichung im Leitfaden ist beabsichtigt, unsere Erfahrungen mit anderen und teilen und hoffen als angestrebtes Ziel darauf, dass auch andere Schulträger auf aktive Klimatisierungen verzichten können und trotzdem in ihren Schulen (v.a. bei wärmetechnisch optimierten Gebäudehüllen) im Sommer gute Lehr- und Lernbedingungen sicherstellen können.

5 Finanzbericht der Stadt Offenburg zu Kosten und Finanzierung des Projekts

Die im Forschungsantrag dargestellte Finanzierung konnte im Wesentlichen umgesetzt werden. Das Projekt hatte ein förderfähiges Gesamtvolumen von 498.000 EUR und wird vom Innovationsfonds mit 246.500 EUR gefördert.

Bis heute sind ca. 452.000 EUR im Projekt ausgezahlt. Dabei sind auch die Personalmittel und Verwaltungsausgaben der Hochschule als Ausgaben verbucht, da diese Mittel im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung zwischen Stadt Offenburg und Hochschule Offenburg von der Hochschule bei der Stadt abgerufen wurden. Die letzte Rate steht noch aus, da diese gemäß der Vereinbarung erst nach Auszahlung der letzten Förderrate fällig wird. Ebenso sind die Personalmittel und Verwaltungsausgaben der Stadt als Ausgaben verbucht.

Neben einigen noch nicht vollständig abgerechneten Handwerkerrechnungen sind ein Teil der eingeplanten Mittel für die vorgesehenen Veröffentlichungen und Informationsbroschüren noch nicht ausgegeben, da die Ergebnisse des nachgelagerten Monitoring noch in eine ergänzte Fassung des Leitfadens eingearbeitet werden sollen, bevor dieser in größerer Auflage gedruckt werden soll.

Weiterhin hat sich ergeben, dass Verschiebungen zwischen den geplanten und den tatsächlichen Kostenpaketen dadurch aufgetreten sind, dass durch die baubegleitende Ausführung eine andere Kostenverteilung eingetreten ist, als es andere Forschungsprojekte erwarten ließen. In der Bilanz wird das Projekt jedoch im gesetzten Gesamtrahmen abgewickelt werden.

5.1 Baubegleitende Maßnahmen

Mit Ausnahme der Oststadtschule und des Schillergymnasiums wurden die Maßnahmen parallel zu laufenden Sanierungsmaßnahmen durchgeführt.

Die Parallelität des Forschungsprojekts mit Sanierungsmaßnahmen führte zu positiven und negativen Effekten, die sich in der Bilanz ungefähr ausgeglichen haben. Insgesamt haben sie aber dazu geführt, dass das Projekt nicht ganz plangemäß durchgeführt werden konnte, da baubedingte Verzögerungen sich auch auf das Forschungsprojekt ausgewirkt haben.

Positiv ist mit Sicherheit zu werten, dass bei den Neuinstallationen vor allem im Bereich der Gebäudeleittechnik (GLT), das heißt bei computergesteuerten Funktionen in der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) inkl. der zentralen Steuerung durch das Gebäudemanagement, notwendige Deinstallationen im Rahmen der Sanierung sowieso erforderlich gewesen wären und die Neuinstallation schon auf Basis der neuen Erkenntnisse zukunftsicher durchgeführt werden konnte. Obwohl dieser Effekt sich schwer beziffern lässt, ist von einem hohen 5-stelligen Betrag auszugehen. Dies führt u.a. dazu, dass nun 6 Schulen anstelle der ursprünglich geplanten 4 Schulen ohne Mehrkosten untersucht werden konnten.

Ebenfalls positiv an der sanierungsbegleitenden Durchführung war, dass weitergehende Konzepte möglich waren, als im Rahmen reiner Modifikationen erreichbar gewesen wären. Vielfach war es so möglich, dass durch die planungsbegleitende Beratung der Planer, konzeptkonforme Investitionsentscheidungen erreicht werden konnten, ohne Mittel aus dem Projekt investieren zu müssen. Es konnte auf diese Weise mit dem Projekt eine erhebliche Hebelwirkung erzielt werden. Ebenfalls positiv wirkte sich aus, dass ursprünglich geplante Gutachten und Beratungsleistungen nicht zusätzlich notwendig wurden, da die Fragestellungen von den bei der Sanierung tätigen Fachleuten im Rahmen ihrer bestehenden Beauftragung beantwortet werden konnten.

Nachfolgende Tabelle stellt geplante und tatsächliche Kosten gegenüber.

	Ansatz	gebucht	Prognose	noch offen
1 Investitionen/Kosten Stadt Offenburg				
1 - Sachkosten/Investitionen zur Optimierung des Betriebs städtischer Schulen (Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes und der Lüftung bei 4 Schulen, je Schule ca. 50.000 €)	200.000,00	148.770,01	152.625,82	3.855,81
2 - Personalmittel	43.000,00	43.000,00	43.000,00	0,00
3 - Verwaltungsausgaben	6.000,00	6.000,00	6.000,00	0,00
2 Forschungsmittel Hochschule Offenburg				
1 – Personalmittel (Wiss. Mitarbeiter)	148.000,00	120.000,00	156.000,00	36.000,00
2 – Verwaltungsausgaben und Sachmittel	6.000,00	siehe Personalmittel Hochschule		
3 – Investitionen Wettermesstechnik/Kommunikation/ Messkampagnen	20.000,00	24.183,95	24.183,95	0,00
4 – Fremdleistungen im Rahmen der Forschungsarbeiten	50.000,00	86.336,74	88.579,19	2.242,45
Modifikationen an der Gebäudeautomation				
Planungsunterstützung Klimatisierungskonzepte				
Gutachter Brandschutz				
5 – Sonstige Leistungen	25.000,00	15.204,08	19.399,08	4.195,00
Schulungsmaßnahmen/ Kommunikation (OEA/KEA)				
Öffentlichkeitsarbeit/ Broschüre/ Infoveranstaltung in OG				
6 - Nachgelagertes Monitoring 2012	0,00	8.925,00	8.925,00	0,00
	498.000,00	452.419,78	498.713,04	46.293,26
Differenz		45.580,22		

Tabelle 5.1.1: Kostenaufstellung im Projekt

In der Differenz stehen neben der Schlussrate der Hochschule noch die Publikationskosten für den Druck des auf Basis des nachgelagerten Monitorings überarbeiteten Leitfadens und eine Handwerkerrechnung aus.

Problematisch war, dass der Projektzeitplan oft durch die Abhängigkeit von den Bauzeitplänen, die wiederum von technischen Faktoren und der Abstimmung der Baumaßnahme mit dem Schulbetrieb, für das Projektziel nicht optimal sein konnte. Dies führte an einigen Stellen zu Datenlücken und problematischen Zeitverzögerungen, da das Wetter naturgemäß nicht nachholbar ist. Es addierten sich Verzögerungen sowohl bei der Implementierung als auch bei den Messkampagnen in erheblichem Umfang. Daher musste der Bewilligungszeitraum im Frühjahr 2011 bis 31.12.2011 verlängert werden. Zusätzlich wer-

den die untersuchten Objekte das auch nach Abschluss des Forschungsprojekts im Dezember 2011 bis zu den Sommerferien 2012 noch nachevaluiert und optimiert.

Der Abstimmungsbedarf mit den unterschiedlichen an den Projekten tätigen Fachleuten war erheblich und somit auch sehr zeitaufwändig.

Im Rahmen der parallelen Sanierungsmaßnahmen mussten geplante Investitionsmaßnahmen nicht im Forschungsprojekt finanziert werden, da sie als „Sowieso“- Maßnahme im Sanierungsumfang enthalten waren. Dafür entstand ein größerer Aufwand für Modifikationen an der Gebäudeautomation, da nun 6 Schulen im Projekt untersucht wurden. Dabei handelt es sich natürlich auch um Investitionen in das Objekt, die Neu- bzw. Umprogrammierung von Automationsfunktionen sind objektspezifisch und verbleiben ja im Objekt. Um die Datenklarheit zu behalten, wurde jedoch auf eine Umbuchung verzichtet. Eine Betrachtung der Verteilung der in den Objekten direkt angefallenen Investitionen zeigt, dass in der Oststadtschule, in der keine parallelen Sanierungsmaßnahmen stattfanden erwartungsgemäß am meisten investiert werden musste. Im Schillergymnasium wurde lediglich eine ergänzende Programmierung notwendig, da die Betrachtung nur das Dachgeschoß betraf.

Oststadtschule (Erich-Kästner / Anne-Frank-Schule)	ca. 84.400 €
Konrad-Adenauer-Schule	ca. 50.000 €
Theodor-Heuss-Realschule	ca. 47.000 €
Okengymnasium	ca. 25.300 €
Schule Weier	ca. 21.800 €
Schillergymnasium	ca. 900 €

Tabelle 5.1.2: Einzelaufwendungen für Maßnahmen in den Schulobjekten

Dabei wurden folgende parallelen Sanierungsinvestitionen durch die Stadt Offenburg in den beteiligten Objekten während der Projektlaufzeit 2008-2011 durchgeführt.

Oststadtschule (Erich-Kästner / Anne-Frank-Schule)	ca. 234.000 €
Konrad-Adenauer-Schule	ca. 4.939.000 €
Theodor-Heuss-Realschule	ca. 2.404.000 €
Oken-Gymnasium	ca. 1.931.000 €
Schule Weier	ca. 1.886.000 €
Schiller-Gymnasium	ca. 260.000 €

Tabelle 5.1.3: Sanierungsinvestitionen an den Schulen während der Projektlaufzeit.

Aus diesen Investitionssummen konnten im Schillergymnasium und in der Oststadtschule keine der beschriebenen Paralleleffekte generiert werden, da es sich um Maßnahmen aus den Vorjahren oder in anderen Gebäudeteilen handelte.

An der Konrad-Adenauerschule und an der Schule Weier sind Neubaumaßnahmen zur Gebäudeerweiterung enthalten.

Mit den im Forschungsprojekt eingesetzten Investitionsmitteln wurde neben den angestrebten Forschungsergebnissen auch eine deutliche Verbesserung der örtlichen Situation im Sinne des Projektansatzes erreicht.

6 Bewertung des Projekts und Anschlussfähigkeit in der Region

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 (PCM) oder Lehm) zur Erhöhung der Wärmekapazitäten als auch ergänzende emissionsarme Kühlkonzepte wie die Nutzung von Kühlregistern mit Kühlenergie aus Geothermieanlagen oder die adiabatische Kühlung.

Das Projekt zeigte vollen Erfolg hinsichtlich der Ziele und Vorgaben als Forschungsvorhaben der Hochschule Offenburg und im Rahmen der umfangreichen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im sanierten Schulbestand der Stadt Offenburg.

Es wirkt sich stark auf künftige Planungen und Sanierungsvorhaben im Bereich des sommerlichen Wärmeschutzes bei Träger und Betreiber der Schulen aus. Die technischen Erweiterungen und die intensive Nutzung der zentralen Gebäudeautomation mit Fernzugriff für das technische Management über das Internet, steigert die Reaktionsschnelligkeit bei Überwachungsaufgaben, bei der Fehlererkennung und bei der Durchführung von verbrauchsreduzierenden Maßnahmen. Der Einsatz zusätzlicher Raumklima- und Wettermesstechnik sorgt für eine verbesserte Betriebsanalyse und energetische Bilanzierung.

Das Projekt trägt positiv zum nachhaltigen Gebäudebetrieb bei und sorgt für Verbesserungen des Lern- und Arbeitsklimas in Klassenzimmern. Wichtige Energieeinsparungen durch die energetische Modernisierung der Schulen im Winterhalbjahr werden untermauert durch eine konsequente an natürlichen Klimatisierungsverfahren orientierte Überhitzungsminderung im Sommer. Sommerliche CO₂-Emissionen werden deutlich reduziert oder entfallen vollständig.

Kommunikationsmaßnahmen zu Änderungen in der Gebäudebetriebsweise wurden mit Nutzern im Projekt durchgeführt und sollen als Bestandteil des kommunalen Energiemanagements regelmäßig wiederholt werden.

Hinsichtlich der Finanzierung konnte durch Kopplung der Einführung neuer Methoden und Verfahren an laufende Sanierungsvorhaben eine hohe Kosteneffizienz erreicht werden, die vereinzelt zu Bauzeitenverzögerungen führten. Die Vorgehensweise hat sich jedoch bewährt und mit der Ausarbeitung eines Leitfadens konnten allgemeingültige Methoden und Planungsgrundlagen geschaffen werden, die für künftige Vorhaben eine deutliche Verbesserung der Planungs- und Ausführungsabläufe versprechen.

Die Kooperation zwischen dem Innovationsfonds der badenova AG & Co KG als Fördermittelgeber und den Projektpartnern Stadt Offenburg und Hochschule Offenburg erwies sich als sehr erfolgreiche Kombination bei der Einführung innovativer Methoden und Verfahren im kommunalen Umfeld.

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.

Weitere Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz bei Betrieb öffentlicher Gebäude wurden im Rahmen der Arbeiten zum Klimaschutzkonzept der Stadt Offenburg mit der Hochschule Offenburg beantragt und bewilligt. Die Forschungskooperation zu mehr Klimaschutz und Energieeffizienz kann somit auch in den folgenden Jahren fortgesetzt werden.

Im Laufe des Projekts wurde der neue Leitfaden des Umweltbundesamt zur Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden [4] 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).

7 Referenzen/Quellen

- [1] Leitfaden und Anhang zu Schulgebäuden im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ abrufbar auf der Webseite der Forschungsgruppe nachhaltige Energietechnik (net) unter <http://fgnet.hs-offenburg.de/gebaeude/schulklima/berichte/> , März 2012
- [2] 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
- [3] Passivhaus Institut: „Leitfaden energieeffiziente Bildungsgebäude“, Darmstadt, 7/2010
- [4] Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“, Umweltbundesamt, Berlin, 2008

8 Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts

- [1] Leitfaden und Anhang zu Schulgebäuden im Projekt „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ abrufbar auf der Webseite der Forschungsgruppe nachhaltige Energietechnik (net) unter <http://fgnet.hs-offenburg.de/gebaeude/schulklima/berichte/> , März 2012
- [2] Jesus da Costa Fernandes, Automationsgestützte natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Fachbeitrag im Tagungsband zum MESAGO Facility Management Kongress in Frankfurt, Februar 2011
- [3] Jesus da Costa Fernandes, Thomas Feldmann, Elmar Bollin, Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Beiträge aus Forschung und Technik 2011 des Institut für angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg, Offenburg 2011
- [4] Jesus da Costa Fernandes, Thomas Feldmann, Elmar Bollin; „Natürliche Gebäudeklimatisierung – Potenziale für den Klimaschutz“, Beiträge aus Forschung und Technik des Institut für angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg, Offenburg 2009
- [5] Jesus da Costa Fernandes, Matthias Niederklostermann, Elmar Bollin; „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ Zeitschrift „horizonte“ Nr. 40, Forschung an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg, Koordinierungsstelle Forschung und Entwicklung der Fachhochschulen des Landes Baden-Württemberg, Mannheim, September 2012, ISSN: 1432-9174

9 Vorträge

- [1] Thomas Feldmann, J. da Costa Fernandes, Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Fachvortrag zum 29. Regelungstechnisches Seminar der Bälz-Stiftung, Hochschule Offenburg, Offenburg, 10.September 2011
- [2] Jesus da Costa Fernandes, Automationsgestützte natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Fachvortrag zum MESAGO Facility Management Kongress in Frankfurt, 22. Februar 2011
- [3] Jesus da Costa Fernandes, Mehrere Fachvorträge zur Projektvorstellung und Statusberichte vor Lehrern und Mitarbeitern von beteiligten Schulen und Fachausschüssen des Stadtrat Offenburg, Offenburg 2007 bis 2012
- [4] Jesus da Costa Fernandes, Fachvorträge und Projektvorstellungen beim Besuch der Mitglieder des Gemeinderats von Schwanau in der Theodor-Heuss-Realschule, bei einem Meeting beim Baudezernat der Stadt Lörrach und beim Finanzministerium des Landes Baden-Württemberg in Stuttgart, 2009 bis 2011