

Behaglichkeitsanalysen in Einfamilienhäusern unter Berücksichtigung mechanischer Lüftungssysteme

**Teilbericht 1: Einfamilienhäuser mit kontrolliertem Abluftsystem -
Ergebnisse aus Untersuchungen an zwei Häusern**

Autoren:

Mag. Hermann J. Jahrman
Dipl.-Ing. Johann Spiessberger

Durchführung:

ECOTECH Bauphysik & Energietechnik Software GmbH
Kapuzinerstraße 84e, 4020 LINZ

www.ecotech.cc

Danksagung

Die Durchführung dieses interessanten Forschungsprojektes hat bei vielen Projektpartnern sehr positive Aufnahme gefunden. Wir bedanken uns bei allen Institutionen und Organisationen, Lieferanten und vor allem bei allen Mitarbeitern die zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben.

Und natürlich danken wir den Bewohner der Forschungshäuser ganz besonders für Ihr Verständnis und Ihre Kooperation bei allen durchgeführten Arbeiten.

In der Folge listen wir die wichtigsten Projektpartner und Unterstützer in unserem Forschungsprojekt und sprechen nochmals unseren Dank aus:

Projektpartner:

Energieinstitut Linz

Erstellung und Programmierung der Messtechnikanlagen

BTI Bautechnisches Institut Linz, Puchenuau

Durchführung von Blower-Door-Prüfung und Thermographie

Für finanzielles Projektssponsoring danken wir:

Schiedel Kaminwerke GmbH, Nußbach

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
1.1	VORHABEN UND INHALTE	4
1.2	ZIELSETZUNG	5
1.3	ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN	5
2	DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN	6
2.1	ALLGEMEIN	6
2.2	MESSTECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN	7
2.2.1	<i>CO₂-Messungen</i>	7
2.2.2	<i>Außenklima</i>	7
2.2.3	<i>Luftwechselzahl</i>	7
3	MESSERGEBNISSE	8
3.1	FORSCHUNGSHAUS 1	8
3.2	FORSCHUNGSHAUS 2	12
3.3	LUFTDICHTHEITSMESSUNGEN	15
3.4	THERMOGRAPHIE	16
3.4.1	<i>Forschungshaus 2</i>	16
3.4.2	<i>Forschungshaus 1</i>	17
	ANHANG A: LITERATUR- UND NORMENVERZEICHNIS	18
	ANHANG B: ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	18

1 Zusammenfassung

1.1 Vorhaben und Inhalte

Im September 2000 wurde die Firma ECOTECH durch das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wohnungsförderung, mit der Durchführung des Forschungsprojektes „ÖKO - Hausevaluierung“ beauftragt. Dieses Projekt beinhaltet neben anderen Schwerpunkten die vergleichende Langzeit-Evaluierung von zwei Einfamilienhäusern in Bezug auf Behaglichkeit und Energieeffizienz .

Es ist klar, dass eine derart limitierte Evaluierung an nur zwei Häusern über einen Zeitraum von vier Jahren nur mustermäßige Ergebnisse liefern und grundsätzliche Richtungen vorgeben kann.

Aus diesem Grund wurde das Forschungsprojekt nach Abschluss der geförderten Forschungstätigkeit weitergeführt und bisher bereits 14 Häuser mit und ohne mechanische Wohnraumlüftung untersucht. Die Messungen werden dabei mit zwei mobilen Messstationen durchgeführt.

Die Arbeiten an zwei dieser Häuser wurde finanziell durch die Firma Schiedel Kamin unterstützt. In diesen Häusern wurden zusätzlich Messungen des Luftvolumenstroms in der eingesetzten Bedarfslüftungsanlage sowie daraus resultierende Berechnungen des tatsächlichen Luftwechsels durchgeführt. Auf Wunsch der Firma Schiedel wurden diese beiden Häuser in der Berichtlegung vorgezogen und werden hier die Ergebnisse in einem Teilbericht zusammengefasst.

1.2 Zielsetzung

Aufgrund der limitierten Messzeiträume und Messparameter werden Zielsetzungen den jeweiligen Forschungsgebäuden angepasst.

Grundziele sind die Gewinnung folgender Erkenntnisse

- Mittlere Raumtemperaturen in Wohn- und Schlafbereich
- Relative Feuchtigkeit in Wohn- und Schlafbereich
- Darstellung von Außenklimabedingungen
- Wandoberflächentemperatur an einer Außenwand
- CO₂-Verlauf und Mittelwerte für den Schlafbereich

Spezialziel für Einfamilienhäuser mit Abluftsystemen

- Abschätzung der tatsächlichen Luftwechselzahl

1.3 Ergebnisse und Folgerungen

Grundsätzlich bestätigen die Bewohner der untersuchten Häuser eine gute Behaglichkeit und angenehmen Wohnkomfort in beiden Häusern. Diese Aussagen werden durch technische Messungen bestätigt. So zeigen Lufttemperatur, Wandoberflächentemperatur und relative Luftfeuchte, Werte, die sich in physikalischen und biologisch definierten Behaglichkeitszonen bewegen.

Die CO₂-Konzentration im Schlafzimmer (kritischer Bereich) wird durch das kontrollierte Abluftsystem unter dem Grenzwert für Gesunde Raumluft der [DIN 1946-2] von 0,15 vol% gehalten. Ein wesentliches Kriterium dafür ist die ungehinderte Luftströmung zwischen Zuluftventil im Schlafzimmer und Absaugöffnung. In beiden Gebäuden zeigte sich, dass bei geschlossener Schlafzimmertüre die CO₂-Konzentration in der Raumluft die Grenze nach [DIN 1946-2] überschritt. Diese Problematik betrifft Lüftungsanlagen generell, soweit nicht Zu- und Abluft raumweise eingebaut werden. Bei offener Schlafzimmertüre wird der Grenzwert [DIN 1946-2] nicht überschritten.

Die mittlere gemessene Luftwechselzahl beträgt 0,18/h im Forschungshaus 1 und 0,19/h im Forschungshaus 2.

2 Durchführung der Messungen

2.1 Allgemein

Die vorliegenden Messungen und Beurteilungen wurden an zwei in Massivbauweise errichteten Einfamilienhäusern durchgeführt. Geographisch sind die Gebäude rund 300m voneinander entfernt. In beide Gebäude wurde eine Lüftungsanlage „Schiedel Aera“ eingebaut.

Die Einfamilienhäuser werden jeweils von Jungfamilien mit einem Kleinkind bewohnt.

Gemessene Parameter

- Raumtemperatur in Wohn- und Schlafbereich
- Relative Luftfeuchtigkeit in Wohn- und Schlafbereich
- CO₂-Gehalt der Raumluft im Schlafbereich
- Wandoberflächentemperatur im Wohnbereich
- Außentemperatur bzw rel. Außenluftfeuchtigkeit
- Blower-Door-Test (Luftwechselrate n50)
- Luftgeschwindigkeit im Fortluftkanal
- Infrarot-Thermographie

Die Sensoren wurden in repräsentativen Bereichen der Gebäude positioniert. Der Luftgeschwindigkeitssensor misst die Strömungsgeschwindigkeit im Fortluftkanal der Lüftungsanlage (DN 125).

2.2 Messtechnische Randbedingungen

2.2.1 CO₂-Messungen

Bei beiden Gebäuden wurden im Zeitraum 23.1.2006 – 23.2.2006 Messungen durchgeführt. Da sich beim Aufbau der Messstationen ein CO₂-Sensor als defekt erwies (Forschungshaus 1) wurde der CO₂-Sensor von Forschungsgebäude 2 am 3.2.2006 in das Forschungshaus 1 verlegt. Die Auswertungen der Messergebnisse berücksichtigen diesen Umstand.

Die Erfassung des CO₂-Gehaltes der Raumluft erfolgt durch den Sensor in [ppm]. Für die Auswertung wurden diese Werte aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit in Volumsprozent [Vol %] umgerechnet.

2.2.2 Außenklima

Aufgrund der geographischen Nähe der beiden Forschungsgebäude wird für Außentemperatur und relative Luftfeuchtigkeit nur ein Sensor verwendet (bei Forschungsgebäude 1). Vergleichsmessungen an Ort und Stelle zeigten, dass dies im Rahmen der für diese Messungen erzielbaren Genauigkeit vertretbar ist.

2.2.3 Luftwechselzahl

Da durch eine Abluftanlage ständig Unterdruck im Gebäude entsteht (außer bei extremen Windsituationen), ist die gesamte ausgetauschte Luftmenge im Abluftkanal erfassbar. Ob die zuströmende Luft durch Ventile oder Leckagen ins Gebäude gelangt, ist für die Ermittlung der Luftwechselzahl unerheblich.

Als Messwert dient die Luftgeschwindigkeit in Rohrmitte des Abluftkanals, wobei aufgrund der Strömungsgeschwindigkeitsverteilung innerhalb eines Rohrquerschnittes unter Annahme einer laminaren Strömung hier der Maximalwert der Luftgeschwindigkeit gemessen wird.

Da die in diesem Bericht angegebenen Luftwechselzahlen somit einen Maximalwert darstellen wurde auf eine detaillierte Abweichungsanalyse verzichtet.

In den nachfolgenden Diagrammen wird jeweils ein Halbstunden-Mittelwert dargestellt, da die Luftgeschwindigkeitsmesswerte in diesem Zeitabstand abgespeichert wurden.

3 Messergebnisse

3.1 Forschungshaus 1

Für die Darstellung der Messergebnisse wurde die Woche vom 13.2.2006 – 19.2.2006 ausgewählt, da in diesem Zeitraum sowohl Temperaturen $< -10^{\circ}\text{C}$ als auch Temperaturen $> 5^{\circ}\text{C}$ auftraten.

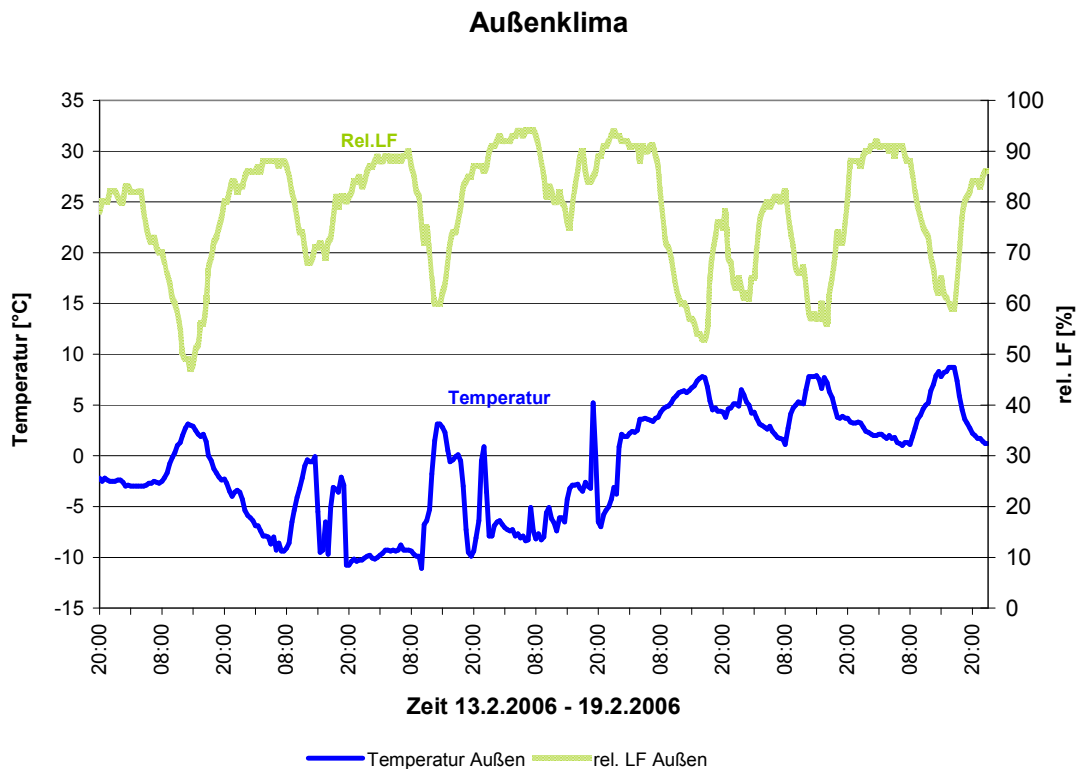


Abbildung 3-1: Außenklima

Die Raumtemperatur liegt im Schlafzimmer durchwegs knapp über 20°C , wobei bei höheren Außentemperaturen auch die Raumtemperaturen geringfügig ansteigen.

Klimadaten Schlafzimmer FH1

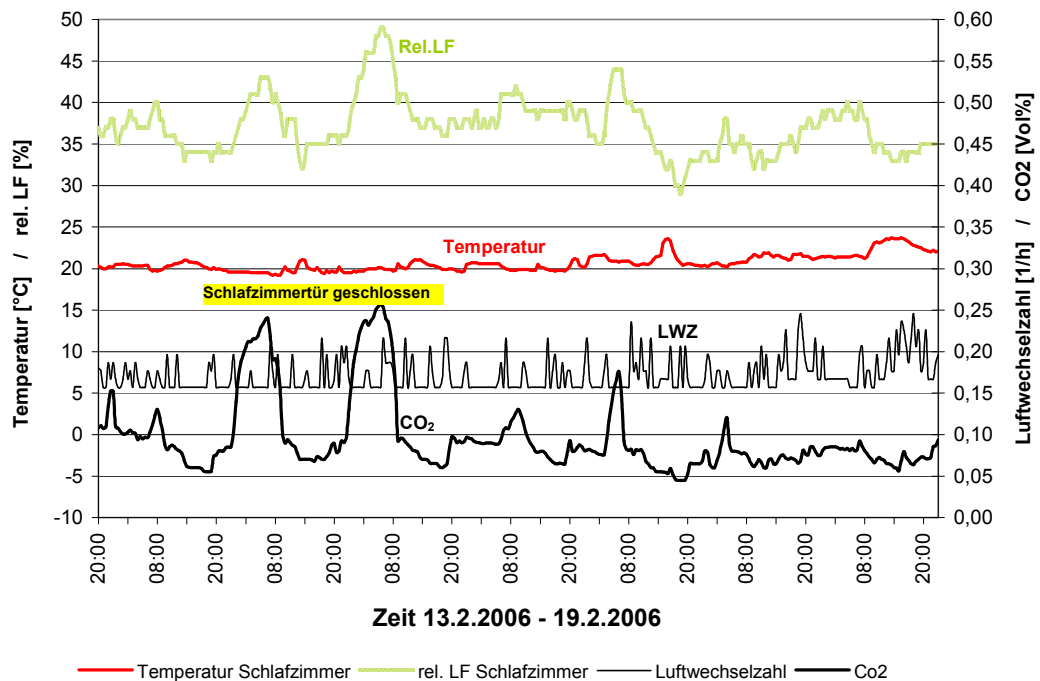


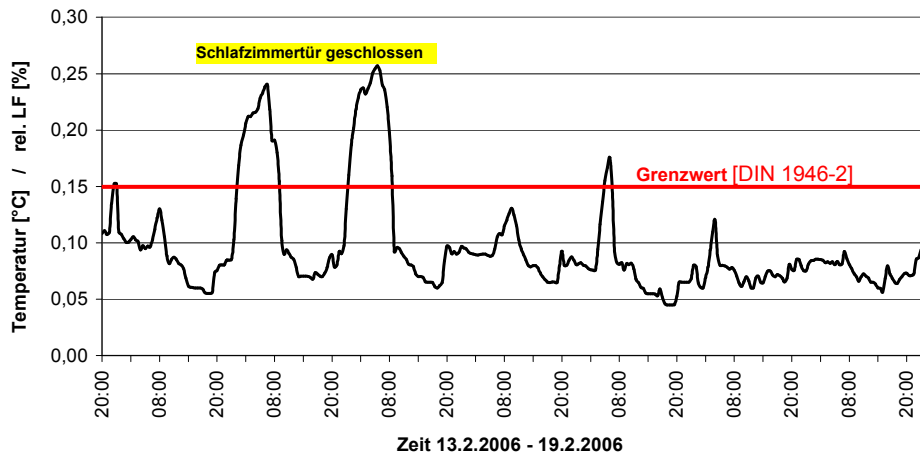
Abbildung 3-2: Messwerte im Schlafzimmer – Forschungshaus 1

Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Schlafzimmer zwischen 30-50 % und liegt damit bei Raumtemperaturen um 20°C im behaglichen Bereich.

Deutlich erkennbar sind bei den Messwerten für das Schlafzimmer CO₂-Spitzen bis 0,25 ppm die durch einen zu geringen Luftspalt unter der Schlafzimmertüre verursacht werden. Die zwischen Zuluftventil und Absaugung auftretende Luftströmung wird dadurch behindert und es kann kein ausreichender Luftaustausch stattfinden.

Im weiteren Verlauf der Messungen zeigt sich, dass durch eine offene (bzw. angelehnte) Schlafzimmertüre die CO₂-Werte deutlich unter dem Grenzwert der [DIN 1946-2] von 0,15 Vol % bzw. bis auf wenige Ausnahmen auch unter der „Pettenkofergrenze für gesunde Raumlufte“ von 0,1 Vol % liegt. [Pettenkofer].

Verlauf CO2-Konzentration Schlafzimmer



Wesentlich ist somit eine richtige Dimensionierung der Überströmöffnungen wie bei Zu- und Abluftanlagen allgemein üblich.

Die gemessene Luftwechselzahl bewegt sich von 0,16 bis 0,25 /h wobei sich der Mittelwert in der dargestellten Woche zu 0,17/h errechnet.

Klimadaten Wohnzimmer FH1

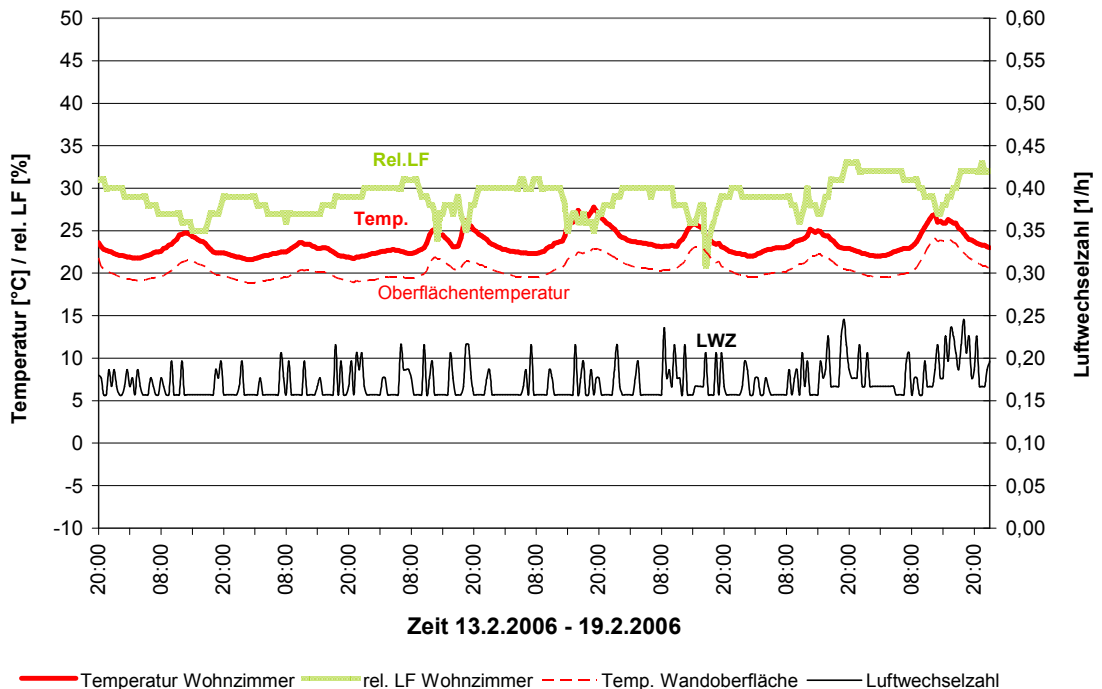


Abbildung 3-3: Messwerte im Wohnbereich – Forschungshaus 1

Im Wohnzimmer steigt die Temperatur aufgrund der großen Verglasungen an sonnigen Tagen auf 26°C an. Die relative Luftfeuchtigkeit fällt gleichzeitig auf 20% und es ergibt sich insgesamt ein „noch behaglicher“ Zustand.

Die gemessene Oberflächentemperatur an der Innenseite der Außenwand folgt im Verlauf der Innentemperatur mit einer Differenz von ~ 2-3 °C, wobei Temperaturspitzen naturgemäß abgeschwächt werden.

Klimadaten Schlafzimmer FH2

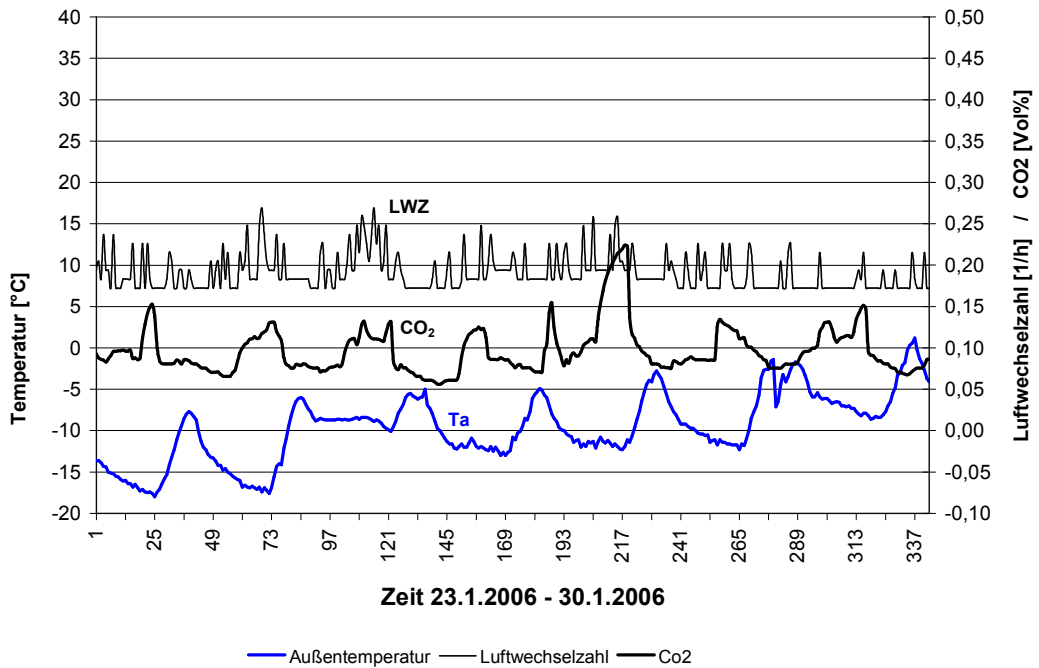
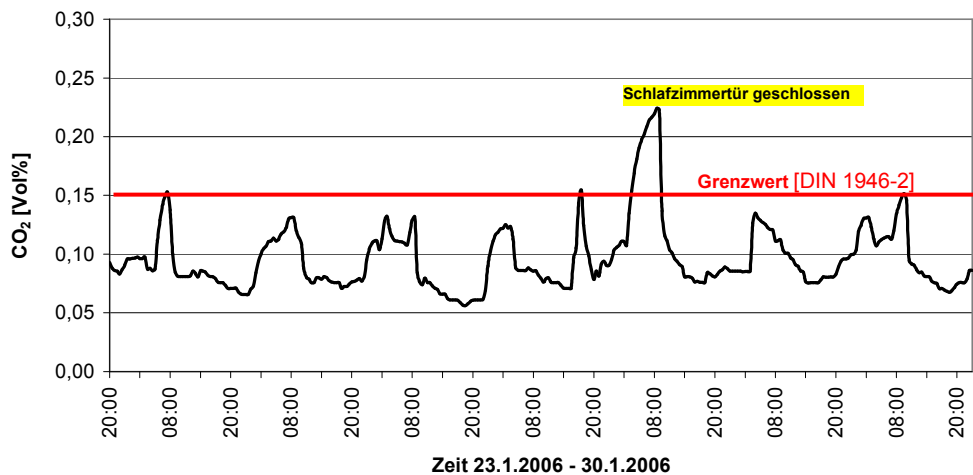


Abbildung 3-5: Messwerte im Schlafzimmer – Forschungshaus 2

Wie in Forschungshaus 1 zeigt sich auch hier, dass bei geschlossener Schlafzimmertüre die CO₂-Konzentration der Raumluft auf Werte über 0,23 Vol % ansteigen können. Bei Messungen mit offener Schlafzimmertüre bleiben die CO₂-Werte unter dem Grenzwert der [DIN 1946-2] von 0,15 Vol %.

Wesentlich ist somit eine richtige Dimensionierung der Überströmöffnungen bzw. ausreichender Luftspalt wie bei Zu- und Abluftanlagen allgemein üblich.

Verlauf CO₂-Konzentration Schlafzimmer



Die gemessene Luftwechselzahl bewegt sich von 0,17 bis 0,27 /h. Der Mittelwert errechnet sich in der ausgewerteten Woche zu 0,19/h.

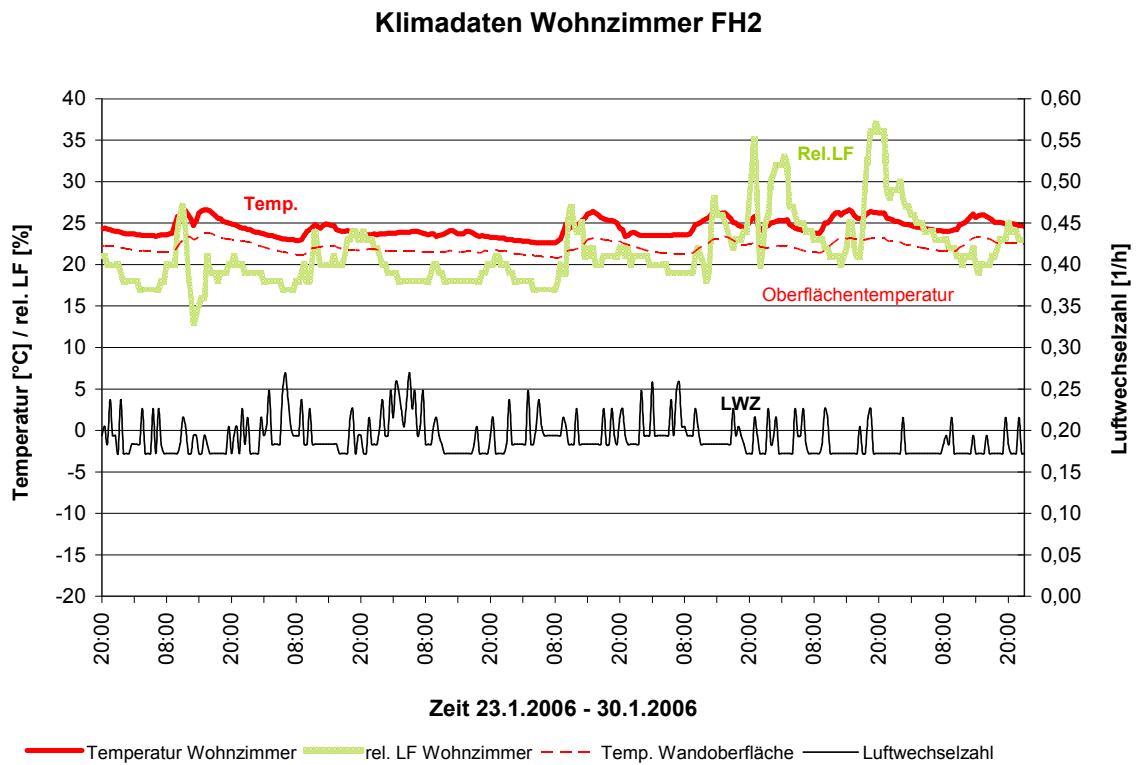


Abbildung 3-6: Messwerte im Wohnbereich – Forschungshaus 2

Die Raumtemperatur liegt im Wohnzimmer zwischen 23 und 26 °C. Erklärbar sind die hohen Temperaturen im Wohnzimmer durch die Kleinkinder sowohl im Forschungshaus 1 als auch 2 (Kinder im Alter von 6 Monaten bzw. 2 Jahre)

Die gemessene Oberflächentemperatur an der Innenseite der Außenwand folgt im Verlauf der Innentemperatur mit einer Differenz von ~ 2-3 °C.

3.3 Luftdichtheitsmessungen

An beiden Gebäuden wurde eine Blower-Door-Messung durch das Bautechnische Institut (BTI) von Hr. DI Bernhard Nopp durchgeführt.

Für die Messungen wurden die Einlassquerschnitte der Zuluftventile verschlossen sowie Kellereingangstüre und Haustüre abgedichtet.

Messergebnisse:

	FH1	FH2	
Innenlufttemperatur	23	25	°C
Außenlufttemperatur	-7	-9	°C
Windgeschwindigkeit	windstill	Leichte Brise	m/s

	FH1	FH2	
Volumenstrom	620 ± 0,1%	219 ± 0,1%	[m³/h]
Luftwechselzahl n_{50}	1,38	1,92	[1/h]

Bewertung:

Während der Bauausführung wurde nicht explizit auf die Ausführung einer luftdichten Gebäudehülle Wert gelegt. Trotzdem ergibt sich für das Forschungshaus 1 ein n_{50} -Wert < 1,5 /h (Anforderung für Gebäude mit Lüftungsanlage).

Das Forschungshaus 2 weist mit einer Luftwechselzahl n_{50} von 1,9 /h einen für diese Bauweise üblichen Durchschnittswert auf. Das bedeutet, dass in der Ausführung keine nennenswerten Fehler begangen wurden.

3.4 Thermographie

3.4.1 Forschungshaus 2

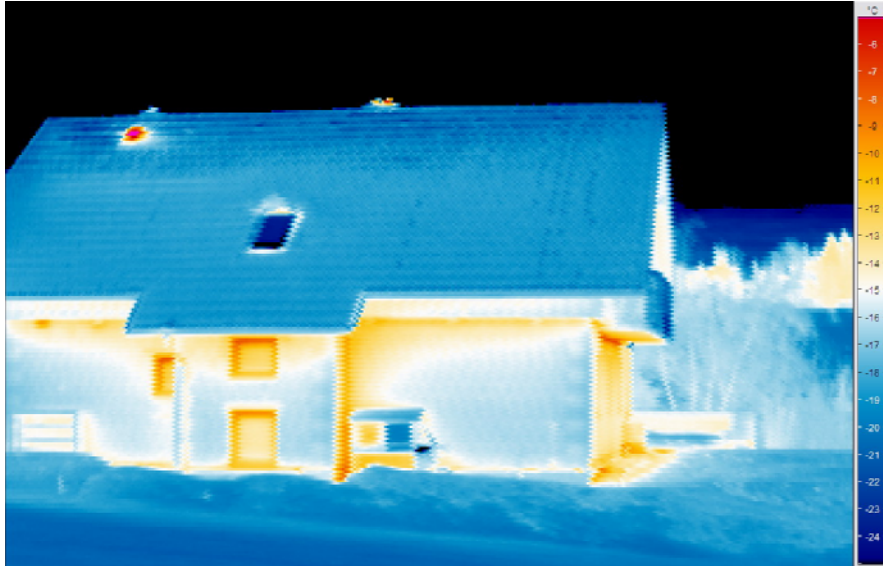


Abbildung 3-7: Thermographie Forschungshaus 2 - Nordansicht

Deutlich erkennbar sind windgeschützte Bereiche (Innenecken bzw. Fenster). Die Temperatur der Außenoberfläche erhöht sich in diesen Bereichen um 1-2°C gegenüber jenen Bereichen mit Windangriff. Die Abluftanlage erscheint als roter Punkt, da die Fortluft mit ~20°C austritt.



Abbildung 3-8: Thermographie Forschungshaus 2 - Südansicht

Bei ausgeschalteter Lüftung sind die Zuluftventile in der Fassade erkennbar. Wird die Lüftung eingeschaltet und damit kalte Luft eingesogen, so verliert diese Wärmebrücke an Bedeutung.

3.4.2 Forschungshaus 1

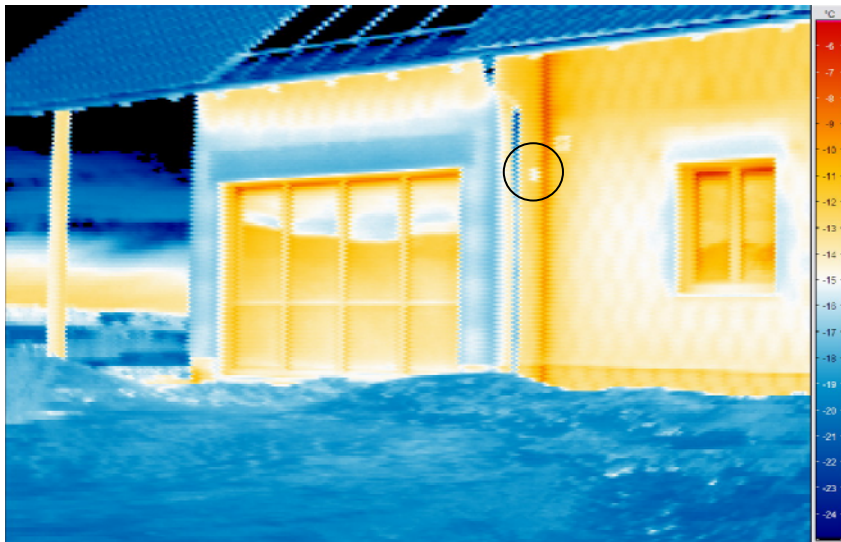


Abbildung 3-9: Thermographie Forschungshaus 1 - Südansicht

Deutlich unterscheiden kann man Bereiche mit und ohne Windangriff.

Das oben dargestellte Thermographiebild wurde bei eingeschalteter Lüftungsanlage aufgenommen. Das Lüftungsventil ist kaum erkennbar (geringe Temperaturdifferenz).

Anhang A: Literatur- und Normenverzeichnis

- [Pettenkofer] Pettenkofer, Max von; Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Literarisch-artistische Anstalt der J. G. Cotta'schen Buchhandlung, München 1858 [aus Feist 1998]
- [DIN 1946-2] DIN 1946-2 Raumluftechnik – Gesundheitliche Anforderungen ; Beuth Verlag Berlin, 1994

Anhang B: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 3-1: Außenklima	8
Abbildung 3-2: Messwerte im Schlafzimmer – Forschungshaus 1	9
Abbildung 3-3: Messwerte im Wohnbereich – Forschungshaus 1.....	10
Abbildung 3-4: Außenklima	12
Abbildung 3-5: Messwerte im Schlafzimmer – Forschungshaus 2.....	13
Abbildung 3-6: Messwerte im Wohnbereich – Forschungshaus 2.....	14
Abbildung 3-7: Thermographie Forschungshaus 2 - Nordansicht	16
Abbildung 3-8: Thermographie Forschungshaus 2 - Südansicht.....	16
Abbildung 3-9: Thermographie Forschungshaus 1 - Südansicht.....	17