



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 5. März 2009

---

# **SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ BEI WOHNGEBÄUDEN IN HOLZBAUWEISE**

Messungen in acht MINERGIE Einfamilienhäusern

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

Lemon Consult GmbH  
Hofstrasse 1  
CH-8032 Zürich  
[www.lemonconsult.ch](http://www.lemonconsult.ch)

Hochschule Luzern, Technik & Architektur  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw  
[www.hslu.ch](http://www.hslu.ch)

**Autoren:**

Martin Ménard, Lemon Consult GmbH, [menard@lemonconsult.ch](mailto:menard@lemonconsult.ch)  
Martin Nutt, Lemon Consult GmbH, [nutt@lemonconsult.ch](mailto:nutt@lemonconsult.ch)  
Patrick Keller, Hochschule Luzern, Technik & Architektur, [patrick.keller@hslu.ch](mailto:patrick.keller@hslu.ch)

**Begleitgruppe:**

Heinrich Huber, MINERGIE Agentur Bau  
Alain Lienberger, Renggli AG  
Patrick Suter, ERNE Modul Technologie

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153464 / 102675

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Ausgangslage und Zielsetzung .....	2
Messobjekte .....	2
Messkonzept und Ergebnisse .....	3
Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	4
Geplante Umsetzung .....	4
1. Einleitung .....	6
Ausgangslage .....	6
Zielsetzung .....	6
2. Sommerlicher Wärmeschutz .....	7
SIA 382/1 .....	7
MINERGIE-Nachweis .....	7
SIA 180 .....	8
Auswirkungen für den Holzbau .....	10
3. Messkonzept .....	11
Messinstrumente .....	12
4. Messobjekte .....	14
Übersicht .....	14
Konstruktion und Wärmespeicherfähigkeit .....	15
Lüftung - Heizung - Kühlung .....	16
Bewohnerangaben zu Überhitzung und Sonnenschutz .....	16
5. Ergebnisse und Auswertung .....	17
Messergebnisse .....	17
Das Klima während der Messperiode .....	19
Interne Wärmelasten .....	19
Vergleich mit Thermischen Simulationen .....	20
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	22
Globalbeurteilung im MINERGIE-Nachweis .....	22
Sommerlicher Wärmeschutz in SIA 180 .....	22
7. Referenzen .....	23
Anhang 1 – MeteoSchweiz - Monatswitterung während der Messperiode .....	24
Anhang 2 – Pilotstudie Fassaden-Überwachungskamera .....	25
Anhang 3 – Detaillierte Messergebnisse .....	26

## Zusammenfassung

### AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden gewinnt infolge besser gedämmter Bauhüllen, grösse-  
rer Glasflächen, steigender Komfortansprüche und Klimaerwärmung zunehmend an Bedeutung. Der  
MINERGIE-Standard stellt daher seit Anfang 2008 Anforderungen an den sommerlichen Wärme-  
schutz, deren Einhaltung nachgewiesen werden muss. Die Formulierung der Anforderungen basiert  
z.T. auf vereinfachten Simulationsrechnungen [1], welche im Rahmen der vorliegenden Studie durch  
Messungen an MINERGIE-Wohngebäuden in Holzbauweise überprüft werden sollen.

Mit dem vorliegenden Projekt soll das thermische Verhalten von Wohngebäuden in Holzbauweise,  
insbesondere der Einfluss der Bedienung von Sonnenschutz und Fensterlüftung untersucht werden.  
Die wesentlichen Erkenntnisse sollen als MINERGIE-Flyer publiziert und die MINERGIE Anforderun-  
gen an den sommerlichen Wärmeschutz von Wohngebäuden in Holzbauweise bei Bedarf präzisiert  
werden.

### MESSOBJEKTE

Die acht untersuchten MINERGIE-Wohngebäude sind alle als Systemholzbau mit vorgefertigten  
Wand-, Boden und Dachelementen realisiert worden. Die Untergeschosse sowie bei einigen Objekten  
Teile des Erdgeschosses bestehen aus Ortbeton.

EFH Fotsch  
8636 Wald  
EBF = 199m<sup>2</sup>  
Label ZH-817



EFH Küffner  
5608 Stetten  
EBF = 228m<sup>2</sup>  
Label AG-597



EFH Hägi  
5082 Kaisten  
EBF = 192m<sup>2</sup>  
Label AG-1185



EFH Moor  
6208 Oberkirch  
EBF = 282m<sup>2</sup>  
Label LU-168



EFH Suter  
5062 Oberdorf  
EBF = 257m<sup>2</sup>  
Label AG-040-P



EFH Vögeli  
5426 Lengnau  
EBF = 187m<sup>2</sup>  
Label AG-636



EFH Schmid  
5073 Gipf-  
Oberfrick  
EBF = 280m<sup>2</sup>  
Label AG-1000



EFH Wapf  
6167 Altbüren  
EBF = 223m<sup>2</sup>  
Label LU-243



**Figur 1:** Messobjekte – acht MINERGIE Wohngebäude in Holzbauweise;  
Fotos: P. Fotsch, Renggli AG, ERNE Modul Technologie

Die untersuchten Räume haben mit einer Ausnahme alle zwei oder drei Aussenwände. Der Glasanteil  
pro Nettogeschossfläche liegt in den meisten Räumen zw. 15 – 26%. Ein einziger Raum hat einen  
Glasanteil von 48% (EG EFH Moor).

Alle untersuchten Räume verfügen über eine manuell betätigte, aussen liegende Rafflamellenstore  
und gut die Hälfte der Fenster wird zusätzlich durch externe Elemente (Vordach, Balkon, Seitenblende  
etc.) verschattet.

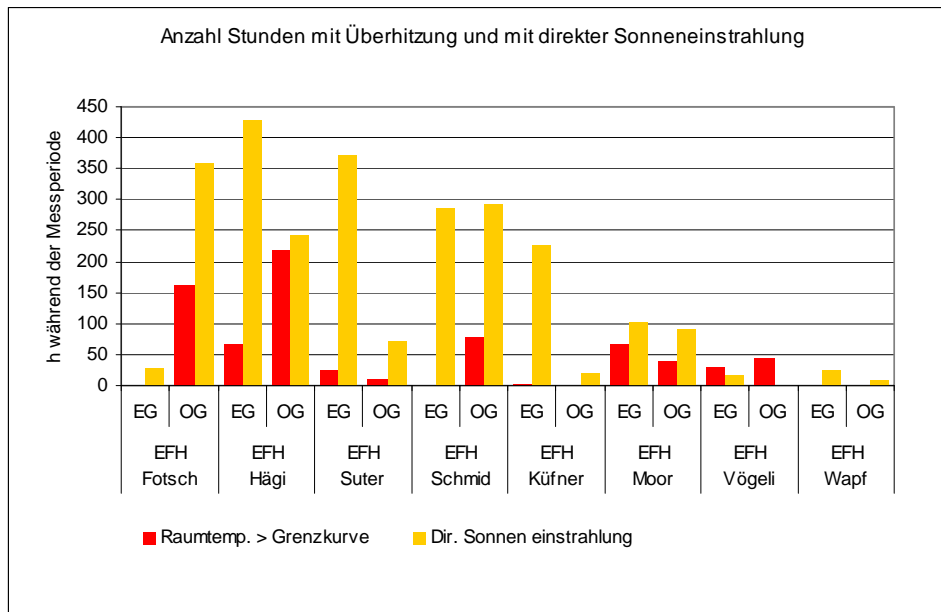
Sechs von acht befragten Bewohnern geben an, zur Vermeidung einer Überwärmung im Sommer sowohl den externen Sonnenschutz als auch Fensterlüftung zur Nachtauskühlung konsequent einzusetzen.

## MESSKONZEPT UND ERGEBNISSE

Zwischen Anfang Juli und Ende Oktober 2008 wurden in acht MINERGIE-zertifizierten Einfamilienhäusern Temperaturmessungen vorgenommen. In jedem Objekt wurden die Raumtemperaturen in zwei exponierten Räumen gemessen. Der Einsatz von Sonnenschutz und Nachtlüftung wurde mittels Temperatursonden an der Fensterinnenseite bzw. unterhalb des Fensterflügels erfasst. Zudem wurden in allen Objekten die Aussentemperatur und die Zulufttemperatur am Auslass der Lüftungsanlage, teilweise auch am Lüftungsauslass im Raum gemessen. Die gemessenen Temperaturen wurden über die ganze Messperiode mit Datenloggern im Viertelstundentakt gespeichert.

Die Messergebnisse werden in Anhang 3 im Detail dargestellt und kommentiert. Die wichtigsten Resultate sind in Figur 2 zusammengefasst. Daraus können die folgenden wesentlichen Erkenntnisse abgelesen werden:

- Die maximale Raumlufttemperatur liegt in fast allen Räumen über der oberen Grenzkurve gemäss SIA 382/1, Ziffer 2.2.3.7 (bei hohen Aussentemperaturen maximal 26.5°C). Bei zwei Objekten lag die maximal gemessene Raumlufttemperatur sogar über 30°C. Die obere Grenzkurve wird aber in fast allen Räumen nur während relativ wenigen Stunden überschritten.
- Im Obergeschoss der beiden Objekte Fotsch und Hägi lag die Raumtemperatur dagegen während mehr als 100 h über der oberen Grenzkurve. Beide Räume weisen auch eine hohe Anzahl Stunden mit direkter Sonneneinstrahlung - also ohne externen Sonnenschutz - auf.
- Räume, in welchen der Sonnenschutz meistens eingesetzt wird (< 100 h mit direkter Sonneneinstrahlung), weisen tendenziell weniger Stunden über der Grenzkurve auf. Es gibt allerdings auch einzelne Räume, bei welchen die Raumlufttemperatur auch ohne Sonnenschutz nie oder nur selten über der Grenzkurve liegt. Diese Räume liegen alle im Erdgeschoss (EFH Suter, Schmid, Küffner).
- Erhöhte Raumlufttemperaturen mit Überschreitung der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 lassen sich weitgehend auf die Bedienung des Sonnenschutzes zurückführen, wobei die Bewohner gemäss eigenen Angaben zum Teil bewusst eine Überhitzung in Kauf nehmen (z.B. EFH Fotsch).
- Räume im Obergeschoss sind aufgrund aufsteigender warmer Luft aus dem EG und höherer Transmissionsgewinne über das Dach erwartungsgemäss wärmer als Räume im Erdgeschoss (Ausnahmen: Suter, Küffner). In zwei Objekten (Fotsch, Schmid) wurde die Grenztemperatur jeweils nur im Obergeschoss überschritten.



**Figur 2:** Anzahl Stunden mit Überhitzung und mit direkter Sonneneinstrahlung

## SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Bezüglich der Überprüfung der Kriterien zur Globalbeurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes von Holzbauten im MINERGIE-Nachweis können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Die in acht MINERGIE Einfamilienhäusern in Holzbauweise unter realen Betriebsbedingungen gemessene Überhitzung fällt eher geringer aus, als dies thermische Simulationen vermuten liessen [1].
- Gegenwärtig ist eine Globalbeurteilung nur bei Räumen in Holzbauweise mit einer einzigen Aussenwand mit Fenstern möglich. Eine Ausdehnung der Globalbeurteilung auf Eckräume mit zwei Aussenwänden mit einem Glasanteil von je maximal 40% scheint gerechtfertigt.
- Die Zulassung höherer Glasanteile könnte bei automatischer Sonnenschutzsteuerung ebenfalls in Betracht kommen. Dieser Punkt sollte allerdings vor Einführung noch mit thermischen Simulationen überprüft werden.
- Die minimal geforderte Stärke des Zementunterlagsbodens sollte auf 5 cm reduziert und der häufig anzutreffende Anhydrit-Fließmörtel als Bodenkonstruktion ebenfalls explizit zugelassen werden.
- Um den sommerlichen Wärmeschutz von möglichst vielen Objekten mit der Globalbeurteilung nachweisen zu können, ist die Zulassung kleiner Oblichter (z.B. Dachfenster im Badezimmer) ebenfalls zu prüfen, z.B. wenn der Glasanteil 5% der Netto-Geschossfläche ( $A_{NGF}$ ) des betrachteten Raumes nicht übersteigt und das Oblicht mit einem aussen liegenden beweglichen Sonnenschutz versehen ist. Dieser Punkt sollte allerdings vor Einführung noch mit thermischen Simulationen überprüft werden.

## GEPLANTE UMSETZUNG

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden über die folgenden Wege einem breiteren Publikum zugänglich gemacht:

- Die MINERGIE Agentur Bau prüft die Empfehlungen bezüglich der Globalbeurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes und passt das Nachweis-Tool entsprechend an.

- Der SIA nutzt im Rahmen der gegenwärtigen Überarbeitung der Norm 180 „Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“ die Messdaten dieses Projekts zur Überprüfung neuer Komfortanforderungen an nicht-klimatisierte Räume.
- Ein MINERGIE-Flyer zum Thema sommerlicher Wärmeschutz mit Fokus auf Wohngebäude in Holzbauweise wird publiziert. Gestaltung und Druck des Flyers werden durch Sponsorenbeiträge (ERNE, Renggli und Griesser) und Eigenleistungen der MINERGIE Agentur Bau gedeckt.
- Die Ergebnisse dieser Studie werden an der Fachtagung „Bauen mit Holz: ökologisch, energieeffizient, nachhaltig“ am 20.3.2009 in St.Gallen vorgestellt.

## **1. Einleitung**

### **AUSGANGSLAGE**

Der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden gewinnt infolge besser gedämmter Bauhüllen, grösserer Glasflächen, steigender Komfortansprüche und Klimaerwärmung zunehmend an Bedeutung. Der MINERGIE-Standard stellt daher seit Anfang 2008 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, deren Einhaltung nachgewiesen werden muss. Die Formulierung der Anforderungen basiert z.T. auf vereinfachten Simulationsrechnungen [1], welche im Rahmen der vorliegenden Studie durch Messungen an MINERGIE-Wohngebäuden in Holzbauweise überprüft werden sollen.

### **ZIELSETZUNG**

Mit dem vorliegenden Projekt wird das thermische Verhalten von Wohngebäuden in Holzbauweise, insbesondere der Einfluss der Bedienung von Sonnenschutz und Fensterlüftung untersucht.

Die Erkenntnisse werden in einem MINERGIE-Flyer zum Thema sommerlicher Wärmeschutz publiziert und die MINERGIE Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Wohngebäuden in Holzbauweise entsprechend präzisiert.



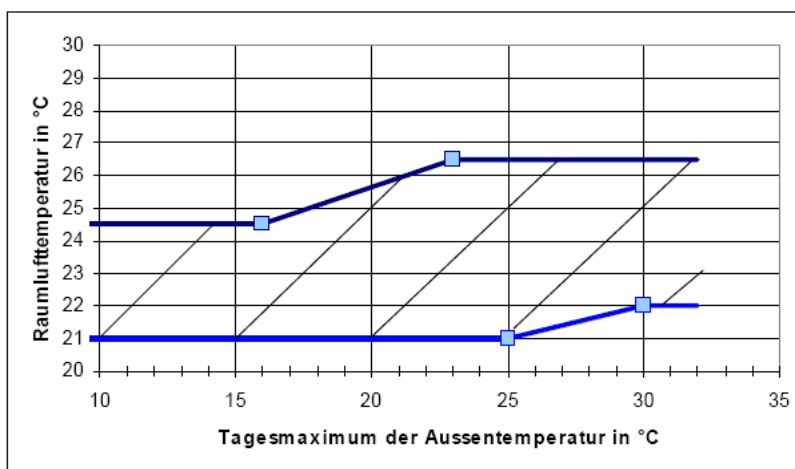
## 2. Sommerlicher Wärmeschutz

Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist für die Nutzer eines Gebäudes die thermische Behaglichkeit bei hohen Aussentemperaturen sicherzustellen. Im normativen Bereich wird dem Thema sommerlicher Wärmeschutz vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Die wichtigsten Grundlagen sind im Folgenden kurz zusammengefasst.

### SIA 382/1

In der Norm SIA 382/1 aus dem Jahr 2007 [3] wird für Wohn- und Bürogebäude ein Temperaturbereich für die thermische Behaglichkeit angegeben (siehe Figur 6). Solange die Raumlufttemperatur im Behaglichkeitsbereich (schraffierte Fläche) liegt, ist kein Kühlbedarf gegeben. Wenn die Raumlufttemperatur bis zu 100 Stunden pro Jahr über der oberen Grenzkurve liegt, ist eine Kühlung erwünscht. Sofern die Grenzkurve während mehr als 100 Stunden überschritten wird, ist eine Kühlung notwendig.

Für Räume, bei denen eine Kühlung erwünscht oder notwendig ist, werden Anforderungen an den Sonnenschutz und die Wärmespeicherfähigkeit gestellt. Die minimal geforderte Wärmespeicherfähigkeit beträgt  $30 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ .



**Figur 3:** Temperaturbereich gemäss SIA 382/1

Die obere Grenzkurve aus Figur 3 dient auch im vorliegenden Projekt zur Quantifizierung der Überhitzung eines Raumes: alle Stunden mit Raumlufttemperaturen oberhalb der Grenzkurve werden ausgezählt.

### MINERGIE-NACHWEIS

Im MINERGIE-Nachweis muss ab Version 10 anhand von Kriterien überprüft werden, ob der sommerliche Wärmeschutz eingehalten wird. Die Beurteilung und der Nachweis richten sich nach SIA 382/1. Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes stehen drei Varianten zur Auswahl:

Variante 1: Globalbeurteilung von Standardfällen

Es wird deklariert, ob in den Räumen einer Zone bestimmte Kriterien eingehalten sind. Wenn dies der Fall ist, ist weder eine Kühlung noch ein detaillierter Nachweis erforderlich.<sup>1</sup>

Variante 2: Externer Nachweis gem. SIA 382/1

In Beilagen ist zu dokumentieren, dass die Kriterien zur Vermeidung von hohen Raumlufttemperaturen eingehalten sind.

Variante 3: Berechnung mit SIA-Tool Klimatisierung

Mit einer Berechnung kann nachgewiesen werden, dass keine hohen Raumlufttemperaturen auftreten. Bei gekühlten Zonen wird mit dieser Berechnung auch der Energiebedarf für die Kühlung ausgewiesen.

<sup>1</sup> Das vorliegende Messprojekt dient unter anderem der Überprüfung der Kriterien für die Globalbeurteilung von Standardfällen

Für eine Globalbeurteilung (Variante 1) werden folgende Kriterien gestellt:

- Keine Oblichter
- Aussen liegender beweglicher Sonnenschutz mit Rollläden oder Rafflamellenstoren (g-Wert max. 0.1)
- Eine Nachtauskühlung mit Fensterlüftung ist möglich
- Die internen Wärmelasten sind nicht höher als die Standardwerte im Merkblatt SIA 2024.

Als Standardfälle gelten Situationen, bei denen mindestens eine der folgenden Beschreibungen zutrifft und gleichzeitig alle obigen Bedingungen eingehalten werden. Die Beschreibungen müssen für den ungünstigsten Raum in der Zone (z.B. für den Raum mit dem höchsten Glasanteil) zutreffen.

- Wohnungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit Betondecken die zu min. 80% frei sind. Räume mit nur einer Fassade und einem Glasanteil von <70%.
- Wohnungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit Betondecken die zu min. 80% frei sind. Eckzimmer mit einem Glasanteil von <50% pro Fassade.
- Wohnungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit Zwischendecken aus Holz. Zementunterlagsboden mit min. 6 cm Stärke. Glasanteil von < 40%
- Wohnungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit Süd-orientierten Räumen mit nur einer Fassade. Die verglasten Flächen sind durch einen Balkon mit min. 1 m Tiefe verschattet. Betondecke oder Zementunterlagsboden mit min. 6 cm Stärke.
- Einzelbüros, Gruppenbüros und Sitzungszimmer mit nur einer Fassade. Die Räume haben Betondecken, die zu min. 80% frei sind. Der Glasanteil beträgt max. 50% und der Sonnenschutz ist automatisch gesteuert.
- Lager mit geringen internen Wärmelasten.

## SIA 180

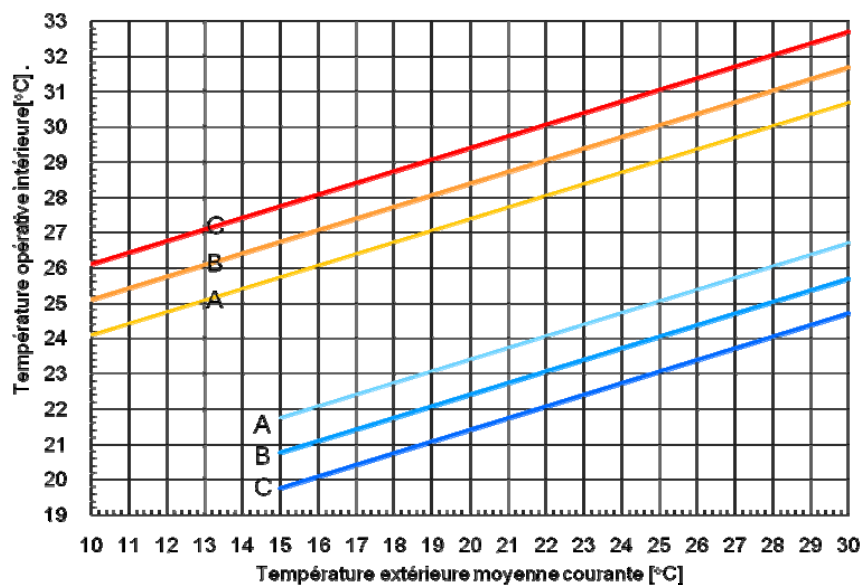
Die Norm SIA 180 – Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau – wird gegenwärtig überarbeitet [4], wobei besonders dem sommerlichen Wärmeschutz vermehrt Beachtung geschenkt werden soll. Die Kriterien und Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Räumen mit Lüftungs- oder Klimaanlage sollen weitgehend aus SIA 382/1 übernommen und ergänzt werden.

Generell sind drei verschiedene Komfortklassen (A, B, C) mit unterschiedlichen Anforderungen an die thermische Behaglichkeit bzw. an den zulässigen Temperaturbereich vorgesehen. Kategorie A gilt für Gebäude mit besonders empfindlichen Nutzern (z.B. Spitäler), B für Neubauten und renovierte Gebäude und C für bestehende Gebäude.

Kategorie	Raumtemperatur °C Sommer (0.5 clo / 1.2 met)		Raumtemperatur °C Winter (1.0 clo / 1.2 met)	
	Planungswert	Toleranzbereich	Planungswert	Toleranzbereich
A	25.0	23.5 – 25.5	21.0	20.0 – 22.0
B	25.0	23.0 – 26.0	21.0	19.0 – 23.0
C	25.0	22.0 – 27.0	21.0	18.0 – 24.0

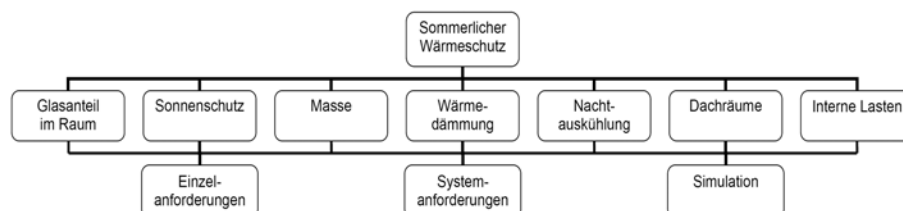
Für nicht-konditionierte Räume ohne Lüftungs- oder Klimaanlage werden für die Komfort-Kategorien A, B und C zulässige Temperaturbereiche gemäss untenstehendem Diagramm angegeben. Dabei

wird auf der X-Achse der so genannte „gleitende Mittelwert der Aussentemperatur“ angegeben. Dieser berechnet sich aus dem Verlauf der Aussentemperatur der vorangehenden Tage.



**Figur 4:** Anforderungen der drei Komfortkategorien an die empfundene Raumtemperatur

Des Weiteren werden im aktuellen Entwurf einfache Massnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes definiert. Die Einhaltung der Anforderungen kann mit drei verschiedenen Verfahren nachgewiesen werden, wobei die Kriterien von MINERGIE übernommen wurden (siehe vorangehender Abschnitt)



**Figur 5:** Massnahmendefinition

## AUSWIRKUNGEN FÜR DEN HOLZBAU

Die im MINERGIE-Nachweis Version 10 sowie im aktuellen Entwurf der Norm SIA 180 formulierten Kriterien zur Erfüllung des sommerlichen Wärmeschutzes haben die folgenden Konsequenzen für Gebäude in Holzbauweise (bzw. alle Konstruktionen ohne freiliegende Betondecke):

- Nur Räume mit einem Glasanteil der Fassade von < 40% sowie einem Unterlagsboden von mindestens 6cm erfüllen die einfachen Kriterien.
- Alle davon abweichenden Räume sowie Räume mit Oblichtern müssen die Einzelanforderungen nachweisen.
- Bei Zwischendecken ohne Unterlagsboden kann die Einzelanforderung an die Wärmespeicherfähigkeit ( $30 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ) zum Teil nicht erreicht werden, d.h. der Nachweis muss mittels dynamischer Simulation erbracht werden.

Bei einer Berechnung der Raumlufthtemperatur gemäss SIA 382/1, Ziffer 4.4.4 (dynamische Simulation, z.B. mit dem SIA Tool Klimatisierung [7]) wird die obere Grenzkurve meist überschritten, zum Teil sogar während mehr als 100 h/a. Damit wäre eine aktive Kühlung auch in Wohngebäuden in vielen Fällen notwendig<sup>2</sup>.

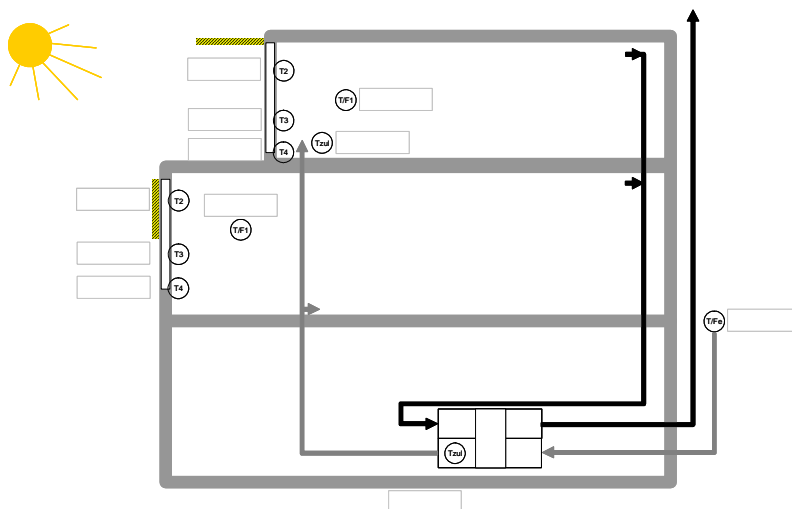
---

<sup>2</sup> Weitergehende Angaben zum Vergleich von Simulationen und Messdaten finden Sie in Kap. 5. Ergebnisse. Unsere Empfehlungen zur Anpassung der MINERGIE-Globalanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ist in Kap. 6. zusammengefasst.

### 3. Messkonzept

Zwischen Anfang Juli und Ende Oktober 2008 wurden in acht MINERGIE-zertifizierten Einfamilienhäusern Temperaturmessungen vorgenommen. In jedem Objekt wurden die folgenden Messsonden installiert:

- Raumlufttemperatur in einem Wohn- oder Schlafzimmer im Obergeschoss
- Raumlufttemperatur in einem Wohn- oder Schlafzimmer im Erdgeschoss
- Um den Einsatz des Sonnenschutzes zu erfassen wurde in allen untersuchten Räumen zusätzlich die Temperatur an der Fensterinnenseite oben, in der Mitte und unten gemessen. Sobald die Temperatur in der Fenstermitte mehr als 5 K über der Raumlufttemperatur liegt, wird im der vorliegenden Studie davon ausgegangen, dass das Fenster nicht verschattet bzw. der Sonnenschutz ist offen.
- Um den Einsatz der Fensterlüftung zu erfassen wurde eine weitere Temperatursonde unterhalb des Fensterflügels angebracht. Wenn die hier gemessene Temperatur sprunghaft absinkt und sich der Aussentemperatur annähert, wurde steht das Fenster offen. In Räumen wo gemäss Benutzerangaben die Fenster nie zur Nachtauskühlung geöffnet werden, wurde auf diese Messung verzichtet.
- Um den Einfluss der Lüftungsanlage abzuschätzen, wurde die Zulufttemperatur am Austritt des Lüftungsgeräts gemessen. In einzelnen Räumen wurde zusätzlich die Zulufttemperatur am Luftauslass im Raum erfasst.
- Die Aussentemperatur wurde an einer ganzjährig im Schatten liegenden Stelle an der Nordseite der Gebäude gemessen.
- Um die Größenordnung der internen Lasten abzuschätzen wurde der Elektrozählerstand zu Beginn und am Ende der Messperiode abgelesen.



Messsonden:

- T/F1 Temperatur im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster-Oberflächentemp. gemessen im oberen Drittel der Fensterinnenseite
- T3 Fenster-Oberflächentemp. gemessen im unteren Drittel der Fensterinnenseite
- T4 Temperatur unterhalb Fensterflügel, (nur falls aktive Fensterlüftung zur Nachtauskühlung)
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass oder im Lüftungsgerät
- T/Fe Temperatur der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfasse

**Figur 6: Messkonzept**

Die gemessenen Temperaturen wurden über die ganze Messperiode mit Datenloggern im Viertelstundentakt gespeichert.

## MESSINSTRUMENTE

Von den acht untersuchten Objekten wurden vier durch die Hochschule Luzern – Technik und Architektur und vier durch Lemon Consult ausgemessen. Aufgrund der vorhandenen Messinfrastruktur wurden die Messungen mit unterschiedlichen Temperatursonden und Datenloggern ausgeführt, das Messverfahren war aber bei allen Objekten identisch.

Im Folgenden werden die von Lemon Consult verwendeten Messinstrumente kurz beschrieben:

- Raumlufttemperatur	Fabr.:	HOBO
	Best. Nr.:	U12-012
- Zuluft-/Aussenlufttemperatur	Fabr.:	HOBO
	Best. Nr.:	U23-001
- Sonnenschutz	Fabr.:	HOBO
	Best. Nr.:	U12-006

Zur Erfassung von Sonnenschutz und Nachtlüftung wurden 4-Kanal Temperaturlogger (Figur 7) mit so genannten Solarpanel-Sonden (Figur 8) bestückt. Die Solarpanel-Sonden sind ein einfaches Konstrukt aus einer durchsichtigen CD Hülle, welche mit schwarzem Papier zur Temperaturerhöhung hinterlegt wird. Auf das Papier ist die Temperatursonde befestigt. Sobald direkte Solarstrahlung auf die Solarpanel-Sonde strahlt, wird aufgrund des kollektorartigen Aufbaus die Temperatur in der CD Hülle erhöht. Damit kann indirekt die Stellung des Sonnenschutzes erfasst werden.

Das Installationsbeispiel (Figur 9) zeigt das Verfahren zur Sonnenschutzprüfung. Hier wurden zwei Solarpanel-Sonden am oberen und unteren Bereich des Fensters im Raum angebracht. Zusätzlich ist eine Temperatursonde unterhalb des Fensterflügels befestigt, welche indirekt anzeigt, ob kühle Aussenluft durch das offene Fenster in der Raum strömt.



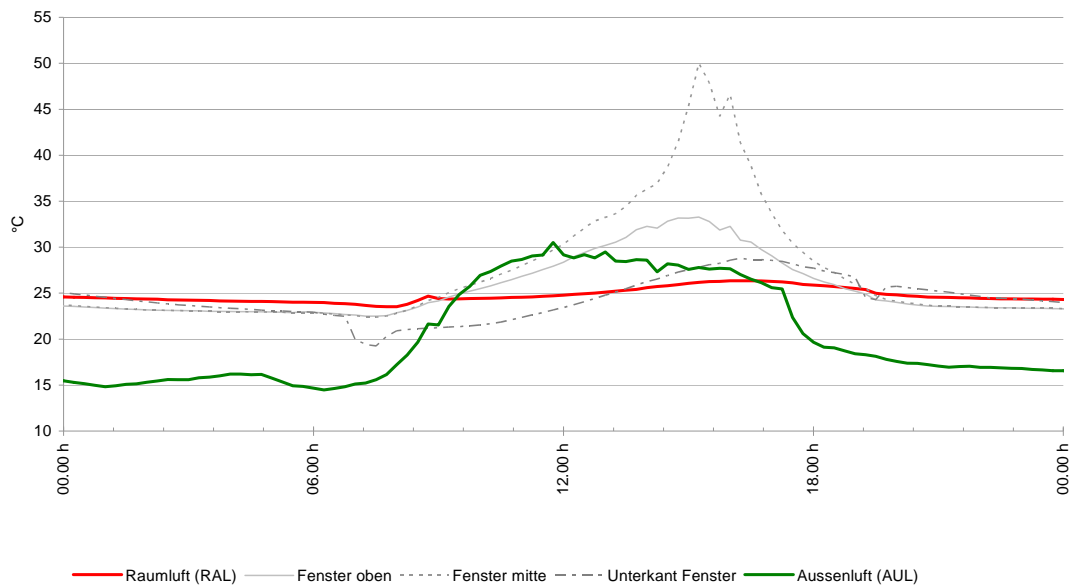
**Figur 7:** 4-Kanal Logger



**Figur 8:** Solarpanel-Sonde



**Figur 9:** Installationsbeispiel



**Figur 10:** Beispielaufzeichnung der gemessenen Temperaturen über einen Tag

Im Folgenden wird anhand einer Beispielaufzeichnung (Figur 10) erklärt, welche Informationen aus den Messdaten abgelesen werden können.

Aussentemperatur	Die Aussenlufttemperatur weist bei Tagesanbruch eine steile Temperaturzunahme bis zum Maximum um ca. 12.00 Uhr auf. Anschliessend sinkt die Temperatur wieder.
Raumlufttemperatur	Die Raumlufttemperatur verläuft relativ konstant. Es ist eine leicht verzögerte Temperaturzunahme zwischen 13.00-16.00 Uhr zu erkennen.
Fenster oben	Die Solarpanel-Sonde am oberen Bereich des Fensters zeigt ab Tagesanfang einen flachen Anstieg. Um 12.00 Uhr überschreitet die Solarpanel-Sonde die Aussenlufttemperatur. Das zeigt, dass keine direkte Strahlung auf die CD trifft. Die Temperaturdifferenz zur Raumluft von max. 7 K kann durch diffuse Solarstrahlung und Wärmeleitung innerhalb der Glasscheibe erklärt werden.
Fenster Mitte	Die Solarpanel-Sonde im mittleren Bereich des Fensters verläuft am Tagesanfang leicht steigend. Ab 12.00 Uhr steigt die Temperatur auf max. 50°C an. Dies ist mit der direkten Strahlung zu erklären. Demnach wird das Fenster nur im oberen Bereich verschattet, z.B. durch einen Dachvorsprung, Balkon oder die Fensterlaibung. Im mittleren und unteren Bereich ist das Fenster der direkten Solarstrahlung ausgesetzt, was unweigerlich zu einer verzögerten Raumtemperaturerhöhung führt. <sup>3</sup>
Fenster Unterkant (unterhalb des Fensterflügels)	Die Temperatursonde unterhalb des Fensterflügels zeigt um 06.30 Uhr einen kurzen Temperatursturz. Das Fenster wurde kurz geöffnet. Um 19.00 Uhr wurde das Fenster wiederum kurz geöffnet.

<sup>3</sup> In der Auswertung in Anhang 3 werden alle Stunden ausgezählt, bei denen ein Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Fensteroberfläche von mehr als 5 K vorliegt.

## 4. Messobjekte

### ÜBERSICHT

Die untersuchten Wohngebäude aus den Kantonen Zürich, Aargau und Luzern sind alle als Systemholzbau mit vorgefertigten Wand-, Boden und Dachelementen realisiert worden. Bei Messbeginn waren fünf der acht Einfamilienhäuser MINERGIE-zertifiziert. Drei Objekte wurden während des Messprojekts nachzertifiziert. Alle Gebäude haben eine Energiebezugsfläche zwischen 200 – 280 m<sup>2</sup>. Mit Ausnahme des Doppel Einfamilienhauses Fotsch sind alle Gebäude freistehend und kaum durch Nachbargebäude und Topografie verschattet.

Die drei Objekte Hägi, Suter und Schmid wurden durch ERNE Modul Technologie realisiert. Die EFH Küffner, Moor, Vögeli und Wapf sind Projekte der Renggli AG. Das EFH Fotsch wurde von Forma-Team realisiert.

EFH Fotsch  
8636 Wald  
EBF = 199m<sup>2</sup>  
Label ZH-817



EFH Küffner  
5608 Stetten  
EBF = 228m<sup>2</sup>  
Label AG-597



EFH Hägi  
5082 Kaisten  
EBF = 192m<sup>2</sup>  
Label AG-1185



EFH Moor  
6208 Oberkirch  
EBF = 282m<sup>2</sup>  
Label LU-168



EFH Suter  
5062 Oberdorf  
EBF = 257m<sup>2</sup>  
Label AG-040-P



EFH Vögeli  
5426 Lengnau  
EBF = 187m<sup>2</sup>  
Label AG-636



EFH Schmid  
5073 Gipf-  
Oberfrick  
EBF = 280m<sup>2</sup>  
Label AG-1000



EFH Wapf  
6167 Altbüron  
EBF = 223m<sup>2</sup>  
Label LU-243



**Figur 11:** Messobjekte; Fotos: P. Fotsch, Renggli AG, ERNE Modul Technologie

Die untersuchten Räume haben mit einer Ausnahme alle zwei oder drei Aussenwände. Der Glasanteil pro Nettogeschossfläche ( $A_{NGF}$ ) liegt in den meisten Räumen zw. 15 – 26%. Ein einziger Raum hat einen sehr hohen Glasanteil von 48% (EG EFH Moor). Bezogen auf die Brutto-Fassadenfläche liegt der Glasanteil im Bereich von 7 – 38%. Die Brutto-Fassadenfläche wird in SIA 382 als Bezugsgrösse für den Glasanteil verwendet.

Alle untersuchten Räume verfügen über eine manuell betätigte, aussen liegende Rafflamellenstore und rund die Hälfte der Fenster wird zusätzlich durch externe Elemente (Vordach, Balkon, Seitenblende etc.) verschattet.



Objekt	Raum	Orientierung Fassaden	Nettofläche $A_{NGF}$ $m^2$	Fenster- fläche $m^2$	Glasanteil Fassade %	Glasanteil pro $A_{NGF}$ %	Wärmespeicher- kapazität $Wh/m^2K$	Lammellen- storen	Balkon, Vordach
EFH Fotsch	EG	SE, (NE)	15	5.5	18	26	36	ja	ja
	OG	SE, NE, NW	72	24.5	25	24	26	ja	ja
EFH Hägi	EG	S, W	53	15.6	25	21	31	ja	ja
	OG	E, (S)	14	2.0	7	10	37	ja	ja
EFH Suter	EG	SW	30	7.7	32	18	35	ja	
	OG	NW, (SW)	20	4.2	12	15	36	ja	ja
EFH Schmid	EG	S, (W)	16	4.4	18	19	37	ja	ja
	OG	S, W, N	66	19.9	19	21	29	ja	ja
EFH Küffner	EG	S, E, (W)	58	20.4	38	25	30	ja	
	OG	S, (W)	14	3.2	11	16	37	ja	
EFH Moor	EG	S, W, (E)	29	19.5	31	48	35	ja	
	OG	S, (E)	18	5.4	16	21	37	ja	
EFH Vögeli	EG	S, (W)	13	3.8	13	20	38	ja	
	OG	S, E	23	5.2	12	16	36	ja	ja
EFH Wapf	EG	S, W, N	67	22.3	24	23	28	ja	ja
	OG	W, (N)	18	4.7	14	19	37	ja	

**Figur 12:** Angaben zu den untersuchten Räumen

## KONSTRUKTION UND WÄRMESPEICHERFÄHIGKEIT

Die Bauhülle entspricht bei allen Objekten mindestens dem MINERGIE-Standard. EFH Küffner erfüllt die Anforderungen von MINERGIE-P und EFH Suter ist als MINERGIE-P Gebäude zertifiziert. Als Dämmmaterialien werden Mineralwolle, Zellulosedämmstoffe und Holzfaserplatten, gegen das Erdreich Polystyrol oder PUR Platten eingesetzt.

Die Untergeschosse, die Bodenplatte des Erdgeschosses sowie bei einigen Objekten Teile des Erdgeschosses bestehen aus Ortbeton.

Mit einer Ausnahme haben alle Objekte einen Fliessanhydritboden von 50mm Stärke mit Parkett oder Fliesen als Bodenbelag. Unter dem Anhydritboden und einer Gleit/Trennschicht liegt eine Trittschalldämmung, typischerweise aus schwerer Mineralwolle von 20-30 mm. Bei den ERNE Häusern sind die Zwischendecken als Holzrahmenkonstruktion mit Dreischichtplatten, bei den Renggli Häusern als Holzbalkendecke mit Gipsplatten als deckenseitiger Abschluss gefertigt.

Nur im EFH Fotsch wurde auf einen Fliessanhydritboden verzichtet. Der Parkettbelag liegt hier auf einer Fermacellplatte auf. Als Trittschalldämmung und Installationsebene kommt eine Fermacell-Wabe mit Fermacell-Schüttung zum Einsatz. Dieser Bodenaufbau führt zu einer leicht geringeren Wärmespeicherfähigkeit als ein Unterlagsboden mit Fliessanhydrit.

Die gemäss SIA 382/1 Anhang E berechneten spezifischen Wärmespeicherfähigkeiten der ausgemessenen Räume liegen im Bereich von 26 – 38  $Wh/m^2K$  (siehe Figur 12). Den tiefsten Wert erreicht mit 26  $Wh/m^2K$  das Obergeschoss des EFH Fotsch. Zwei weitere Räume mit jeweils mehr als 60  $m^2$  Nettogeschossfläche liegen knapp unter dem Grenzwert gemäss SIA 382/1 von 30  $Wh/m^2K$ .

Da alle acht Gebäude in einer ähnlichen Konstruktionsweise gefertigt sind, liegen die spezifischen Werte pro Bauteil relativ nahe bei einander. Die spezifische Wärmespeicherfähigkeit pro Nettogeschossfläche kann dagegen je nach Raumgrösse und Fensteranteil der Fassade relativ stark variieren.

Die beiden Objekte Hägi und Suter verfügen über ein Schrägdach. Alle anderen haben ein Flach- oder Pultdach, welche teilweise extensiv begrünt sind.

Objekt	U-Wert Wand W/m <sup>2</sup> K	U-Wert Dach W/m <sup>2</sup> K	U-Wert Fenster W/m <sup>2</sup> K	g-Wert Fenster	Fensteranteil (A <sub>f</sub> /EBF) %
EFH Fotsch	0.18	0.19	0.90	0.50	34.4
EFH Hägi	0.19	0.20	1.10	0.56	16.1
EFH Suter	0.10	0.11	0.75	0.50	20.5
EFH Schmid	0.12	0.10	1.00	0.45	18.8
EFH Küffner	0.11	0.11	0.70	0.47	20.3
EFH Moor	0.18	0.13	1.25	0.50	25.2
EFH Vögeli	0.20	0.12	1.31	0.60	22.7
EFH Wapf	0.18	0.11	1.25	0.60	26.5

**Figur 13:** Bauphysikalische Kennwerte der Bauhülle

## LÜFTUNG - HEIZUNG - KÜHLUNG

Alle Objekte werden mechanisch belüftet. Der durchschnittliche Nennvolumenstrom pro Energiebezugsfläche liegt bei 0.7 – 1.1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h. Die meisten Anlagen laufen gemäss Benutzerangaben während 24h auf der mittleren Stufe. Zwei Benutzer geben an, die Lüftung nachts manuell auf die kleinste Stufe zu stellen.

In der Befragung haben zudem 6 von 8 Familien angegeben, im Sommer die Fenster zur Nachtauskühlung oft bis immer zu öffnen. In zwei Objekten (EFH Fotsch und Wapf) wird dagegen die Fensterlüftung zur Nachtauskühlung kaum benutzt.

Objekt	Erdregister	Heizung	Kühlung
EFH Fotsch	ja	Holzpellet	nein
EFH Hägi	nein	Luft-Wasser-WP	nein
EFH Suter	ja	Luft-Wasser-WP	nein
EFH Schmid	ja	Holzpellet	nein
EFH Küffner	ja	Luft-Wasser-WP	nein
EFH Moor	nein	Erdsonden-WP	nein
EFH Vögeli	nein	Luft-Wasser-WP	nein
EFH Wapf	ja*	Erdsonden-WP	nein

**Figur 14:** Angaben zur Haustechnik; \*EFH Wapf verfügt anstelle eines konventionellen Erdregisters über einen ca. 13m langen erdverlegten Aussenluftkanal

Bei fünf Objekten wird die Aussenluft über ein Erdregister vortemperiert (Figur 14). Beim EFH Schmid handelt es sich dabei um eine 100 m lange, erdverlegte Wasserrohrschleife, welche ein Register im Lüftungsgerät speist. Das EFH Wapf verfügt anstelle eines konventionellen Erdregisters über einen ca. 13m langen erdverlegten Aussenluftkanal. Die anderen drei Objekte verfügen über ein Luft-Erdregister.

Mit Ausnahme des EFH Fotsch haben alle Objekte eine Fussbodenheizung.

## BEWOHNERANGABEN ZU ÜBERHITZUNG UND SONNENSCHUTZ

Zusätzlich zum individuellen Nachtlüftungsverhalten wurden die Bewohner auch bezüglich ihrer subjektiven Einschätzung der thermischen Behaglichkeit im Sommer sowie dem Einsatz des externen Sonnenschutzes befragt. Danach geben sieben von acht Benutzer an, den Sonnenschutz immer einzusetzen.

Bei der thermischen Behaglichkeit im Sommer haben drei Bewohner selten bis nie zu warm (Note 5 - 6 auf einer Skala von 1- 6), vier empfinden die Raumlufttemperatur nur manchmal zu hoch (Note 3.5 – 4.5). Die Bewohner des EFH Küffner geben an, tagsüber oft (Note 2) und nachts selten (Note 5.5) zu hohe Raumlufttemperaturen vorzufinden.

## 5. Ergebnisse und Auswertung

### MESSERGEBNISSE

Die Messergebnisse werden in Anhang 3 im Detail dargestellt und kommentiert. Die wichtigsten Resultate sind in Figur 15 zusammengefasst. Daraus können die folgenden wesentlichen Erkenntnisse abgelesen werden:

- Die maximale Raumlufttemperatur liegt in fast allen Räumen über der oberen Grenzkurve gemäss SIA 382/1, Ziffer 2.2.3.7 (bei hohen Aussentemperaturen maximal 26.5°C). Bei zwei Objekten lag die maximal gemessene Raumlufttemperatur sogar über 30°C. Die obere Grenzkurve wird aber in fast allen untersuchten Räumen nur während relativ wenigen Stunden (< 100 h) überschritten.
- Im Obergeschoss der beiden Objekte Fotsch und Hägi lag die Raumtemperatur dagegen während mehr als 100 h über der oberen Grenzkurve. Beide Räume weisen auch eine hohe Anzahl Stunden mit direkter Sonneneinstrahlung - also ohne externen Sonnenschutz – auf.
- Räume in welchen der Sonnenschutz meistens eingesetzt wird (< 100 h mit direkter Sonneneinstrahlung), weisen tendenziell weniger Stunden über der Grenzkurve auf. Es gibt allerdings auch einzelne Räume, bei welchen die Raumlufttemperatur auch ohne Sonnenschutz nie oder nur selten über der Grenzkurve liegt. Diese Räume liegen alle im Erdgeschoss (EFH Suter, Schmid, Küffner).
- Erhöhte Raumlufttemperaturen mit Überschreitung der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 lassen sich weitgehend auf die Bedienung des Sonnenschutzes zurückführen, wobei die Bewohner gemäss eigenen Angaben zum Teil bewusst eine Überhitzung in Kauf nehmen (z.B. EFH Fotsch).
- Räume im Obergeschoss sind aufgrund aufsteigender warmer Luft aus dem EG und höherer Transmissionsgewinne über das Dach erwartungsgemäss wärmer als Räume im Erdgeschoss (Ausnahmen: Suter, Küffner). In zwei Objekten (Fotsch, Schmid) wurde die Grenztemperatur jeweils nur im Obergeschoss überschritten.

Objekt	Max. Aussentemp. °C	Max. Zulufttemp. °C	Geschoss	Max. Raumtemp. °C	Raumtemp. > Grenzkurve h	Dir. Sonneneinstrahlung h
EFH Fotsch	26.7	22.9	EG	26.1	0	28
			OG	<b>28.8</b>	<b>163</b>	358
EFH Hägi	32.6	<b>30.6</b>	EG	<b>27.7</b>	66	428
			OG	<b>28.2</b>	<b>217</b>	242
EFH Suter	31.1	<b>30.4</b>	EG	<b>31.5</b>	25	372
			OG	<b>27.6</b>	10	71
EFH Schmid	32.6	<b>35.5</b>	EG	25.0	0	287
			OG	<b>29.3</b>	78	294
EFH Küffner	29.6	20.4	EG	25.2	3	227
			OG	24.3	0	20
EFH Moor	29.2	25.2	EG	<b>31.8</b>	65	103
			OG	<b>27.6</b>	39	92
EFH Vögeli	35.7	25.9	EG	<b>27.4</b>	30	16
			OG	<b>28.1</b>	44	0
EFH Wapf	35.5	21.9	EG	25.7	0	25
			OG	26.1	0	9

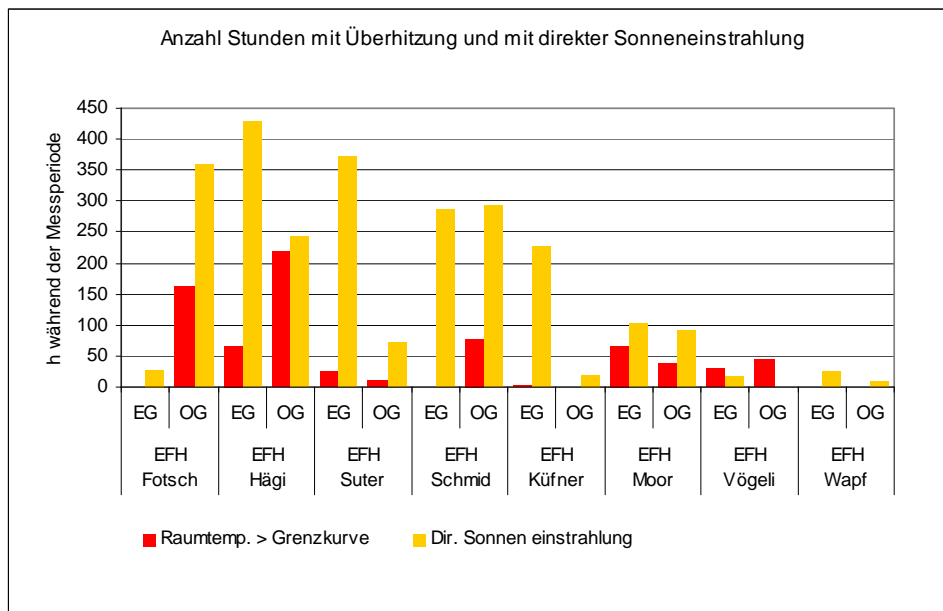
**Figur 15:** Zusammenstellung der Messresultate

#### Erkenntnisse bezüglich der eingesetzten Messmethode:

- Die Benutzung des Sonnenschutzes und die Öffnung der Fenster zur Nachtauskühlung kann anhand der gemessenen Temperaturen an der Fensterinnenseite gut abgelesen werden. Dabei scheint der Sonnenschutz einen grösseren Einfluss auf die Raumtemperatur zu haben als die Nachtauskühlung. Allerdings lässt die Methode keine quantitativen Aussagen über die Sonneneinstrahlung zu und sollte daher bei zukünftigen Messprojekten weiterentwickelt werden (siehe Anhang 2).

#### Erkenntnisse bezüglich der baulichen Anforderungen nach SIA 382/1:

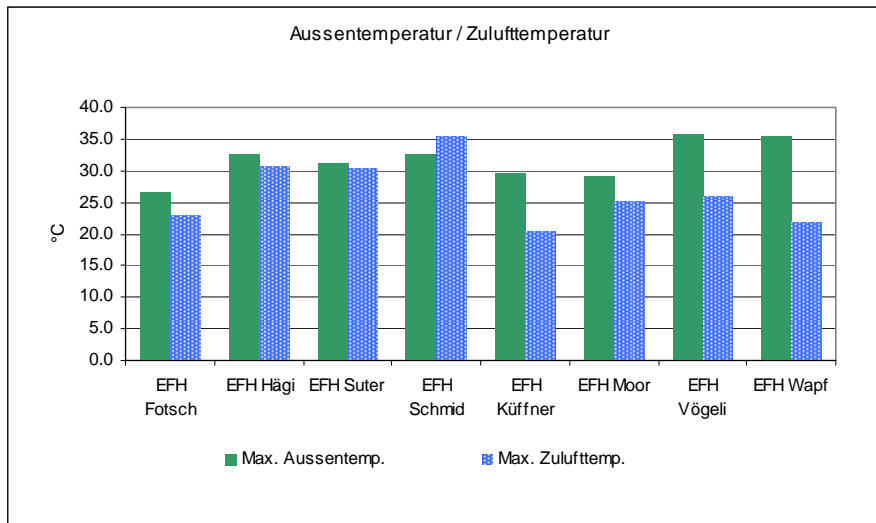
- Die acht untersuchten MINERGIE-Gebäude in Holzbauweise erfüllen alle die baulichen Anforderungen nach SIA 382/1 bezüglich Glasanteil der Fassade, Gesamtenergiedurchlassgrad mit Sonnenschutz sowie Möglichkeit zur Fensterlüftung.
- Die geforderte minimale Wärmespeicherfähigkeit von  $30 \text{ Wh/m}^2\text{K}$  wird in drei Räumen (EFH Fotsch, Schmid, Wapf) knapp nicht eingehalten. Dabei handelt es sich um grosse Räume mit mehr als  $60 \text{ m}^2$  Nettogeschossfläche, bei denen der Anteil Innenwandfläche zu Bodenfläche besonders tief ausfällt.



**Figur 16:** Anzahl Stunden mit Überhitzung und direkter Sonneneinstrahlung

#### Erkenntnisse bezüglich der Aussen- und Zulufttemperaturen:

- Die maximale Zulufttemperatur variiert stark von Objekt zu Objekt (Figur 17). Dank dem Erdregister bzw. einer erdverlegten Aussenluftkanals haben die Objekte Fotsch, Küffner und Wapf sehr tiefer Zulufttemperaturen. Beim EFH Schmid ist ebenfalls ein Erdregister vorhanden, die maximale Zulufttemperatur ist aber entweder aufgrund eines Messfehlers oder eines Fehlbetriebs des Lüftungsgeräts trotzdem hoch. Hohe maximale Zulufttemperaturen hat auch das Lüftungsgerät von EFH Hägi, bei welchem der Bypass der Wärmerückgewinnung nicht richtig eingestellt war. Beim Lüftungsgerät von EFH Suter wurde Ende September das Heizregister eingeschaltet, was zu einer hohen maximalen Zulufttemperatur geführt hat.
- Auch die Aussen Temperatur variiert sehr stark von Standort zu Standort. In Wald (EFH Fotsch) lag die maximal gemessene Aussen Temperatur zwischen Anfang Juli und Ende Oktober bei nur  $26.7^\circ\text{C}$ . Das andere Extrem wurde am Standort von EFH Vögeli mit einer maximalen Aussen Temperatur von  $35.7^\circ\text{C}$  und insgesamt 12 Hitzetagen (Tagesmaxima  $> 30^\circ\text{C}$ ) innerhalb der Messperiode gemessen.



**Figur 17:** Aussentemperatur und Zulufttemperatur

## DAS KLIMA WÄHREND DER MESSPERIODE

Für die Beurteilung der Messergebnisse ist unter anderem ein Vergleich des Klimas während der Messperiode mit den langjährigen Mittelwerten notwendig. Angaben zur Klimaentwicklung werden auf der Internetseite von MeteoSchweiz publiziert [8]. Auszüge aus den Kommentaren zu der Periode Juli – Oktober 2008 sind in Anhang 1 zu finden. Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen:

Die Monate Juli und August lagen trotz zeitweise nassen und kühlen Wetters bezüglich Aussentemperatur und Sonnenscheindauer im Bereich des langjährigen Mittels. Der September war etwa 1 – 2°C kühler als das langjährige Mittel. Der Oktober war 0.5 – 1°C zu warm und die Sonnenscheindauer lag zwischen 70 – 100% des Durchschnitts.

Insgesamt entsprach das Klima in der Messperiode demnach etwa dem langjährigen Mittel aus der Periode 1960 - 1990. Eine intensive Hitzeperiode wie z.B. im Sommer 2003 blieb aber aus. Im Hinblick auf die sich abzeichnende Klimaerwärmung ist daher die Messperiode eher als ein milder und nicht als ein typischer zukünftiger Sommer zu bezeichnen.

## INTERNE WÄRMELASTEN

Neben den solaren Wärmegewinnen können auch interne Wärmelasten durch elektrische Geräte und Personen zu einer Überhitzung führen. Als Indikator für die Abwärme von elektrischen Geräten wurde in allen Gebäuden zu Beginn und am Ende der Messperiode der Elektro-Zählerstand abgelesen. Hochgerechnet auf ein Jahr liegen die gemessenen Elektrizitätsverbräuche pro Energiebezugsfläche im Bereich von 40 – 180 MJ/m<sup>2</sup>a. Der Mittelwert liegt bei rund 100 MJ/m<sup>2</sup>a. Der Standardnutzungswert für den Elektrizitätsbedarf von Einfamilienhäusern liegt gemäss SIA 380/1 [9] bei 80 MJ/m<sup>2</sup>a, also in einem vergleichbaren Bereich.

In den Messwerten enthalten sind auch Elektroverbraucher, welche ausserhalb der thermischen Gebäudehülle liegen können, z.B. Aussenbeleuchtung, Umwälzpumpen, Lüftungsgeräte etc. In SIA 380/1 wird daher für Einfamilienhäuser ein Reduktionsfaktor für die innerhalb der thermischen Gebäudehülle wirksame Elektroabwärme von 0.7 definiert. Unter Berücksichtigung dieses Reduktionsfaktors weisen die untersuchten Objekte demnach im Mittel interne Wärmelasten von rund 70 MJ/m<sup>2</sup>a bzw. 2.2 W/m<sup>2</sup> auf.

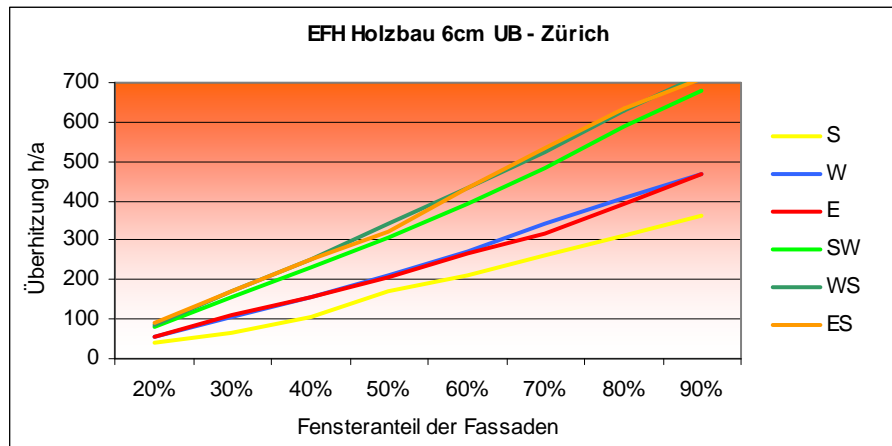
Die Personenfläche liegt in den untersuchten Objekten im Bereich von 40 – 140 m<sup>2</sup>/P. Der Mittelwert von 67 m<sup>2</sup>/P liegt damit sehr nahe beim Standardnutzungswert nach SIA 380/1 von 70 m<sup>2</sup>/P. Die mittlere sensible Wärmeabgabe von Personen liegt demnach bei einer Präsenzzeit von 50% bei rund 0.5 W/m<sup>2</sup>.

Zum Vergleich: die solaren Wärmelasten liegen bei einem Glasanteil pro Nettogeschossfläche von 20% und heruntergelassenem Sonnenschutz tagsüber typischerweise im Bereich von 5 – 10 W/m<sup>2</sup>.

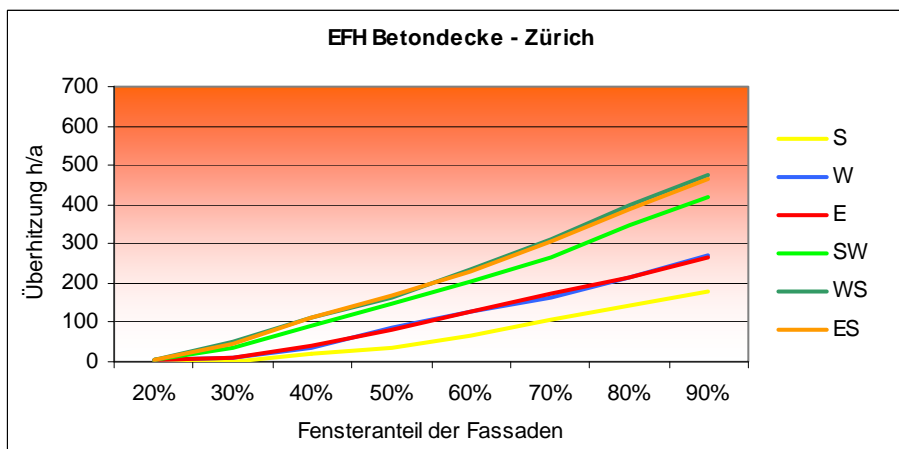
## VERGLEICH MIT THERMISCHEN SIMULATIONEN

Die Formulierung der MINERGIE Kriterien für die Globalbeurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes, insbesondere der maximale Glasanteil der Fassade, basieren auf vereinfachten Simulationsrechnungen [1] mit dem SIA Tool Klimatisierung [7].

Die Ergebnisse aus [1] deuten darauf hin, dass bei Wohngebäuden in Holzbauweise (Figur 18) bereits bei einem Glasanteil der Fassade von mehr als 30%, bei Eckräumen bereits ab 20%, ein erhebliches Überhitzungsrisiko<sup>4</sup> bestehen könnte. Wohngebäude in Massivbauweise mit Betondecken scheinen gemäss derselben Quelle wesentlich weniger Überhitzungsanfällig zu sein (Figur 19).



**Figur 18:** Überhitzungsstunden bei einem Einfamilienhaus in Holzbauweise, Zwischendecke mit 6 cm Zementunterlagsboden (UB)



**Figur 19:** Überhitzungsstunden bei einem Einfamilienhaus in massiver Bauweise, Zwischendecke mit 24 cm Stahlbeton

In den Simulationen wurde vorausgesetzt, dass der Sonnenschutz bei einer Globalstrahlung von  $150 \text{ W/m}^2$  immer heruntergefahren und die Fenster im Sommer konsequent zur Nachtauskühlung geöffnet werden.

In den im vorliegenden Messprojekt untersuchten Objekten wurden sowohl Sonnenschutz als auch Fensterlüftung zur Nachtauskühlung naturgemäss nicht so konsequent eingesetzt, wie in den Simulationen angenommen. Trotzdem scheint das Überhitzungsrisiko bei den Messungen geringer auszufallen, d.h. die Überhitzung wird in der Simulation tendenziell überschätzt, wobei die folgenden Punkte zu einer Überbewertung der Überhitzung beitragen könnten:

<sup>4</sup> d.h. die Raumlufttemperatur liegt während mehr als 100 h/a über der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1

- Die Speichermasse von Möbeln und Einrichtungsgegenständen werden in den Simulationen nicht berücksichtigt. Diese können bei leichten Baukonstruktionen insbesondere bei grossen Räumen die effektiv verfügbare Wärmespeicherfähigkeit in relevantem Masse erhöhen.
- In den Simulationen wird nur die Speicherung sensibler Wärme berücksichtigt. Gerade bei Holzkonstruktionen könnte die zyklische Aufnahme und Abgabe von Feuchte durch die Raumoberflächen eine dämpfende Wirkung auf die Raumlufttemperatur haben.
- Es wurden einzelne Räume mit adiabaten Innenwänden simuliert. In realen Gebäuden wird lokal anfallende Wärme in der Regel durch Konvektion rasch im ganzen Wohnbereich verteilt. Dies kann allerdings im Dachgeschoss bei offenen internen Treppenhäusern auch zu höheren Temperaturen führen.
- Der in der Simulation angenommene Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasung und Sonnenschutz von 0.1 ist für eine geschlossene Lammellenstore oder ein Rollladen eher als konservativer Wert anzusehen. Eine geschlossene Rafflamellenstore (Lamellenwinkel 30°) kann in Kombination mit einem konventionellen Wärmeschutzglas einen g-Wert von 0.05 erreichen.

Nicht zur Überbewertung der Überhitzung tragen die internen Lasten bei. Die mittleren internen Wärmelasten wurden in [1] mit  $1.6 \text{ W/m}^2$  etwas tiefer angesetzt, als in den untersuchten Messobjekten aufgrund der Ablesung der Elektrozähler im Durchschnitt effektiv anfallen ( $2.2 \text{ W/m}^2$ ).

Ein detaillierter quantitativer Vergleich der gemessenen Raumlufttemperaturen mit thermischen Simulationen ist aufgrund fehlender Messgrössen (Globalstrahlung, Luftvolumenströme, etc.) nicht möglich. Ein solcher Vergleich war im Rahmen dieser Studie auch nicht vorgesehen. Das BFE Projekt „Parameteruntersuchung des sommerlichen Raumklimas von Wohngebäuden in Holzbauweise mittels Gebäudesimulation“ [6] soll diesbezüglich weitere Erkenntnisse bringen.

## 6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### GLOBALBEURTEILUNG IM MINERGIE-NACHWEIS

Bezüglich der Überprüfung der Kriterien zur Globalbeurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes von Holzbauten im MINERGIE-Nachweis können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Die in acht MINERGIE Einfamilienhäusern in Holzbauweise unter realen Betriebsbedingungen gemessene Überhitzung fällt eher geringer aus, als dies thermische Simulationen vermuten liessen [1]. Der von MINERGIE für den sommerlichen Wärmeschutz von Holzbauten definierte maximale Glasanteil pro Fassadenfläche von 40% muss daher nicht nach unten korrigiert werden.
- Gegenwärtig ist eine Globalbeurteilung nur bei Räumen in Holzbauweise mit einer einzigen Aussenwand mit Fenstern möglich. Eine Ausdehnung der Globalbeurteilung auf Eckräume mit zwei Aussenwänden mit einem Glasanteil von je maximal 40% scheint gerechtfertigt.
- Die Zulassung höherer Glasanteile könnte bei automatischer Sonnenschutzsteuerung ebenfalls in Betracht kommen. Dieser Punkt sollte allerdings vor Einführung noch mit thermischen Simulationen überprüft werden.
- Die minimal geforderte Stärke des Zementunterlagsbodens sollte auf 5 cm reduziert und der häufig anzutreffende Anhydrit-Fliessmörtel als Bodenkonstruktion ebenfalls explizit zugelassen werden.
- Um den sommerlichen Wärmeschutz von möglichst vielen Objekten mit der Globalbeurteilung nachweisen zu können, ist die Zulassung kleiner Oblichter (z.B. Dachfenster im Badezimmer) ebenfalls zu prüfen, sofern das Oblicht mit einem aussen liegenden beweglichen Sonnenschutz versehen ist und die Glasfläche kleiner als  $0.5 \text{ m}^2$  ist oder - bei grösseren Oblichtern - der Glasanteil 5% der Netto-Geschossfläche ( $A_{\text{NGF}}$ ) des betrachteten Raumes nicht übersteigt. Dieser Punkt sollte allerdings vor Einführung noch mit thermischen Simulationen überprüft werden.

### SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ IN SIA 180

Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz werden gegenwärtig im Rahmen der Überarbeitung der SIA Norm 180 [4] neu definiert. Insbesondere die baulichen Anforderungen werden voraussichtlich weitgehend auf den heute in SIA 382/1 [3] definierten Anforderungen beruhen. Bezüglich der Überprüfung dieser Anforderungen lassen sich auf der Grundlage des vorliegenden Messprojekts die folgenden Empfehlungen ableiten:

- Die Bruttofassadenfläche ist eigentlich als Bezugsgrösse für den Glasanteil eher ungeeignet. Aussagekräftiger und in der Regel einfacher zu bestimmen ist der Glasanteil pro Netto-Geschossfläche ( $A_{\text{NGF}}$ ) des betrachteten Raumes. Dies würde insbesondere bei grossen, tiefen Räumen den Spielraum bei der Fassadengestaltung erweitern.
- Die minimal geforderte Wärmespeicherkapazität von  $30 \text{ Wh/m}^2\text{K}$  ist bei grossen Räumen ( $> 60 \text{ m}^2$  Bodenfläche) in Holzbauweise nur schwer erreichbar. Die Dämpfung der Raumlufttemperatur durch eine typische Möblierung und die Feuchtespeicherung in Baummaterialien sollte weiter untersucht werden.



## 7. Referenzen

- [1] M. Ménard, Sommerlicher Wärmeschutz bei MINERGIE Gebäuden – Kriterien für die Auswahl kritischer Wohngebäude, Studienbericht im Auftrag von MINERGIE, 3. Dez. 2007
- [2] KBOB 2008 Bauen, wenn das Klima wärmer wird, Empfehlung Nachhaltiges Bauen 2008/2, KBOB, AWEL, UGZ, [www.kbob.ch / Publikationen/Empfehlungen nachhaltiges Bauen](http://www.kbob.ch/Publikationen/Empfehlungen_nachhaltiges_Bauen)
- [3] SIA 382/1:2007, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, SIA 2007
- [4] SIA 180:2009, Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Entwurf ohne Gültigkeit vom September 2008
- [5] SIA 2024, SIA Merkblatt 2024, Standardnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, SIA 2006
- [6] D. Kehl, Parameteruntersuchung des sommerlichen Raumklimas von Wohngebäuden in Holzbauweise mittels Gebäudesimulation, Projektskizze für das BFE Forschungsprogramm Energie in Gebäuden, Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Prof. Ing. A. Müller, Bearbeitungszeitraum 2009 – 2010.
- [7] SIA Tool Klimatisierung, erhältlich unter [www.energycodes.ch](http://www.energycodes.ch)
- [8] MeteoSchweiz: [www.meteoschweiz.admin.ch](http://www.meteoschweiz.admin.ch) > Klima > Klima Schweiz > Klima heute
- [9] SIA 380/1:2007, Thermische Energie im Hochbau, SIA 2007
- [10] CONRAD, [www.conrad.ch](http://www.conrad.ch) > Funk-Überwachungskameras

## Anhang 1 – MeteoSchweiz - Monatswitterung während der Messperiode

**Juli** - Lange Zeit unbeständig und teilweise kühl

Während rund zwei Dritteln seiner Dauer war der Juli geprägt durch wechselhaftes Wetter. Zwar gab es immer wieder einzelne, eingestreute Sommertage. Gleich an den ersten beiden Julitagen wurden in den Niederungen der Alpennordseite heisse 30 bis 33 Grad Celsius gemessen. Auch am 11. Juli sorgte der Südföhn in einigen Alpentälern kurzfristig für Hitzewerte bis 31 Grad. Aber die in rascher Folge herangeführten Störungen mit Gewitterplatzregen und nachfolgender Polarluft liessen die Temperaturen jeweils rasch wieder und teils empfindlich zurückgehen. Zwischen dem 12. und 23. Juli wurden in den Niederungen der Alpennordseite insgesamt um etwa 1.5 Grad, in Gipfelregionen sogar bis 2.5 Grad unternormale Julitemperaturen gemessen. Auf den 14. Juli schneite es bis auf die Passhöhen. Nebst dem Temperaturdefizit resultierte in den ersten zwei Monatsdritteln auch ein Sonnenscheindefizit vor allem in den Alpen und ein teils grosser Regenüberschuss durch die wiederholten, kräftigen Gewitterregen.

Ab dem 23. Juli stieg der Luftdruck über Mitteleuropa und den Alpen deutlich an. Ein wirklich kräftiges Hochdruckgebiet entstand zwar nicht, so dass sich auch keine extreme Hitze und Trockenheit entwickelte. Immerhin erreichten die Temperaturen nun meist Werte von 26 bis 30 Grad. An vielen Tagen gab es auch wieder abendliche Wärmegewitter, die sich meist auf die Alpen konzentrierten. Trotz dem überwiegend sonnigen Wetter des letzten Monatsdrittels wird der Juli 2008 in den zentralen, östlichen und südlichen Alpen daher wohl ein leichtes Sonnenscheindefizit aufweisen, während die Sonnenscheinbilanz für das Mittelland noch auf die positive Seite gekippt ist. Auch die Monatsmitteltemperaturen wiesen in den Niederungen verbreitet einen Wärmeüberschuss von wenigen Zehntelgraden aus. In höheren Lagen erreichte der Juli 2008 etwa die durchschnittlichen Temperaturen der Periode 1961-90.

**August** - Der dritte Sommermonat August präsentierte sich wechselhaft, aber etwas wärmer als normal. Grosse Unwetter blieben glücklicherweise aus

Im Allgemeinen waren die Augusttage zeitweise bis ziemlich sonnig. Bis am 23. August waren nur der 12. und 15. August landesweit wolkenverhangen und nur der 10. und der 18. August weithin sonnig. Ab dem 24. August setzte sich dann wolkenarmes Spätsommerwetter durch. Die Besonnung erreichte in vielen Landsteilen bis am 28. August schon normale Augustwerte. In Graubünden und im Süden wurde die normale Monatssumme teils bereits überschritten. Hingegen wurden in der Nordwestschweiz, auf den Voralpengipfeln und am zentralen Alpennordhang bisher erst 80 bis 90% der normalen Augustbesonnung gemessen.

**September** - Die Schweizer Witterung im September 2008 präsentierte sich überwiegend kühl, nass und sonnenarm, wobei die erste Monathälfte teils grosse Niederschläge brachte und die zweite Hälfte im Norden durch Hochnebel und kalte Bise geprägt war.

Insgesamt war der September in den meisten Regionen kühler als im Mittel der Jahre 1961-90. Verbreitet betrug das Temperaturdefizit 1-2 °C, in den tief gelegenen Talböden der Alpen und im Süden weniger als 1 °C. Im zentralen Rhonetal wurden normale September-Temperaturen gemessen.

Bis zum 14. September sorgten Tiefdruckgebiete für zahlreiche regentrübe Tage. Anschliessend verursachte die Bisenströmung teils hochreichenden, zähen Hochnebel. Selbst die Südschweiz war zeitweise davon betroffen, so dass das Sonnenscheindefizit der ersten Monathälfte im Allgemeinen nicht mehr aufgeholt wurde. Bis am 28. September zeichnen sich vor allem in den zentralen und östlichen Regionen der Schweiz moderate Sonnenscheindefizite ab, derweil im Nordwesten, Westen und Wallis teils normale Besonnungswerte erreicht werden.

**Oktober** - Insgesamt zeigte sich der Monat zu warm, in vielen Regionen zu nass und mit einem mässigen Sonnenscheindefizit.

In weiten Teilen der Schweiz war der Oktober zwischen 0.5 und 1.1 °C zu warm. Im Wallis erreichte der Wärmeüberschuss bis 1.3 °C, im Tessin bis 1.7 °C.

Die Sonnenscheindauer bewegte sich in den meisten Gebieten der Schweiz zwischen 70 und 100 Prozent der normalen Werte. Mehr Sonne als im Durchschnittsoktober erhielt die Osthälfte des Mittelandes. Hier wurden Werte zwischen 110 und 130 Prozent der Norm verzeichnet.

## Anhang 2 – Pilotstudie Fassaden-Überwachungskamera

Im vorliegenden Messprojekt wurde der Einsatz von Sonnenschutz und Fensterlüftung indirekt anhand von Temperaturmessungen am Fenster ermittelt (siehe Kap. 3). Da die Messinstallation und Datenauswertung aufwendig ist, können in der Regel nur einzelne Fenster ausgemessen werden. Bei grossen Gebäuden kann es daher sinnvoll sein, die Bedienung von Sonnenschutz und Fensterlüftung zusätzlich optisch durch Fassadenkameras zu erfassen.

Als Pilotstudie wurde die Fassade eines grossen Bürogebäudes mit einer einfachen Funk-Überwachungskamera [10] beobachtet. Die Kamera mit Li-Akku überträgt ein Bild mit einer Auflösung von 628 x 582 pixel per 2.4 GHz Funksignal an eine Empfängerstation, welche über ein USB-Kabel an ein Notebook angeschlossen werden kann. Pro Empfängerstation können 4 Kameras angeschlossen werden. Der Preis der verwendeten Kamera liegt im Bereich von CHF 170.-.

Die Überwachung der Fassade kann entweder durch periodisch ausgelöste Fotos (z.B. alle 15 Minuten ein Bild) oder einen Bewegungsmelder ausgelöste Fotos (z.B. bei Hoch- oder Herunterfahren eines Sonnenschutzes) aufgezeichnet werden. Die kontinuierliche Video-Aufzeichnung der Fassade ist aufgrund der grossen Datenmenge und der zeitintensiven Auswertung nicht sinnvoll.

Im Pilotversuch sind die folgenden Probleme aufgetreten:

- Die Übertragungsdistanz der Funk-Kamera ist wesentlich geringer als vom Hersteller angegeben. Bereits ab einer Distanz von 10 m wird die Bildqualität sichtbar beeinträchtigt. Zudem muss zwischen Kamera und Empfängerstation Sichtkontakt bestehen.
- Die Bildauslösung durch den Bewegungsmelder funktioniert nur bei kleinen Distanzen. Die Aufzeichnung muss daher über eine Zeitsteuerung erfolgen.
- Die Arbeitszeit des eingebauten Kamera-Akkus ist mit 5h zu klein. Die Kamera muss entweder an ein Steckernetzteil oder an einen externen Akku angeschlossen werden.
- Die Auflösung ist bei grossen Fassaden zu gering, um offene Fenster bei jeder Tageslichtsituation und aus jedem Winkel sicher erkennen zu können. Die Position des Sonnenschutzes inklusive grobe Einstellung des Lamellenwinkels sind dagegen gut erkennbar.

Als Alternative zu einer Video-Überwachungskamera soll aufgrund der geschilderten Probleme eine einfache Fotokamera mit periodischer Bildaufzeichnungsfunktion (Time-lapse) getestet werden. Ein entsprechender Pilotversuch ist an einem Bürogebäude mit Erfassung der Sonnenschutzposition über das Gebäudeleitsystem geplant. Dadurch kann die optische Auswertung der aufgezeichneten Fassadenbilder zur Kontrolle mit den durch das Gebäudeleitsystem gespeicherten Informationen verglichen werden.

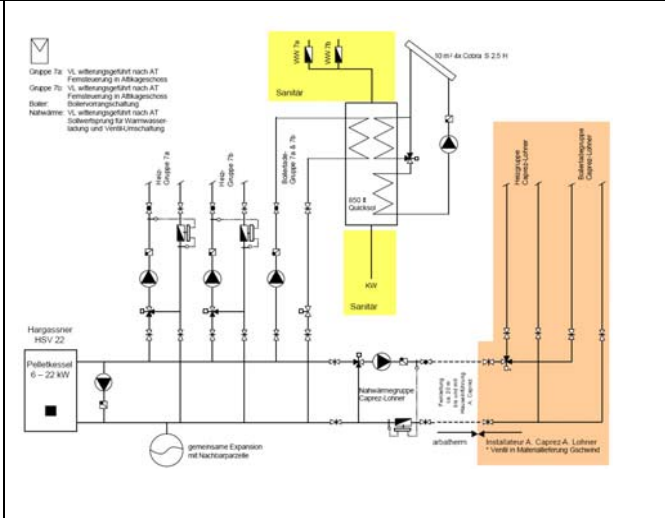
Ein effizientes und kostengünstiges System zur Aufzeichnung von Fassadenbildern könnte auch für die Betriebsoptimierung von grossen Gebäuden wertvolle Informationen liefern, z.B:

- Optimierte Sonnenschutzsteuerung zur Vermeidung einer Überhitzung im Sommer, zur Reduktion der Einschaltdauer der Bürobeleuchtung, zur Maximierung passiver Solargewinne im Winter und zur Reduktion von Transmissionsverlusten während der Nacht.
- Optimierte Fensterlüftung im Sommer (Nachtauskühlung) und Winter (Stosslüftung)

Die Fassadenbilder können damit auch ein wertvolles Instrument zur Sensibilisierung von Gebäudebetreibern und –nutzern bezüglich der Fehlbedienung von Sonnenschutz, Beleuchtung und Fensterlüftung darstellen.

## **Anhang 3 – Detaillierte Messergebnisse**

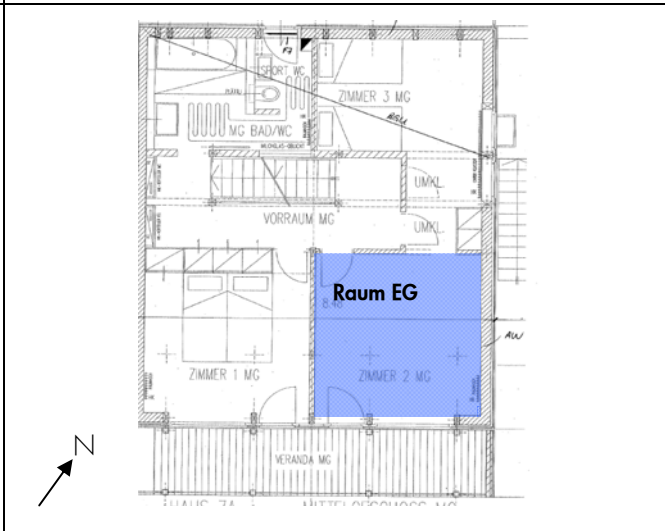
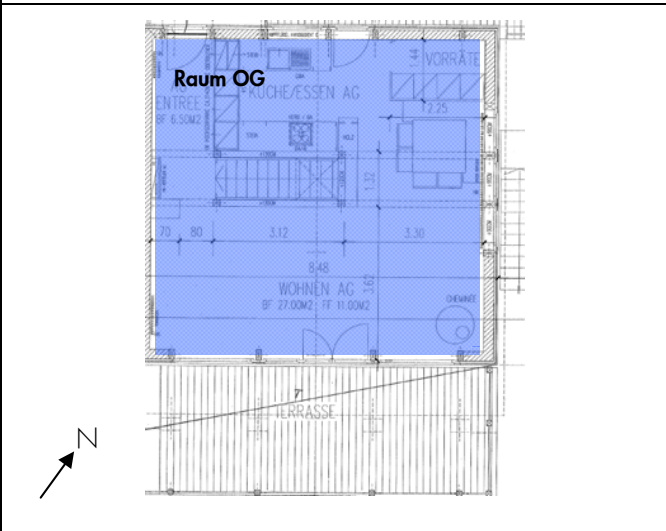
A3.1.	EFH Fotsch – 8636 Wald	
-------	------------------------	--



<b>Gebäude</b>	
MINERGIE Label / Baujahr	ZH-817 / 2004
Energiebezugsfläche (EBF)	199 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	154 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h, eff}$ (mit Lüftungsanlage)	116 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A/EBF)	1.76
Fensteranteil ( $A_f$ /EBF)	32%
Fenster g-Wert	0.5
Sonnenschutz	Raffstore, Markise

<b>Lüftungsanlage</b>	
Nenn-Luftvolumenstrom	210 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	94%
Erdregister	vorhanden

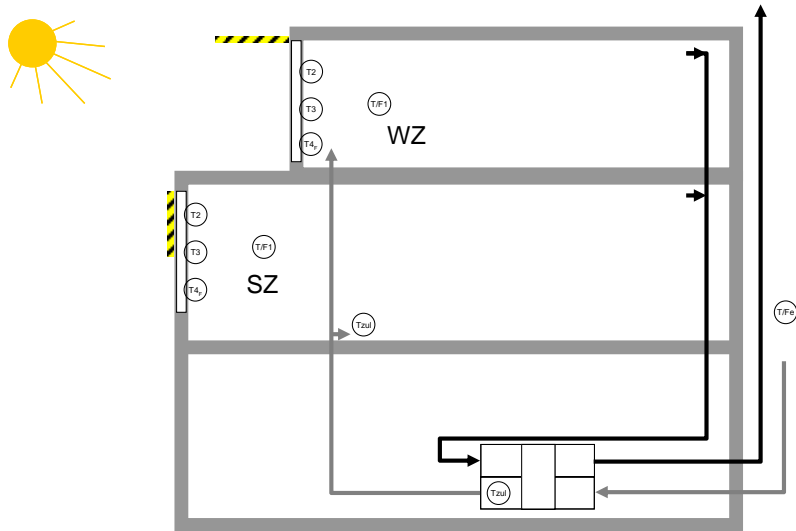
<b>Lüftungsanlage</b>	
Nenn-Luftvolumenstrom	210 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	94%
Erdregister	vorhanden



<b>Raum OG</b>	
Netto-Geschossfläche	72 m <sup>2</sup>
Oblicht	1.0 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	26.6 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /NGF)	25%
Zuluft-Volumenstrom	60 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	28 Wh/m <sup>2</sup> K

<b>Raum EG</b>	
Netto-Geschossfläche	15 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	5.5 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	26%
Zuluft-Volumenstrom	25 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	38 Wh/m <sup>2</sup> K

## EFH Fotsch – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- T<sub>zul</sub> Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

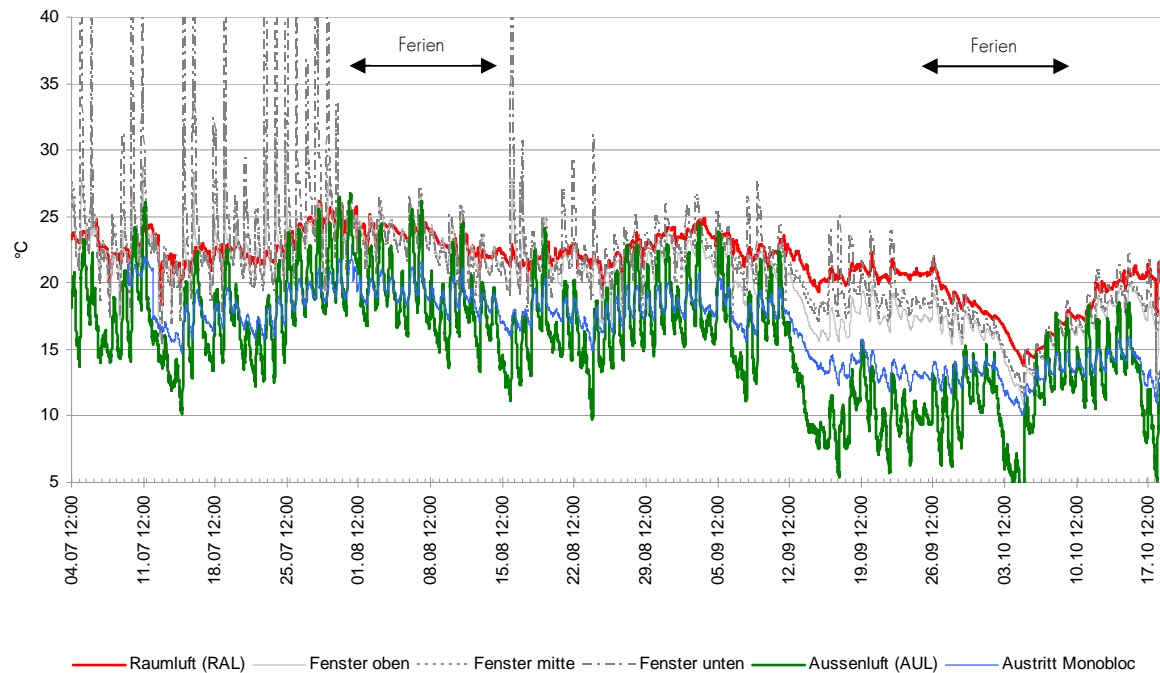
### Bemerkung

Das Fenster im Schlafzimmer im EG wird im Sommer durch die Terrasse des OGs verschattet. Die Rafflamellenstore wird so gut wie nie benutzt.

Im Wohn-/Esszimmer im OG ist sowohl eine Ausstellmarkise als auch eine Rafflamellenstore installiert. Im Sommer wird die Fassade zudem im oberen Bereich durch das Vordach verschattet. Gemäss Angaben der Bewohner wird die Markise nur ausgefahren, wenn jemand zuhause ist. Die Raffstore wird so gut wie nie benutzt.

Die Fenster werden gemäss Aussage der Bewohner nie zur Nachtauskühlung benutzt. Die Messung der Temperatur unterhalb des Fensterflügels entfällt daher.

EFH Fotsch / EG - Gesamte Messperiode 4. Juli - 17. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 26.1 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 0 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 28 h

**Kommentar**

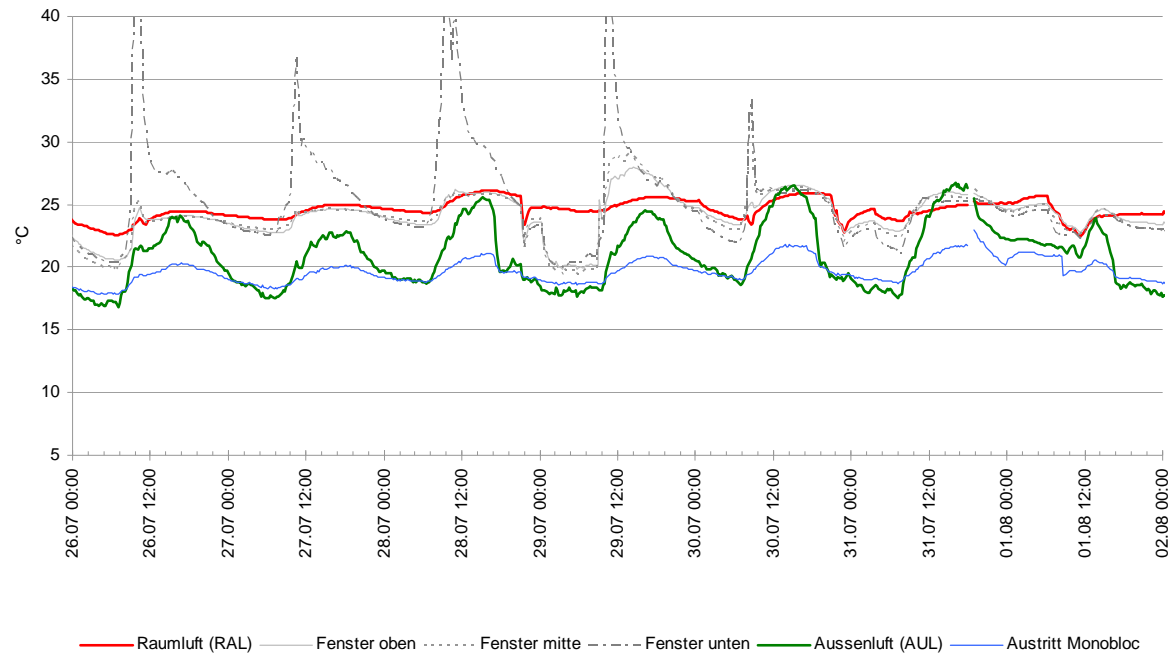
Im Juli und August wird das Süd-Ost Fenster unten von der Sonne bestrahlt (graue Strich-Punkt-Linie). In der Mitte und oben wird das Fenster ganztags durch die Terrasse im OG verschattet.

Trotz partieller Sonneneinstrahlung steigt die Raumtemperatur nie über 26.1°C.

Vom 30. Juli bis zum 15. August ist die Rafflamellenstore aufgrund Ferienabwesenheit immer geschlossen. Dasselbe gilt für die Zeit vom 27. Sept. – 12. Oktober. Während den Ferien läuft die Lüftung auf der kleinsten Stufe und die Heizung ist ausgestellt.

Die Zulufttemperatur nach dem Lüftungsgerät (blaue Linie) konnte erst ab dem 11.07.08 korrekt gemessen werden. Dank dem Erdregister liegt die Zulufttemperatur auch an heißen Tagen deutlich unter der Aussentemperatur.

EFH Fotsch / EG - 26. Juli - 2. August

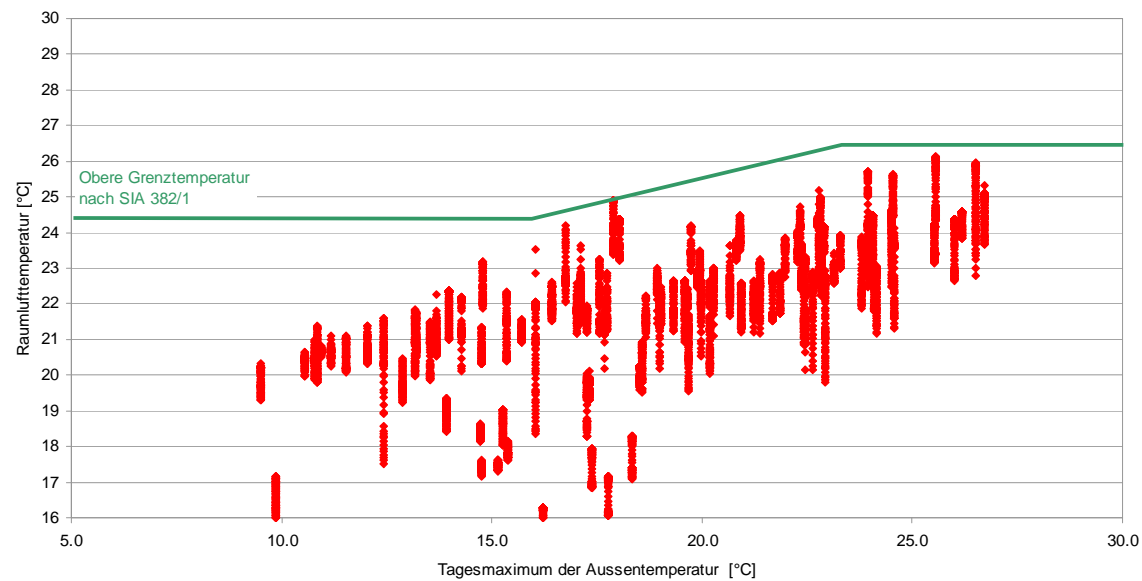
**Kommentar**

Ende Juli strahlt die Sonne im untern Fensterbereich ein. Weiter oben wird das Fenster durch den Storen bzw. die Terrasse im OG verschatten. Ab dem 30. Juli bleibt die Store immer ganz geschlossen (Ferienabwesenheit).

Die Raumlufttemperatur bleibt in den ersten Tagen relativ konstant. Am Abend des 28. Juli ist die rasche Abkühlung von 26° auf 24°C durch Fensterlüftung gut sichtbar.



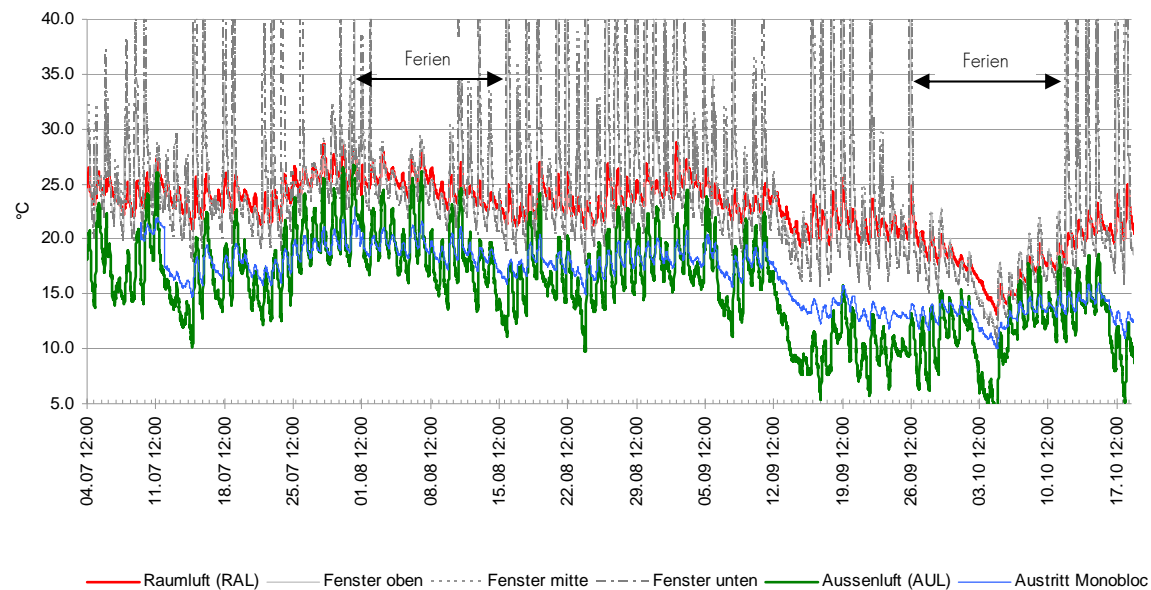
EFH Fotsch / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur



**Kommentar**

Die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 wird nie überschritten. Die z.T. tiefen Raumlufthtemperatur entstehen durch intensive Fensterlüftung am Abend.

EFH Fotsch / EG - Gesamte Messperiode 4. Juli - 17. Oktober

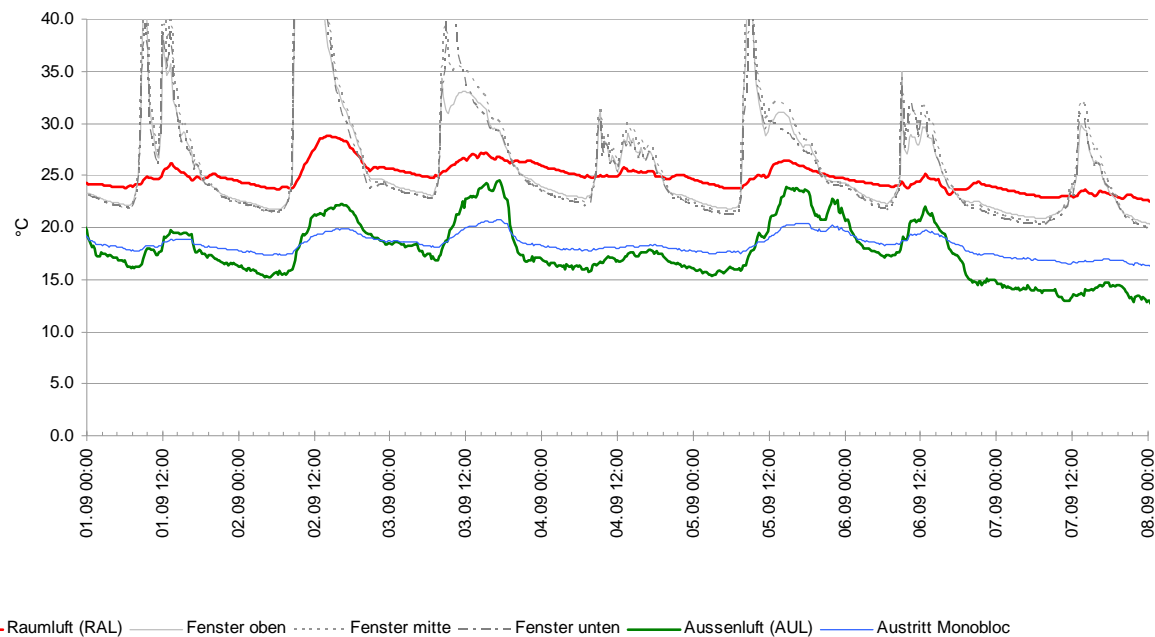
**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 28.8 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 163 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 358 h

**Kommentar**

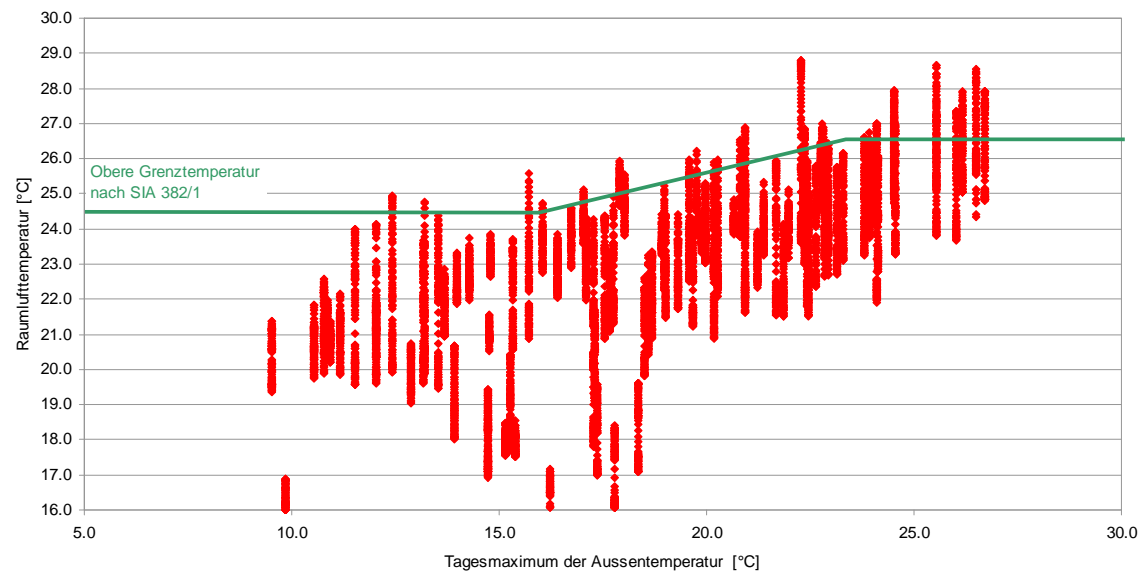
Die hohen Temperaturen an der Fensterinnenseite (graue Linien) zeigen, dass in diesem Raum der Sonnenschutz nur selten eingesetzt wird. Die Raumlufttemperatur lag daher während der Messperiode 163 h über der Grenzkurve. Gemäss Angaben der Bewohner wird die starke Erwärmung bewusst in Kauf genommen und nicht als störend empfunden.

EFH Fotsch / OG - 1. - 7. September

**Kommentar**

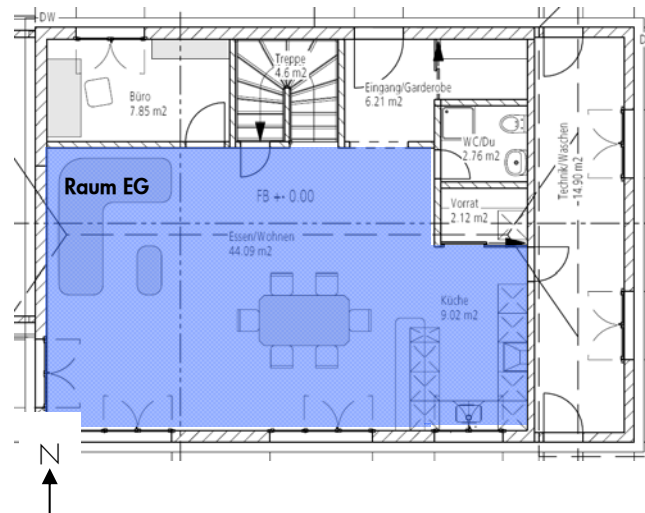
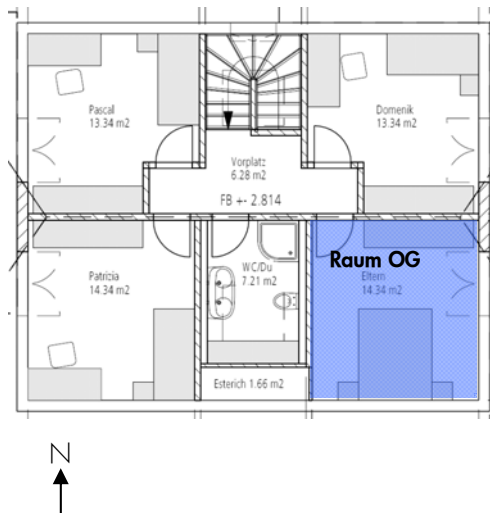
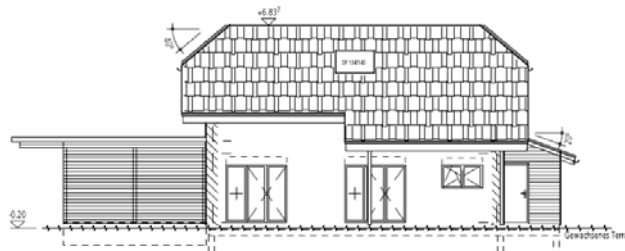
Das Fenster ist in der Regel vollständig (oben, Mitte, unten) der Sonnenstrahlung ausgesetzt. Am 4. Sept. wurde vermutlich die Ausstellmarkise ausgefahren, wodurch die Einstrahlung stark reduziert wurde.

EFH Fotsch / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Da der Sonnenschutz nicht immer eingesetzt wird, wird die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 selbst an Tagen mit tiefen Aussentemperaturen regelmässig überschritten,

### A3.2. EFH Hägi – 5082 Kaisten



#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	AG-1185 / 2006
Energiebezugsfläche (EBF)	192 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	212 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	... MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>t</sub> /EBF)	2.02
Fensteranteil (A <sub>f</sub> /EBF)	16.1%
Fenster g-Wert	0.56
Sonnenschutz	Raffstore / Vordach

#### Lüftungsanlage

Nenn-Luftvolumenstrom	170 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	-
Erdregister	nein

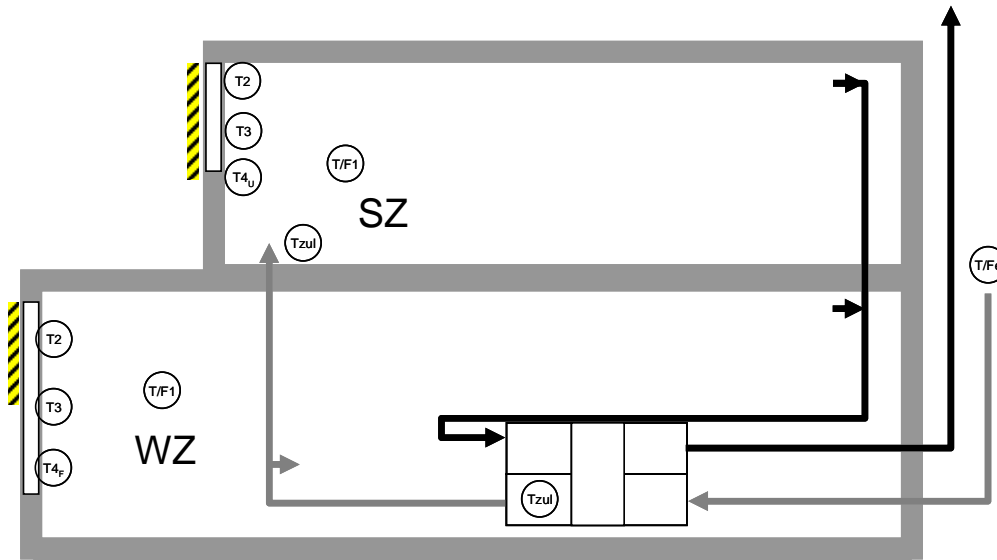
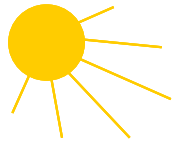
#### Raum OG

Netto-Geschossfläche	14 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	2 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	10%
Zuluft-Volumenstrom	42 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	37 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	53 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	15.6 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	21%
Zuluft-Volumenstrom	38 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	31 Wh/m <sup>2</sup> K

## EFH Hägi – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

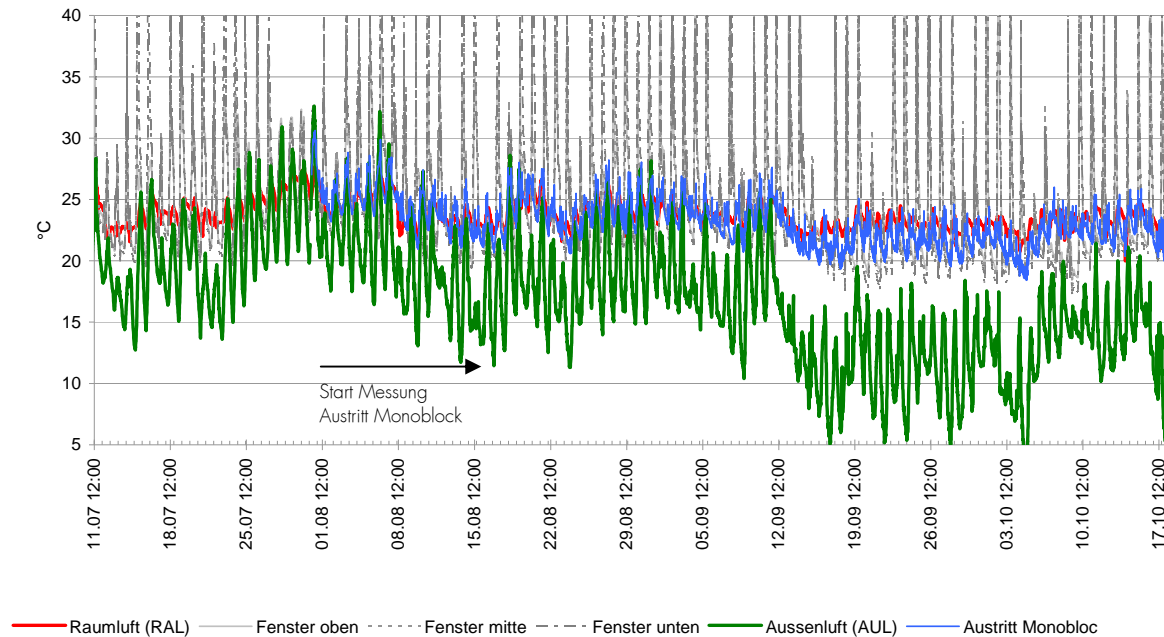
Das Schlafzimmer im OG weist kaum natürliche Verschattung auf. Hierfür ist eine Rafflamellenstore zu benutzen.

Das Wohnzimmer mit Küche im EG hat drei raumhohe Fenster und ein kleineres in der Küche, welche eine korrekte Bedienung der Rafflamellenstoren voraussetzen. Die Messung wurde am Fenster in der Ecke Richtung Süden durchgeführt.

Gemäss Angabe der Benutzer war die Lüftungsanlage während der ganzen Messperiode auf Stufe 3. Das Lüftungsgerät verfügt über keinen Bypass.

Zusätzlich wurde aufgrund eines Wasserschadens in einem Zimmer im OG (nicht das gemessene) ein Entfeuchter im besagten Zimmer sowie im Wohnzimmer für 2 Wochen (ab 19.08.08) platziert. Diese Tatsache hat sich aber auf die Messwerte nicht sichtbar ausgewirkt.

EFH Hägi / EG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 17. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 27.7 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 66 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 428 h

**Kommentar**

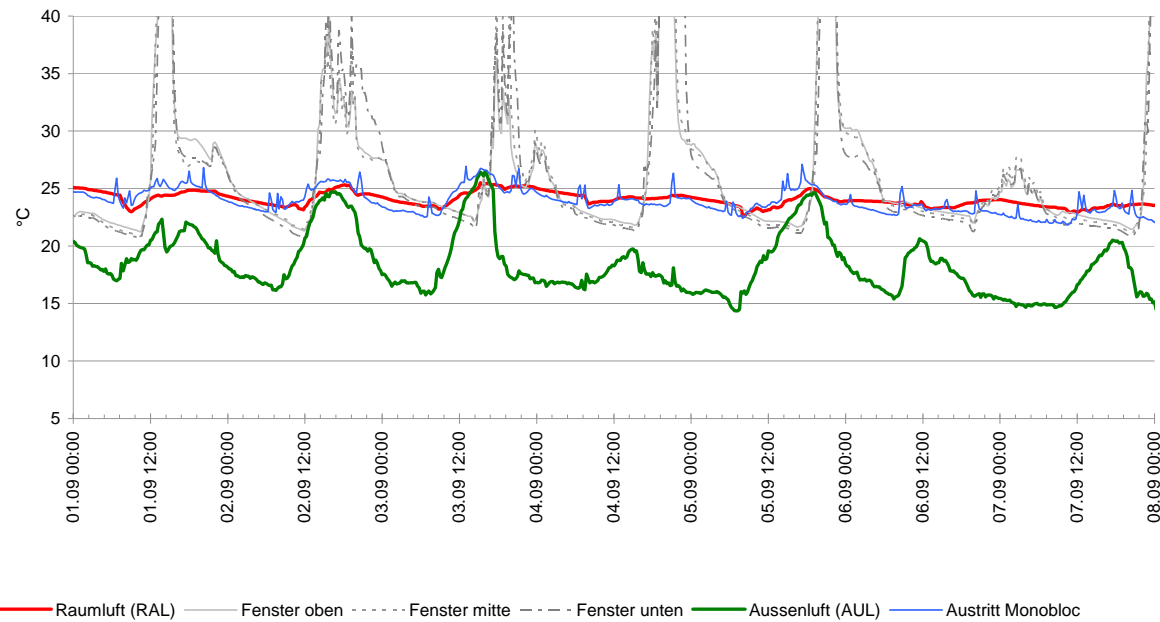
Es ist ersichtlich, dass der Sonnenschutz meist oben war. Dies weisen alle drei Messpunkte am Fenster auf. Das Fenster oben zeigt im Vergleich zum mittleren und unteren Bereich eine reduzierte Temperaturerhöhung, da hier eine Teilverschattung durch das Vordach stattfindet.

Aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung steigt die Raumtemperatur bis auf 27.7°C.

Auch bei Aussentemperaturen bei Tags unter 18°C sinkt die Raumtemperatur nie unter 23°C, was durch den Sonneneinfall verstärkt wird.

Die Austrittstemperatur des Lüftungsgeräts entspricht fast der Raumtemperatur, da das Gerät über keinen Bypass verfügt.

EFH Hägi / EG - 1. - 7. September



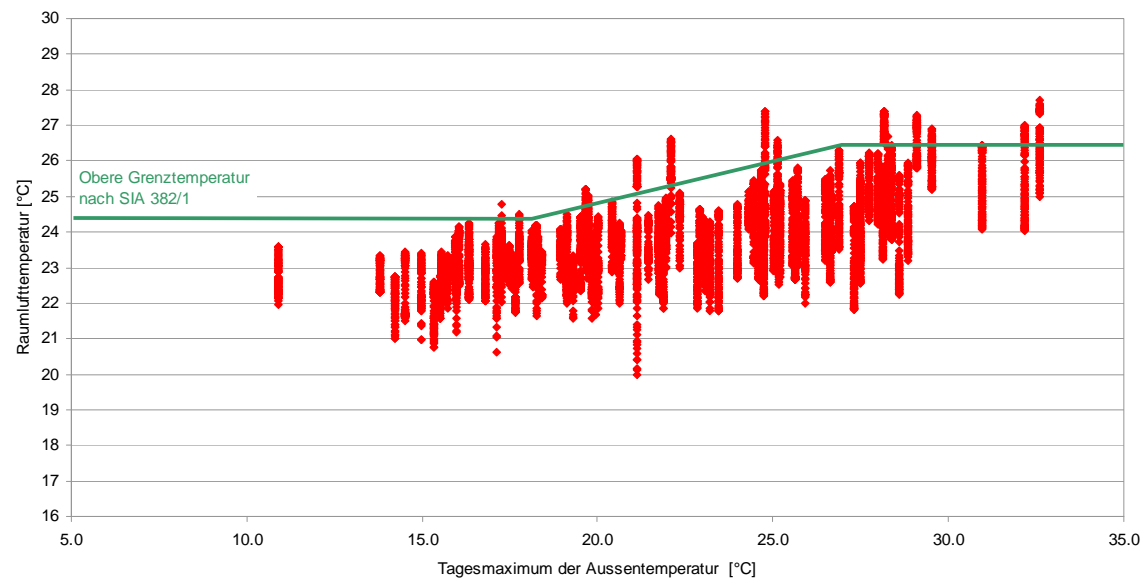
### Kommentar

Der Einfluss des Sonnenschutzes wirkt sich etwa mit 2K auf die Raumtemperatur aus.

Der Tiefstwert der Aussentemperatur am 5. September spiegelt sich in der Raumtemperatur. Zudem wird auf eine Fensterlüftung am Abend verzichtet (kein Sprung der Raumlufttemp. am Abend)



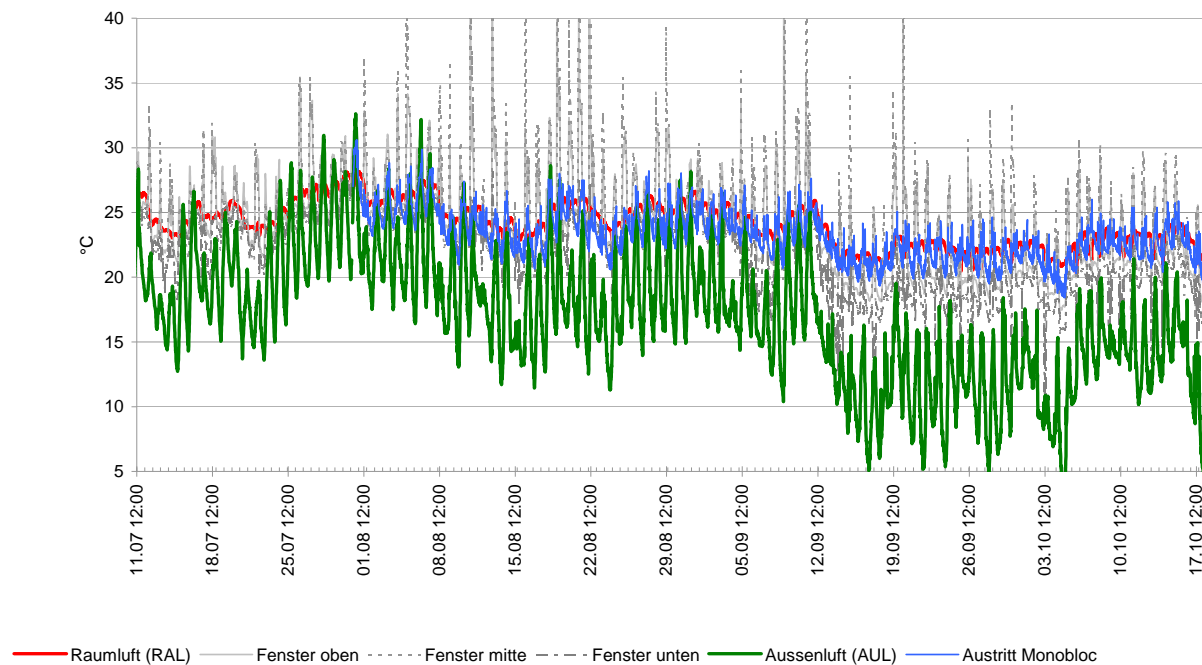
EFH Hägi / EG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 wird mit 428 Stunden direkter Sonneneinstrahlung nur während 66 Stunden überschritten.

Eine mögliche Erklärung bietet die vorhandene Speichermasse sowie die offene Erschliessung des OG's (warme Luft steigt nach oben).

EFH Hägi / OG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 17. Oktober

**Gemessene Werte**

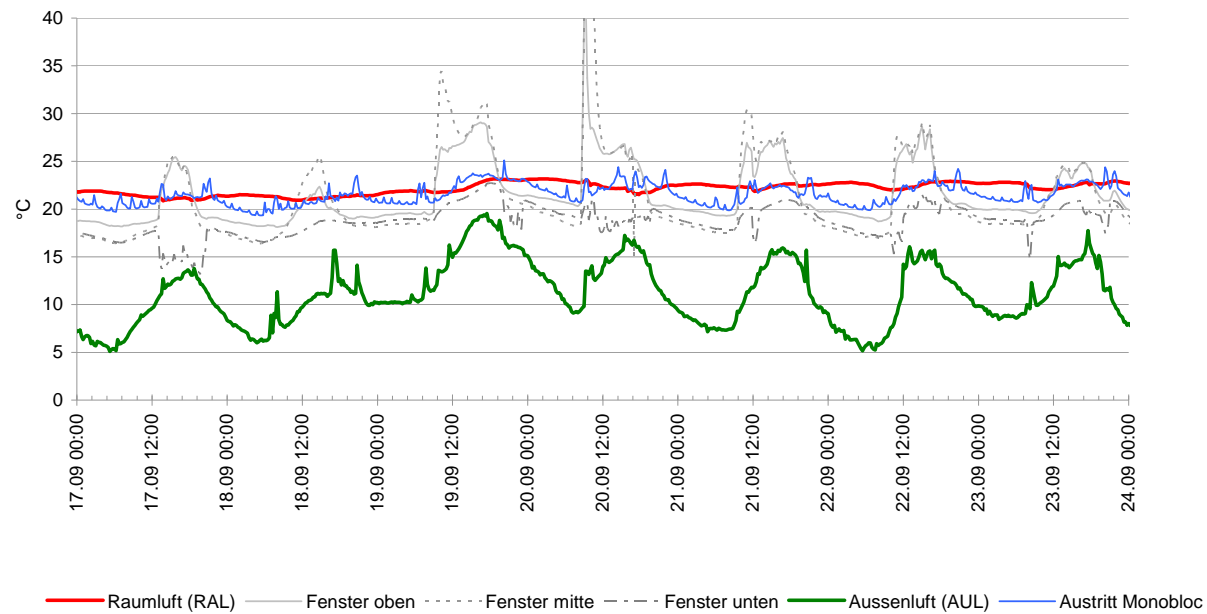
- max. Raumtemperatur: 28.2 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 217 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 242 h

**Kommentar**

Der Sonnenschutz wird unregelmässig genutzt, was sich auf die Stundenzahl der direkten Sonneneinstrahlung auswirkt. Die Raumlufttemperatur lag während der Messperiode 217 h über der Grenzkurve. Einen weiteren Einfluss könnte das Aufsteigen warmer Luft aus dem EG sein.

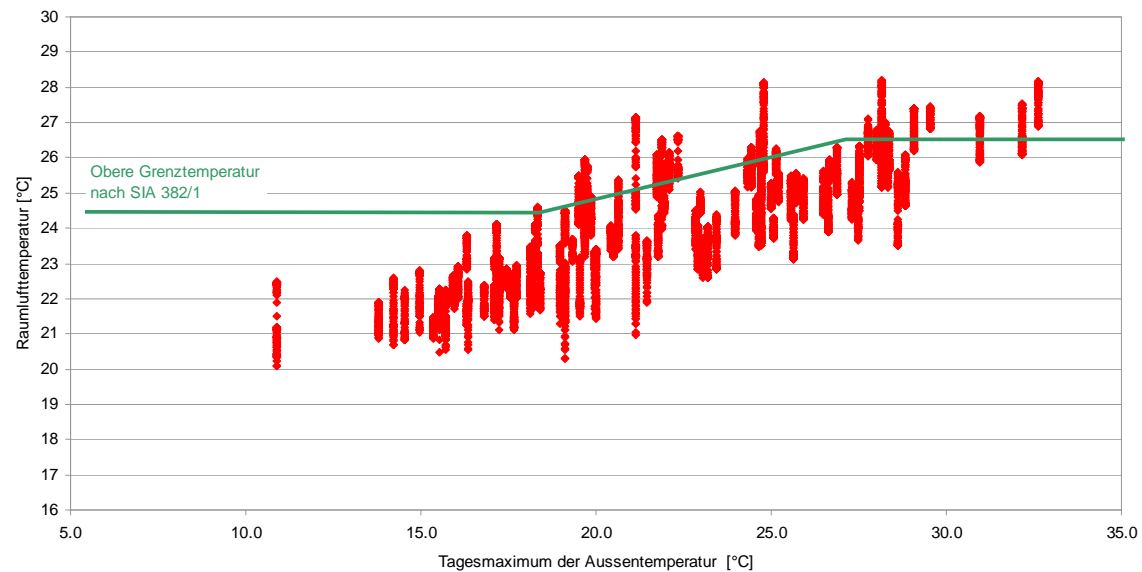
Das OG weist wesentlich stärkere Temperaturschwankungen auf, als das EG.

EFH Hägi / OG - 17. - 24. September

**Kommentar**

Die gemessene Temperatur an Unterkante Fenster (graue Strich-Punkt-Linie) zeigt auf, dass das Fenster teils in der Nacht gekippt bzw. offen war. Die Raumtemperatur sinkt infolgedessen allerdings nur geringfügig ab.

EFH Hägi / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur



**Kommentar**

Da der Sonnenschutz nicht immer eingesetzt wird, wird die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 während 217 h überschritten.

### A3.3. EFH Suter – 5062 Oberdorf

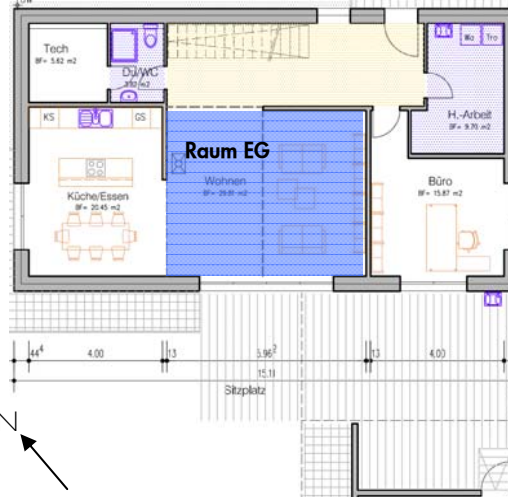
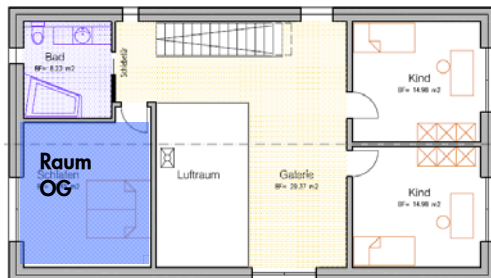


#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	AG-040-P / 2005
Energiebezugsfläche (EBF)	257 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_{h,th}$	49 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	- MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A/EBF)	-
Fensteranteil ( $A_f/EBF$ )	20.5%
Fenster g-Wert	0.5
Sonnenschutz	Raffstore, Vordach

#### Lüftungsanlage

Nenn-Luftvolumenstrom	- m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	-%
Erdregister	vorhanden



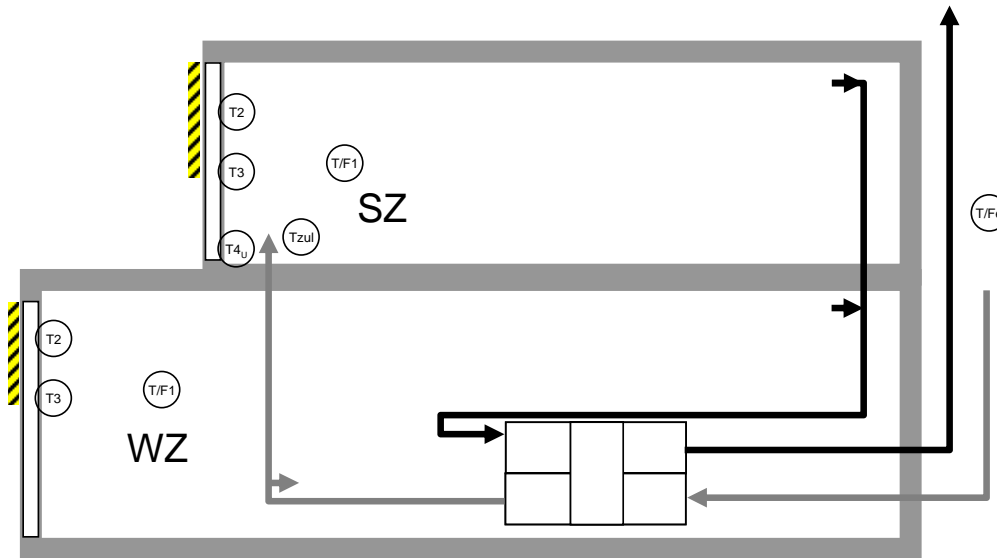
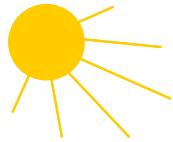
#### Raum OG

Netto-Geschossfläche	20 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	4.2 m <sup>2</sup>
Glasanteil ( $A_g/EBF$ )	15%
Zuluft-Volumenstrom	- m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	36 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	30 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	7.7 m <sup>2</sup>
Glasanteil ( $A_g/EBF$ )	18%
Zuluft-Volumenstrom	- m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	35 Wh/m <sup>2</sup> K

## EFH Suter – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- T<sub>zul</sub> Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

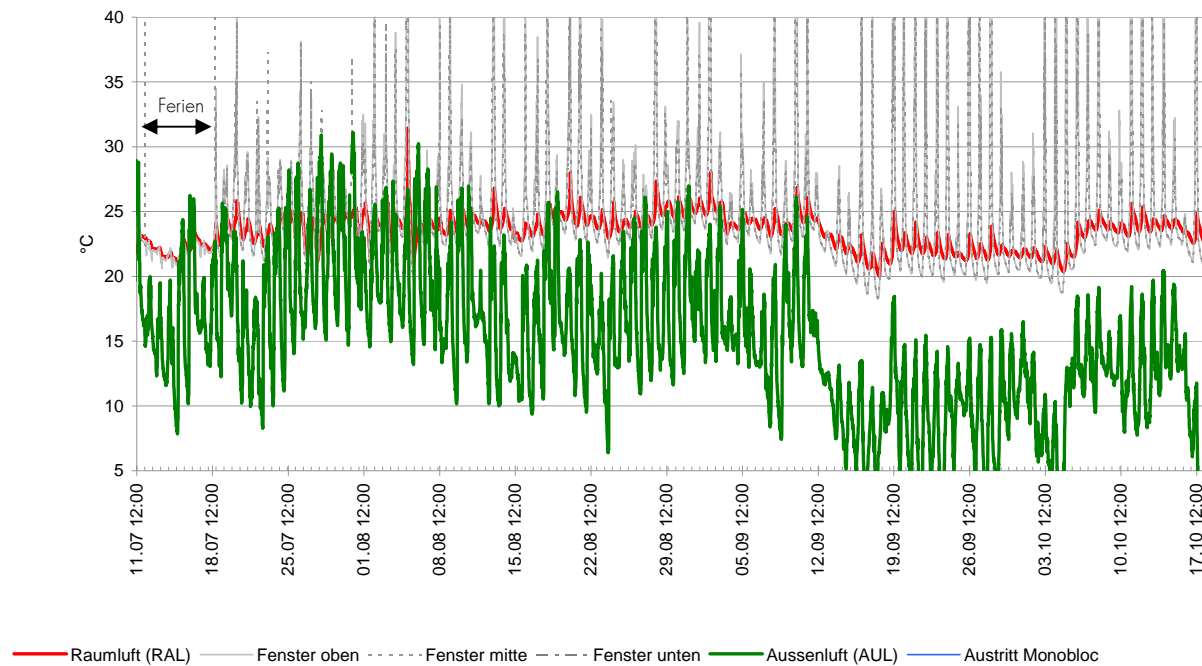
Das Schlafzimmer im OG wird im Sommer teils durch das Vordach verschattet. Die Raffflammellenstore wird selten benutzt.

Das Wohnzimmer im EG wird teils vom Gartenanbau verschattet. Die Raffflammellenstore wird so gut wie immer benutzt.

Aufgrund von Wartungsarbeiten an der Wärmepumpe wurde festgestellt, dass die Sommerausschaltung nicht aktiv war. Dies führt zu einer geschätzten Erhöhung der Zulufttemperatur von 2-3°C. Dies wird in den Messungen am Luftauslass im OG bestätigt.

Eine Messung „Austritt Monobloc“ konnte nicht durchgeführt werden.

EFH Suter / EG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 21. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 31.5 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 25 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 372 h

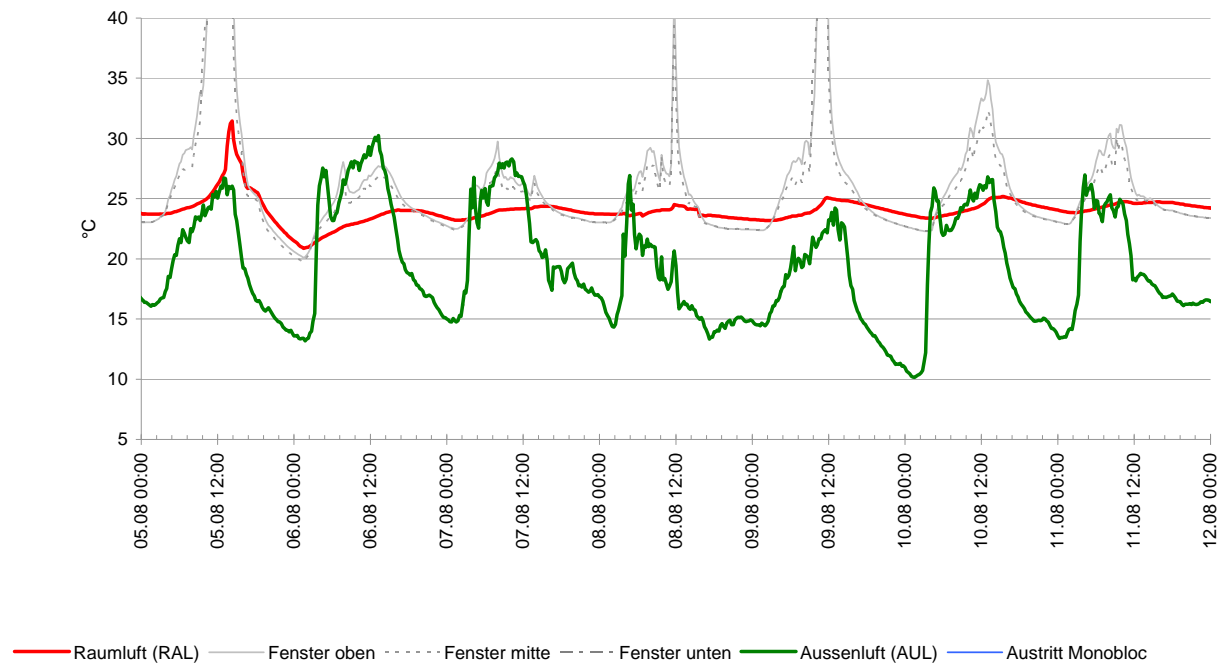
**Kommentar**

Es ist ersichtlich, dass der Sonnenschutz meist oben war.

Vom 11.-18.7.08 ist die Rafflammellenstore aufgrund Ferienabwesenheit unten auf 45° Stellung. Dies zeigt, dass die korrekte Bedienung der Store eine Raumtemperatursenkung von 1-2K ausmacht.

Am 5.08 und 9.08 waren die Storen ganztags oben, wobei auch die maximale Raumtemperatur von 31.5°C erreicht wurde.

EFH Suter / EG - 5. - 12. August

**Kommentar**

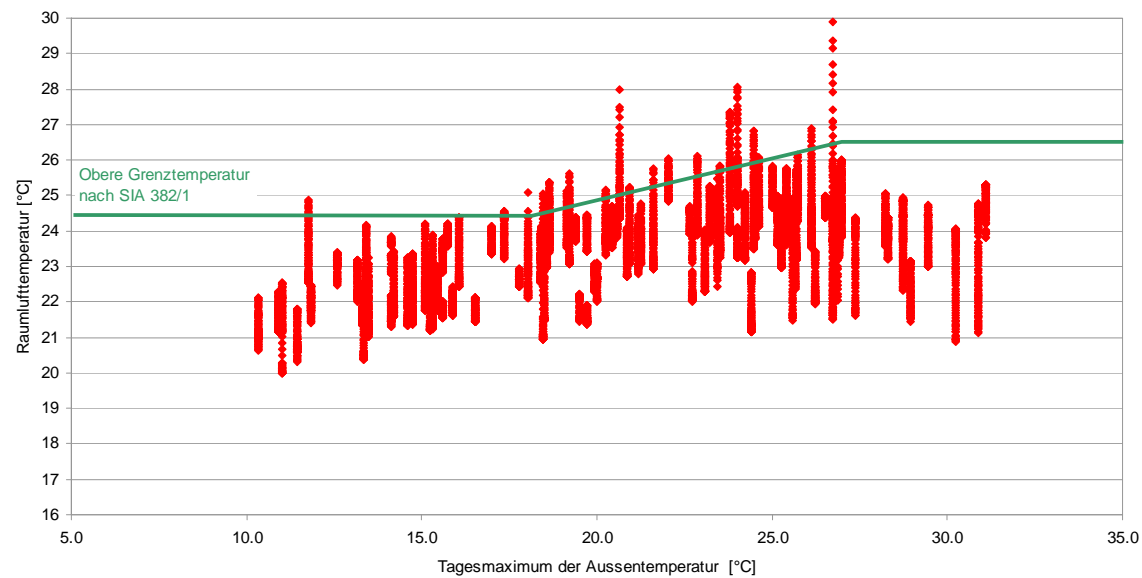
Bei Betrachtung des 5. August ist ersichtlich, dass die Storen oben waren. Somit wurde die maximale Raumtemperatur von 31.5°C mit einer Verzögerung von 1 Stunde zur maximalen Aussentemperatur erreicht.

Darauf wurde der Raum über Nacht durch Fensterlüftung abgekühlt.

An den folgenden Tagen 6./7. August wurden die Storen geschlossen, was durch die Fenstermessungen (graue Linien) bestätigt wird. Die Raumtemperatur erreichte noch max. 24.5°C.



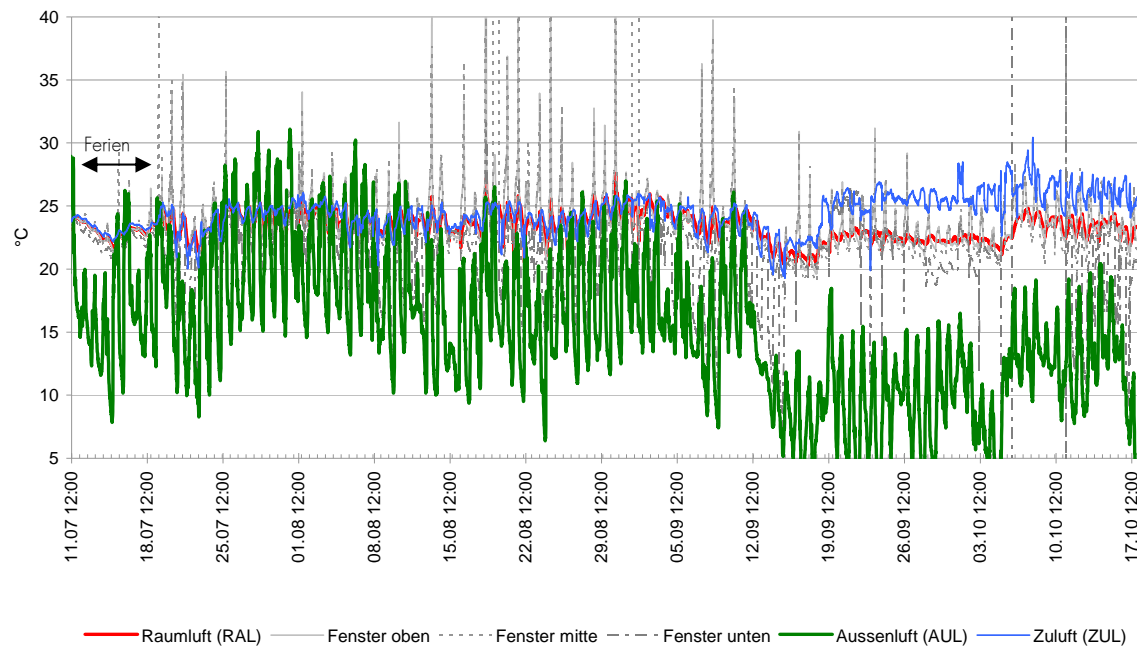
EFH Suter / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur



### Kommentar

Die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 wird mit 372 Stunden direkter Sonneneinstrahlung (mehrheitlich an Tagen mit tiefen Aussentemp.) nur während 25 Stunden überschritten.

EFH Suter / OG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 21. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 27.6 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 10 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 71 h

**Kommentar**

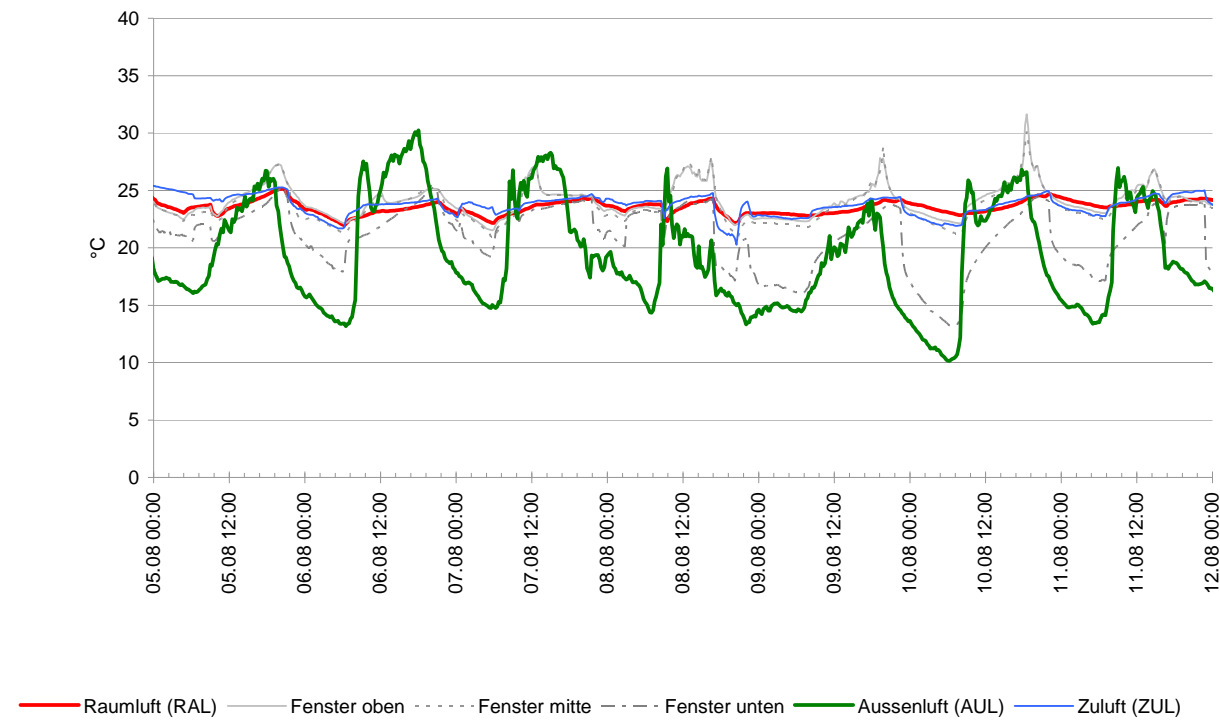
Es ist ersichtlich, dass der Sonnenschutz meist korrekt benutzt wurde.

Vom 11.-18.7.08 ist die Rafflammellenstore aufgrund Ferienabwesenheit unten auf 45° Stellung.

Am 30.08 war die Store oben, wobei auch die maximale Raumtemperatur von 27.6°C erreicht wurde.

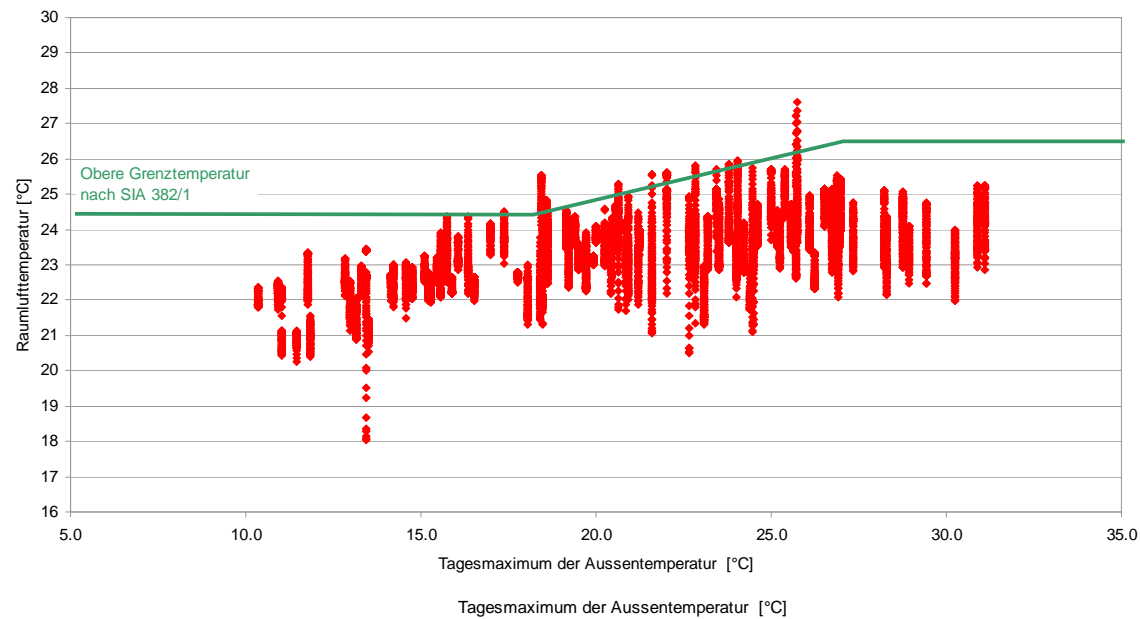
Ab dem 15.09 wird über die Luft geheizt.

EFH Suter / OG - 5. - 12. August

**Kommentar**

Die gemessene Temperatur an Unterkante Fenster (graue Strich-Punkt-Linie) zeigt, dass das Fenster in der Nacht gekippt bzw. offen war. Die Auswirkung auf die Raumtemperatursenkung ist mit ca. 1 K zu beziffern.

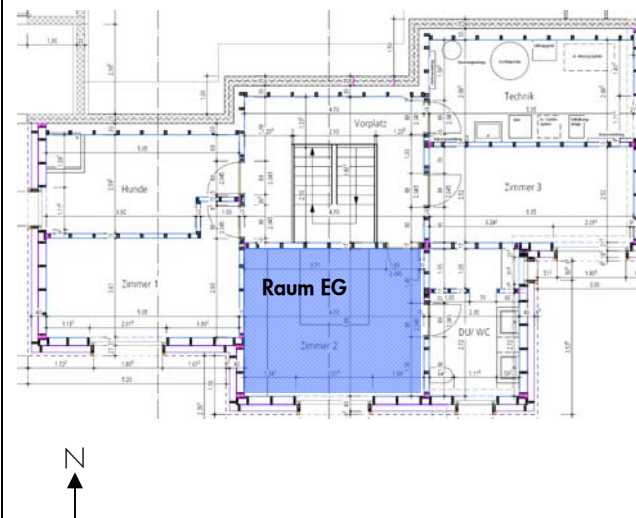
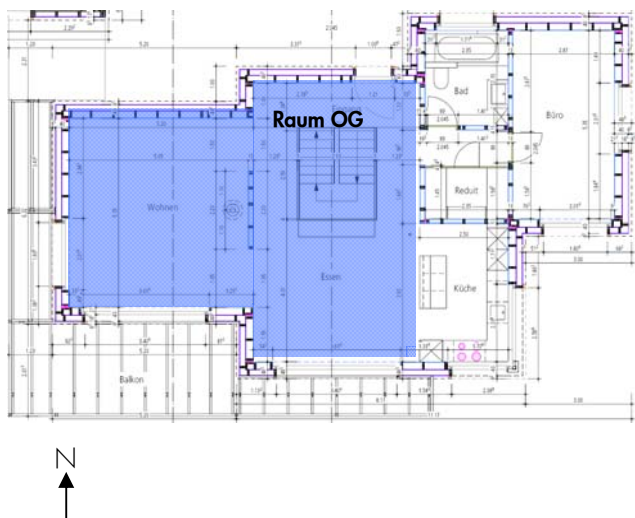
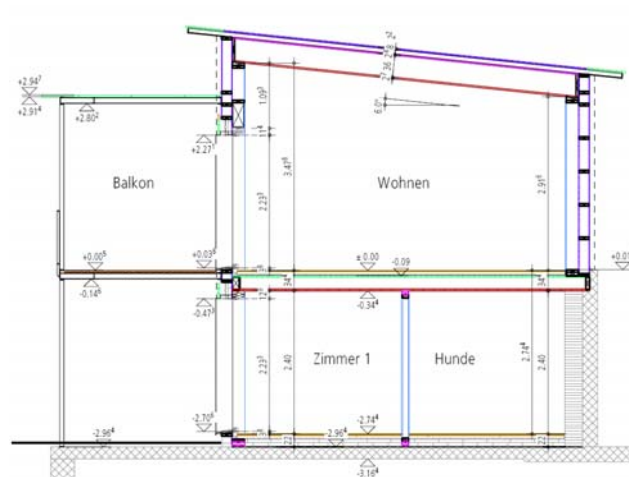
EFH Suter / OG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur



### Kommentar

Der Sonnenschutz wurde meist korrekt benutzt und somit die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 nur während 10 Stunden überschritten.

### A3.4. EFH Schmid – 5073 Gipf-Oberfrick



#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	AG-1000 / 2006
Energiebezugsfläche (EBF)	271 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	123 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	50 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>f</sub> /EBF)	2.11
Fensteranteil (A <sub>f</sub> /EBF)	18.8%
Fenster g-Wert	0.45
Sonnenschutz	Raffstore, Vordach, Balk.

#### Lüftungsanlage

Nenn-Luftvolumenstrom	180 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	80%
Erdregister	vorhanden (Wasserrohr)

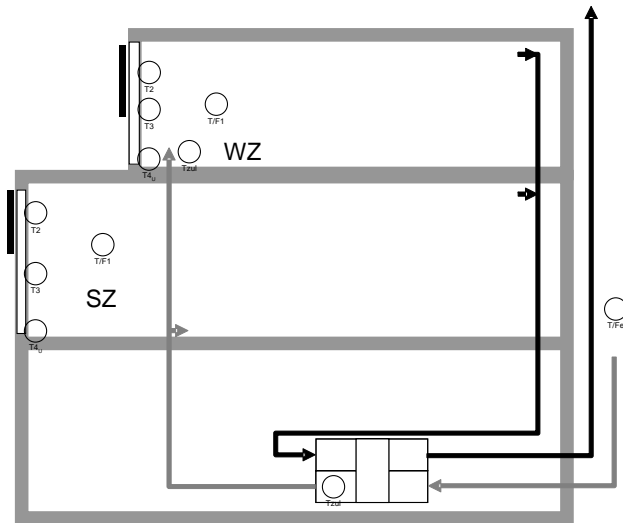
#### Raum OG

Netto-Geschossfläche	66 m <sup>2</sup>
Oblicht	1.0 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	19.9 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	21%
Zuluft-Volumenstrom	58 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	30 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	16 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	4.4 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	19%
Zuluft-Volumenstrom	44 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	37 Wh/m <sup>2</sup> K

## EFH Schmid – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

Das Wohn-/Esszimmer im OG wird im Sommer durch das Vordach verschattet.

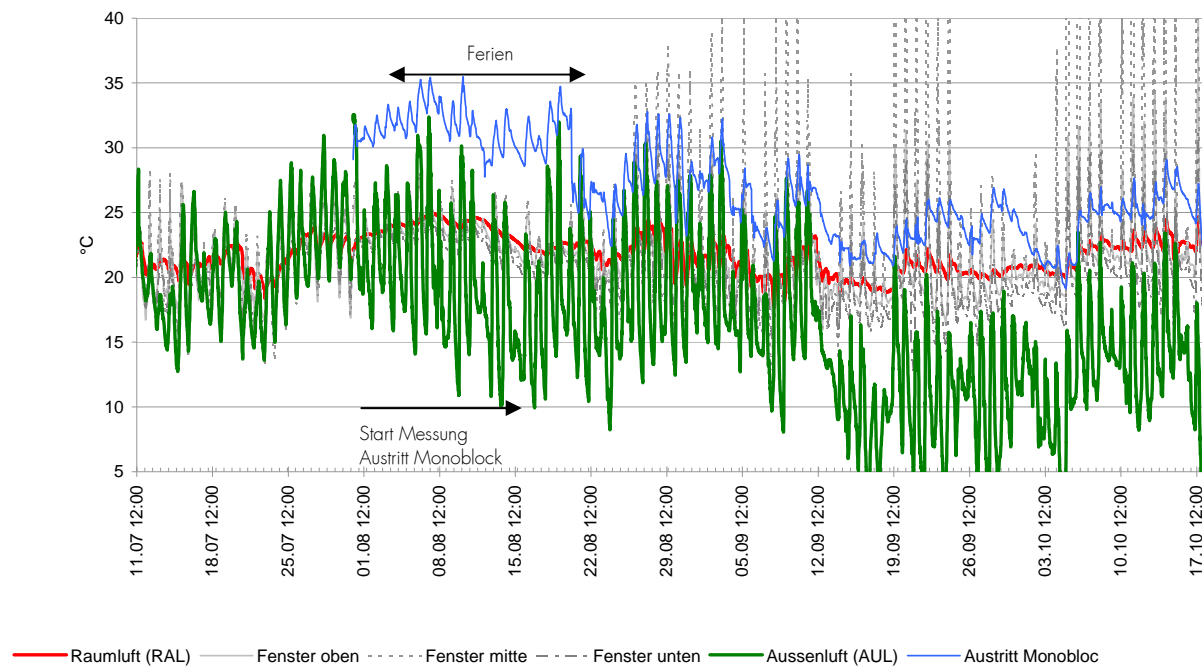
Das Schlafzimmer im EG wird durch die Terrasse im OG verschattet. Die Store wird daher nur selten benutzt.

An den Fenstern ohne genügend Vordächer wird gemäss Bewohner intensiv mit den Verbundraffstoren gearbeitet. Man erkennt, dass das ganze Haus gleichmässig betrieben wird. Das heisst, dass die Storen im OG wie EG fast parallel genutzt werden.

Aufgrund des langen Erdregisters von 100 Metern sind die Zulufttemperaturen dementsprechend temperiert. Die gemessenen Temperaturen „Austritt Monobloc“ zu „Zulufttemperatur“ im OG sind massiv unterschiedlich. Wahrscheinlich war der Messfühler „Austritt Monobloc“ fehlerhaft.

Während der ganzen Messperiode bis kurz vor Messende wurde gemäss Benutzer nie geheizt.

EFH Schmid / EG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 21. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 25.0 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 0 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 287 h

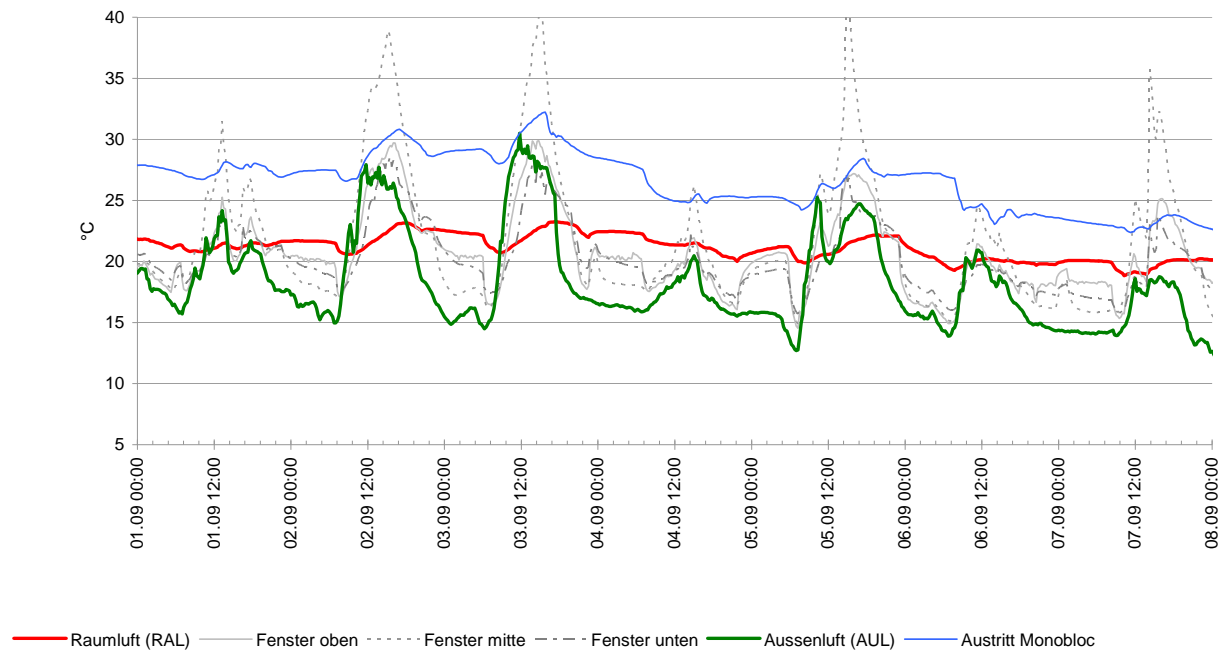
**Kommentar**

Während den Ferien vom 3.-21. August sind die Storen unten auf 45° Stellung. Resultierend findet eine reduzierte Nachtauskühlung durch Abstrahlung über das Fenster statt.

Vom 25.-31. August wird nachts gelüftet.

Die Temperaturen „Austritt Monobloc“ sind generell zu hoch, was eventuell durch einen Funktionsfehler der Messsonde verursacht wird.

EFH Schmid / EG - 1. - 7. September

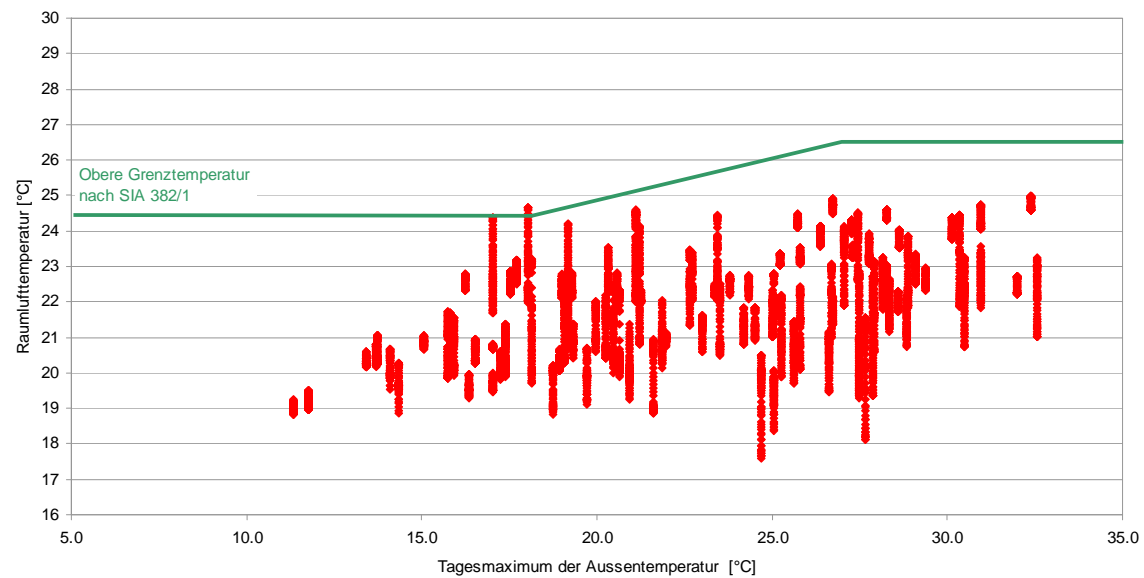


### Kommentar

Der obere Fensterbereich (graue Linie) ist aufgrund der Verschattung durch das Vordach nicht von direkter Sonnenstrahlung betroffen. Der mittlere Fensterbereich (graue Punktlinie) reagiert auf die Einstrahlung.

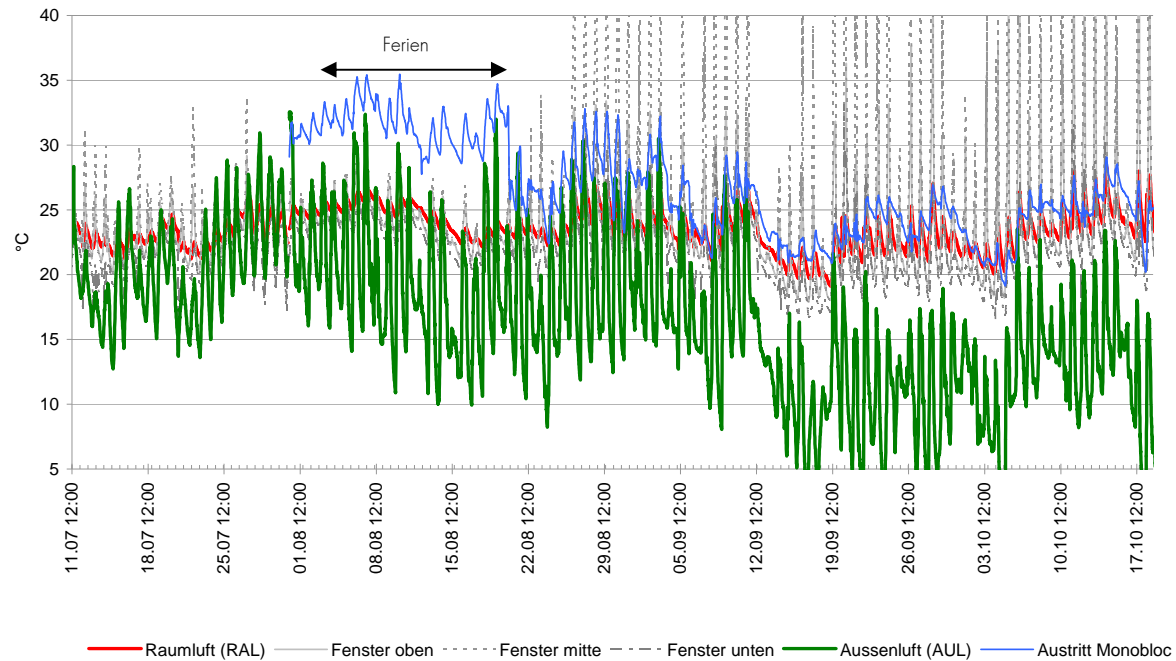


EFH Schmid / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 wird nie überschritten. Die z.T. tiefen Raumlufthtemperaturen entstehen durch Fensterlüftung am Abend.

EFH Schmid / OG - Gesamte Messperiode 11. Juli - 21. Oktober

**Gemessene Werte**

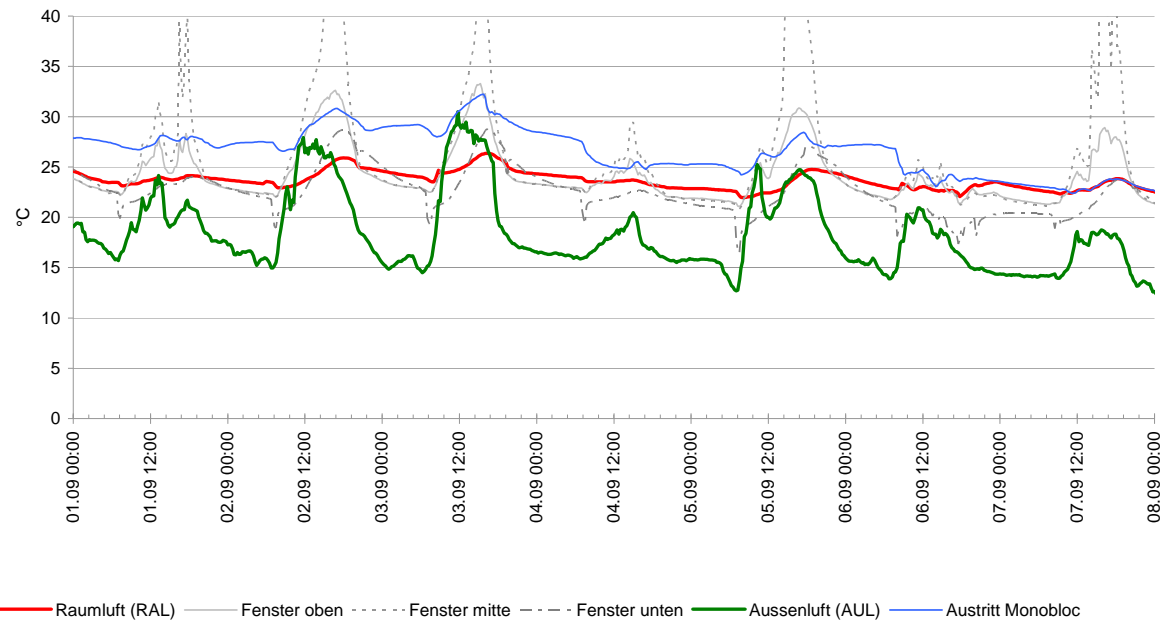
- max. Raumtemperatur: 29.3 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 78 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 294 h

**Kommentar**

Die Bewohner lassen ab dem 25. August die Storen bewusst oben. Dies zeigt, dass auch bei tieferen Aussentemperaturen ohne Heizbetrieb angenehme Raumtemperaturen erreicht werden.

Die maximale Raumtemperatur von 29.3°C wurde aufgrund Nutzung des Cheminéeofen im OG erreicht.

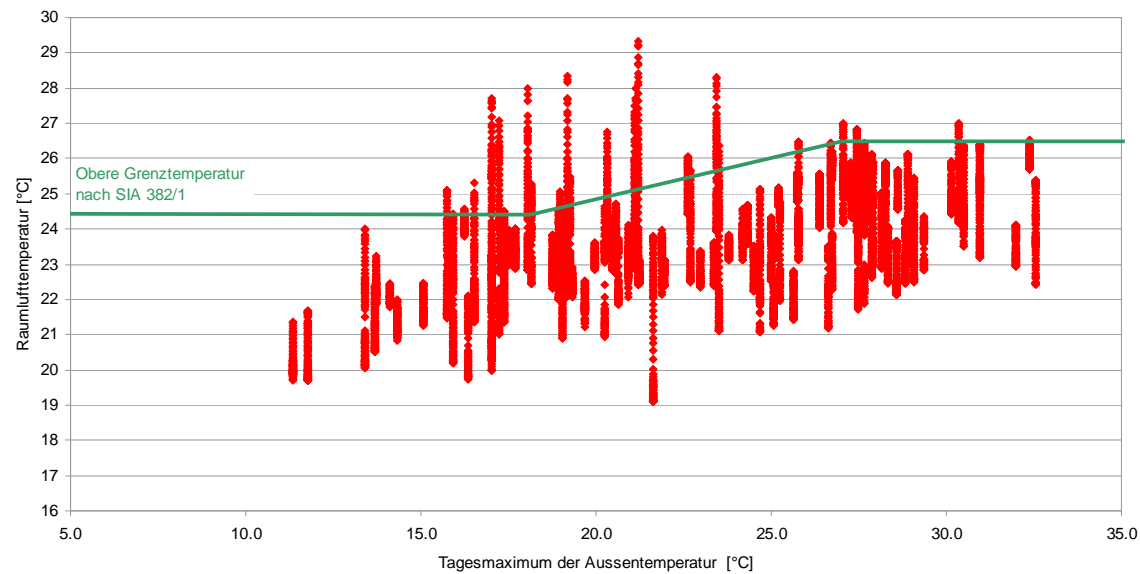
EFH Schmid / OG - 1. - 7. September



### Kommentar

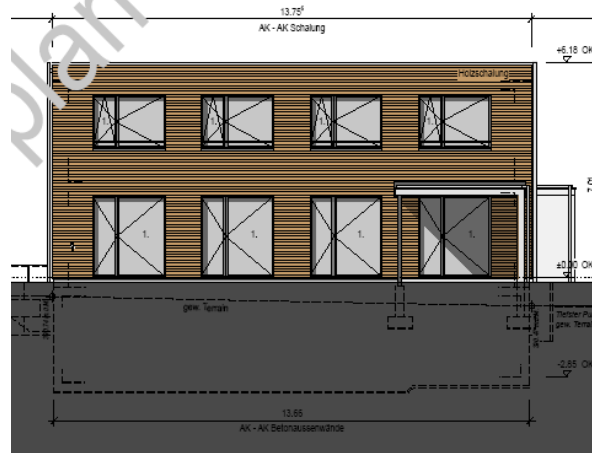
Gemäss Angaben der Bewohner wird nach Verlassen des Hauses am Morgen nicht mehr gelüftet. Dies erklärt die konstante Raumlufttemperaturerhöhung.

EFH Schmid / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Eine Überwärmung findet vor allen an Tagen mit gemässigten Aussentemperaturen statt, an denen der Sonnenschutz zur Nutzung passiver Solargewinne bewusst nicht eingesetzt wird.

### A3.5. EFH Küffner – 5608 Stetten



#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	AG-597 / 2008
Energiebezugsfläche (EBF)	227.8 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_{h,1}$	117 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	83 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>E</sub> /EBF)	2.02
Fensteranteil (A <sub>F</sub> /EBF)	20.3%
Fenster g-Wert	0.47
Sonnenschutz	Raffstore

#### Lüftungsanlage

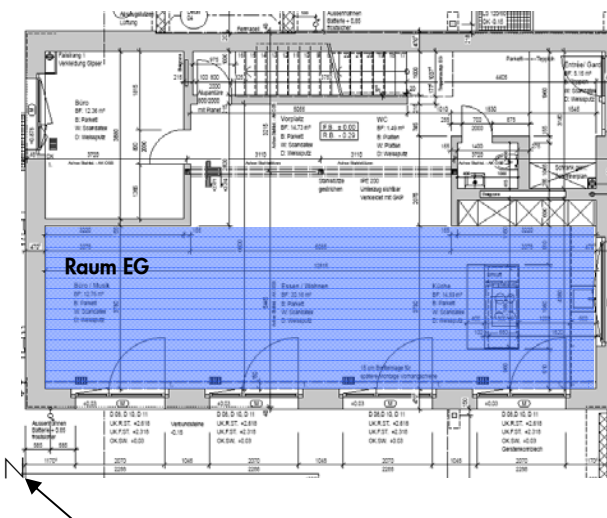
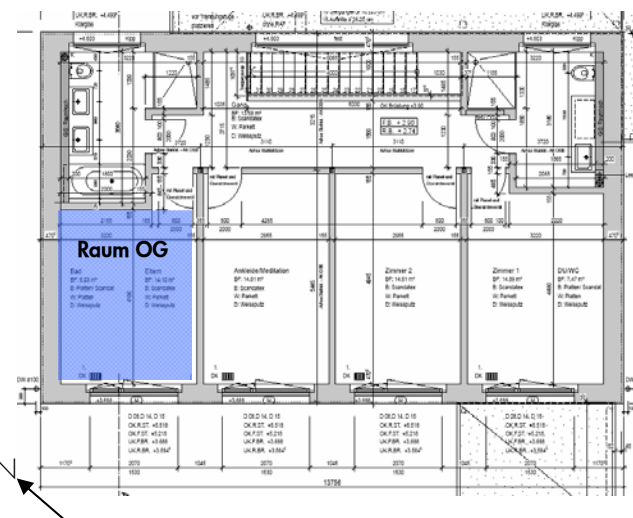
Nenn-Luftvolumenstrom	245 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	90%
Erdregister	vorhanden

#### Raum OG

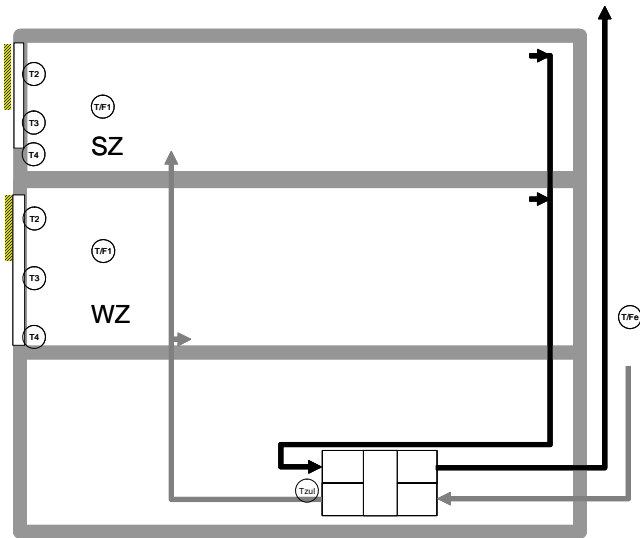
Netto-Geschossfläche	14.1 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	3.2 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	20%
Zuluft-Volumenstrom	55 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	37 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	57.6 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	20.4 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	31%
Zuluft-Volumenstrom	74 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	30 Wh/m <sup>2</sup> K



## EFH Küffner – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4 Fenster Unterkant
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen nach dem Monobloc
- T/Fe Temperatur der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordostfassade

### Bemerkung

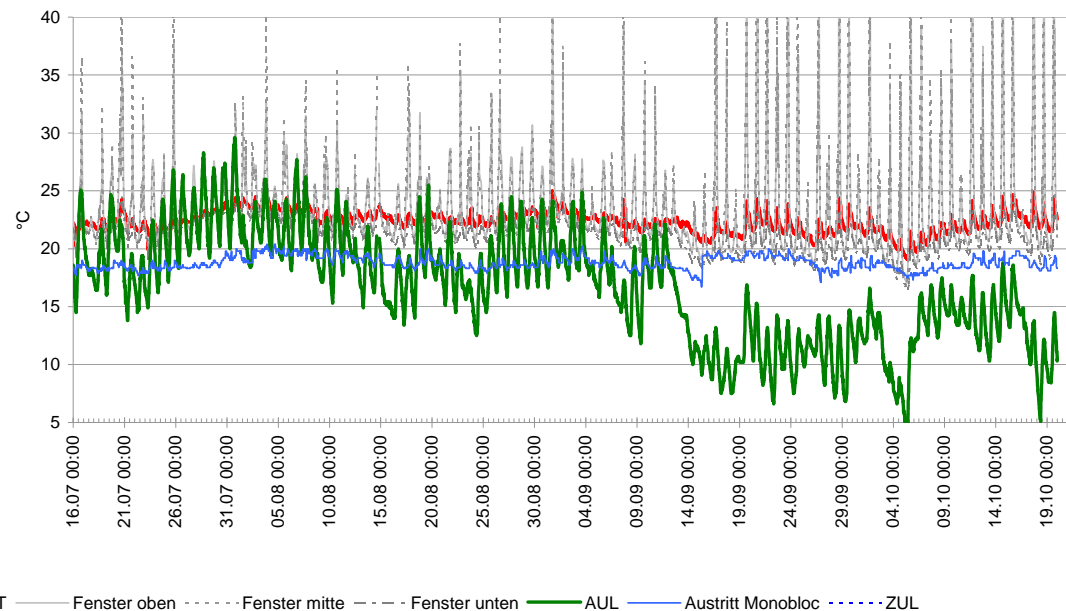
Das Schlafzimmer im OG weist keine natürliche Beschattung auf. Als Sonnenschutz müssen die Lamellenstoren benutzt werden.

Das EG ist zur Süd-West Fassade hin offen gehalten. Das Rechte der vier raumhohen Fenster wird durch den überdachten Sitzplatz beschattet. Bei den anderen drei Fenstern müssen die Storen eingesetzt werden. Die Messungen wurden beim linken Fenster durchgeführt.

Die Lüftungsanlage läuft tagsüber üblicherweise auf der zweiten und in der Nacht auf der dritten Stufe. Nur bei Abwesenheit stellen die Bewohner auf Stufe 1.

Die Luftqualität wird dank der Komfortlüftung als gut empfunden.

EFH Küffner / EG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

- max. Raumtemperatur: 25.2 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 3 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 227 h

**Kommentar**

Mehrheitlich wurde der Sonnenschutz zur Vermeidung von Überhitzung eingesetzt.

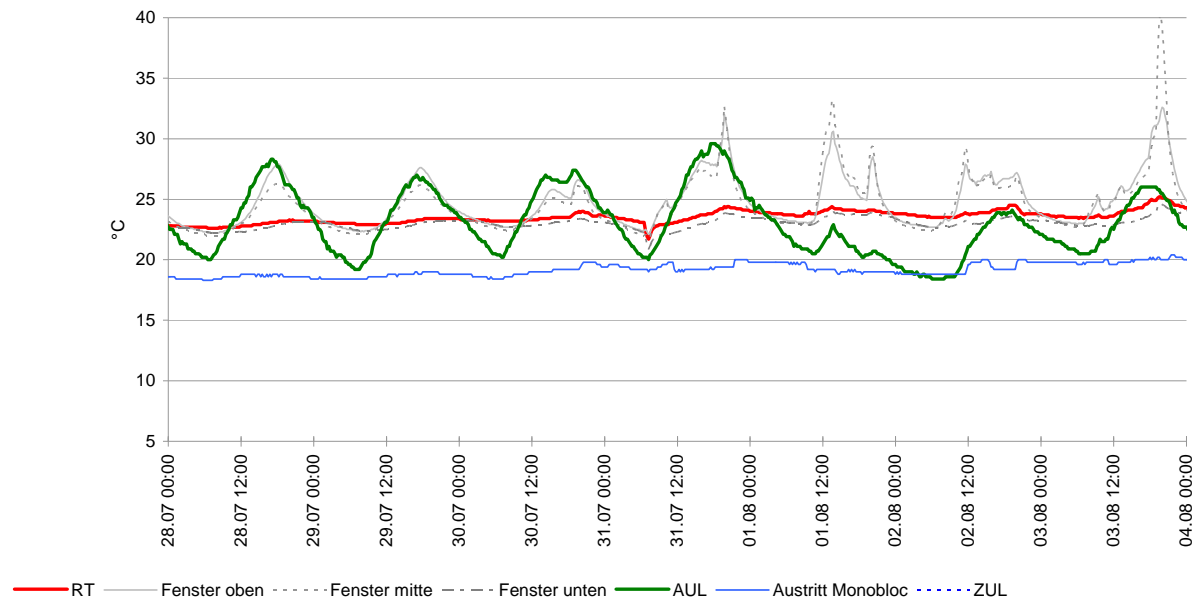
Vom 26. bis 30.7.08 sind die Bewohner in den Ferien und haben die Fenster verdunkelt.

Die mittlere Raumtemperatur betrug 22.4°C und stieg vereinzelt auf 25°C. Die Spitzenwerte wurden bei direkter Sonneneinstrahlung erreicht.

Im Herbst, bei tieferen Aussenlufttemperaturen, wurde der Sonnenschutz nicht mehr konsequent eingesetzt und die Raumtemperatur schwankt deutlich mehr als in den Sommermonaten.

Dank dem Erdregister betrug die Zulufttemperatur nach dem Monobloc um die 19°C und war keinen nennenswerten Schwankungen unterworfen.

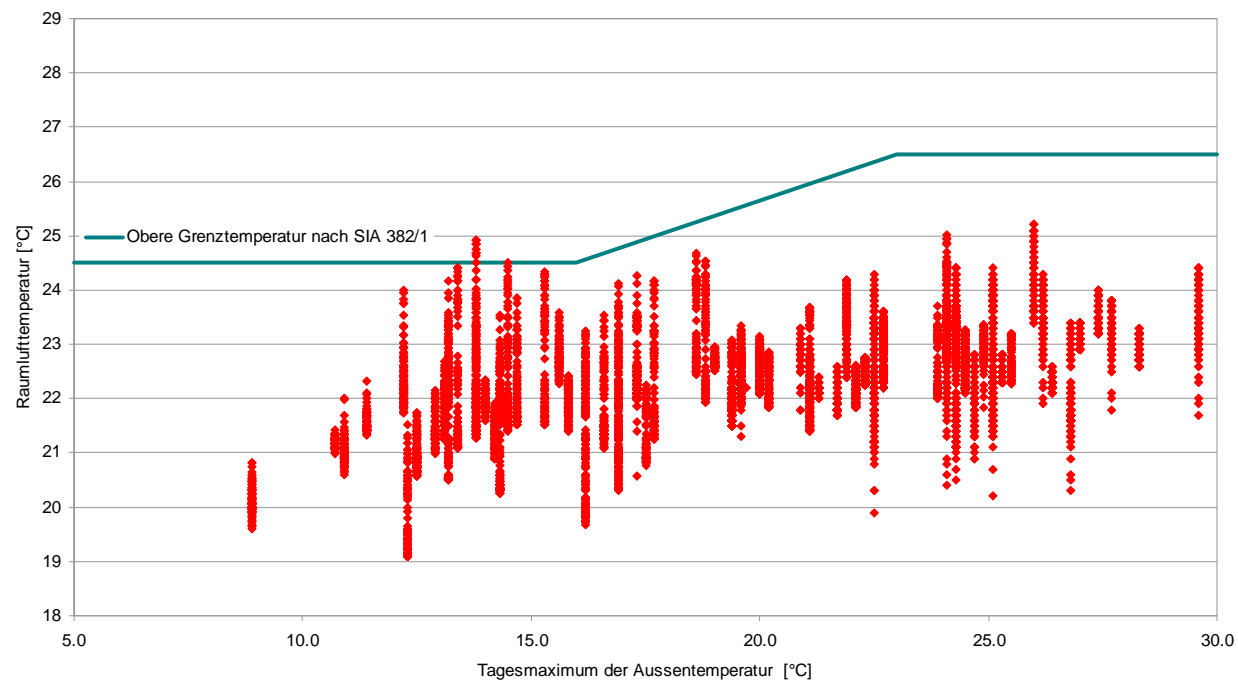
EFH Küffner / EG - 28. Juli - 3. August

**Kommentar**

Bis zum 30.7.08 waren die Bewohner ausser Hause und die Storen geschlossen. Am 3.8.08 schien die Sonne direkt in den Raum, worauf sich die Raumtemperatur leicht verzögert um ca. 2K erhöht.

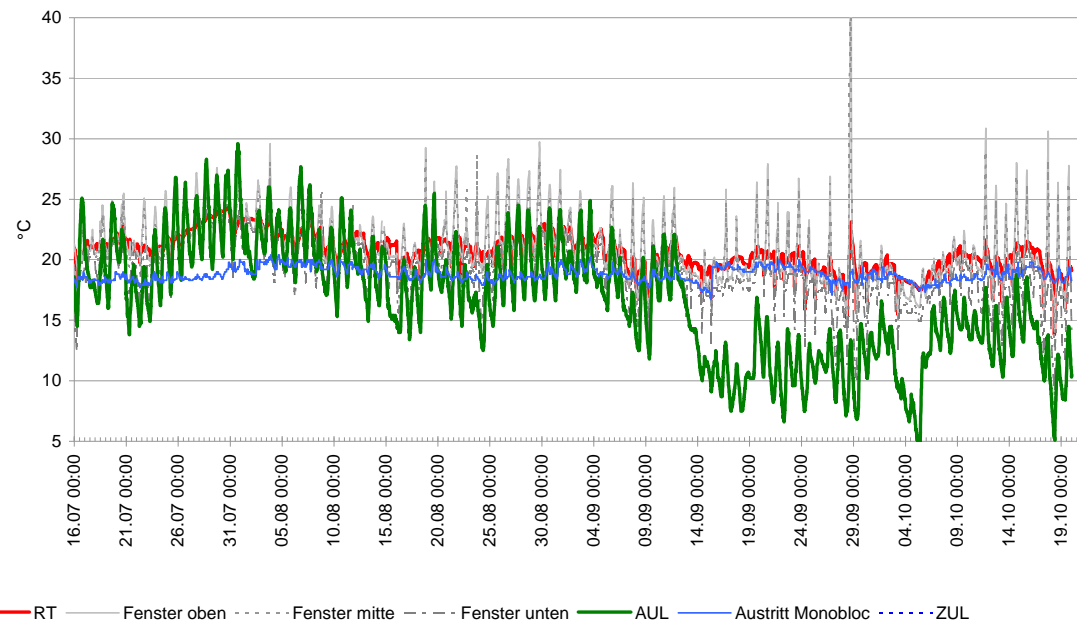


EFH Küffner / EG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Der Sonnenschutz wurde korrekt eingesetzt und dementsprechend die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 nur an 3 Stunden überschritten.

EFH Küffner / OG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

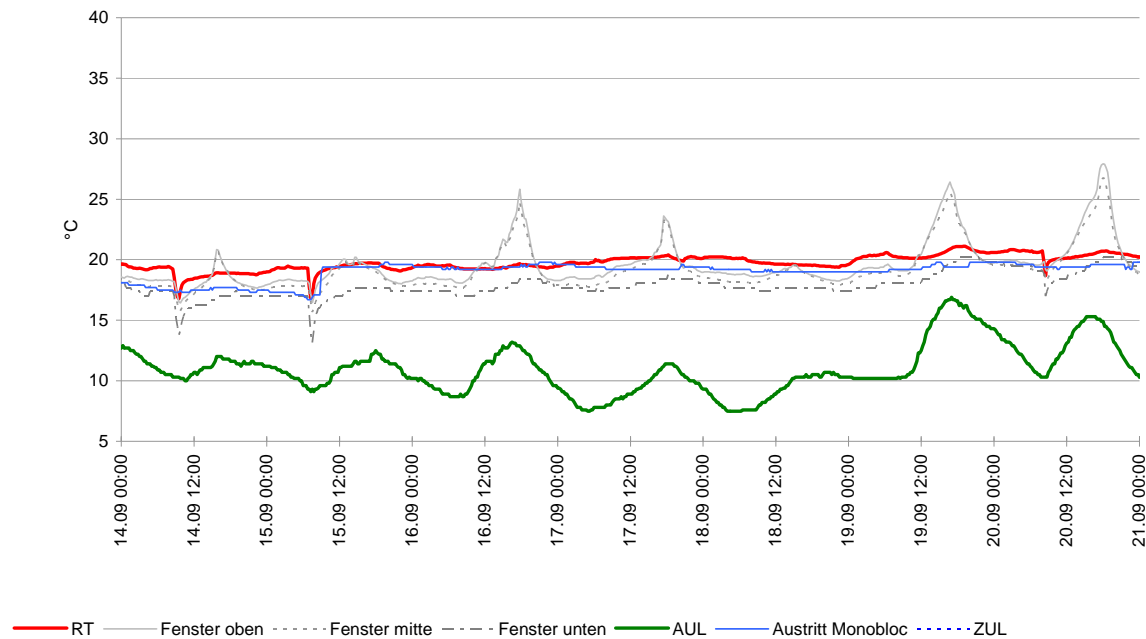
- max. Raumtemperatur: 24.3 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 0 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 20 h

**Kommentar**

Während den Sommermonaten entspricht der Verlauf der Raumtemperatur in etwa der mittleren Außenlufttemperatur. Dies ist auf den konsequenten Einsatz des Sonnenschutzes und der Fensterlüftung in der Nacht zurückzuführen.

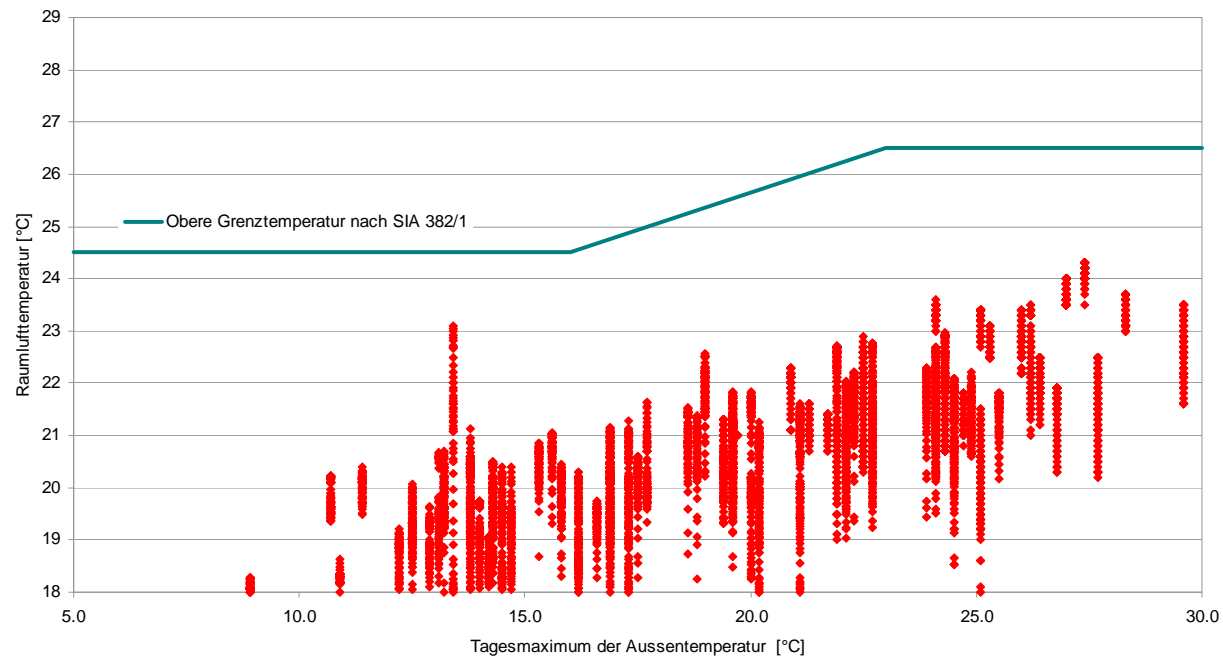
Gemäss Aussagen der Bewohner sind das Elternschlafzimmer und Kinderzimmer im OG besonders überhitzungsanfällig. Tagsüber wurden die Temperaturen in diesen Zimmern als gut und in der Nacht als deutlich zu hoch empfunden.

EFH Küffner / OG - 14. - 21. September

**Kommentar**

Die Temperatur an der Messstelle „Fenster unten“ sinkt am 14.9, 15.9 und 20.9.08 deutlich ab. Dies zeigt an, dass die Fenster in der Nacht offen waren. Durch die Fensterlüftung sinkt auch die Raumlufttemperatur einige Kelvin ab.

EFH Küffner / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Dank dem konsequenten Einsatz des Sonnenschutzes und der Nachtauskühlung wurde die obere Grenzttemperatur gemäss SIA 382/1 deutlich unterschritten.

### A3.6. EFH Moor – 6208 Oberkirch

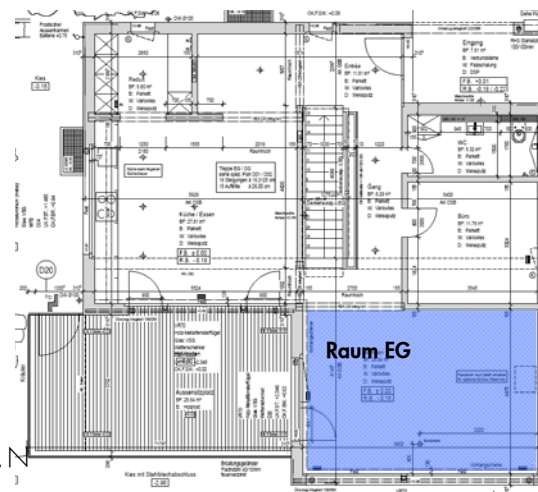
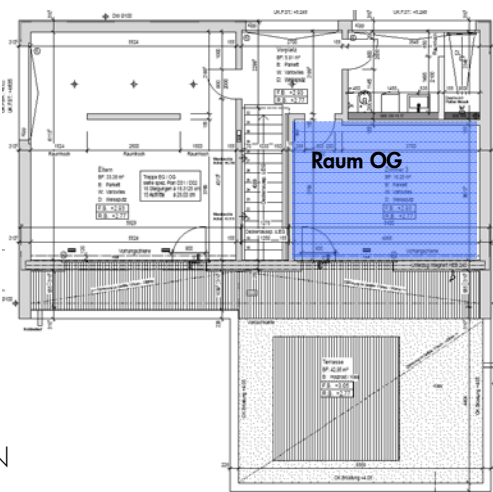


#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	LU-168 / 2008
Energiebezugsfläche (EBF)	282 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	181 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	165 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>E</sub> /EBF)	2.09
Fensteranteil (A <sub>F</sub> /EBF)	25.2%
Fenster g-Wert	0.5
Sonnenschutz	Vordach, Raffstore

#### Lüftungsanlage

Nenn-Luftvolumenstrom	250 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	90 %
Erdregister	nicht vorhanden



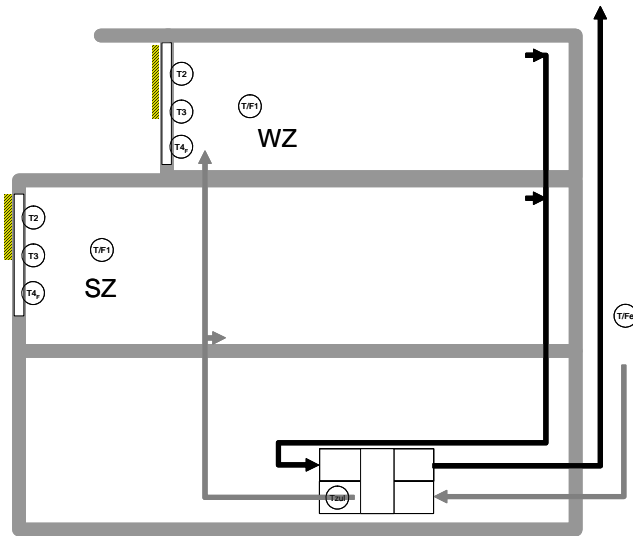
#### Raum OG

Netto-Geschossfläche	18.25 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	5.4 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>G</sub> /EBF)	27%
Zuluft-Volumenstrom	26 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	37 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	28.64 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	19.5 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>G</sub> /EBF)	61%
Zuluft-Volumenstrom	77 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	35 Wh/m <sup>2</sup> K

## EFH Moor – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4 Fenster Unterkant
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen nach dem Monobloc
- T/Fe Temperatur der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

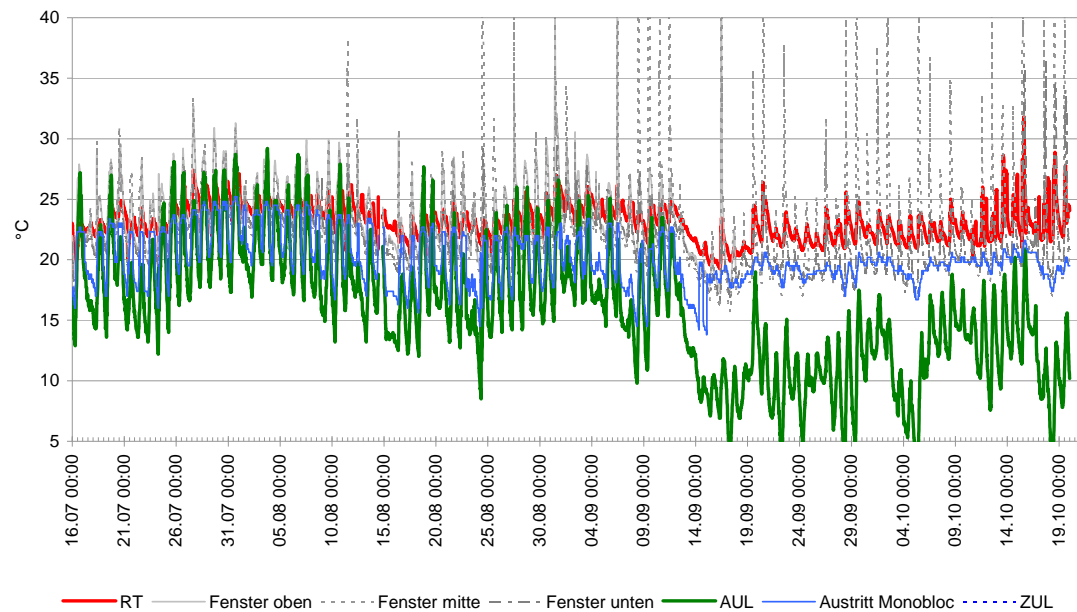
Der Raum im OG wird durch den Dachvorsprung teilweise beschattet.

Im Erdgeschoss wurden die Messungen im Wohnzimmer durchgeführt. Der Glasanteil bezogen auf die EBF ist mit 61% sehr hoch und zudem sind auf zwei Fassadenseiten raumhohe, nicht natürlich beschattete Fenster eingebaut. Dadurch ist dieser exponierte Raum besonders „überhitzungsgefährdet“.

Normalerweise läuft Lüftungsanlage auf Stufe 1 und wird bei Festen auf Stufe 2 gestellt. Aufgrund der hohen Zulufttemperaturen schalten die Bewohner die Lüftungsanlage an besonders heissen Tagen aus. Stufe 3 wurde noch nie benutzt.

Die Luftqualität im UG empfinden die Bewohner teilweise als mangelhaft.

EFH Moor / EG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

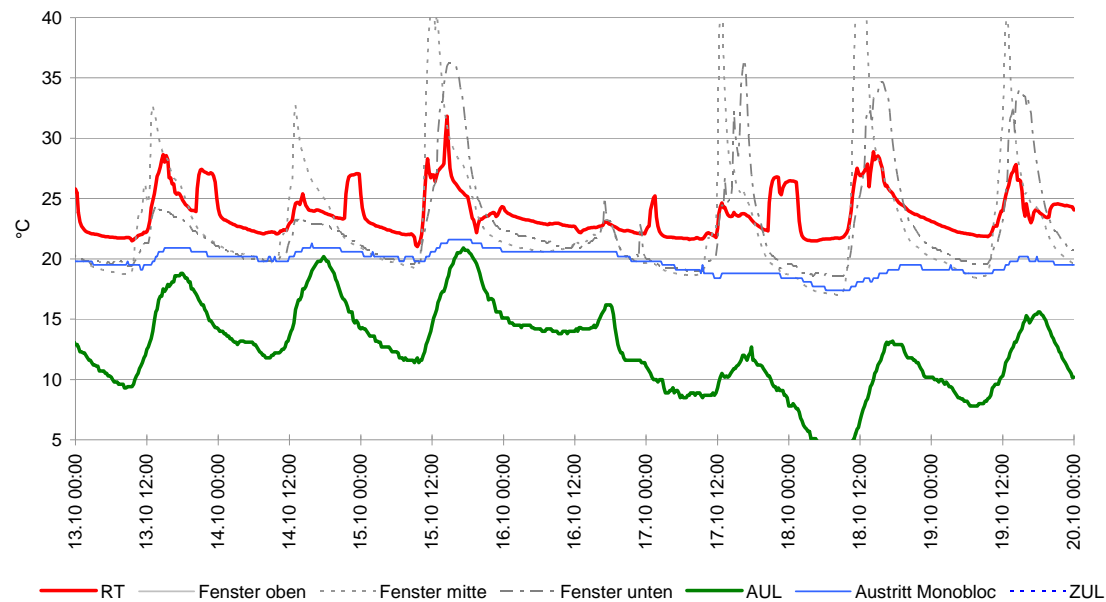
- max. Raumtemperatur: 31.8 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 65 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 103 h

**Kommentar**

Dank sinnvollem Einsatz des Sonnenschutzes liegt die mittlere Raumlufthtemperatur mit 23.2 °C in einem angenehmen Bereich, dies obwohl der Raum exponiert ist. Die Spitzenwerte werden in den Herbstwochen erreicht, wenn der Sonnenschutz nicht mehr konsequent eingesetzt wurde.

Bis zum 14.9.08 war die Bypassklappe beim Lüftungsgerät offen und die Zulufttemperatur entspricht in etwa der Aussenlufttemperatur mit „gedämpften“ Spitzenwerten.

EFH Moor / EG - 13. - 20. Oktober

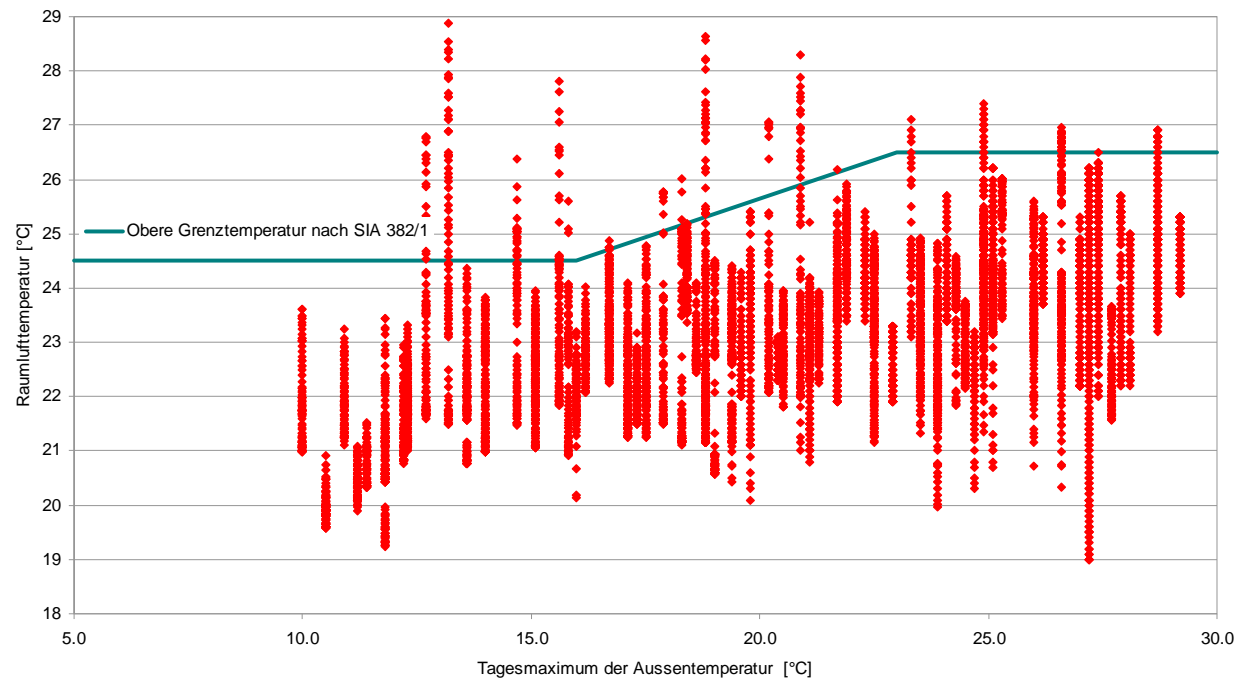
**Kommentar**

An Tagen, an denen die Sonne in den Raum scheint, angezeigt durch die hohen Temperaturen an den Messstellen „Fenster mitte“ und „Fenster oben“, steigt auch augenblicklich die Raumlufttemperatur an.

Auffallend sind die teilweise rasch ansteigenden Raumlufttemperaturen am Abend, besonders ausgeprägt am 14.10. und 18.10.08. Dies ist auf einen starken Anstieg der internen Lasten zurückzuführen.



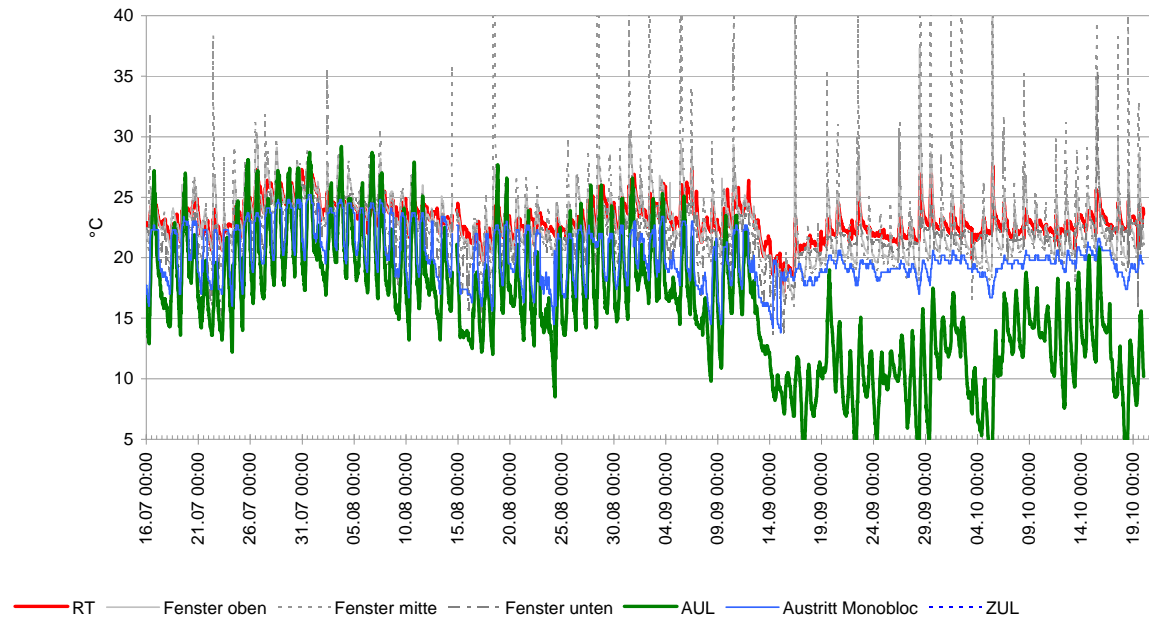
EFH Moor / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Trotz der exponierten Lage des Wohnzimmers kann davon ausgegangen werden, dass die obere Grenztemperatur gemäss SIA 382/1 an nicht viel mehr als an 100 Stunden überschritten werden dürfte.

Bei konsequentem Einsatz des Sonnenschutzes in den Übergangszeiten, auf Kosten der passiven Sonnenenergienutzung, kann die Forderung von SIA 382/1 auch eingehalten werden.

EFH Moor / OG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

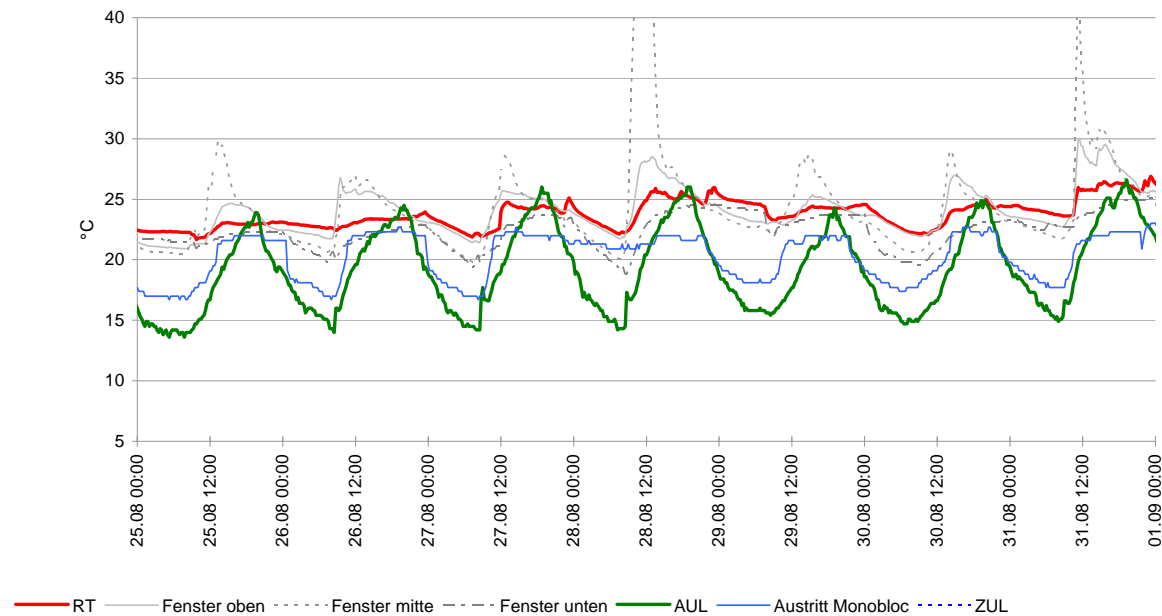
- max. Raumtemperatur: 27.6 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 39 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 92 h

**Kommentar**

Die Bewohner empfinden die Raumlufttemperatur am Morgen als angenehm und an Sonnentagen am Abend als meistens zu hoch. Besonders das Zimmer, in welchem die Messungen durchgeführt wurden, ist überhitzungsanfällig.

Zur Vermeidung von Überhitzung werden als Sonnenschutz konsequent die Storen geschlossen und in der Nacht die Fenster geöffnet.

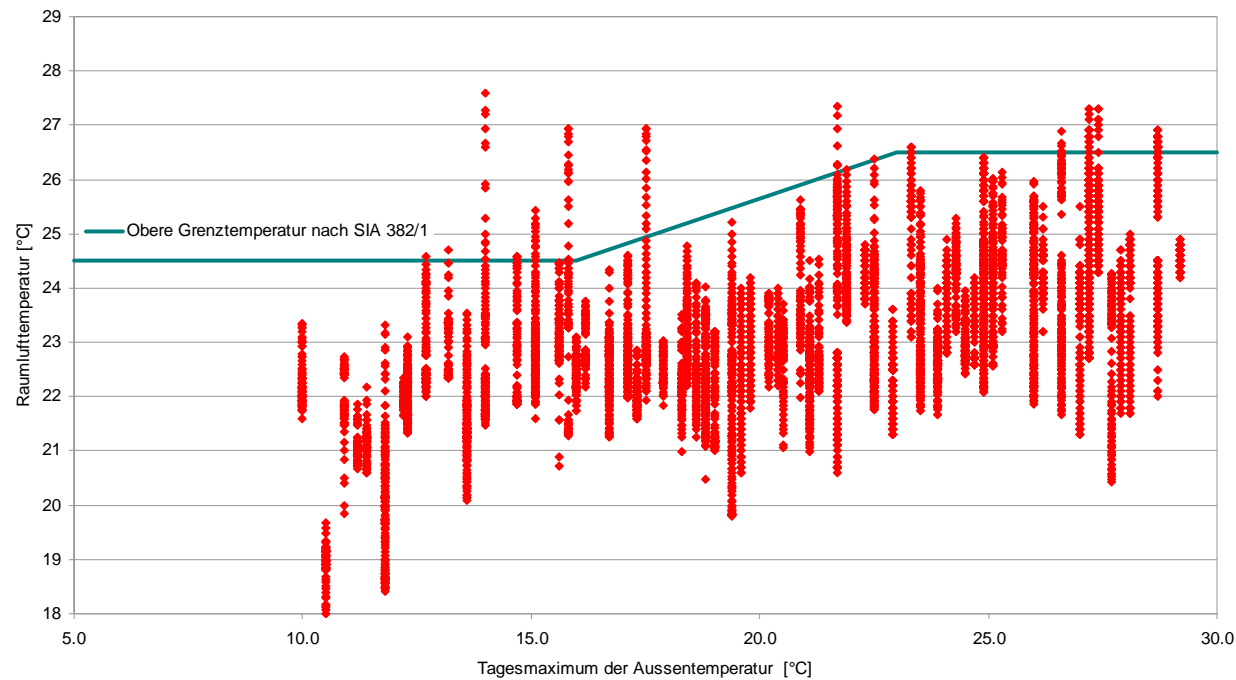
EFH Moor / OG - 25. - 31. August

**Kommentar**

Anhand der Messstelle „Fenster unten“ kann nicht schlüssig nachvollzogen werden, ob die Fenster am Abend zur Nachtauskühlung jeweils geöffnet wurden. Die Raumlufttemperatur sinkt jedoch an den meisten Abenden um ein bis zwei Kelvin, dies deutet auf eine Fensterlüftung hin.

Die mittlere Raumlufttemperatur während der Messperiode beträgt 23.1 °C und erreicht Spitzenwerte an sonnigen Tagen bei offenen Storen, wie z.B. am 31.8.08.

EFH Moor / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Die obere Grenztemperatur nach SIA 382/1 wurde an 39 Stunden überschritten. Trotz korrekt eingesetztem Sonnenschutz empfanden die Bewohner die Temperatur an manchen Abenden als zu hoch.

### A3.7. EFH Vögli – 5426 Lengnau



#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	AG-636 / 2008
Energiebezugsfläche (EBF)	186.9 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	185 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h, eff}$ (mit Lüftungsanlage)	185 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>v</sub> /EBF)	2.15
Fensteranteil (A <sub>f</sub> /EBF)	22.7%
Fenster g-Wert	0.60
Sonnenschutz	Raffstore

#### Lüftungsanlage

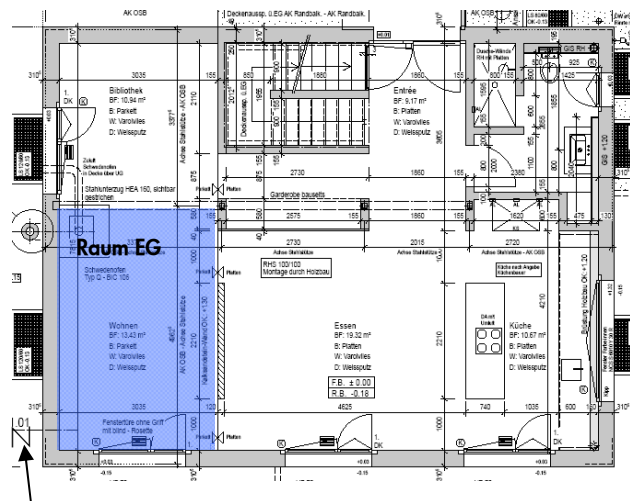
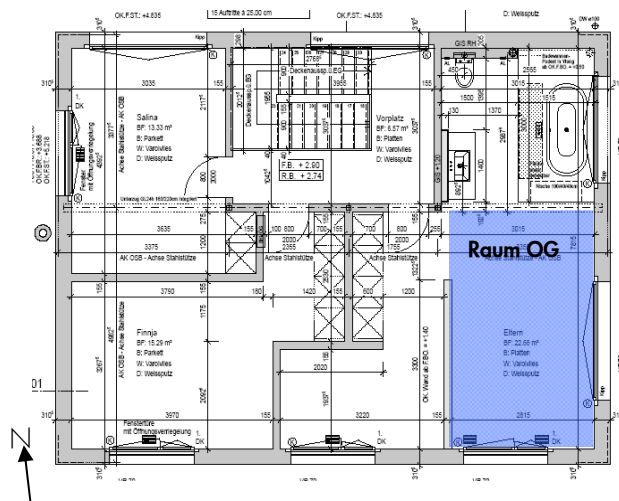
Nenn-Luftvolumenstrom	180 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	90%
Erderegister	nicht vorhanden

#### Raum OG

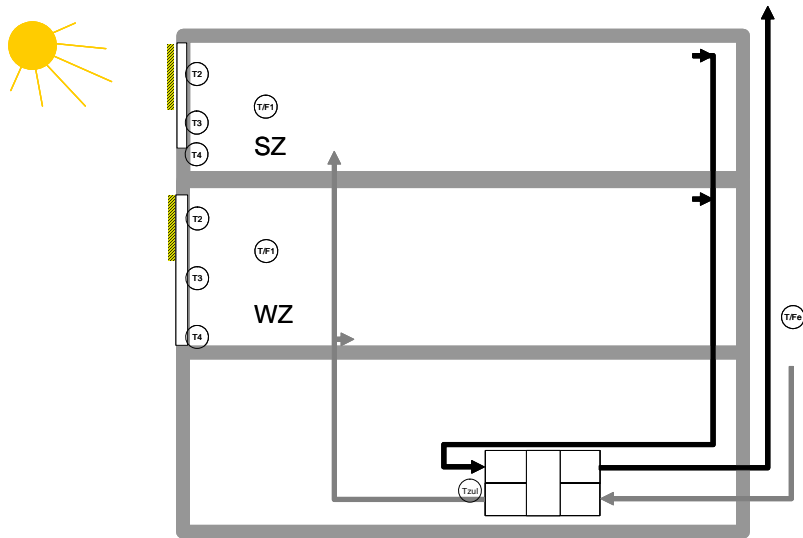
Netto-Geschossfläche	22.68 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	5.2 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	20%
Zuluft-Volumenstrom	32 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	36 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	13.43 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	3.8 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	25%
Zuluft-Volumenstrom	43 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	38 Wh/m <sup>2</sup> K



## EFH Vögel – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

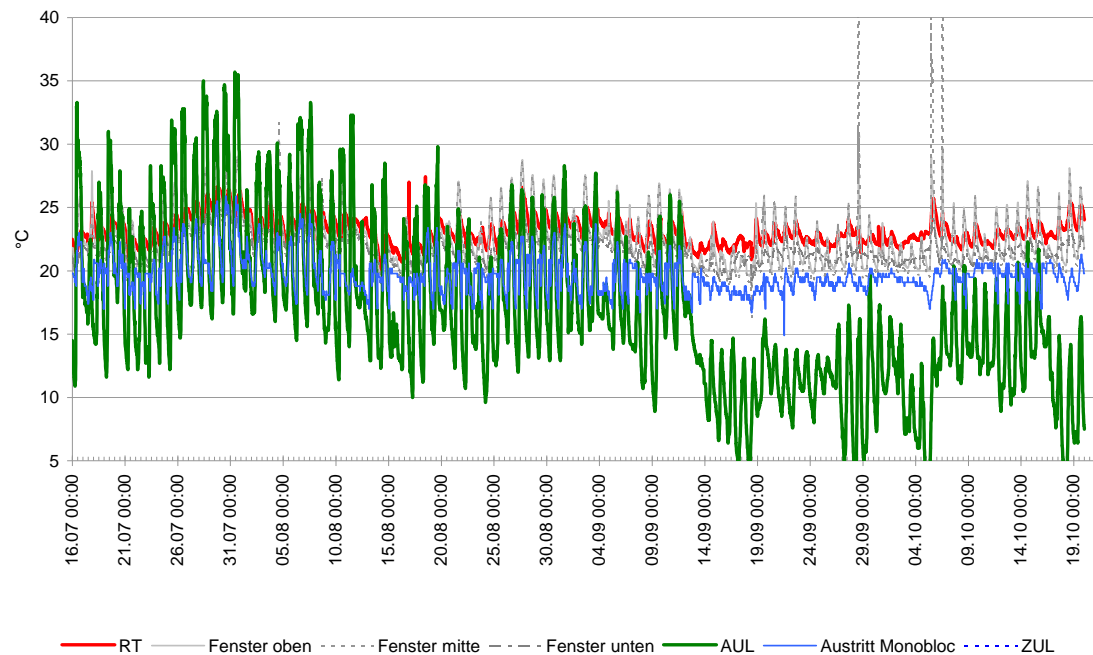
Weder das EG noch das OG sind auf der Südfassade natürlich beschattet. Als Sonnenschutz müssen die Lamellenstoren benutzt werden.

Das Elternschlafzimmer im OG, in welchem gemessen wurde, hat neben dem raumhohen Süd-Fenster noch ein 2.3m langes und 0.6 m hohes Fenster auf der Ostfassade.

Die Raumlufttemperaturen empfinden die Bewohner zeitweise als zu hoch. Speziell das gegen Süden ausgerichtete Kinderzimmer im OG ist überhitzungsanfällig.

Die Lüftungsanlage läuft tagsüber bei Hitze auf der ersten Stufe. Im Winter stellen die Bewohner vermehrt Stufe 2 ein und bei starkem Küchengeruch und heissen Nächten auf die dritte Stufe.

EFH Vögeli / EG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

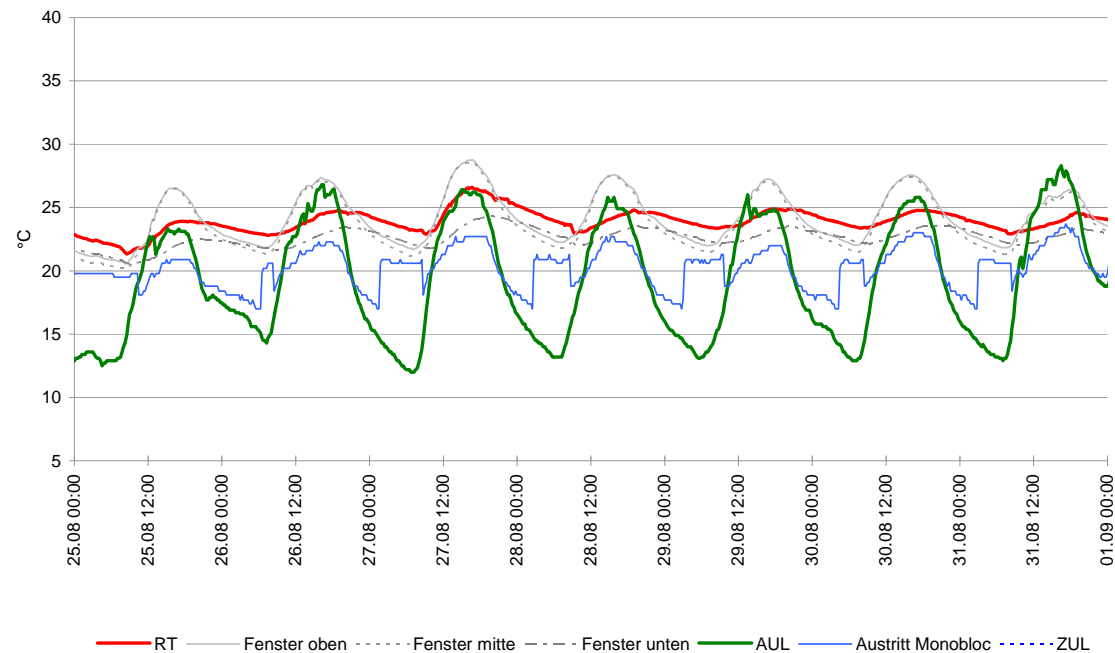
- max. Raumtemperatur: 27.4 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 30 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 16 h

**Kommentar**

Der Sonnenschutz wurde während der ganzen Messperiode konsequent eingesetzt.

Die mittlere Raumtemperatur betrug 23.1°C. An zwei Tagen im Sommer steigt die Temperatur auf über 27°C, wobei dies nicht auf direkte Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist. Da die Aussenluft direkt, ohne Erdregister, angesaugt wird, erreicht die Zuluft zum Teil Werte gegen 26°C.

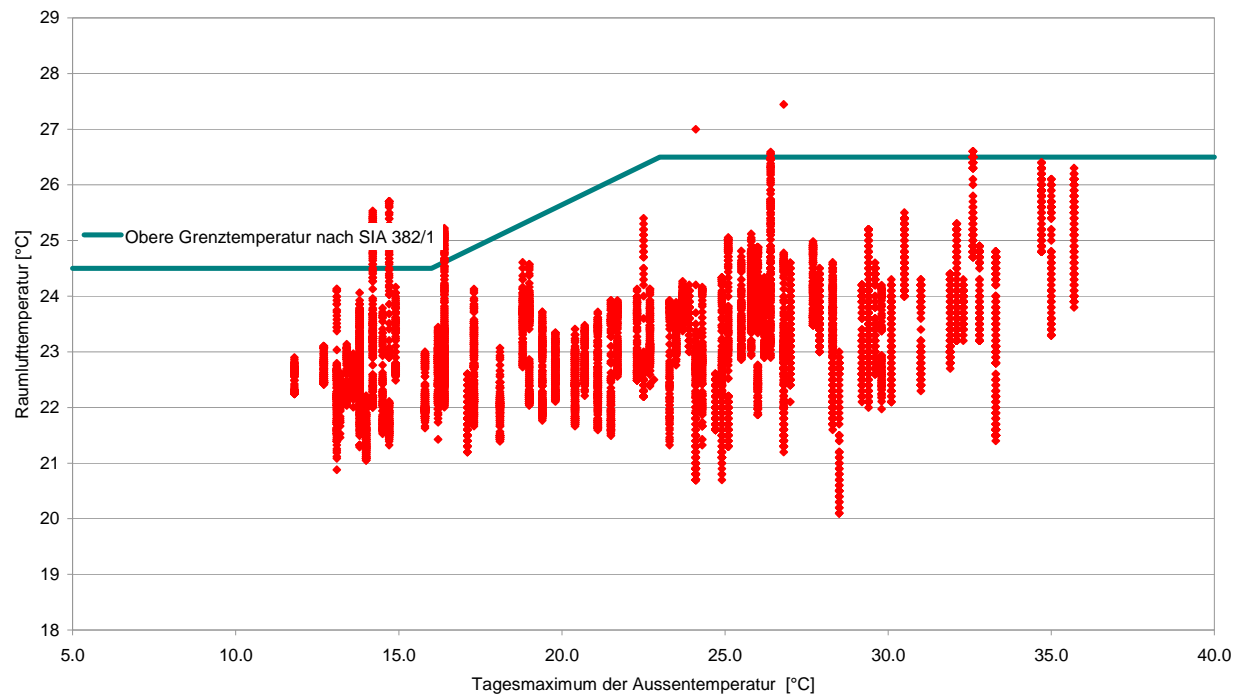
EFH Vögeli / EG - 25. - 31. August

**Kommentar**

Im Sommer wird die Aussenluft über einen Bypass an der WRG vorbeigeführt und die Zulufttemperatur steigt und sinkt entsprechend der Aussenlufttemperatur. Ist die Aussenluft jedoch kälter als 17°C wird der Bypass ausgeschaltet und die Zuluft steigt aufgrund Nutzung der WRG auf über 20°C. Steigt die Aussenlufttemperatur über 19°C wird der Bypass wieder genutzt.



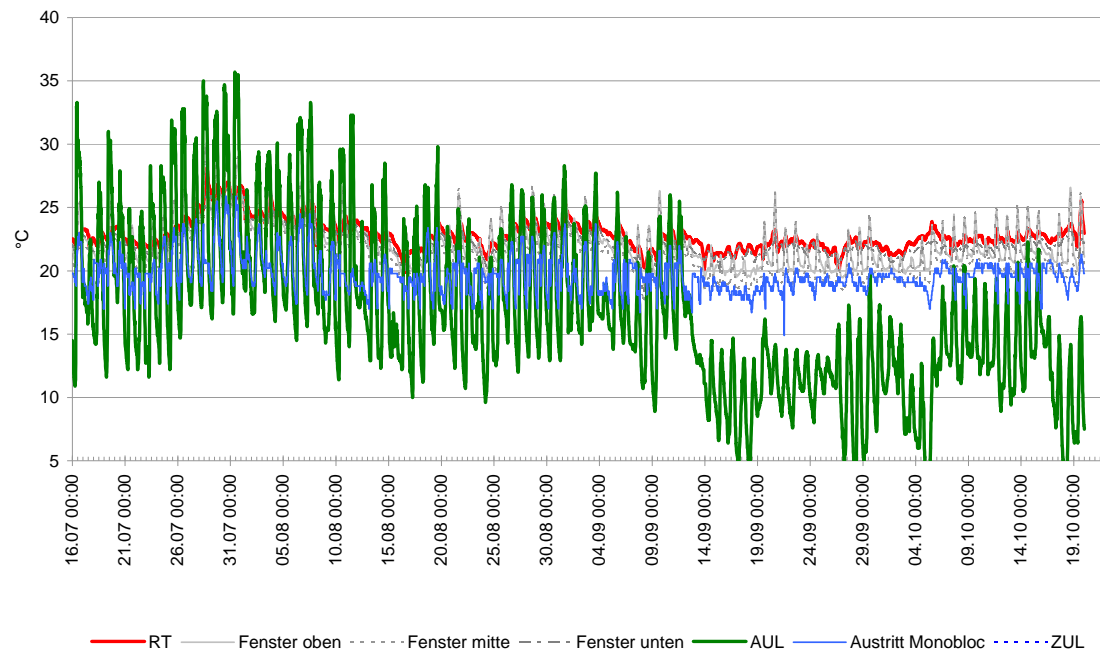
EFH Vögeli / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

Dank konsequentem Einsatz des Sonnenschutzes liegt die Raumtemperatur mehrheitlich im behaglichen Bereich.

An 30 Stunden wurde die obere Grenztemperatur gemäss SIA 382/1 überschritten, wobei dies nicht auf direkte Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist.

EFH Vögeli / OG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

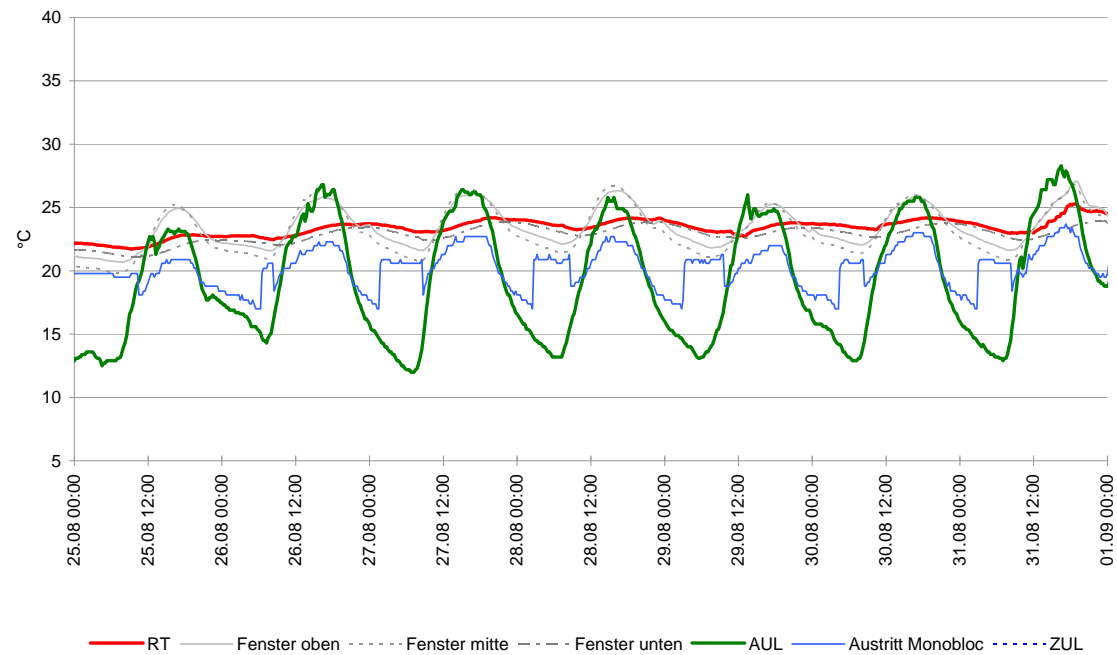
- max. Raumtemperatur: 28.1 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 44 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 0 h

**Kommentar**

Auch im OG wurde der Sonnenschutz konsequent eingesetzt. Die mittlere Raumtemperatur betrug 22.9 °C und erreichte am Abend des 28.7.08 die höchste gemessene Temperatur von 28.1 °C. Dies ist nicht aufgrund der Sonneneinstrahlung zurückzuführen, aber anhand der Messdaten kann der Grund dafür nicht erkannt werden.

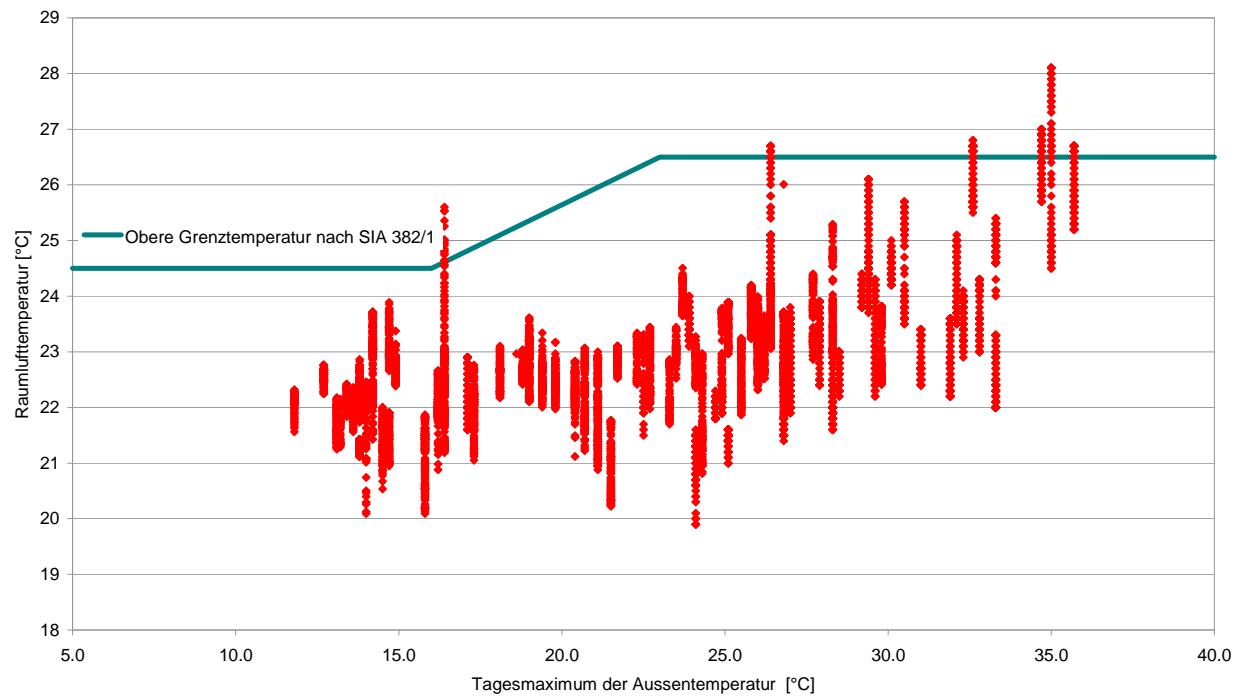
Im Sommer scheint die Raumlufttemperatur in erster Linie abhängig von der Aussenlufttemperatur zu sein. Je wärmer die Aussenluft, desto wärmer wird es auch im Zimmer.

EFH Vögeli / OG - 25. - 31. August

**Kommentar**

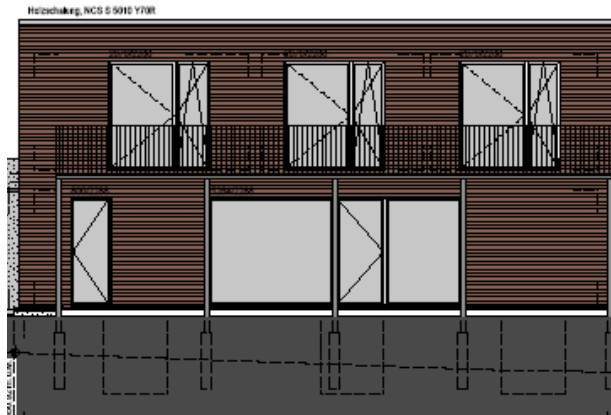
Die Messdaten bestätigen die Aussage der Bewohner, den Sonnenschutz konsequent einzusetzen. Die Differenz der Temperatur am Fenster zur Raumlufttemperatur ist sehr klein. Tendenziell wird es im Raum wärmer, wenn die Aussenlufttemperatur ansteigt. Gut sichtbar ist dies am 31.8.08.

EFH Vögeli / OG - Raumlufttemperatur je nach Aussentemperatur

**Kommentar**

An 44 Stunden wurde der obere Grenzwert gemäss SIA 382/1 überschritten. Mehrheitlich liegen die Temperaturen im gemessenen Zimmer in einem angenehmen Bereich. Das Kinderzimmer auf derselben Etage wird von den Bewohnern als speziell überhitzungsanfällig bezeichnet.

### A3.8. EFH Wapf – 6167 Albüron



#### Gebäude

MINERGIE Label / Baujahr	LU-243 / 2008
Energiebezugsfläche (EBF)	223 m <sup>2</sup>
Heizwärmebedarf $Q_h$	165 MJ/m <sup>2</sup>
$Q_{h,eff}$ (mit Lüftungsanlage)	200 MJ/m <sup>2</sup>
Gebäudehüllzahl (A <sub>v</sub> /EBF)	2.33
Fensteranteil (A <sub>f</sub> /EBF)	26.5%
Fenster g-Wert	0.6
Sonnenschutz	Balkon, Raffstore

#### Lüftungsanlage

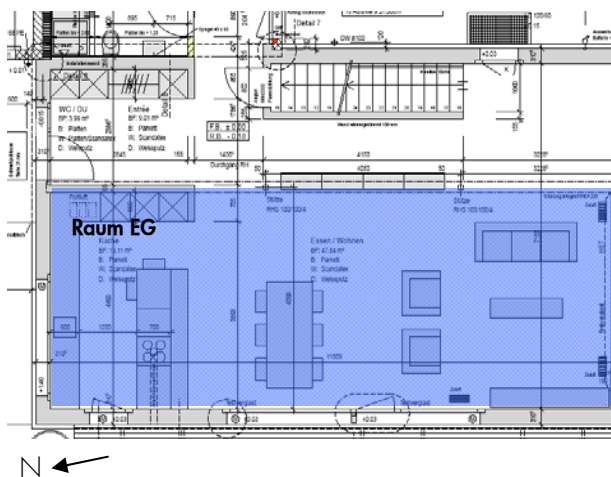
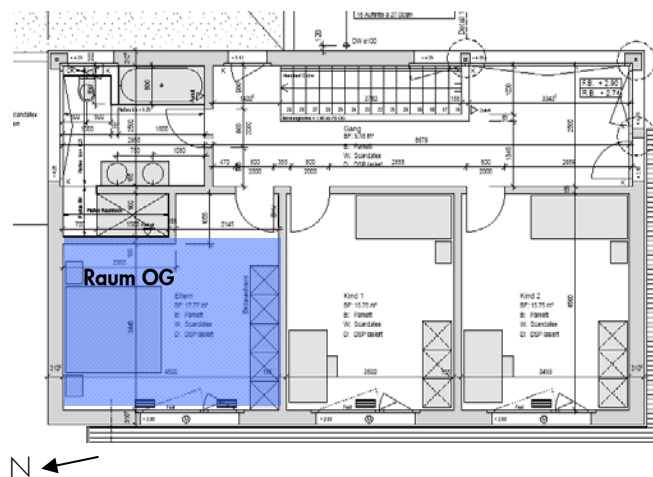
Nenn-Luftvolumenstrom	160 m <sup>3</sup> /h
Wirkungsgrad der WRG	90 %
Erdfenster	13m Aussenluftkanal

#### Raum OG

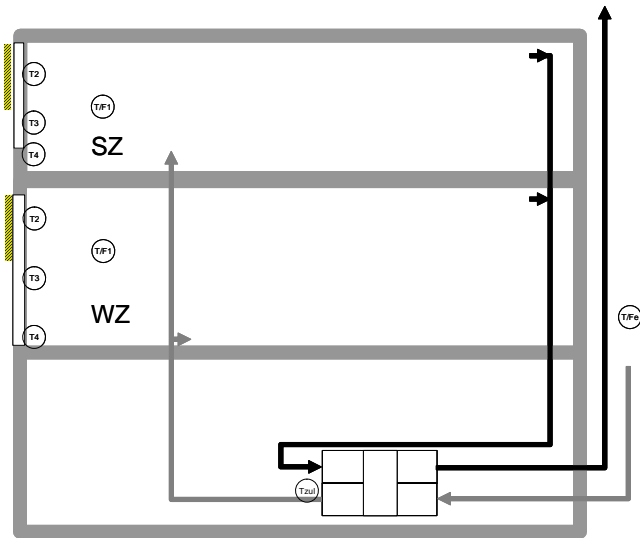
Netto-Geschossfläche	17.77 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	4.7 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	24%
Zuluft-Volumenstrom	31 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	37 Wh/m <sup>2</sup> K

#### Raum EG

Netto-Geschossfläche	66.96 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	22.3 m <sup>2</sup>
Glasanteil (A <sub>g</sub> /EBF)	29%
Zuluft-Volumenstrom	53 m <sup>3</sup> /h
Wärmespeicherkapazität	29 Wh/m <sup>2</sup> K



## EFH Wapf – Messkonzept



- T/F1 Temperatur und rel. Feuchte im Raum, Messhöhe 1.5m, ohne dir. Sonneneinstrahlung
- T2 Fenster oben
- T3 Fenster mitte
- T4<sub>F/U</sub> F(Fenster unten), U(Fenster Unterkant)
- Tzul Zulufttemperatur, gemessen an einem Luftauslass
- T/Fe Temperatur und rel. Feuchte der Aussenluft, gemessen im Schatten an der Nordfassade

### Bemerkung

Das Zimmer im OG weist keine natürliche Beschattung auf. Als Sonnenschutz müssen die Lamellenstoren benutzt werden.

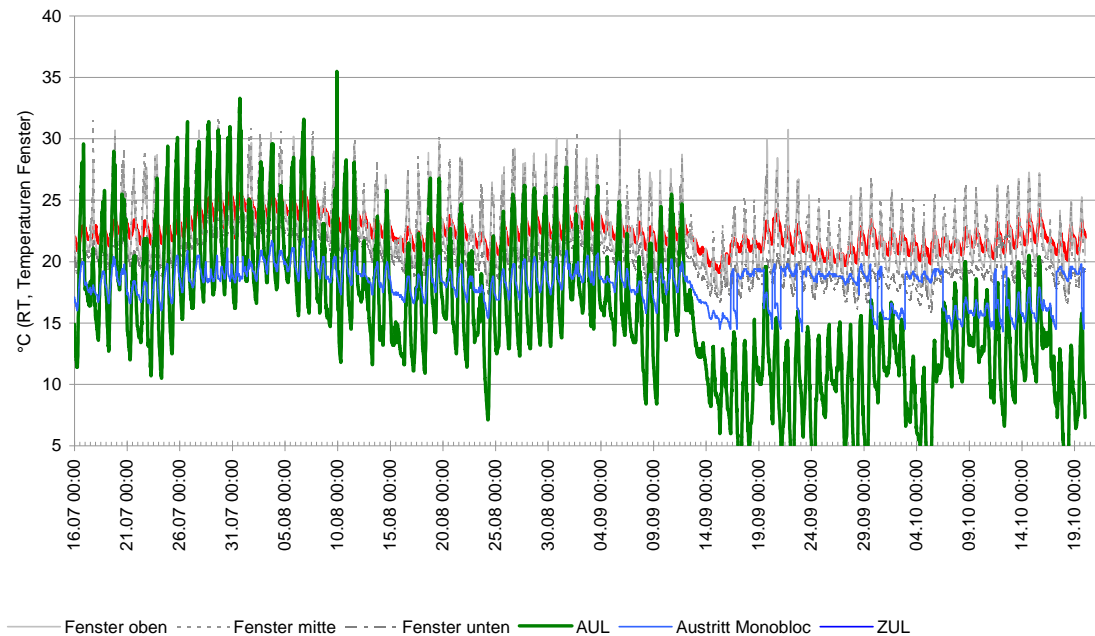
Das EG wird vom grossen Balkon im OG beschattet.

Die Hauptausrichtung des Hauses ist gegen Westen. Daher wurden auch die Messungen auf beiden Etagen an einem gegen Westen ausgerichteten Fenster durchgeführt.

Die Bewohner geben an, die Fenster zur Nacht- auskühlung nicht gezielt zu nutzen. Die Raumluft-temperaturen werden im Sommer selten als zu heiss empfunden.

Die Lüftungsanlage läuft in der Regel auf der ersten Stufe, nie auf der zweiten und wird vereinzelt, z.B. an Silvester, auf die dritte Stufe gestellt. Bei Temperaturen über 26 C wird die Lüftung ganz ausgeschaltet.

EFH Wapf / EG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

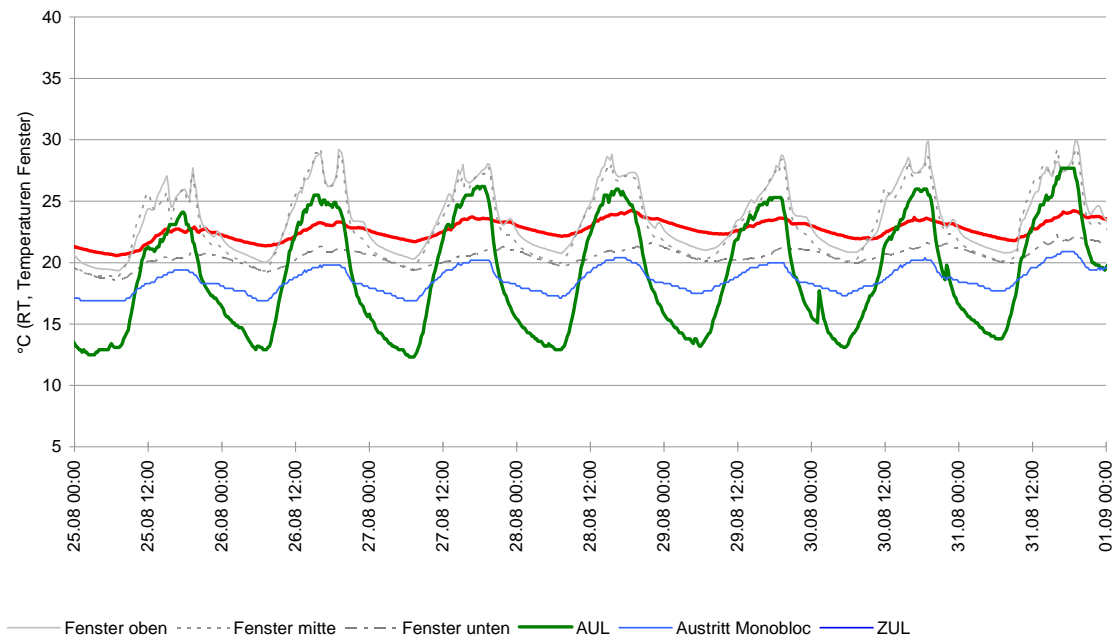
- max. Raumtemperatur: 25.7 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 0 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 25 h

**Kommentar**

Die Messdaten zeigen, dass die Sonne regelmässig gegen Abend direkt in den Raum schien, während tags der Raum vom Balkon des oberen Geschosses beschattet war.

Die mittlere Raumtemperatur liegt während der ganzen Messperiode in einem angenehmen Bereich von ca. 22 °C ± 3 K. Die Spitzenwerte von knapp über 25 °C wurden an heissen Tagen Ende Juli - Anfang August erreicht.

EFH Wapf / EG - 25. - 31. August

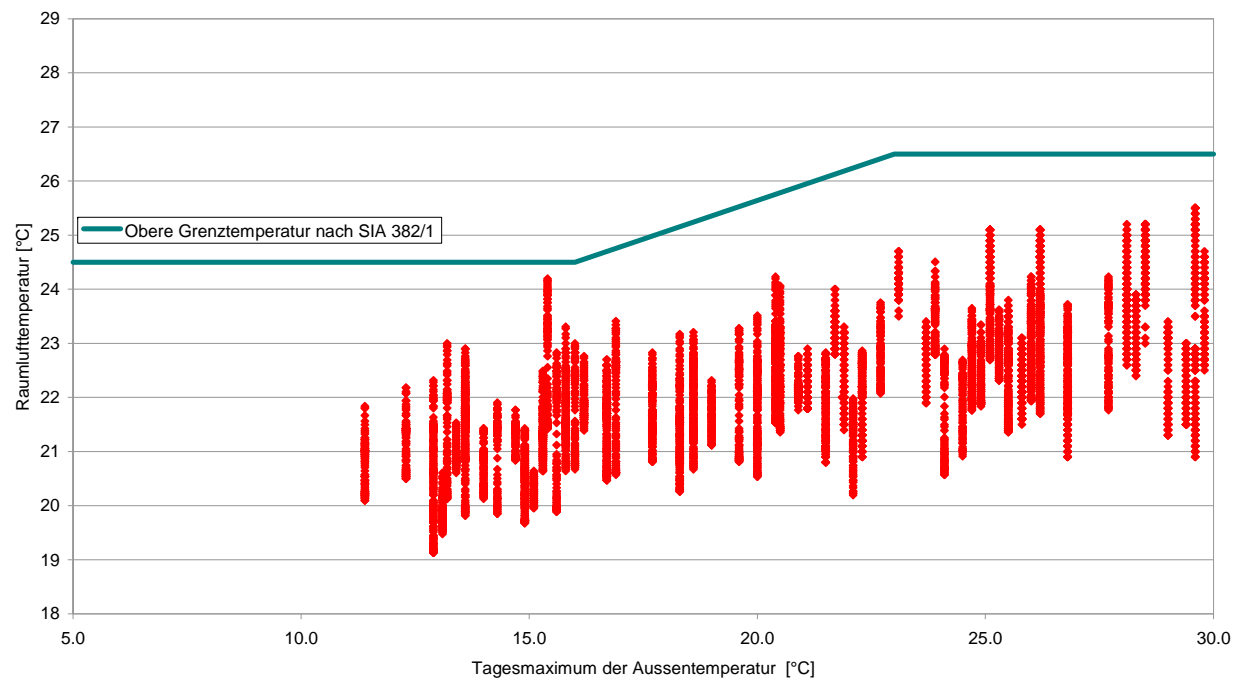
**Kommentar**

Das gegen Süden ausgerichtete Fenster wird durch den Balkon im OG vollständig beschattet. Aufgrund der Westausrichtung der anderen Fenster werden diese erst am Mittag beschienen. Wegen der flachen Einstrahlung muss der Sonnenschutz gar nicht, oder erst gegen Abend, eingesetzt werden.

Die Temperatur im Raum steigt auch ohne Sonnenschutz bis am Abend um nur ca. 2 bis 3 Kelvin an.



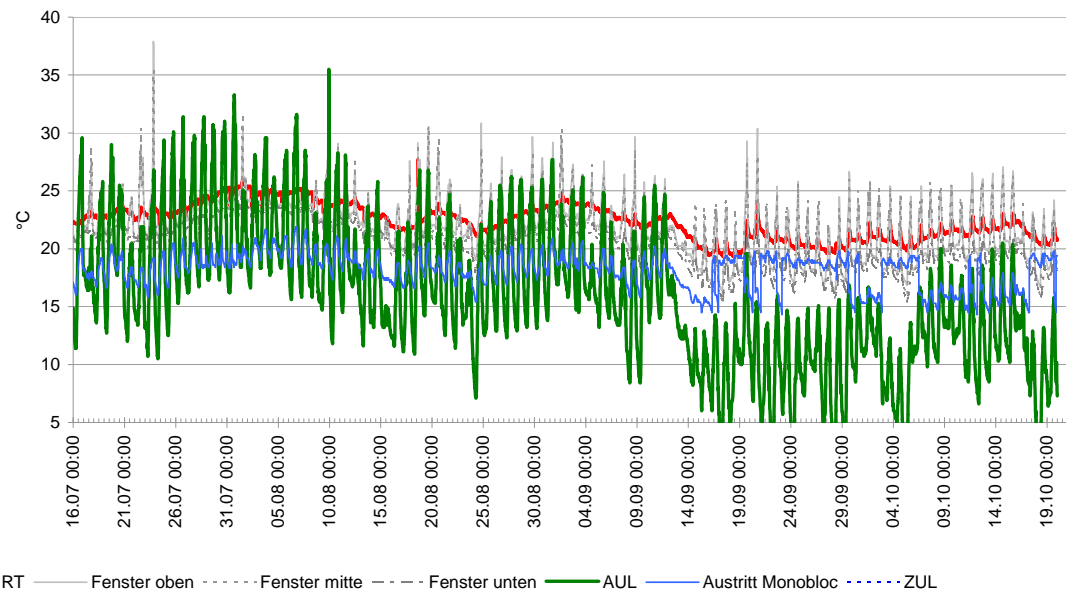
EFH Wapf / EG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur



#### Kommentar

Die Raumlufthtemperatur ist deutlich unter der oberen Grenzkurve gemäss SIA 382/1.

EFH Wapf / OG - Gesamte Messperiode 16. Juni - 19. Oktober

**Gemessene Werte**

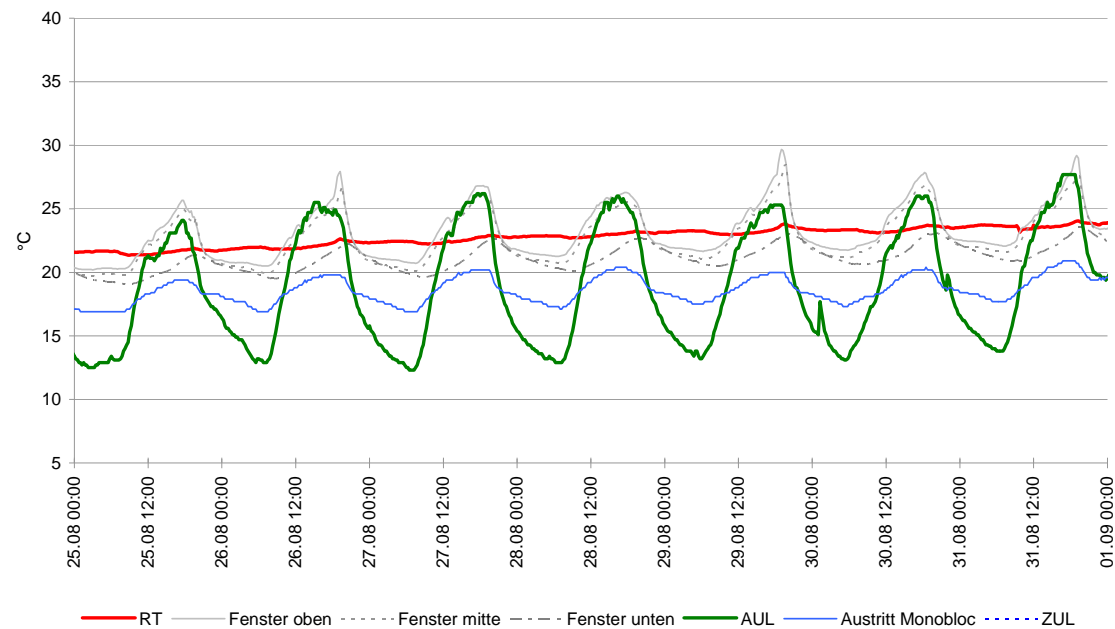
- max. Raumtemperatur: 26.1 °C
- Raumtemperatur > Grenzkurve: 0 h
- Dir. Sonneneinstrahlung: 9 h

**Kommentar**

Im Gegensatz zum EG sind die Räume im OG nicht natürlich beschattet. Es sind aber auch keine Fenster in der Südfassade eingebaut, so dass die Sonneneinstrahlung auch erst am Nachmittag zu einer Überhitzung führen könnte. Die Messungen zeigen jedoch, dass sich dank sinnvollem Einsatz der Storen die Raumlufttemperaturen mit Höchstwerten von 26 °C nicht in einem kritischen Bereich bewegen.

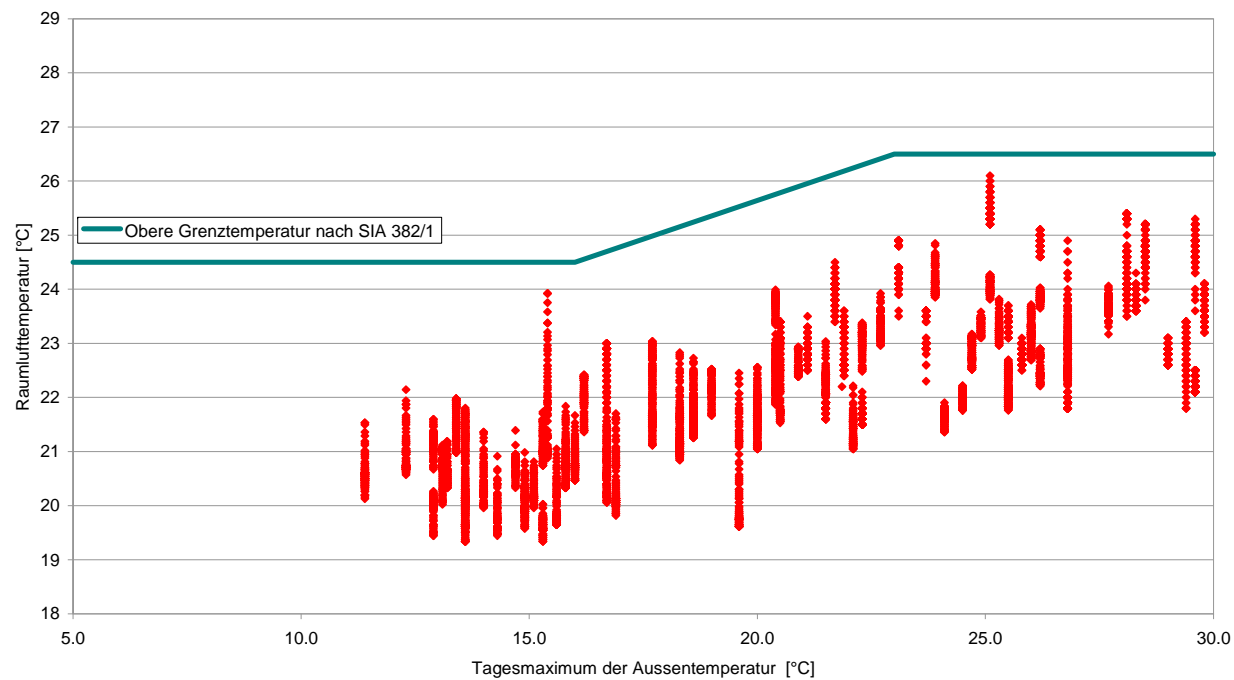
Von den Bewohnern wurde auch im OG kein Zimmer als speziell überhitzungsanfällig bezeichnet.

EFH Wapf / OG - 25. - 31. August

**Kommentar**

Der Sonnenschutz wird grösstenteils eingesetzt. Die Raumlufthtemperatur ist sehr konstant und schwankt im Verlaufe eines Tages kaum mehr als 1 Kelvin. Auch bei direkter Sonneneinstrahlung, wie z.B. am 29.8.08, wird es nicht wesentlich wärmer im Raum.

EFH Wapf / OG - Raumlufthtemperatur je nach Aussentemperatur



#### Kommentar

Die Raumlufthtemperatur befinden sich mehrheitlich in einem eher tiefen Bereich. Die obere Grenzkurve gemäss SIA 382/1 wird problemlos unterschritten.

