Stadt Kaufbeuren

Konzeption und Einsatz einer neuartigen, frei kontrollierten Lüftung am Beispiel der Erweiterung der Jörg-Lederer-Schule, Kaufbeuren

Abschlussbericht über ein Projekt gefördert unter dem Az: 15438 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Stadt Kaufbeuren
Hochbauamt

Zu beziehen bei

Stadt Kaufbeuren
Hochbauamt
Kaiser Max Strasse 1

87600 Kaufbeuren

Abschlussbericht
Jörg – Lederer Schule
Kaufbeuren

Dipl.-Ing. Claus Twerdy, Dipl.-Ing. Helmut Meyer

März 2002

Auftraggeber:
Stadt Kaufbeuren

Transsolar Energietechnik GmbH Curiestrasse 2 70563 Stuttgart

tel 0711/ 67976-0 fax 0711/ 67976-11 http://www.transsolar.de

11/95

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	15438	Referat	25	Fördersumme	110.000,00 DM

Antragstitel	**Konzeption und Einsatz einer neuartigen, frei kontrollierten Lüftung am Beispiel der Erweiterung der Jörg-Lederer-Schule, Kaufbeuren**
Stichworte	Ökobau, Demonstration

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
1 Jahr 6 Monate	**03.01.2000**	**30.04.2002**	**1**

Zwischenberichte
Halbjährlich

Bewilligungsempfänger	Stadt Kaufbeuren Hochbauamt Kaiser-Max-Straße 1 87600 Kaufbeuren	Tel Fax Projektleitung Herr Scholz Bearbeiter Herr Popp	08341/437-450 08341/437-659
Kooperationspartner	TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, 70563 Stuttgart		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Mit dem Anbau der Jörg Lederer Schule soll ein exemplarischer Bau erstellt werden, der einen möglichst geringen Energiebedarf bei gleichzeitig hohem Nutzungswert aufweist. Zielsetzung ist es, die in stoßweise gelüfteten Klassenräumen extrem schlechte Luftqualität durch eine kontinuierliche natürliche Lüftung zu verbessern. Trotz der exponierten Lage zu einer viel befahrenen Straße werden die Räume natürlich belüftet. Neben den Verpflichtungen aus der Agenda 21 waren es auch pädagogische Erwägungen, die die Planung in diese Richtung gelenkt haben. Anhand dieses relativ kleinen Bauvorhabens soll die Umsetzung einer natürlichen Schachtlüftung hinsichtlich Wirksamkeit und Nutzerakzeptanz geprüft werden. Sollte sich diese Methode bewähren wird die Stadt diese in weiteren Neubau- und Sanierungsvorhaben realisieren.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Laufe der Planung wurde in enger Zusammenarbeit zwischen Architekt und Klimaingenieur ein dem Gebäude angepasstes Lüftungskonzept entwickelt. Dabei wurde ein natürliches Lüftungskonzept geplant, bei dem Frischluft über schallgedämmte Elemente in der Fassade in den Raum strömt und die Abluft über einen solar- und windunterstützten Kamin abgeführt wird. Angetrieben wird die Lüftung durch die Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen.

Einzelne Varianten wurden mittels dynamischer Gebäudelastsimulation hinsichtlich Energiebedarf, Raumklima und Luftqualität untersucht. Dazu wurde ein mathematisches Modell des Gebäudes erstellt und dann mit stündlichen Wetterdaten beaufschlagt. Die dynamische Gebäudelastsimulation erlaubt sehr detaillierte Aussagen über das spätere thermische Verhalten des Gebäudes bereits in der Planungsphase. Neben dem Energiebedarf ist auch der erreichbare Komfort, bzw. die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen klar zu quantifizieren.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der 3-phasigen Messkampagne belegen die prinzipielle Funktion des geplanten Konzepts. Es wurden 3 Messperioden, Sommer, Winter und Übergangszeit mit einer Messzeit von jeweils 1 bis 2 Wochen durchgeführt. Ziel war für die entsprechende Jahreszeit typische Betriebszustände zu erfassen und so anhand von Stichproben die Funktion und Leistungsfähigkeit des Konzepts zu überprüfen.

Für das System stellt vor allem der Sommer den kritischen Bereich dar, da hier der Hauptantrieb der natürlichen Lüftung, die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, tendenziell abnimmt. Trotzdem werden auch im Sommer die prognostizierten Werte weitgehend erreicht. D.h. über die Abluftkamine werden ausreichende Luftwechsel in den untersuchten Räumen erreicht, obwohl die Kamine aus architektonischen Gründen wesentlich zurückhaltender, d.h. niedriger ausgeführt wurden als in ersten Überlegungen angedacht.

Ein grundsätzliches Problem wird durch die Ergebnisse der Messkampagne deutlich. Auf Grund der in der der digitalen Steuerung gewählten Einstellungen werden einige Funktionen der Anlage nicht genutzt, wie zum Beispiel die Nachtluftspülung der Räume. Dabei soll die zum Teil freie Massivbetondecke zur Begrenzung der sommerlichen Raumtemperaturen genutzt werden. Dabei ist aber zwingend erforderlich, dass die tagsüber in die Decke eingespeicherte Wärmemenge abgeführt werden kann. Das Konzept sieht dafür vor, die in der Nacht kühleren Umgebungstemperaturen zu nutzen und über die vorhandene Anlage zur natürlichen Lüftung den Raum zu durchströmen und dabei zu entwärmen. Diese Möglichkeit wurde während der sommerlichen Messperiode nicht genutzt.

Ein zweiter Punkt war die geplante kontinuierliche natürliche Lüftung im Unterrichtsbetrieb. Das Konzept sieht vor über eine gewisse Öffnung der Klappen das System auch im Winter zu aktivieren, um so eine gleichbleibend zumutbare Luftqualität im Klassenraum zu gewährleisten. Um den Regelungsaufwand zu begrenzen, wurde eine einfache Steuerung in Abhängigkeit einer Zeitschaltuhr und der Außentemperatur den Öffnungsgrad der Lüftungsklappen bestimmt. Die Nutzer bemängelten zu niedrige Temperaturen. Es stellte sich auf Nachprüfung heraus, dass die Heizung bei Betrieb der Lüftung durch die Regelung blockiert wird.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Neben verschiedenen Artikeln in der lokalen Presse ist die Veröffentlichung in einer überregionalen Architekturzeitung geplant. Zudem wird das Projekt auf der Webseite von Transsolar dargestellt werden.

Fazit

Die pr ktion konnte nachgewiesen werde urde durch die gewünschte archite ftqualität in den einzelnen Räum vas auf eine eingeschränkte Funkti

Die r rphase der Steuer- und Regel Sie noch nicht vollständig abges sen werden.

A

Umsetzung an Schulen und Schulsanämter / Kommunen weitergeben!

UMWELT STIFTUNG
DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT

Deu 9633-0 • Fax 0541/9633-190
AN DER BORNAU 2 · 49090 OSNABRÜCK · TELEFON (05 41) 96 33-0 · TELEFAX (05 41) 96 33-190

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung ... 9

2. Beschreibung der Lüftungskonzeption ... 9

2.1. Vorteil Winter ... 10

2.2. Vorteil Sommer ... 10

2.3. Komponenten ... 10

2.4. Problematik der Kaminlüftung ... 10

2.4.1. Abhilfe ... 10

3. Simulationsergebnisse ... 13

3.1. Heizwärmebedarf ... 13

3.2. Sommerliche Komfortbedingungen ... 15

4. Regelkonzept ... 16

4.1. Rein manuelle Bedienung ... 16

4.2. Bedarfsgeregelte Lüftung (energetisch optimale Version) ... 16

4.3. Regulierte Lüftung ... 17

5. Zusammenfassung Konzeption ... 17

6. Messkampagne ... 18

6.1. Ziel der messtechnischen Untersuchung ... 18

6.2. Untersuchungszeiträume ... 18

6.3. Messgrössen ... 19

6.4. Zeitlicher Verlauf der Frühlingsmessung ... 24

6.5. Zeitlicher Verlauf der Sommermessung ... 28

6.6. Zeitlicher Verlauf der Wintermessung ... 32

7. Fazit ... 36

Bildverzeichnis

Abbildung 1 Prinzipbild Lüftung 11

Abbildung 2 Skizze Kaminaufbau 11

Abbildung 3 Skizze Abluftöffnung 12

Abbildung 4: Auswirkung der Luftwechselrate auf den Jahresheizwärmebedarf und die Luftqualität 14

Abbildung 5: Auswirkung des Lüftungskonzepts auf den Jahresenergiebedarf 14

Abbildung 6: Sommerlicher Temperaturverlauf mit unterschiedlichen Randbedingungen 15

Abbildung 7: Vergleich Luft- und operative Raumtemperatur 16

Abbildung 8: Wetterstation auf dem Dach des Neubaus 20

Abbildung 9: Solarstrahlungs- und Umgebungstemperaturmessgerät 20

Abbildung 10: Klassenzimmer im EG, Abluftöffnung, Lufttemperaturfühler abgependelt von der Decke 21

Abbildung 11: Klassenzimmer im OG, Abluftöffnung, Lufttemperaturfühler abgependelt von der Decke 21

Abbildung 12: EG, Abluftkamin, Blick von unten, Messfühler für Ablufttemperatur und –geschwindigkeit 22

Abbildung 13: OG, Abluftkamin, Blick von unten, Messfühler für Ablufttemperatur und –geschwindigkeit 23

Abbildung 14: Wetterdaten während der Frühlingsmessung 24

Abbildung 15: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss25

Abbildung 16: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss25

Abbildung 17: Wetterdaten vom 26. April 26

Abbildung 18: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss27

Abbildung 19: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss27

Abbildung 20: Wetterdaten während der Sommermessung 28

Abbildung 21: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Erdgeschoss29

Abbildung 22: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Obergeschoss29

Abbildung 23: Wetterdaten vom Fr. 6. Juli 30

Abbildung 24: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Erdgeschoss31

Abbildung 25: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Obergeschoss31

Abbildung 26: Umgebungstemperatur während der Wintermessung 32

Abbildung 27: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss33

Abbildung 28: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss33

Abbildung 29: Umgebungstemperatur am 10. Januar 2002 34
Abbildung 30: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss35
Abbildung 31: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss35

1. Problemstellung

Der Erweiterungsbau der Jörg Lederer Schule ist mit der Hauptfassade zu einer stark befahrenen Strasse orientiert, so dass eine Fensterlüftung, auf Grund der hohen Schallemissionen nicht möglich ist. Hinzu kommt die Problematik, dass bei geringen Aussentemperaturen fenstergelüftete Klassenzimmer normalerweise nicht ausreichend gelüftet werden, da es in Fassadennähe zu Zugerscheinungen kommt. Aus diesem Grund wurden in Klassenräumen CO_2 – Konzentrationen bis 5.000 ppm gemessen. Dies entspricht dem MAK-Wert (maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration) und ist nicht vertretbar.

Dies hat zur Konsequenz, dass die Klassenräume des Erweiterungsbaus mit einer Permanentlüftung ausgestattet werden müssen. Aufgrund der hohen Investitions-, Betrieb- und Wartungskosten, sowie u.U. hohen Energiekosten für den Betrieb der Anlage, wurde ein natürliches Lüftungskonzept konzipiert.

2. Beschreibung der Lüftungskonzeption

Eine kontinuierliche, kontrollierte, natürliche Lüftung hat folgende Vorteile[1]:

- Vermeidung hoher Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft
- Luftmenge wird begrenzt – Reduzierung Heizwärmebedarf möglich
- Schallgedämmte Zuluftelemente können eingesetzt werden – Problem Lärmimissionen wird vermieden
- Komfortprobleme – Zugerscheinungen werden vermieden

Die Zuluft wird über schallgedämmte Öffnungen in der Fassade in den Raum eingebracht. Jeder als Klassenzimmer genutzte Raum erhält einen seperaten Abluftkamin über den die verbrauchte Luft abgeführt wird. Angetrieben wird die Lüftung auf natürlichem Weg über die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen (Kamineffekt).

---

[1] siehe Abbildung 1 Prinzipbild Lüftung

2.1. Vorteil Winter

Gute Luftqualität durch kontinuierliche Lüftung.

Reduzierter Heizwärmebedarf bei gleichbleibend hoher Luftqualität durch kontrolliertes Lüften.

Komforterhöhung durch zugfreies Lüften.

2.2. Vorteil Sommer

In Verbindung mit zugänglichen thermischen Massen kann das System zur Nachtluftspülung genutzt werden. Die Gebäudestruktur wird tagsüber zur Einspeicherung von Wärmeeinträgen genutzt, die dann nachts mit kühler Aussenluft wieder entwärmt werden.

2.3. Komponenten

Zuluftöffnungen:

Als Zuluftöffnungen werden schallgedämmte Dauerluftelemente verwendet.

Abluftkamin:

Aus brandschutztechnischen Gründen erhält jeder Raum einen eigenen Abluftkamin mit einer Querschnittsfläche von ca. A = 0.3 m² und einer Höhe über Dach von 3-5 m. Ist diese Höhe in den architektonischen Entwurf nicht zu integrieren kann über eine entsprechend optimierte Gestaltung der Auslassöffnungen und der Querschnitte eine teilweise Kompensation erreicht werden.

2.4. Problematik der Kaminlüftung

Der Lüftungsantrieb erfolgt über die Temperaturdifferenz zw. innen und aussen (Kamineffekt). Im Winter ist somit der Antrieb gewährleistet im Sommer jedoch verringert sich die geförderte Luftleistung oder kommt zum Erliegen.

2.4.1. Abhilfe

Ausbildung als Solarkamin – am Kaminende wird eine thermische Masse angordnet, die mit Einfachglas quasi als Sonnenkollektor ausgeführt wird. Die Masse wird durch die Sonne erhitzt und verstärkt die Kaminwirkung.

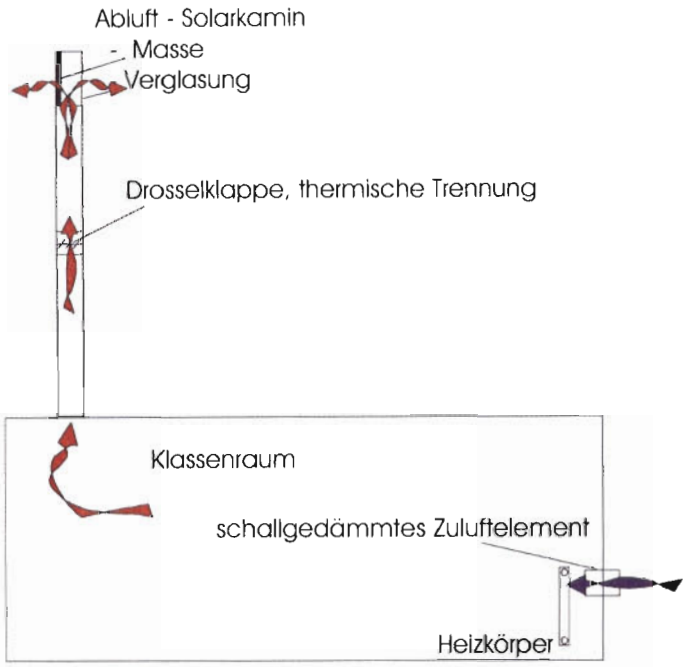
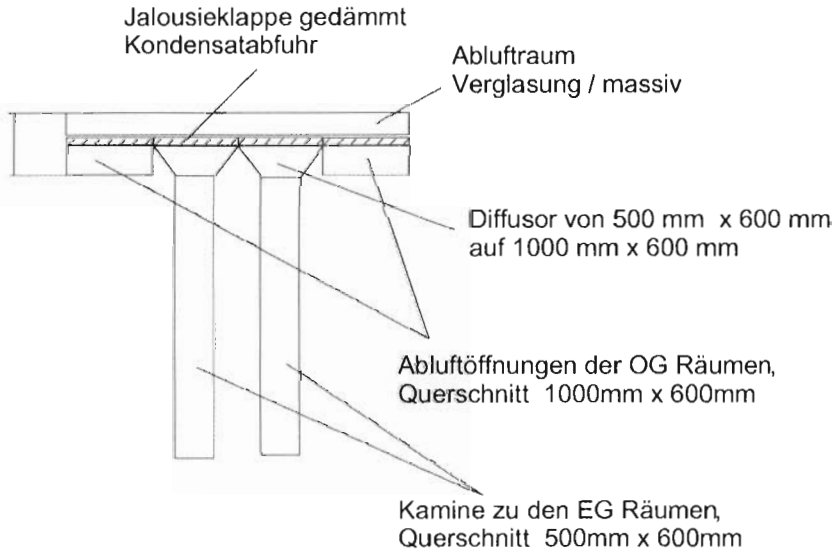


Abbildung 1 Prinzipbild Lüftung



Skizze Kaminaufbau

Abstand Dauerlüfter OG bis Unterkante
Luftauslass Kamin mind. 3.8 m

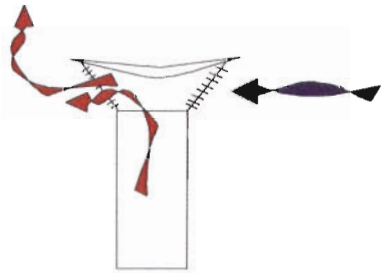
Abbildung 2 Skizze Kaminaufbau

Ist die geforderte Höhe der Kamine über Dach nicht realisierbar ist eine Erhöhung der Abluftquerschnitte erforderlich. Die Nutzung der Räume als Klassenzimmer mit ca. 35 Schülern wird angenommen (s. Randbedingungen Simulation). Zwei Gruppen dieser Kamine wären erforderlich, wenn alle Räume mit einer Kaminlüftung ausgestattet werden sollen.

Der Abluftraum wird als Solarkollektor ausgeführt, zur Nutzung solarer Energie als weiterer Antrieb der Lüftung. Wir schlagen die Ausführung in Einfachglas mit einer masssiven Wand als Absorber vor, die zusätzlich mit einem Absorberblech belegt bzw. mit einem entsprechenden Anstrich versehen werden sollte.

In diesem Raum bzw. in den Kaminen kann oberhalb der Dämmebene im Winter Kondensat ausfallen, das abgeführt werden muss.

Um die Funktionsfähigkeit der Kamine weiter zu unterstützen ist die aerodymisch günstige Ausformung der Abluftöffnung erforderlich. Sie muss so geformt sein, dass jegliche Windverhältnisse zur Unterstützung der Ablüftung genutzt werden.



Hierzu ein Vorschlag: Skizze Abluftöffnung

Abbildung 3 Skizze Abluftöffnung

3. Simulationsergebnisse

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden für einen Klassenraum im ersten OG unter den folgenden Randbedingungen ermittelt.

- Belegung 35 Personen von 8°°-13°° und 14°°-17°°
- Aussenwand 12 cm gedämmt
- Dach 20 cm gedämmt
- Trennwände HLZ 17,5 cm
- Verglasung k-Wert = 1,1 W/m²K (Bundesanzeiger 1.2 W/m²K)
- Verglasung g-Wert = 58 %
- Fenster Rahmenklasse 1
- Infiltrationsrate 0.1 1/h (Gebäudeundichtigkeit)
- Frischluftrate variiert
- Stosslüftung in den Pausen (3/h)
- Nachtluftspülung (3/h)
- Solltemperatur Winter 22 °C

3.1. Heizwärmebedarf

Die Simulationen s. Abbildung 4 zeigen, dass der Raumwärmebedarf – ohne Lüftung – bei ca. 15 kWh/m²a liegt, jedoch ist die kritische CO_2-Konzentration zu 90 % der Nutzungsdauer überschritten. Ein Grundluftwechsel von 10 m³/h/Person führt zu einer Reduzierung des Überschreitungshäufigkeit der krit. CO_2-Konzentration auf 10 % und bei einem Grundluftwechsel von 15 m³/h/Person auf 0 %. Gleichzeitig erhöht sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf.

Bei einem Luftwechsel von 30 m³/h/Person, wie es die DIN 1946 (Dimensionierung von raumlufttechnischen Anlagen) empfiehlt, wird in Bezug auf die Luftqualität keine signifikante Verbesserung erzielt, jedoch verdoppelt sich der Jahresheizwärmebedarf gegenüber einem Grundluftwechsel von 15 m³/h/Person.

Vergleicht man den jährlichen Energiebedarf, der aus einem natürlichen Energiekonzept resultiert, mit einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG), so zeigt sich, dass bei einem Luftwechsel von 15 m³/h/Person der Primärenergiebedarf für den Betrieb einer raumlufttechnischen Anlage die Wärmeeinsparung übertrifft (siehe Abbildung 4).

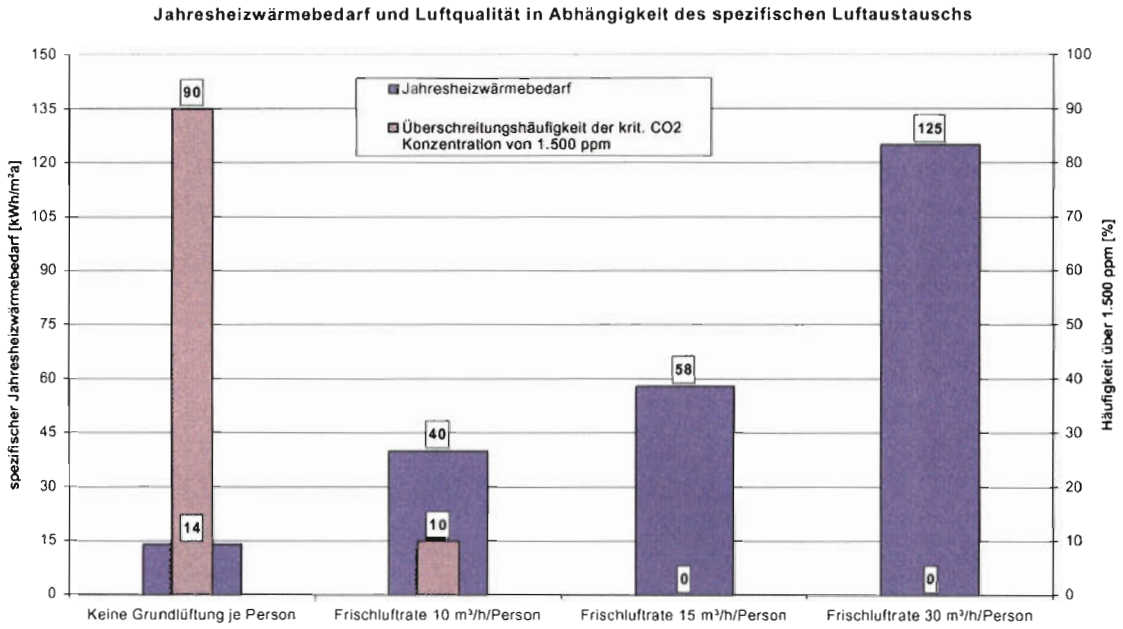


Abbildung 4: Auswirkung der Luftwechselrate auf den Jahresheizwärmebedarf und die Luftqualität

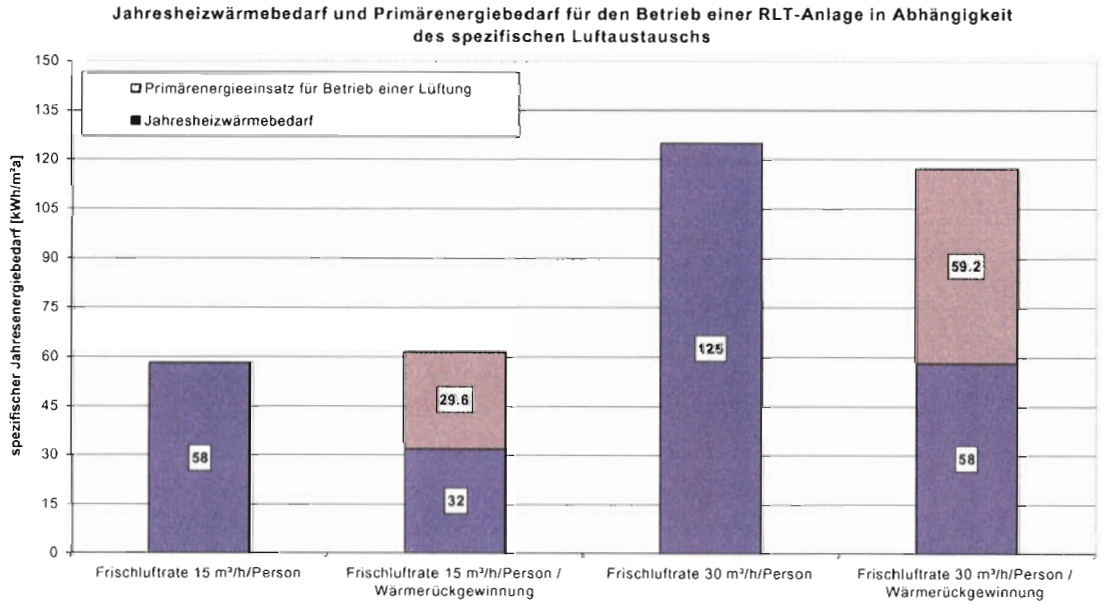


Abbildung 5: Auswirkung des Lüftungskonzepts auf den Jahresenergiebedarf

3.2. Sommerliche Komfortbedingungen

Die Abbildung 76 zeigt den sommerlichen Temperaturverlauf während einer heissen Woche. Dabei zeigt sich, dass bei einem Verzicht auf die Nachtluftspülung eine Raumlufttemperatur über 30 °C zu erwarten ist. Die Nachtluftspülung bewirkt eine Reduzierung der maximalen Temperatur von fast 5 Kelvin. Erhöht man die Frischluftrate auf 20 m³/h/Person, so zeigt sich, dass trotz einer Nachtluftspülung wiederum Raumlufttemperaturen über 30 °C zu erwarten sind. Dies begründet sich darin, dass auf Grund der erhöhten Frischluftrate in den Morgenstunden die heisse Aussenluft zu einer schnellen Aufheizung des Raums führt.

Vergleicht man die Luft- und die operative[2] Raumtemperatur (Abbildung 7), so zeigt sich, dass die operative Temperatur im Tagesmaximum ca. 2 Kelvin unter der Lufttemperatur liegt. Dies resultiert aus der Nachtluftspülung. Durch die Nachtluftspülung wird die Gebäudemasse abgekühlt. Vor allem die Geschossdecke wirkt als Strahlungspartner und nimmt Wärme auf und verbessert dadurch das Temperaturempfinden.

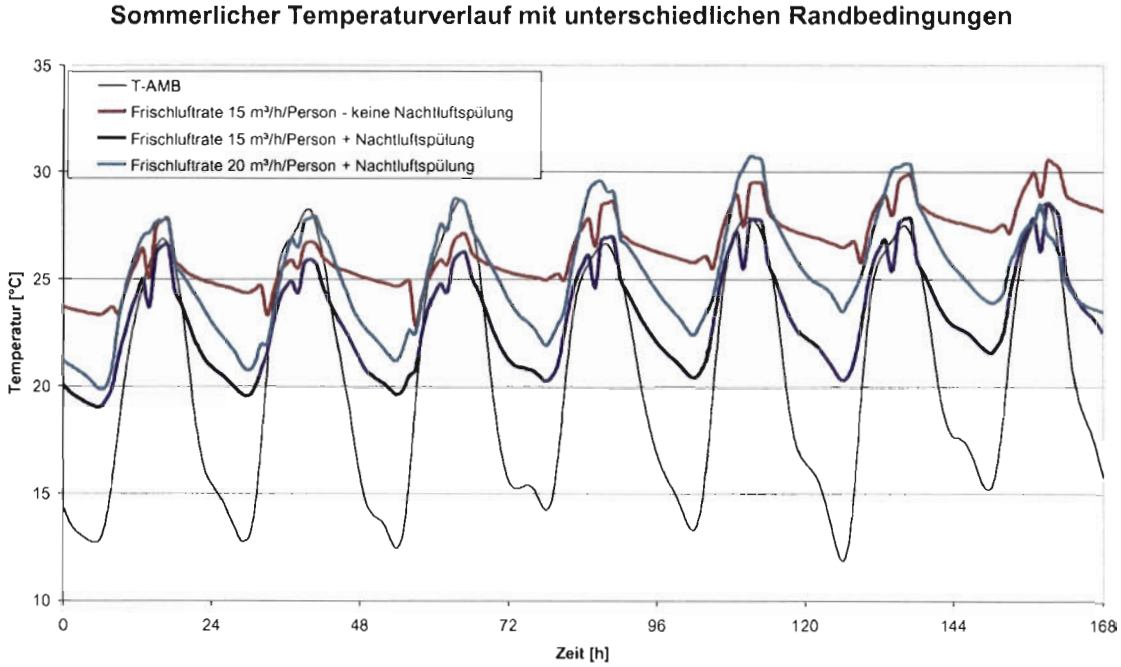


Abbildung 6: Sommerlicher Temperaturverlauf mit unterschiedlichen Randbedingungen

[2] Die operative Raumtemperatur entspricht der empfundenen Temperatur in Raummitte. D.h. es wird ein Mittel aus Strahlungs- bzw. mittlere Temperatur der umgebenden Oberflächen und Lufttemperatur gebildet.

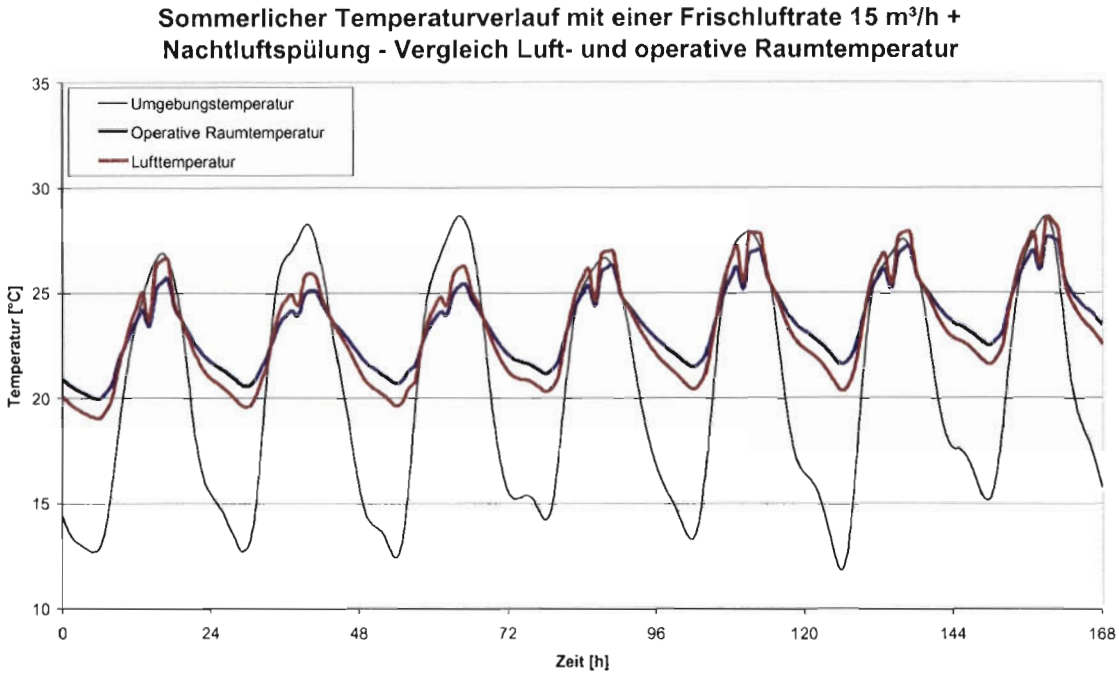


Abbildung 7: Vergleich Luft- und operative Raumtemperatur

4. Regelkonzept

4.1. rein manuelle Bedienung

Vorteile - keine zusätzlichen Kosten für MSR-Technik (Messen - Steuern – Regelung)

Nachteile - Effizienz hängt vom Nutzer ab

- im Winter müssen die Zuluftelemente und der Kamin ausserhalb der Nutzung geschlossen werden, um einen erhöhten Heizwärmebedarf zu vermeiden – Gefahr -> Einfrieren der Heizkörper

4.2. bedarfsgeregelte Lüftung (energetisch optimale Version)

CO_2 wird im Raum gemessen – Drosseleinrichtung im Abluftkamin oder / und Zuluftelemente werden entsprechen geöffnet oder geschlossen.

Vorteil - minimaler Heizwärmebedarf

Nachteil - zusätzliche Kosten für MSR:

4.3. regulierte Lüftung

Ein bestimmter Volumenstrom wird für Sommer und Winter eingestellt. Die Klappen im Zu- und Abluftbereich werden motorisch angesteuert und über eine Zeitschaltuhr geöffnet und geschlossen.

Vorteil
- Funktionsfähigkeit des Systems ist gewährleistet
- Fehlbedienung nur eingeschränkt möglich
- Reduzierte Kosten im Vergleich zur bedarfsgeregelten Lüftung

Nachteil
- bei häufiger Änderung der Nutzungszeiten ist ein erhöhter Heizwärmebedarf zu erwarten
- durch die Voreinstellung der Frischluftrate kann es Wetter- bzw. Nutzungsbedingt zu einem erhöhten Luftwechsel – d.h. erhöhter Wärmebedarf – bzw. zu einem zu niederen Luftwechsel – d.h. zu schlechterer Luftqualität kommen.

Aus einer Kosten Nutzen Relation hat man sich für die Variante 4.3 entschieden.

5. Zusammenfassung Konzeption

Zu- Abluftquerschnitte werden auf einen 3-fachen Luftwechsel für die sommerliche Nachtluftspülung dimensioniert. Im Heizfall wird eine Grundlüftung von 15 m³/h/Person vorgesehen.

Die rein manuelle Variante halten wir für nicht praktikabel und empfehlen die Variante bedarfsgeregelte oder regulierte Lüftung Nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind die Mehraufwendungen für Variante B nicht zu rechtfertigen, da die möglichen Energieeinsparungen zu gering bzw. die Energie zu billig ist. Nach ökologischen Gesichtspunkten sind die möglichen Einsparungen von ca. 10-20 % natürlich anders einzustufen als nach rein monetären.

Es wurde dargestellt, dass durch das Konzept ganzjährig eine Komfortverbesserung zu erwarten ist. Der Aufwand hierfür ist – verglichen mit einer mechanischen Lüftung – gering. Vor allem die Verbesserung der Luftqualität im Winter ist dringend erforderlich und stellt einen deutlichen Fortschritt im Schulbau dar.

6. Messkampagne

6.1. Ziel der messtechnischen Untersuchung

Im Frühjahr 2001 wurde der zweigeschossige Anbau der Jörg Lederer Schule fertig gestellt. Die Klassenräume werden seit der zweiten Schuljahreshälfte 2001 genutzt. Auf Grund des besonderen Lüftungskonzepts und weiterer energiesparenden baulichen Massnahmen wurde der Bau durch die **D**eutsche **B**undesstiftung **U**mwelt gefördert.

Die mehrphasige messtechnische Untersuchung diente der Dokumentation der Leistungsfähigkeit des Systems und dessen Optimierung. Sie wurde im Auftrag der Stadt Kaufbeuren und der DBU von der Firma Transsolar durchgeführt.

In dem abschliessenden Messbericht werden die Ergebnisse der drei Messphasen Frühling, Sommer und Winter dargestellt und bewertet.

6.2. Untersuchungszeiträume

Die messtechnische Untersuchung wurde in drei Phasen durchgeführt. Für die Dauer einer Woche sollten typische Zustände für Sommer, Übergangszeit und Winter aufgenommen und die Funktion des Konzepts untersucht und dokumentiert werden. Gemessen wurden hierzu die Raum- und Ablufttemperatur sowie die Luftgeschwindigkeit im Abluftschacht für jeweils einen Raum im Erdgeschoss und einen im Obergeschoss. Zusätzlich wurden die Aussentemperatur und die solare Einstrahlung mit aufgezeichnet. Die Datenerfassung erfolgte über drei unabhängige Datenlogger.

Frühlingsmessung

Der erste Teil der messtechnischen Untersuchung wurde im Frühjahr 2001 durchgeführt.

Messzeitraum Wetterstation: Mi. 25. – Fr. 27. und Mo. 30. April - Di. 8. Mai

Messzeitraum Erdgeschoss: Mi. 25. – Sa. 28. April

Messzeitraum Obergeschoss: Mi. 25. – Fr. 27. und Mo. 30. April - Fr. 4. Mai

Sommermessung

Während der zweiten Phase waren alle drei Datenlogger für Wetterdaten, Klassenzimmer EG und OG im folgenden Zeitraum aktiviert:

Messzeitraum Di. 3. – Mi. 11. Juli

Wintermessung

Die Wintermessung war der dritte und letzte Teil der Untersuchung. Vom Mittwoch, dem 9. bis Mittwoch, dem 23. Januar 2002 waren für die Wetterstation sowie für die beiden Klassenzimmer Datenlogger zur Aufzeichnung der Messdaten installiert.

Messzeitraum Wetterstation: Mi. 9. – Do. 17. Januar

Messzeitraum Erdgeschoss: Mi. 9. – Do. 17. Januar

Messzeitraum Obergeschoss: Mi. 9. – So. 13. Januar

6.3. Messgrössen

Für die Kurzzeitmessungen wurden Sonneneinstrahlung, Umgebungstemperatur sowie die Raum- und Ablufttemperaturen und die Luftgeschwindigkeit der Abluft der beiden Klassenzimmer gemessen. Die Messdaten wurden als Momentanwerte in einem Intervall von 2 Minuten gespeichert.

Wetterdaten:

- Globalstrahlung, horizontal, Einheit: W/m², Messwertgeber: Pyranometer, Typ CM 3, Messort: auf dem Dach des Neubaus, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9.
- Umgebungstemperatur in °C, Messwertgeber: NTC-Sensor mit Strahlungsschutz, Messort: Frühling: 1,2 m bzw. Sommer und Winter 2 m über Dachoberfläche, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9.

Klassenzimmer im Erdgeschoss, Aussenfassaden nach Westen und Norden orientiert:

- Raumlufttemperatur in °C, Messwertgeber: NTC-Sensor, Messort: ca. in Raummitte, 60 cm abgependelt von der Decke, siehe Abbildung 10.
- Ablufttemperatur in °C, Messwertgeber: NTC-Sensor, Messort: ca. in Kaminmitte 15 cm nach unterer Öffnung, siehe Abbildung 12.
- Abluftgeschwindigkeit, Einheit: m/s, Messwertgeber: Hitzdrahtanemometer, Messort: ca. in Kaminmitte 15 cm nach unterer Öffnung, siehe Abbildung 12.

Klassenzimmer im Obergeschoss, Aussenfassaden nach Süden und Westen orientiert:

- Raumlufttemperatur in °C, Messwertgeber: NTC-Sensor, Messort: ca. in Raummitte 60 cm abgependelt von der Decke, siehe Abbildung 11.
- Ablufttemperatur in °C, Messwertgeber: NTC-Sensor, Messort: ca. in Kaminmitte, 15 cm nach unterer Öffnung, siehe Abbildung 13.
- Abluftgeschwindigkeit, Einheit: m/s, Messwertgeber: Hitzdrahtanemometer, Messort: ca. in Kaminmitte, 15 cm nach unterer Öffnung, siehe Abbildung 13.

Abbildung 8: Wetterstation auf dem Dach des Neubaus

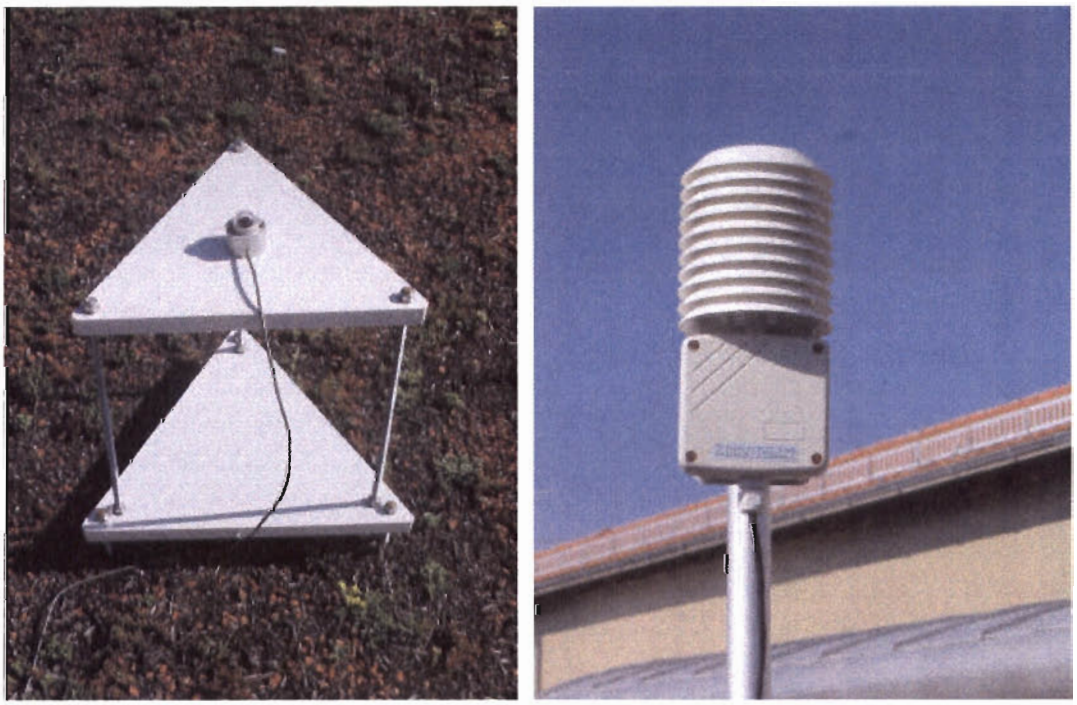


Abbildung 9: Solarstrahlungs- und Umgebungstemperaturmessgerät

Abbildung 10: Klassenzimmer im EG, Abluftöffnung, Lufttemperaturfühler abgependelt von der Decke

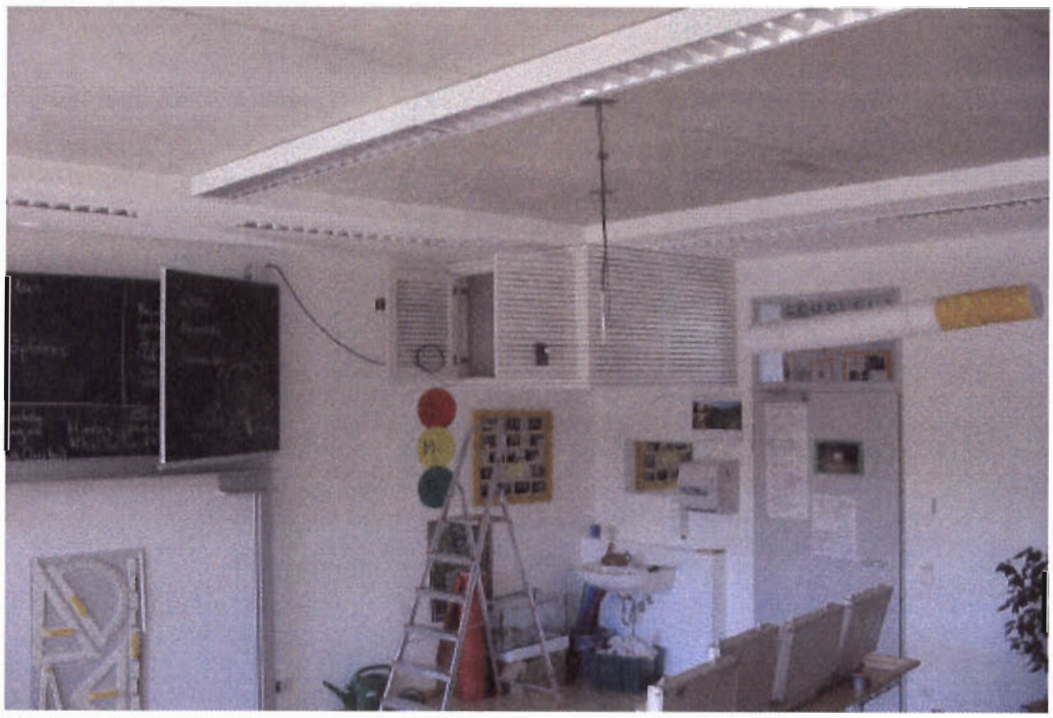


Abbildung 11: Klassenzimmer im OG, Abluftöffnung, Lufttemperaturfühler abgependelt von der Decke

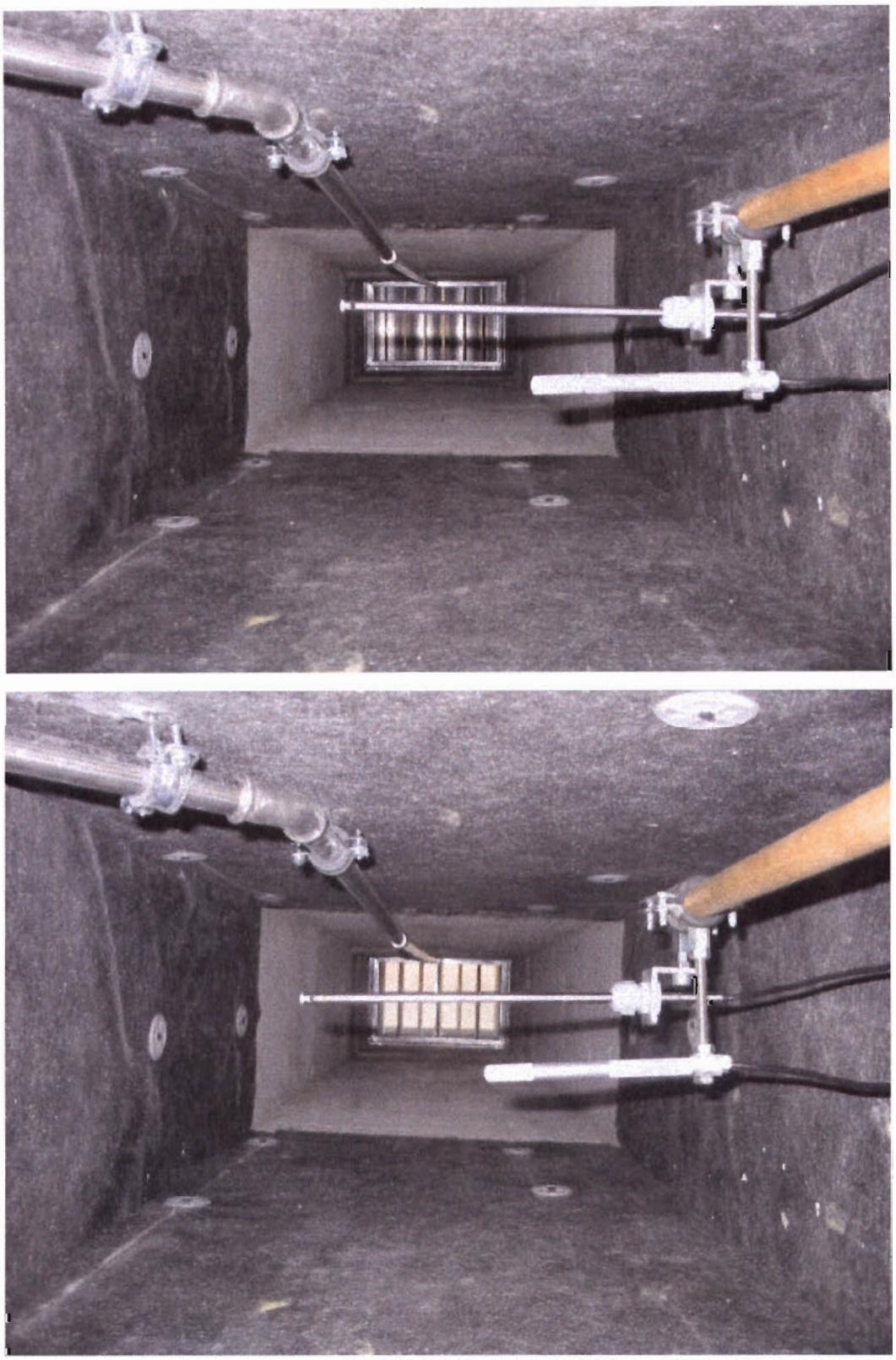


Abbildung 12: EG, Abluftkamin, Blick von unten, Messfühler für Ablufttemperatur und – geschwindigkeit

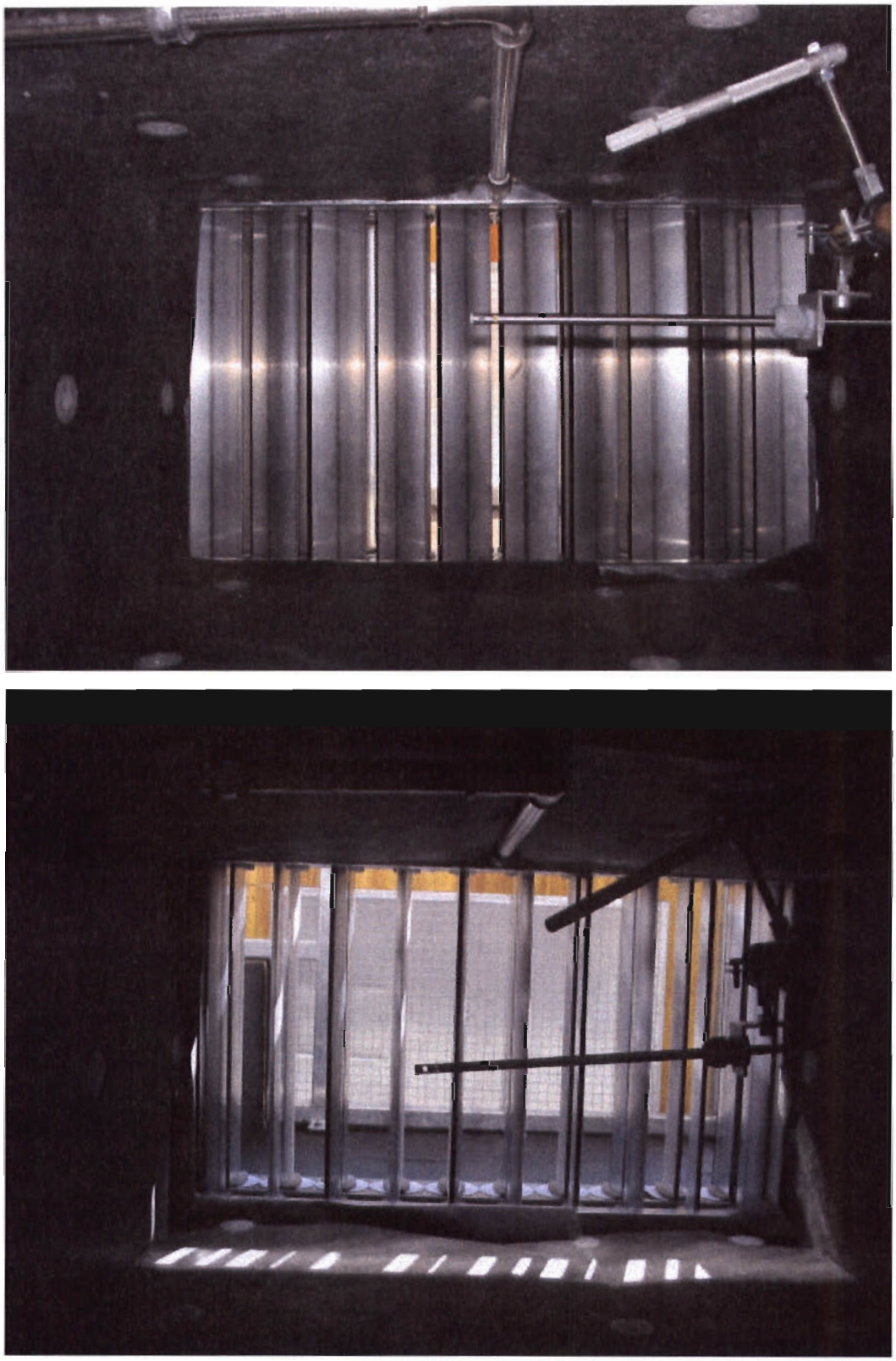


Abbildung 13: OG, Abluftkamin, Blick von unten, Messfühler für Ablufttemperatur und – geschwindigkeit

6.4. Zeitlicher Verlauf der Frühlingsmessung

In den folgenden Abbildungen sind die zeitlichen Verläufe der oben aufgeführten Messgrössen dargestellt. Die Daten der Wetterstation sowie die der beiden Klassenräume sind in je einer Grafik zusammengefasst. In den Abbildung 14 bis Abbildung 16 sind jeweils alle verfügbaren Daten dargestellt. Die Abbildung 17 bis Abbildung 19 zeigen die Verläufe für Donnerstag, den 26. April.

Das Wetter war während des Untersuchungszeitraumes, für die Jahreszeit typisch, wechselhaft. Die Umgebungstemperatur erreichte am Freitag morgen, dem 27. April mit ca. 0 °C den niedrigsten Wert, am Mittwoch Nachmittag, dem 2. Mai stieg sie bei wolkenlosem Himmel auf maximal 27 °C, siehe Abbildung 14.

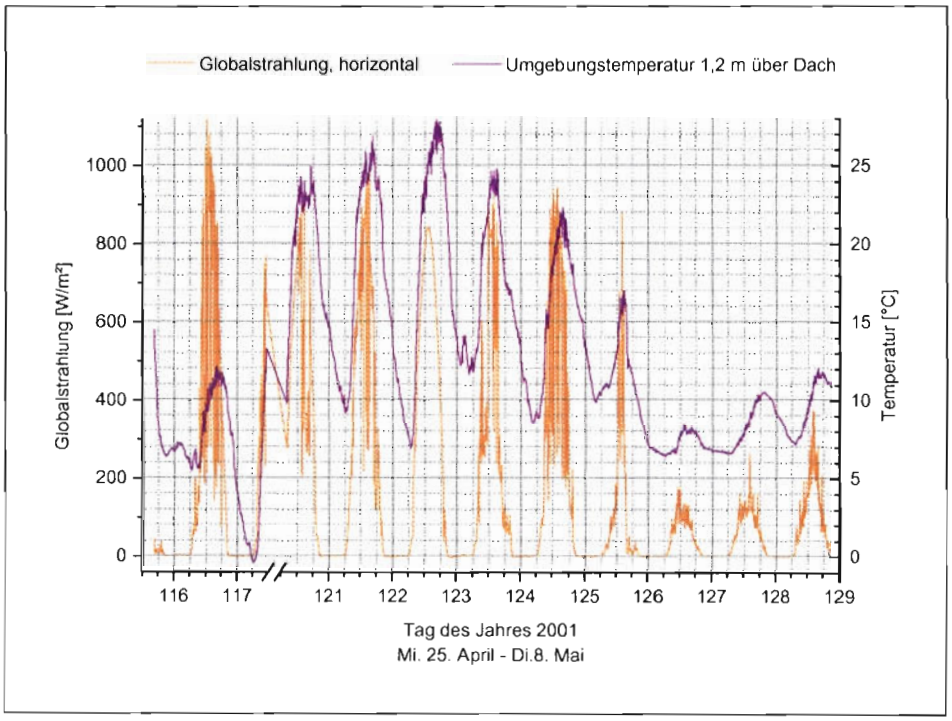


Abbildung 14: Wetterdaten während der Frühlingsmessung

Im Erdgeschoss lagen die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit zwischen 19 °C und 21 °C, siehe Abbildung 15. Die Lüftung war an Schultagen zwischen 7°° und 17°° Uhr aktiviert. Die Luftgeschwindigkeit im Kamin lag in diesen Zeiten im Mittel bei 0,5 bis 1,0 m/s. Bei einem lichten Kaminquerschnitt von 0,24 m² entspricht dies einem Luftvolumenstrom von 400 bis 900 m³/h, bzw. einem 2 – 5 –fachen Luftwechsel.

Die Temperaturanstiege jeweils am späten Nachmittag sind auf solare Gewinne bei geschlossenen Lüftungsklappen zurückzuführen.

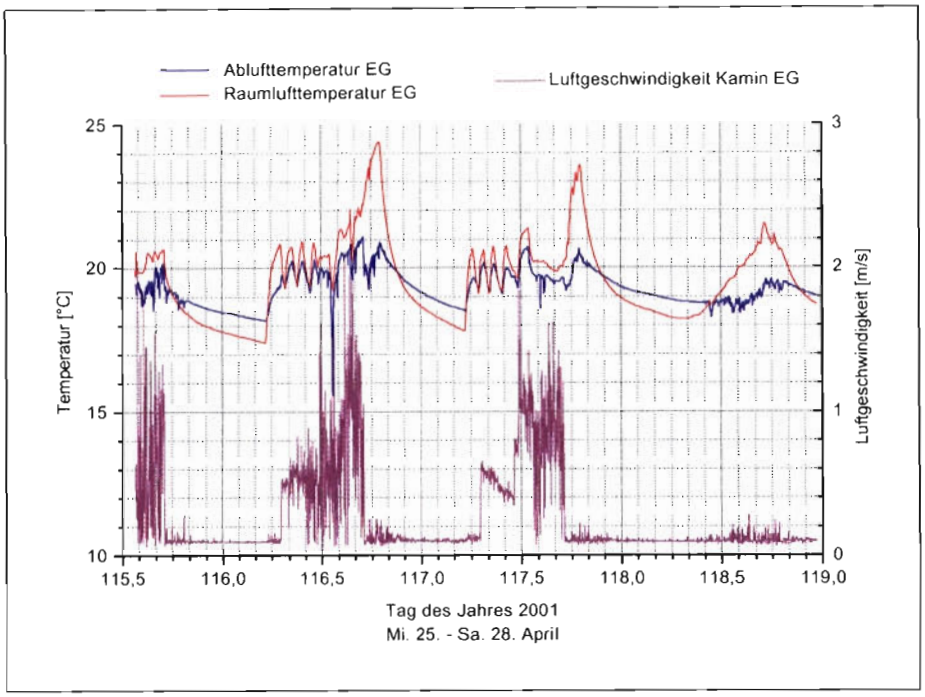


Abbildung 15: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss

Im Obergeschoss lag die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit (1. Mai war unterichtsfrei) zwischen 19 °C und 25 °C, siehe Abbildung 16. Die Lüftung war, wie im EG, an Schultagen zwischen 7°° und 17°° Uhr aktiviert. Die Luftgeschwindigkeit lag in diesen Zeiten im Mittel bei 0,15 bis 0,35 m/s. Bei einem lichten Kaminquerschnitt von 0,5 m² entspricht dies einem Luftvolumenstrom von 270 bis 630 m³/h, bzw. einem 1,5 – 3,5 –fachen Luftwechsel.

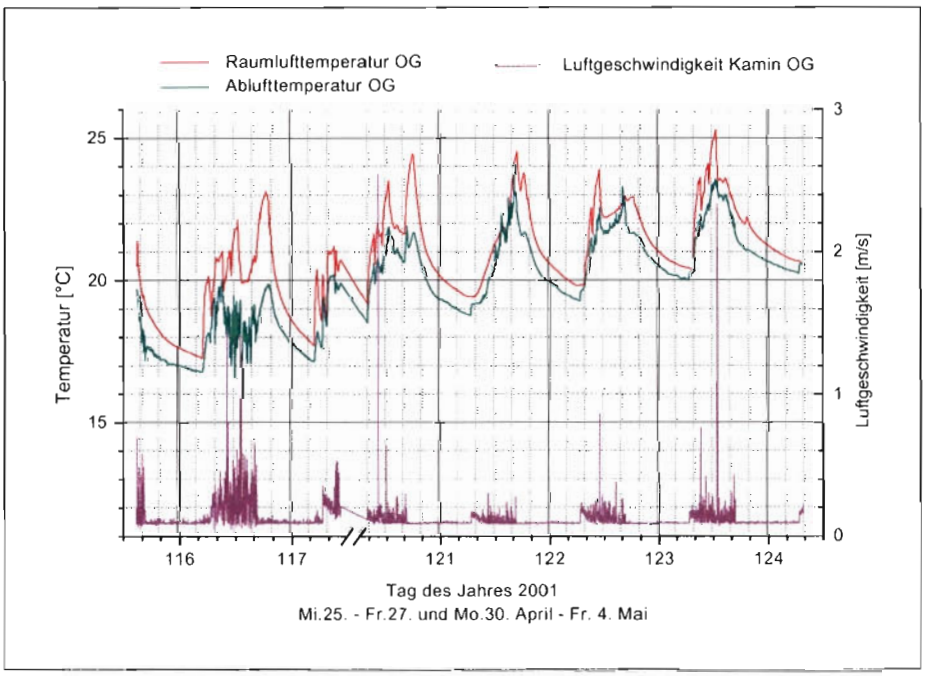


Abbildung 16: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss

Im Folgenden wird der Donnerstag, der 26. April, näher betrachtet, da dies der einzige Schultag ist, an dem von allen drei Loggern ganztägig Messdaten zur Verfügung stehen. Ein Teilstrich auf der Zeitachse der Grafiken entspricht hier eine Stunde.

Abbildung 17 zeigt den Verlauf der Sonneneinstrahlung und Umgebungstemperatur am 26. April. Der Himmel war am Vormittag stark bewölkt, ab ca. 10°° Uhr wechselten sich Wolken und Sonne ab. Die Umgebungstemperatur betrug in den Morgenstunden um 6 °C und erreichte gegen 16°° Uhr ihr Maximum von 12 °C.

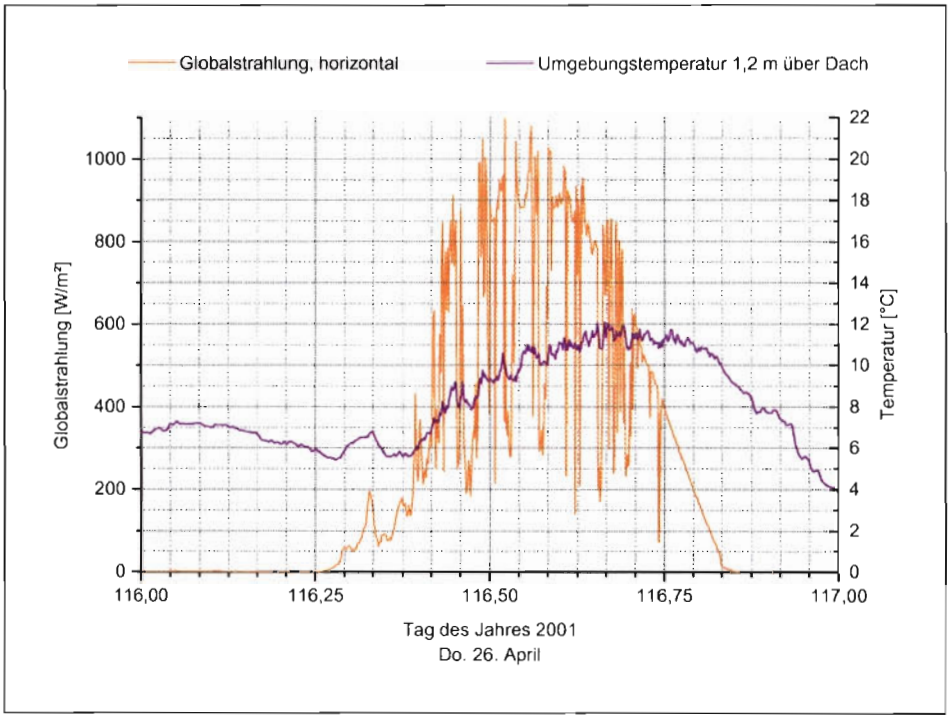


Abbildung 17: Wetterdaten vom 26. April

Der Verlauf der Raumlufttemperaturen in den Abbildung 18 und Abbildung 19 lässt erkennen, dass die Klassenräume ab ca. 5:15 Uhr beheizt werden. Die Raumtemperaturen waren bis zu diesem Zeitpunkt auf Grund der Nachtabsenkung auf 17, 5 °C abgesunken. Zu Unterrichtsbeginn sind beide Räume auf 20 °C geheizt. Während des Tages beträgt die Raumtemperatur im EG zwischen 19,5 und 22 °C im OG zwischen 20 und 22 °C. Gegen Abend kommt es auf Grund von solaren Gewinnen durch die tief stehende Sonne zur einer Aufheizung der Räume auf etwa 24 °C. Zu dieser Zeit war die Lüftung bereits wieder ausser Betrieb, so dass diese Temperaturen ausserhalb der Nutzungszeiten auftraten.

Ein Vergleich der Luftgeschwindigkeiten beider Kamine zeigt deutlich höhere Werte für das EG als für das OG, dies wird primär durch den nur halb so grossen Kaminquerschnitt des EG und die doppelte Schachthöhe verursacht.

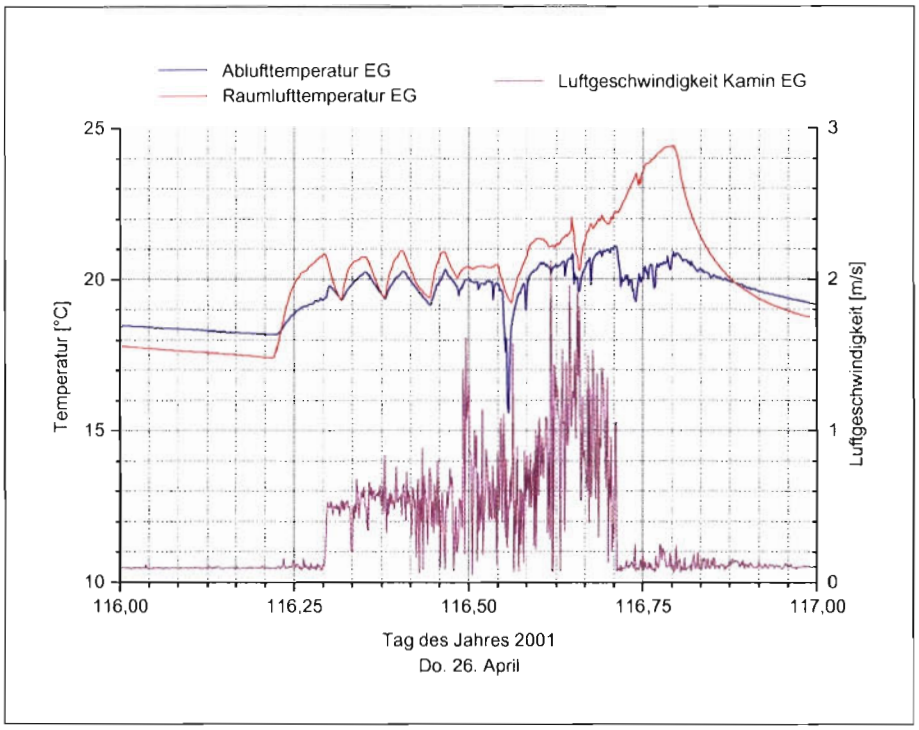


Abbildung 18: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss

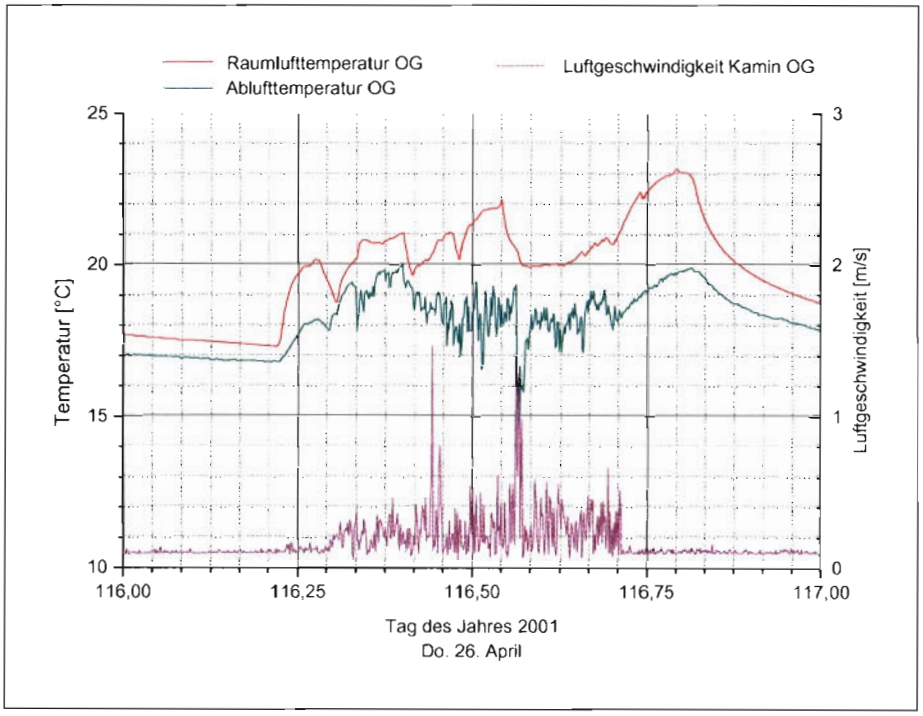


Abbildung 19: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss

6.5. Zeitlicher Verlauf der Sommermessung

Bei der Darstellung der Sommermessung wird in gleicher Weise wie bei der Frühjahrsmessung vorgegangen. In den Abbildung 20 bis Abbildung 22 sind die Wetterdaten und die Messwerte der Klassenräume vom Dienstag, den 3. bis Mittwoch, dem 11. Juli dargestellt. Die Abbildung 23 bis Abbildung 25 zeigen die Verläufe für Freitag, den 6. Juli, dem wärmsten Tag während des Messzeitraumes.

Von Dienstag bis Samstagnachmittag herrschte warmes, sonniges Sommerwetter bei ansteigenden Temperaturen. Dann führte ein Gewitter zu einem Temperatursturz von 10 K. Im folgenden war das Wetter wechselhaft. Die Umgebungstemperatur erreichte am Mittwochmorgen, dem 4. Juli mit ca. 8,5 °C den niedrigsten Wert, am Freitag, dem 6. Juli stieg sie bei wolkenlosem Himmel auf maximal 31,5 °C, siehe Abbildung 20.

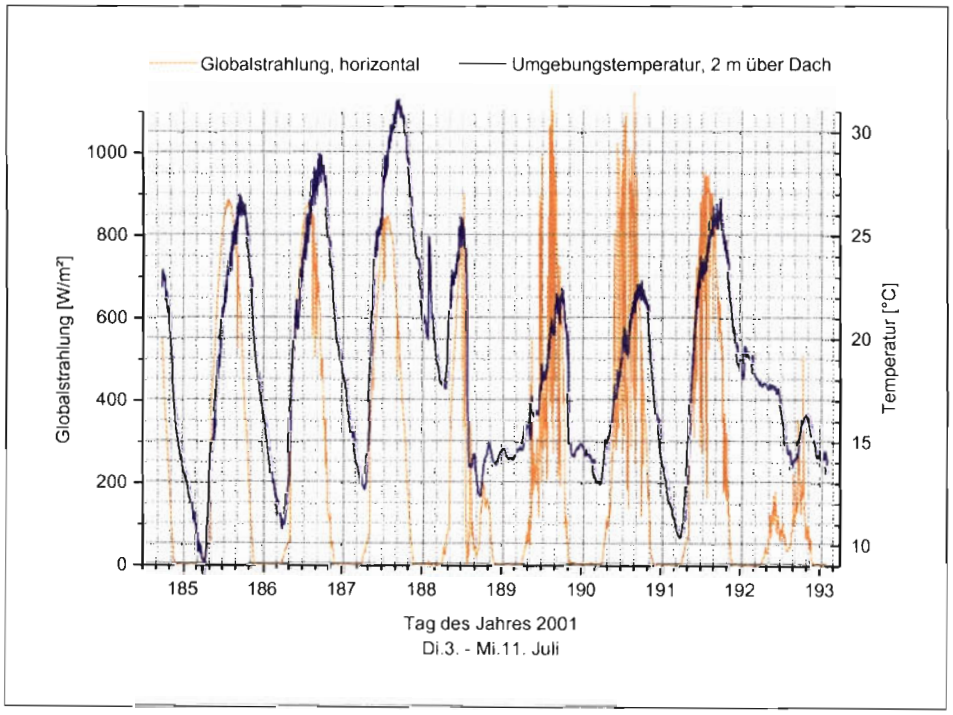


Abbildung 20: Wetterdaten während der Sommermessung

Im Erdgeschoss lag die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit zwischen 22,5 °C und 27 °C, siehe Abbildung 21. Die Lüftung war an Schultagen zwischen 7°° und 17°° Uhr aktiviert. Die Luftgeschwindigkeit lag in diesen Zeiten im Mittel bei 0,5 bis 1,1 m/s. Bei einem lichten Kaminquerschnitt von 0,24 m² entspricht dies einem Luftvolumenstrom von 400 bis 990 m³/h, bzw. einem 2 – 5,5 –fachen Luftwechsel.

Die Temperaturanstiege jeweils am späten Nachmittag sind auf solare Gewinne bei geschlossenen Lüftungsklappen zurückzuführen.

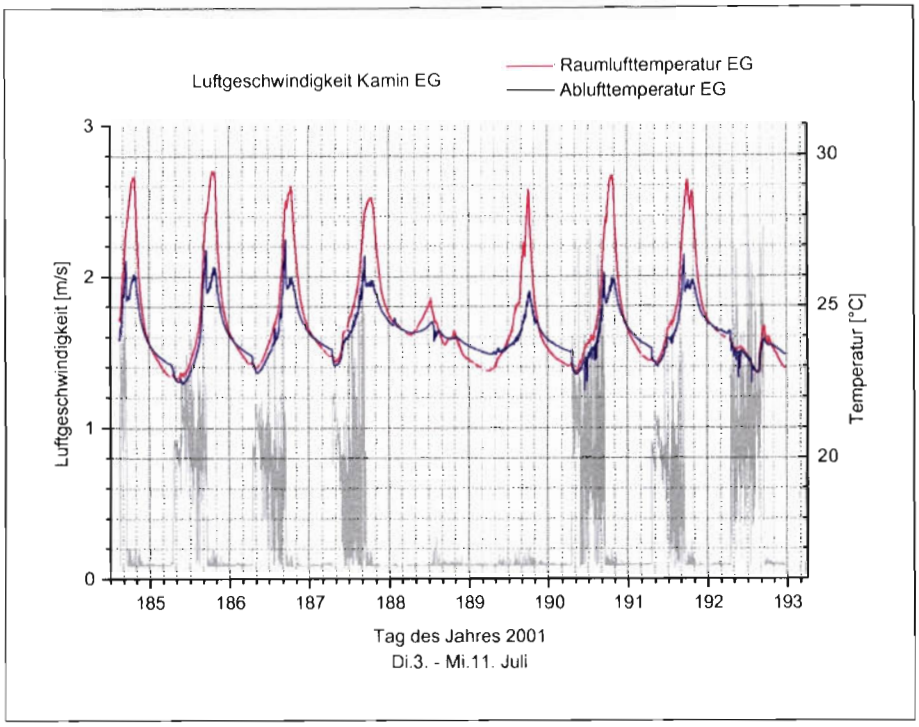


Abbildung 21: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Erdgeschoss

Im Obergeschoss lag die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit zwischen 25 °C und 28,5 °C, siehe Abbildung 22. Die Lüftung war, wie im EG, an Schultagen zwischen 7°° und 17°° Uhr aktiviert. Die Luftgeschwindigkeit lag in diesen Zeiten im Mittel bei 0,15 bis 0,4 m/s. Bei einem lichten Kaminquerschnitt von 0,5 m² entspricht dies einem Luftvolumenstrom von 270 bis 720 m³/h, bzw. einem 1,5 – 4 –fachen Luftwechsel.

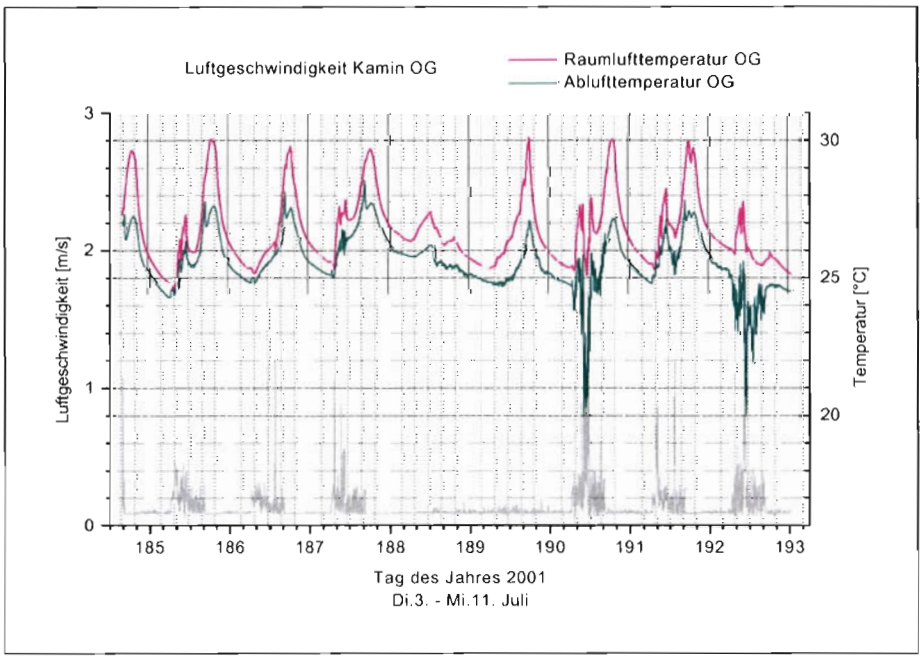


Abbildung 22: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Obergeschoss

Im Folgenden wird der Freitag, der 6. Juli, der wärmste Tag während der Sommermessung, näher betrachtet. Ein Teilstrich auf der Zeitachse der Abbildungen entspricht einer Stunde.

Abbildung 23 zeigt den Verlauf der Sonneneinstrahlung und Umgebungstemperatur am 6. Juli. Der Himmel war fast ganztägig wolkenlos. Bis kurz vor 8°° Uhr liegt das Strahlungsmessgerät noch im Schatten des Altbaus. Die Umgebungstemperatur kühlte sich in den Morgenstunden bis auf 12,7 °C ab und stieg bis zum Nachmittag auf maximal 31,5 °C an.

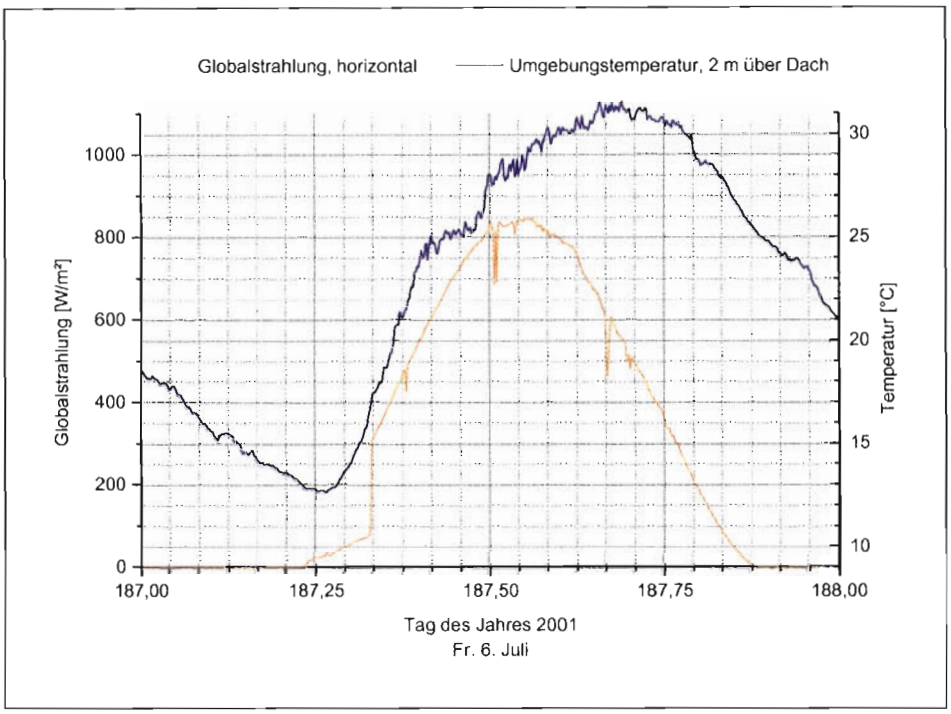


Abbildung 23: Wetterdaten vom Fr. 6. Juli

Die Lufttemperatur und Abluftgeschwindigkeit für das EG sind in Abbildung 24 dargestellt. Bei Aktivierung der Lüftung ergibt sich zunächst noch eine signifikante Abkühlung durch hohen Luftwechsel. Die Vermutung liegt nahe, dass Fenster geöffnet wurden und keine Nutzung, d.h. keine nennenswerte Belegung im Raum erfolgte.

Der Verlauf für das OG, der in der Abbildung 25 dargestellt ist, zeigt von ca. 7:45 bis 8°° einen erhöhten Luftwechsel. Da im Gegensatz zum EG kaum eine Abkühlung festzustellen ist, liegt die Vermutung nahe, dass die Zimmertüre geöffnet war und Zuluft aus dem Gebäude gefördert wurde und nicht Aussenluft.

Gegen Abend kommt es auf Grund von solaren Gewinnen durch die tief stehende Sonne zu einer Aufheizung der Räume auf 28,6 bzw. 29,7 °C. Zu dieser Zeit war die Lüftung bereits wieder ausser Betrieb, so dass diese Temperaturen ausserhalb der Nutzungszeiten auftraten.

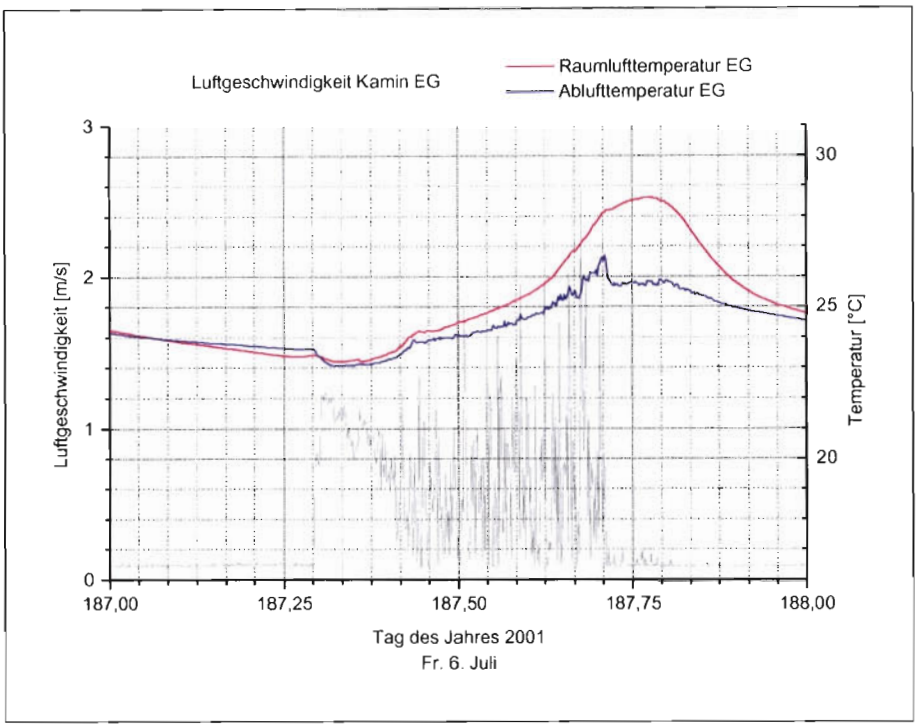


Abbildung 24: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Erdgeschoss

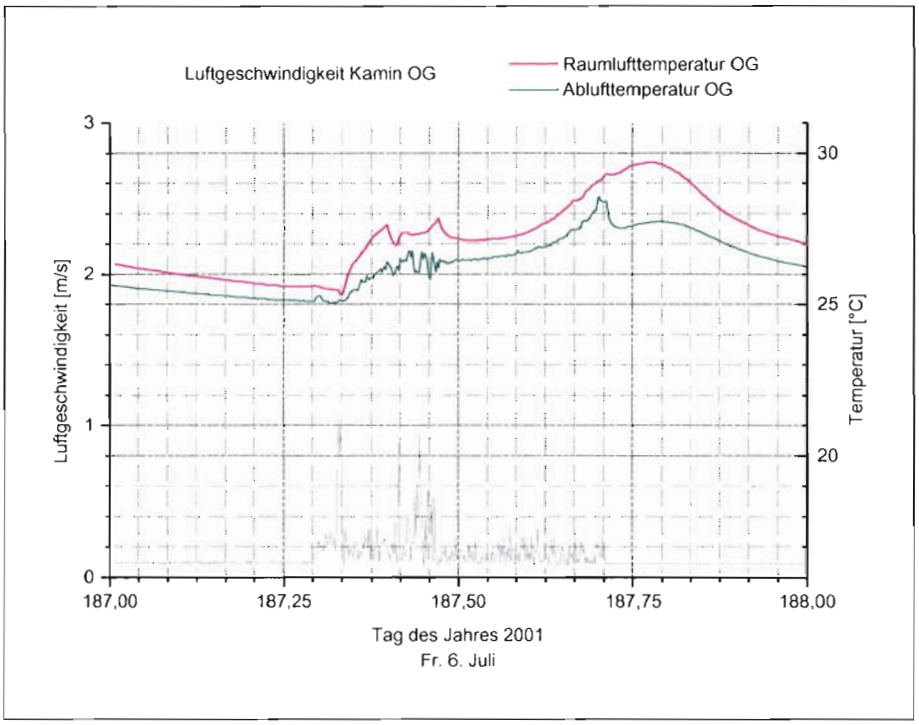


Abbildung 25: Luftgeschwindigkeit und Temperaturen des Klassenzimmers im Obergeschoss

6.6. Zeitlicher Verlauf der Wintermessung

In den folgenden Abbildungen sind die zeitlichen Verläufe der Wintermessung dargestellt. Die Daten der Wetterstation sowie die der beiden Klassenräume sind in je einer Grafik zusammengefasst. In den Abbildung 26 bis Abbildung 28 sind jeweils alle verfügbaren Daten dargestellt. Die Abbildung 29 bis Abbildung 31 zeigen die Verläufe für Donnerstag, den 10. Januar.

Das Wetter war während des Untersuchungszeitraumes, für die Jahreszeit typisch, sonnig und kalt. Die Umgebungstemperatur erreichte am Mittwoch, dem 16. Januar mit –12 °C den niedrigsten Wert, an 4 Tagen wurden in der Nacht Temperaturen unter –10 °C registriert. An den meisten Tagen stieg die Lufttemperatur in der Mittagszeit für 2 – 3 Stunden auf Werte über 0 °C. Am Donnerstag, dem 10. Januar erreichte die Umgebungstemperatur bei sonnigem Wetter das Maximum von 6 °C, siehe Abbildung 26.

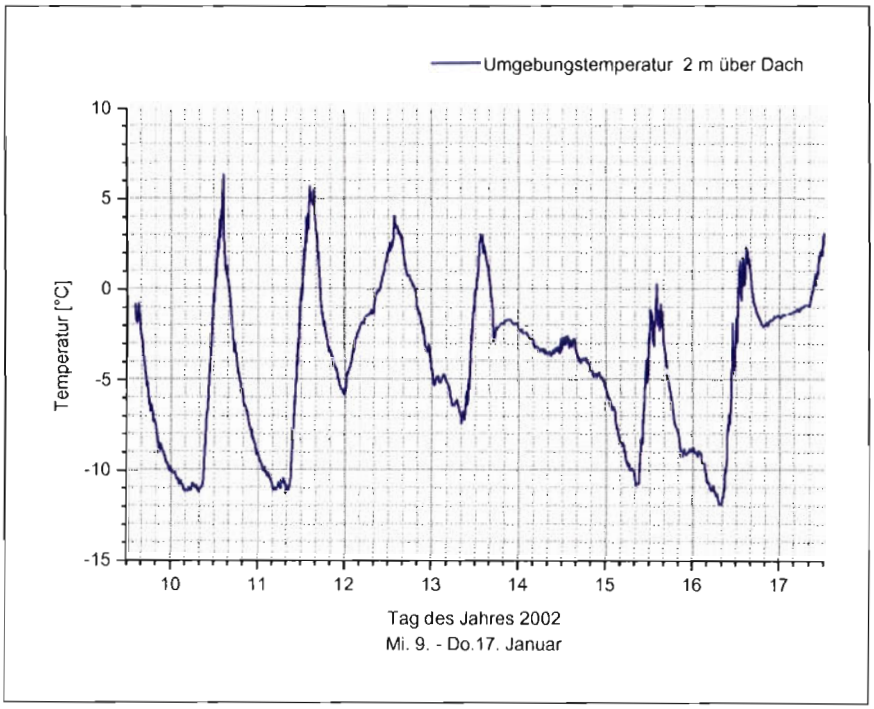


Abbildung 26: Umgebungstemperatur während der Wintermessung

Im Erdgeschoss lagen die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit zwischen 19,7 °C und 21,9 °C, siehe Abbildung 27. In der Nacht und am Wochenende sinkt die Raumtemperatur bis auf 16 °C ab.

Die Lüftung war an Schultagen zwischen 6°° und 17°° Uhr aktiviert. Vormittags bis 12°° Uhr war die Klappenstellung nahezu geschlossen. Aber auch am Nachmittag waren die Klappen in den Kaminen nur geringfügig geöffnet wie in den Abbildung 12Abbildung 12: EG, Abluftkamin, Blick von unten, Messfühler für Ablufttemperatur und –geschwindigkeit und Abbildung 13 erkennen ist. Die Luftgeschwindigkeit im Kamin des EG lag vormittags bei 0,2 bis 0,25 m/s. Bei einem lichten Kaminquerschnitt von 0,24 m² entspricht dies einem Luftvolumenstrom von 175 bis 220 m³/h, bzw.. einem 0,8 – 1,0 –fachen Luftwechsel. An den Nachmittagen betrug die Luftgeschwindigkeit zwischen 0,35 und 0,55 m/s, der Volumenstrom zwischen 300 und 475 m³/h, dies entspricht einem 1,4 – 2,2 -fachen Luftwechsel.

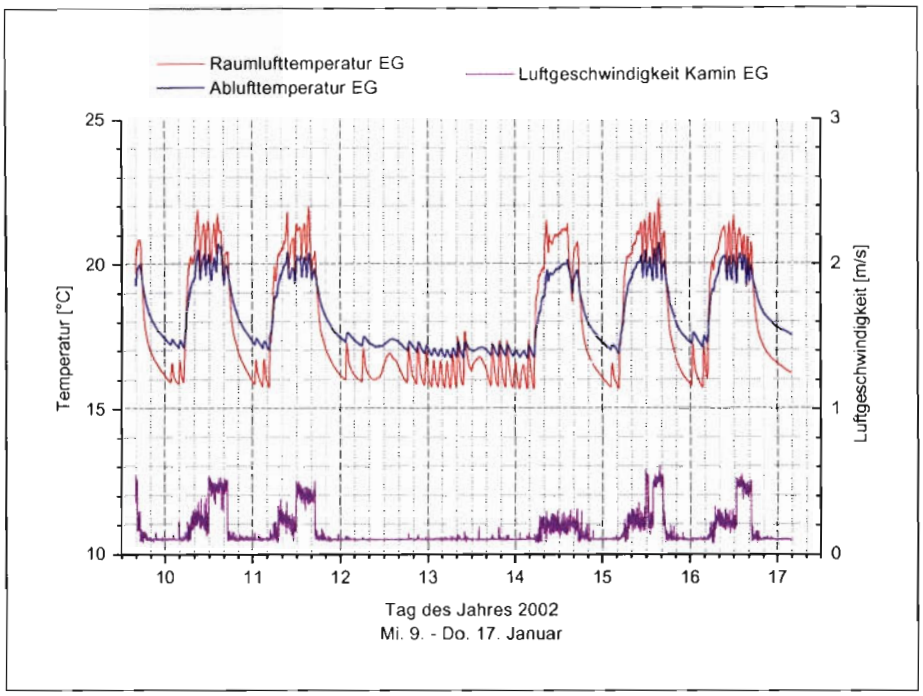


Abbildung 27: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss

Im Obergeschoss lag die Raumlufttemperatur während der Unterrichtszeit zwischen 19 °C und 22 °C, siehe Abbildung 28Abbildung 28: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss. Die Lüftung war, wie im EG, an Schultagen zwischen 7°° und 17°° Uhr aktiviert. Die Luftgeschwindigkeit lag in diesen Zeiten im Mittel bei 0,15 bis 0,35 m/s. Dies entspricht einem Luftvolumenstrom von 270 bis 630 m³/h, bzw. einem 1,5 – 3,5 – fachen Luftwechsel.

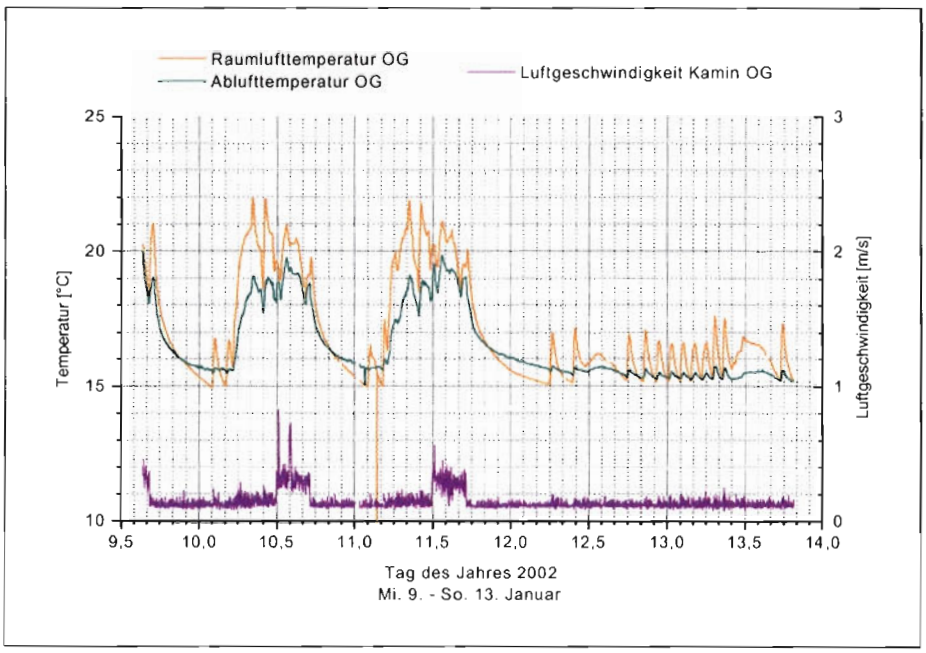


Abbildung 28: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss

Im Folgenden wird der Donnerstag, der 10. Januar näher betrachtet. Ein Teilstrich auf der Zeitachse der Grafiken entspricht hier eine Stunde.

Abbildung 29Abbildung 29: Umgebungstemperatur am 10. Januar 2002 zeigt den Verlauf der Umgebungstemperatur am 10. Januar. Der Himmel war überwiegend klar. Die Umgebungstemperatur sank in der Nacht auf – 11 °C, stieg bis zum Mittag auf 0 °C und erreichte bis zur Dämmerung die Tageshöchsttemperatur von 6 °C.

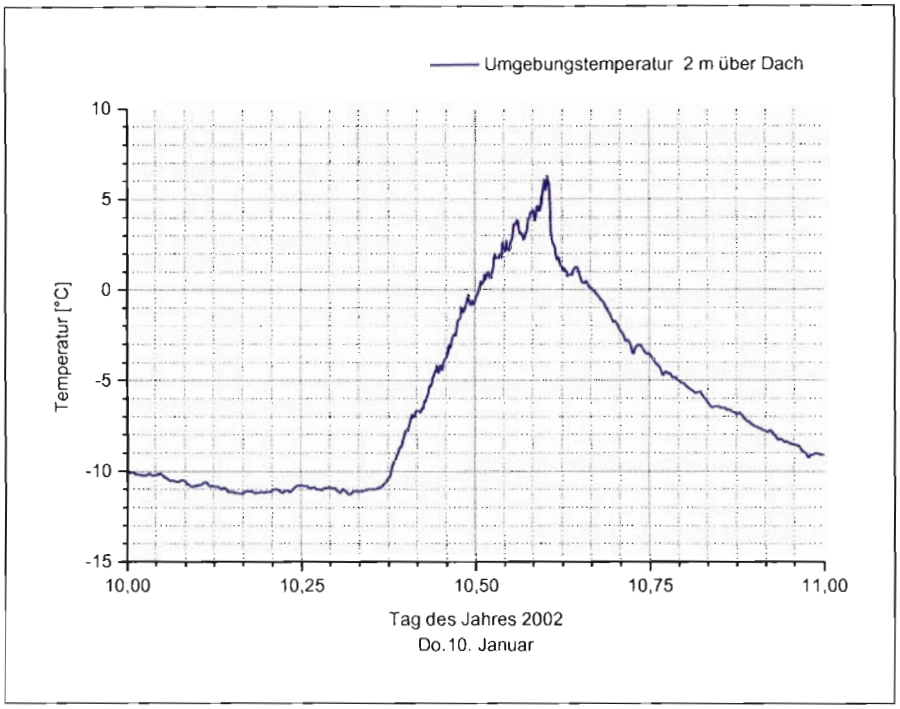


Abbildung 29: Umgebungstemperatur am 10. Januar 2002

Der Verlauf der Raumlufttemperaturen in den Abbildung 30 und Abbildung 31 lässt erkennen, dass die Klassenräume nachts auf mindestens 16 °C gehalten werden und ab ca. 5:15 Uhr bis Unterrichtsbeginn auf 20 – 21 °C aufgeheizt werden. Während des Tages beträgt die Raumtemperatur im EG zwischen 19,5 und 22 °C im OG zwischen 19 und 22 °C. Die starken Temperatureinbrüche am Vormittag zwischen 9³° und 10°° sind während der Pausen.

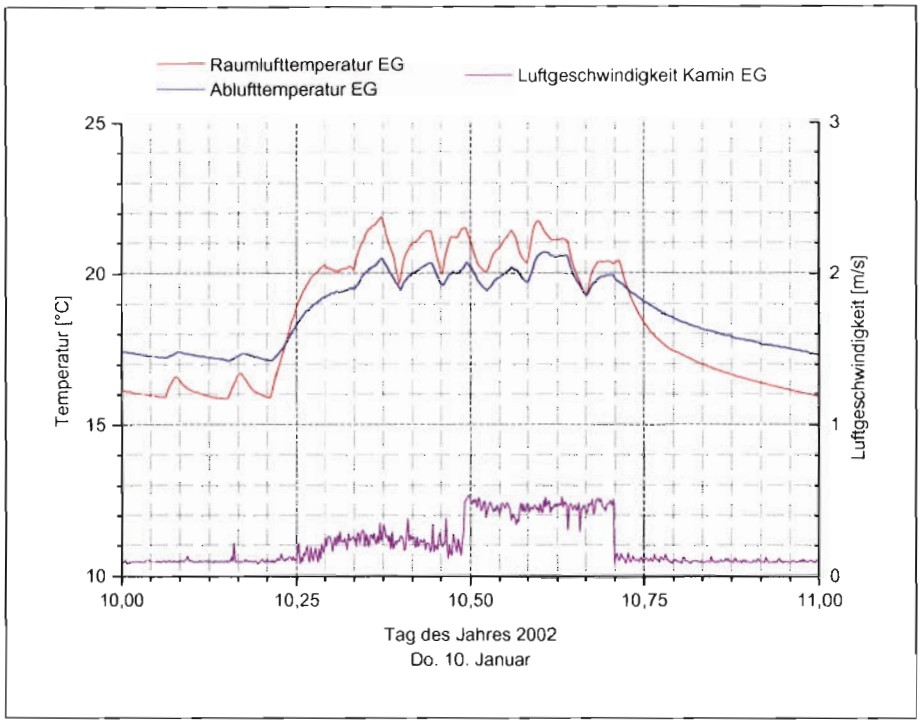


Abbildung 30: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Erdgeschoss

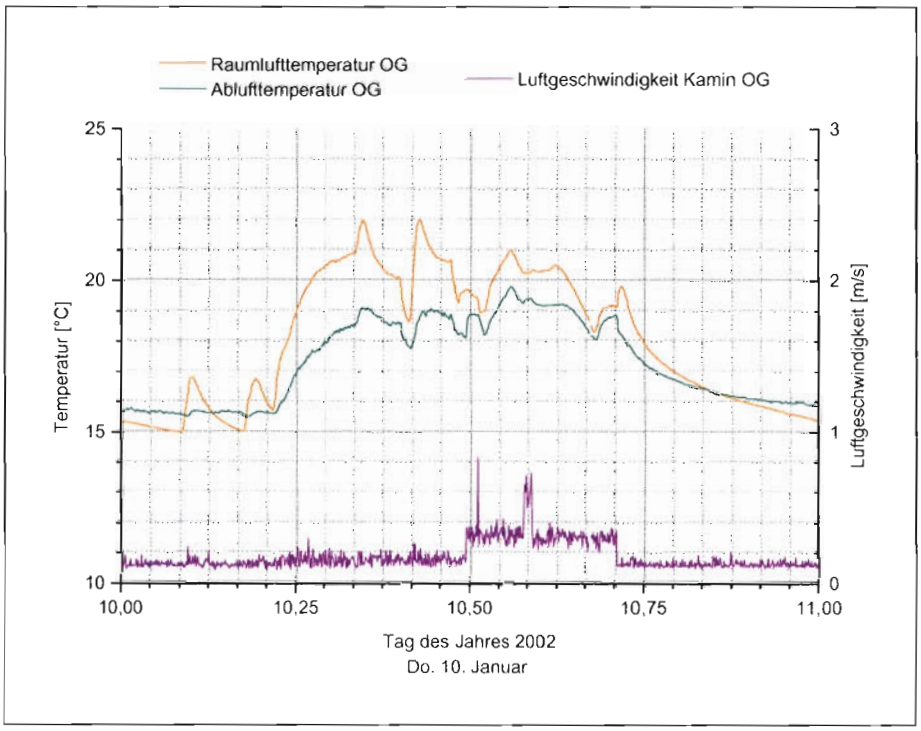


Abbildung 31: Temperaturen und Luftgeschwindigkeit des Klassenzimmers im Obergeschoss

7. Fazit

Aufgabenstellung

Auf Grund der zu einer stark befahrenen Strasse exponierten Lage des Anbaus der Jörg-Lederer Schule und der damit verbundenen Schallemissionen, war die Frage der Belüftung der Klassenräume zu klären. Die übliche Fensterlüftung ist aus den oben genannten Gründen nicht durchführbar. Es war eine Alternative zu einer konventionellen mechanischen Be- und Entlüftung zu entwickeln.

Lüftungskonzeption

Das Konzept hat folgende Kernpunkte:

- natürliche Lüftung
- Zuluft über schallgedämmte, verschliessbare Dauerlüfter in der Fassade
- Abluft über einzelne, jedem Raum zugeordnete Schächte/ Kamine mit steuerbaren Öffnungen
- die Luftaustrittsöffnung über Dach ist so ausgeformt, dass der thermische Antrieb der Lüftung, die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen, solar und vom Wind unterstützt wird
- die Anlage wird zentral angesteuert
- kontinuierliche Lüftung auch im Winter möglich
- zusätzlich wird eine sommerliche Nachtluftspülung ermöglicht, die im Zusammenspiel mit zugänglichen thermischen Massen, hier vor allem den freien Teilen der Massivbetondecke, die Verbesserung des sommerlichen Raumkomforts ermöglicht.

Das Konzept sieht vor, über öffenbare Dauerlüfter in der Fassade in Verbindung mit den Abluftschächten eine kontinuierliche Grundlüftung zu realisieren. Diese Grundlüftung soll die Raumluftqualität während einer Schulstunde, vor allem die Zunahme der CO_2 Konzentration auf ein unbedenkliches Niveau begrenzen. Aus dieser Anforderung ergeben sich Mindestluftmengen in einer Grössenordnung von 10 bis 12 m^3/h/Person.

Diese geplanten Luftmengen reichen nicht für eine optimale Luftqualität im Raum aus, d.h. es können noch sensorische Beeinträchtigungen auftreten. Für eine optimale Luftqualität muss die Grundlüftung über die Dauerlüfter mit einer Stosslüftung in den Pausen kombiniert werden.

Zusätzlich ist Teil des Konzepts eine sommerliche Nachtluftspülung. Dabei wird das Gebäude in der Nacht mit der kühlen Aussenluft entwärmt. In Verbindung mit frei zugänglichen thermischen Massen, hier vor allem der Massivbetondecke, kann so eine Reduzierung der empfundenen Raumtemperaturen und damit die Verbesserung des raumklimatischen Komforts erreicht werden. Dazu sollten die vorhandenen, motorisch angesteuerten Dauerlüfter und ggf. kippbare Oberlichter genutzt werden.

Messergebnisse / Nutzungserfahrungen

Die natürliche Lüftung ist von den klimatischen Aussenbedingungen abhängig. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Innen und Aussen wird, desto geringer wird die für die natürliche Lüftung zur Verfügung stehende Antriebsenergie. D.h. im Sommer werden wie erwartet die geringsten Luftwechselzahlen erreicht.

Betrachtet man nun diese Messergebnisse, so werden Luftmengen im OG von minimal 270 m^3/h und im EG von 400 m^3/h erreicht.

Die Auslegungswerte von 300 m^3/h werden im OG knapp unter- und im EG deutlich überschritten. Ursachen können hierfür die geringere Steighöhe des OG Kamins im Vergleich zum EG sein, die aber durch die Verdoppelung des Querschnitts des OG Kamins rechnerisch kompensiert werden kann. Zum Zweiten aber in den deutlich höheren Raumtemperaturen des OG. in der untersuchten Sommerperiode. Durch die Reduzierung der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen wird die Antriebsenergie und damit der realisierbare Luftwechsel reduziert.

Laut Aussage der Nutzer sind alle Räume im Neubau von Luftqualität und Raumtemperaturen weitgehend in Ordnung. Nur in dem nach Süden orientierten Klassenzimmer im OG, wird über hohe Raumtemperaturen und mangelnde Luftqualität geklagt.

Allgemein musste die Steuerung der Anlage nach Inbetriebnahme überarbeitet und angepasst werden. Die Umsetzung des Konzepts erfolgte nicht vollständig. Zum Beispiel war die Heizung bei aktivierter Lüftung blockiert, was die Erfüllung einer kontrollierten Grundlüftung während des Unterrichts bei entsprechenden Aussenbedingungen verhindert und auch zu Beschwerden der Nutzer geführt hat.

Bewertung Messergebnisse

Prinzipiell erreicht das System auch unter den ungünstigen Sommerbedingungen nahezu die Sollwerte bzgl. Luftwechsel bzw. überschreitet diese deutlich.

Es zeigt sich, dass vor allem Nachmittags sich die Räume massiv aufheizen. Zum einen ist der Sonnenschutz offensichtlich nicht geschlossen, zum zweiten ist die Nachtluftspülung nach den Messwerten deutlich erkennbar nicht aktiviert.

Die schlechte Luftqualität im OG / Süd sollte nach unserer Einschätzung überprüft und folgende Fragen geklärt werden.

- sind die erforderliche Dauerluftelemente installiert und aktiviert, d.h. öffnen sie komplett und vollständig
- besteht die Möglichkeit den Sonnenschutz bedarfsgerecht, d.h. bei Einstrahlung zu aktivieren.
- lässt sich die Wirksamkeit des Sonnenschutzes verbessern

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass nach unserer Einschätzung das System seine Funktionsfähigkeit bewiesen hat. Den Messergebnissen folgend ist eine weitere Optimierung der MSR erforderlich, da die Nachtluftspülung, die in Abhängigkeit der Raum und Aussentemperatur aktiviert werden sollte, trotz Bedarf nicht stattfindet.

Im Rahmen dieser Optimierung sollten auch die entsprechenden Funktionsnachweise erbracht bzw. geprüft werden. Obwohl die Gestaltung der Abluftkamine über Dach aus architektonischen Vorgaben sehr zurückhaltend insbesondere was die Steighöhe betrifft erfolgte, und damit das Potential für die angestrebte Wind und solare Unterstützung stark beschnitten wurde, zeigen die einzelne Komponenten zufriedenstellende Leistungen, aber die Regelung der Lüftung hat noch deutliches Optimierungspotential.