



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ERFOLGSKONTROLLE

ZWEIFAMILIENHAUS ROHRER STANSSTAD

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Patrick Keller, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw, patrick.keller@hslu.ch, www.hslu.ch

Markus Lang, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw, markus.lang@hslu.ch, www.hslu.ch

Impressum

Datum: 30. November 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Energie in Gebäuden

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer 102664

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage.....	3
2.	Ziel der Arbeit	3
3.	Messkonzept	4
4.	Messobjekt	7
5.	Messergebnisse	8
6.	Schlussfolgerung.....	32
	Anhang 1 – Planunterlagen.....	33
	Anhang 2 – Schemas	35
	Anhang 3 – Fotos	36

Zusammenfassung

Ein Zweifamilienhaus (Baujahr 1962) in Stansstad wurde entsprechend dem heutigen Energiestandard saniert und modernisiert, so dass es dem Minergie-P Standard entspricht. Zur Energieerzeugung für Heizung und Warmwasser wurde eine Pelletheizung und eine thermische Solaranlage mit 9m² Kollektorfläche realisiert. Für die Raumbelüftung wird ein Komfortlüftungsgerät mit einem hygroskopischen Rotationswärmetauscher eingesetzt.

Über ein Jahr wurden der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser, die Aussenlufttemperatur, die Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchten aufgezeichnet. Beim Komfortlüftungsgerät sind jeweils die Ein- und Austrittstemperaturen und -feuchten gemessen worden.

Während der Messperiode wurde ein effektiver Heizwärmebedarf von 19,7 kWh/m²a gemessen und liegt ca. 4% über dem theoretischen Wert.

Der gemessene Wärmebedarf für das Warmwasser beträgt 11.8 kWh/m². Der von den Energieberatern kommunizierte Wert von 1000 kWh/a pro Person wird dabei um 18% überschritten. Der Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung wurde zu 62% mit dem Pelletkessel und zu 38% mit der Solaranlage gedeckt.

Zur Deckung des Energiebedarfs Wärme wurde eine Pelletmenge von 3700 kg verbraucht.

Das Komfortlüftungsgerät weist einen mittleren Temperatur-Änderungsgrad von 82% und einen mittleren Feuchtegehalts-Änderungsgrad von 76% aus.

Während der Heizperiode betrug die mittleren Raumlufttemperatur 21°C. Im Sommer stiegen die Temperaturen nur in Ausnahmefällen über 27°C. Die mittlere Raumluftfeuchte lag während der Heizperiode bei ca. 45% und fiel nur an vier Stunden unterhalb die Behaglichkeitsgrenze von 30%r.F.

Die Komfortgrenze des Kohlendioxid (CO₂) wurde nur wenige Male überschritten. In der restlichen Zeit bewegt sich die CO₂-Konzentration in einem sehr ausgeglichenen akzeptablen Bereich, in welchem keine Beeinträchtigungen des Wohlbefindens zu erwarten sind.

1. Ausgangslage

Das Zweifamilienhaus Rohrer in Stansstad wird saniert und modernisiert. Das Gebäude soll den MINERGIE-P-Standard erreichen. Für die Heizung und Brauchwassererwärmung sind eine Pelletheizung und eine thermische Solaranlage mit 9 m² Kollektorfläche vorgesehen. Das Gebäude wird mit einer zentralen Komfortlüftungsanlage ausgerüstet. Das Komfortlüftungsgerät ist mit einem hygrokopischen Rotationswärmetauscher ausgestattet, welcher Wärme und Feuchte überträgt.

2. Ziel der Arbeit

Das Projektziel besteht aus der Nutzung der nicht alltäglichen Chance einer zukunftsweisenden, 2000 Watt verträglichen MINERGIE-P Sanierung, für ein dafür geeignetes Gebäude mit einer aufgeschlossenen, sensibilisierten Bauträgerschaft und einem ambitionierten, kompetenten Planungsteam.

Mit dem vorliegenden Projekt wird das thermische Verhalten, die Behaglichkeit in Form von Raumtemperaturen und -feuchten sowie die thermische und elektrische Energie des Zweifamilienhaus Rohrer in Stansstad gemessen und aufgezeichnet.

2.1. Messkonzept Heizung

Die Energiebilanz ist bei diesem Gebäude von Interesse. Um diese zu erstellen, werden die erzeugte Wärmeenergie vom Pelletofen und von der thermischen Solaranlage sowie die Wärmeabgabe für die Wohnungen und für das Brauchwarmwasser gemessen. Für diese Messungen müssen insgesamt drei Wärmezähler eingebaut werden. Zusätzlich werden die Betriebszeiten vom Pelletofen und von der thermischen Solaranlage erfasst, um eine Aussage über die Auslastung und über die Auslegung (über- oder unterdimensioniert) zu machen. Die Messungen werden während einem Jahr vom September 08 bis September 2009 durchgeführt.

2.2. Messkonzept Lüftung

Das Komfortlüftungsgerät ist mit einem hygrokopischen Rotationswärmetauscher ausgestattet. Damit die Feuchteübertragung genauer untersucht werden kann, wird bei der Aussenluft, der Zuluft, der Abluft und der Fortluft je ein Feuchte- und Temperaturfühler installiert. Zusätzlich werden pro Wohnung vier Hygrolog-Messgeräte (Datenlogger für Feuchte- und Temperaturmessung) installiert, um die Raumluftkonditionen zu untersuchen.

2.3. Datenauslesung, -sicherung und -auswertung

Um möglichst keine Datenverluste zu erhalten, werden die Messdaten jede zweite Woche ausgelesen und gesichert. Das ZIG wertet die Daten einmal pro Monat aus und stellt die Messgrößen und Resultate in Diagramme und Tabellen dar. Diese werden vor Messbeginn definiert und werden für die ganze Untersuchung nicht mehr verändert.

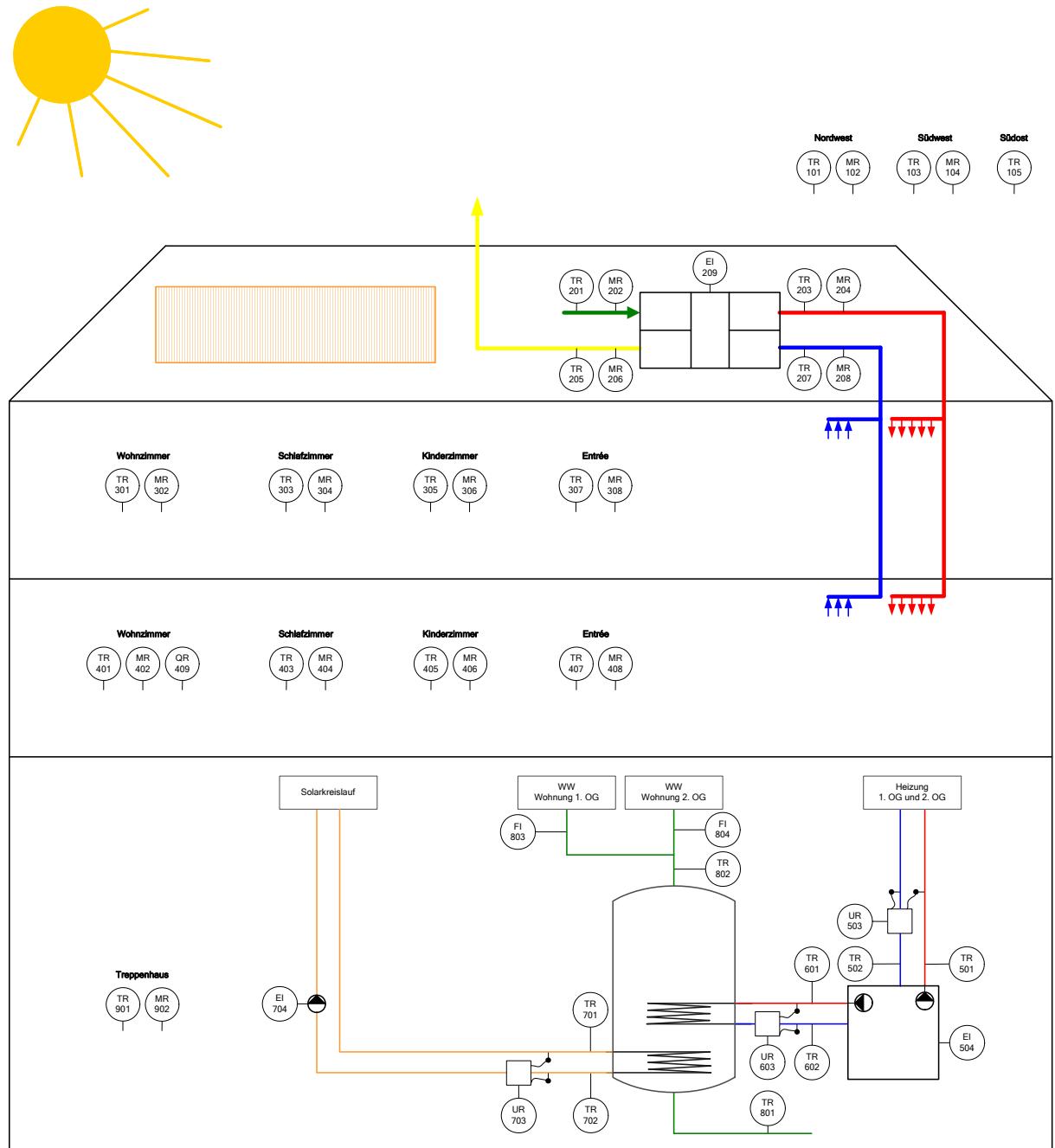
3. Messkonzept

Zwischen Mitte September 2008 und Mitte Oktober 2009 wurde im MINERGIE-P zertifizierten Zweifamilienhaus Rohrer in Stansstad Temperatur-, Feuchte und Leistungsmessungen vorgenommen.

3.1. Messstellen

- TR101 Aussenlufttemperatur EG Nordwestfassade
- MR102 Aussenluftfeuchte EG Nordwestfassade
- TR103 Aussenlufttemperatur EG Südwestfassade
- MR104 Aussenluftfeuchte EG Südwestfassade
- TR105 Aussenlufttemperatur Balkon 1. OG Südostfassade
- TR201 Aussenlufttemperatur (Dachuntersicht)
- MR202 Aussenluftfeuchte (Dachuntersicht)
- TR203 Zulufttemperatur
- MR204 Zuluftfeuchte
- TR205 Fortlufttemperatur
- MR206 Fortluftfeuchte
- TR207 Ablufttemperatur
- MR208 Abluftfeuchte
- EI209 Elektrischer Energieverbrauch Luftaufbereitung
- TR301 Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer
- MR302 Raumluftfeuchte 1. OG Wohnzimmer
- TR303 Raumlufttemperatur 1. OG Schlafzimmer
- MR304 Raumluftfeuchte 1. OG Schlafzimmer
- TR305 Raumlufttemperatur 1. OG Kinderzimmer
- MR306 Raumluftfeuchte 1. OG Kinderzimmer
- TR307 Raumlufttemperatur 1. OG Entrée
- MR308 Raumluftfeuchte 1. OG Entrée
- TR401 Raumlufttemperatur 2. OG Wohnzimmer
- MR402 Raumluftfeuchte 2. OG Wohnzimmer
- TR403 Raumlufttemperatur 2. OG Schlafzimmer
- MR404 Raumluftfeuchte 2. OG Schlafzimmer
- TR405 Raumlufttemperatur 2. OG Kinderzimmer
- MR406 Raumluftfeuchte 2. OG Kinderzimmer
- TR407 Raumlufttemperatur 2. OG Entrée
- MR408 Raumluftfeuchte 2. OG Entrée
- QR409 CO₂-Messung 1. OG Wohnzimmer
- TR501 Vorlauftemperatur Raumheizung
- TR502 Rücklauftemperatur Raumheizung
- UR503 Heizenergie Raumheizung
- EI504 Elektrischer Energieverbrauch Raumheizung
- TR601 Vorlauftemperatur Warmwasseraufbereitung
- TR602 Rücklauftemperatur Warmwasseraufbereitung
- UR603 Heizenergie Warmwasseraufbereitung
- TR701 Vorlauftemperatur Solarkreislauf
- TR702 Rücklauftemperatur Solarkreislauf
- UR703 Heizenergie Solarkreislauf
- EI704 Elektrischer Energieverbrauch Solarkreislauf
- TR801 Kaltwassertemperatur
- TR802 Warmwassertemperatur
- FI803 Warmwasserverbrauch 1. OG
- FI804 Warmwasserverbrauch 2. OG
- TR901 Raumlufttemperatur EG Treppenhaus
- MR902 Raumluftfeuchte EG Treppenhaus

3.2 Prüfeinrichtung



Legende:

Erstbuchstabe	Folgebuchstabe	Ergänzungsbuchstabe
F	Durchfluss	
P	Druck	
T	Temperatur	
E	Elektrische Energie	
U	Wärmeenergie	
Q	CO ₂	
	D Differenz	R Registrierung
		I Anzeige

3.3. Messinstrumente

Raumlufttemperaturen/-feuchten

Typ MSR 145S, Art. B51100
Messbereich Temperatur -10 °C bis +65 °C; Feuchte 0-100 % r.F.

Aussenlufttemperaturen/-feuchten

Typ MSR 145S, Art. B51100
Messbereich Temperatur -10 °C bis +65 °C; Feuchte 0-100 % r.F.

Luftaufbereitungstemperaturen/-fechten

Typ Rotronic: Datalogger - Hygrolog / Clip S
Messbereich Temperatur -40 °C bis +85 °C; Feuchte 0-100 % r.F.

Vorlauftemperaturen Raumheizung/Warmwasser/Solarkreislauf

Typ Moser: Pt 100, DIN 1/5, 4 Leit. 10m lang
Messbereich -100 °C bis +250 °C

Heizenergie Raumheizung/Warmwasser/Solarkreislauf

Typ Ener Cal 731 EAW, 1,5 ¾"

Elektrischer Energieverbrauch Luftaufbereitung/Raumheizung/Solarkreislauf

Typ EMU1.24K, 230 V / 10 A

CO₂-Messung

Typ Mosway: Datenlogger CO₂

Durchfluss Warmwasser

Typ handelsüblicher Mehrstrahlmesser für Wasser (bauseits)

4. Messobjekt

Das untersuchte sanierte Zweifamilienhaus in Stansstad wurde als erstes zertifiziertes MINERGIE-P Haus (Label NW-001-P) im Kanton Nidwalden realisiert. Das Gebäude hat eine Energiebezugsfläche von 373 m² ist freistehend, wird nicht durch Nachbargebäude oder Topografie verschattet und liegt auf 450 m.ü.M.. Das Objekt wurde bezüglich Architektur/Bauleitung durch BARBOS aus Stans und die HLK-Planung durch Zurfluh Lottenbach GmbH aus Luzern realisiert.

Die Fenster nordost- und nordwestseitig verfügen über keinen aussenliegenden Sonnenschutz. Die Fenster und Fenstertüren südost- und südwestseitig sind entweder mit einem manuell betätigten Holzrolladen ausgerüstet oder werden durch ein externes Element (Balkon oder Vordach) verschattet.

Die Gebäudehülle erfüllt die Anforderungen von MINERGIE-P. Als Dämmmaterialien wurde gegen aussen Steinwolle und gegen unbeheizt verdichteter Kerndämmstoff mit Microporosität eingesetzt. Das Erdgeschoss inkl. Decke über Erdgeschoss sind massiv gebaut (Beton, Mauerwerk). Das 1. und das 2. Obergeschoss besteht aus einem verkleideten, verputzten Holzständerbau. Das Dachgeschoss und ein Teil des Erdgeschosses liegen ausserhalb des Dämmpfismeters. Das Objekt weist ein Schrägdach auf.

Die gemäss SIA 380/1 im Minergie-P Antrag berechnete Primärerfordernis an die Gebäudehülle liegt bei 16.9 kWh/ m² ($Q_{h,eff}$ mit Lüftungsanlage).

Das Objekt wird mit einem Wohnungslüftungsgerät mit einer integrierten Wärmerückgewinnung belüftet. Der thermisch wirksame Aussenluftvolumenstrom pro Energiebezugsfläche liegt bei 0.21 m³/m²h. Für die Heizung und Brauchwassererwärmung sind eine Pelletheizung und eine thermische Solaranlage mit 9 m² Kollektorfläche installiert.



Figur 1: Südwestfassade des Zweifamilienhaus Rohrer in 6362 Stansstad (Label NW-001-P)

5. Messergebnisse

5.1. Aussenlufttemperaturen und Heizgradtage

Die Aussenlufttemperaturen wurden neben dem Heizungsführer an der Nordwestfassade und, zu Vergleichszwecken, beim Standort des ursprünglichen Heizungsführers an der Südwestfassade gemessen. Gemäss Aussagen des ehemaligen Besitzers arbeitete die alte Heizung erst wunschgemäß, nachdem der Aussenfühler an der Südwestfassade angebracht wurde.

Mit der Aussenlufttemperatur auf dem Balkonboden im 1. Obergeschoss an der Südostfassade soll die Effizienz der Glasbalkone nachgewiesen werden.

Aussenlufttemperatur EG Nordwestfassade

	Okt 08 °C	Nov 08 °C	Dez 08 °C	Jan 09 °C	Feb 09 °C	Mrz 09 °C	Apr 09 °C	Mai 09 °C	Jun 09 °C	Jul 09 °C	Aug 09 °C	Sep 09 °C	
TR101 mittlere Aussenlufttemperatur	10.2*	4.5*	1.5	-0.6	2.0	6.0	12.5	16.6	17.3	19.8	20.5	16.4	10.6
TR101 minimale Aussenlufttemperatur	-0.1*	-4.8*	-7.1	-5.1	-5.9	-3.0	3.4	2.8	9.1	9.6	9.4	7.1	-7.1
TR101 maximale Aussenlufttemperatur	20.2*	16.7*	8.5	8.4	26.9	26.2	33.7	42.4	38.0	41.3	39.9	36.3	42.4

Tabelle 1: Aussenlufttemperatur EG Nordwestfassade (Standort Aussenluftfühler Heizung)

*keine Messdaten -> Daten Luzern [Meteo Schweiz]

Aussenlufttemperatur EG Südwestfassade

	Okt 08 °C	Nov 08 °C	Dez 08 °C	Jan 09 °C	Feb 09 °C	Mrz 09 °C	Apr 09 °C	Mai 09 °C	Jun 09 °C	Jul 09 °C	Aug 09 °C	Sep 09 °C	
TR103 mittlere Aussenlufttemperatur	*	*	1.8	-0.5	2.1	6.2	14.4	18.1	18.8	21.0	22.6	18.4	12.3
TR103 minimale Aussenlufttemperatur	*	*	-5.9	-5.8	-5.9	-3.0	5.3	3.5	9.5	10.3	10.3	8.3	-5.9
TR103 maximale Aussenlufttemperatur	*	*	21.4	16.7	26.9	26.2	34.7	38.8	37.9	40.9	39.8	39.8	40.9

Tabelle 2: Aussenlufttemperatur EG Südwestfassade (Standort Aussenluftfühler Heizung vor Umbau)

* keine Messdaten

Aussenlufttemperatur Balkon 1. OG Südostfassade

	Okt 08 °C	Nov 08 °C	Dez 08 °C	Jan 09 °C	Feb 09 °C	Mrz 09 °C	Apr 09 °C	Mai 09 °C	Jun 09 °C	Jul 09 °C	Aug 09 °C	Sep 09 °C	
TR105 mittlere Aussenlufttemperatur	*	*	2.9	-0.7	2.4	6.5	14.8	17.9	18.4	20.7	21.9	18.5	12.3
TR105 minimale Aussenlufttemperatur	*	*	4.0	3.9	5.8	2.9	5.7	4.2	10.3	11.0	11.1	9.1	5.8
TR105 maximale Aussenlufttemperatur	*	*	32.2	24.1	31.9	34.8	49.9	51.8	48.6	48.6	54.1	47.5	54.1

Tabelle 3: Aussenlufttemperatur 1. OG Südostfassade

* keine Messdaten

Heizgradtage

	Okt 08 HGT	Nov 08 HGT	Dez 08 HGT	Jan 09 HGT	Feb 09 HGT	Mrz 09 HGT	Apr 09 HGT	Mai 09 HGT	Jun 09 HGT	Jul 09 HGT	Aug 09 HGT	Sep 09 HGT	
	HGT	HGT											
Heizgradtage Feldmessung	197*	428*	533	639	508	433	117	30	16	0	0	0	2'902
Heizgradtage Luzern 2008/2009	215	466	594	659	542	471	139	31	18	0	0	0	3'135
langjährige Mittelwerte Luzern	264	460	558	588	510	424	282	78	26	5	4	55	3'254

Tabelle 4: Heizgradtage

*keine Messdaten -> Daten Luzern [Meteo Schweiz]

Die klimatischen Verhältnisse während der Heizperiode können als eher warm bezeichnet werden. Die gemessenen Heizgradtage HGT_{20/12} (2902 K*h) liegen unter dem langjährigen Mittelwert für Luzern (3254 K*h) [Quelle: Hauseigentümerverband].

Sowohl die Südwest- als auch die Nordwestfassade werden zeitweise von der Sonne beschienen. An sonnigen Tagen wurden gegen Ende der Heizperiode am späten Nachmittag beim Heizungsfühler Temperaturen bis ca. 33°C gemessen. Erwartungsgemäss sind an der Südwestfassade deutlich wärmeren Temperaturen gemessen worden.

Die Aussenlufttemperatur EG Nordwestfassade liegt durchschnittlich ca. 1 K über dem Mittelwert von Luzern.

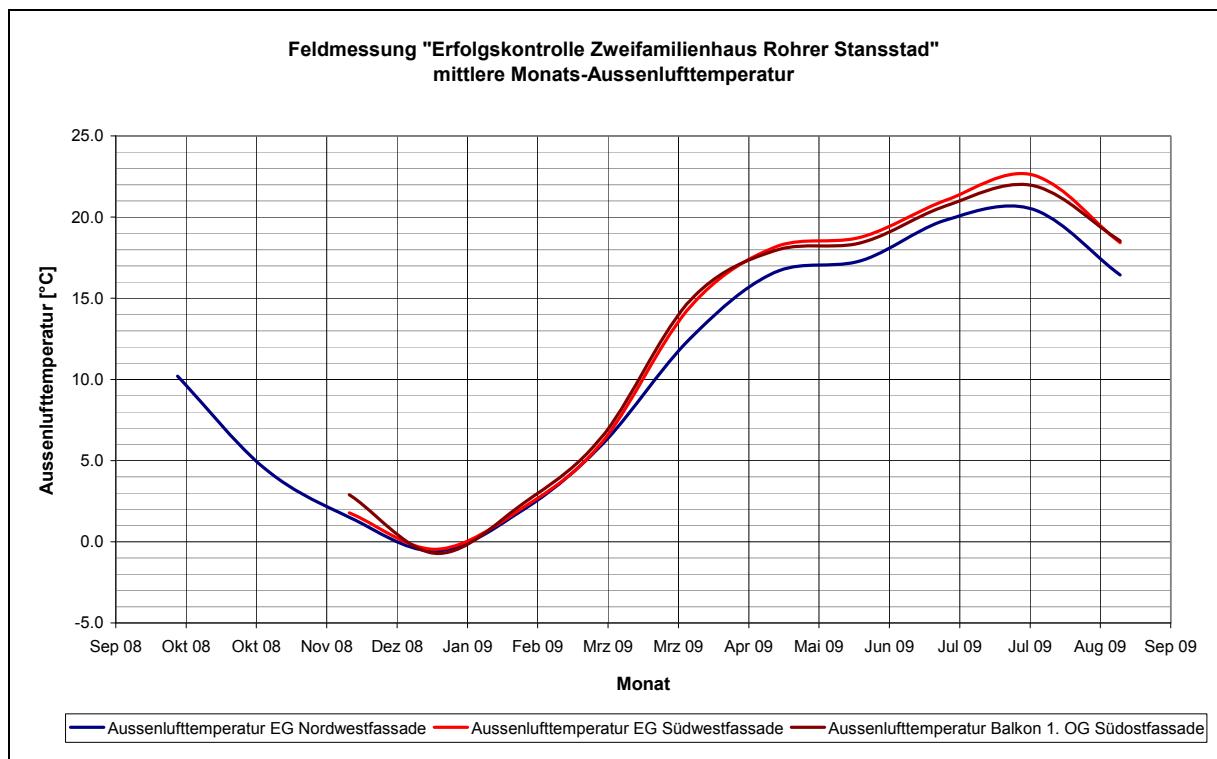


Diagramm 1: mittlere Monats-Aussentemperaturen

Während des Tages liegt die Aussenlufttemperatur auf dem Balkonboden im 1. Obergeschoss an der Südostfassade leicht höher als die Aussenlufttemperaturen an der Nordwest- und Südwestfassade. Man kann daraus schliessen, dass die Solaren Gewinne während der Heizperiode aus diesem Grund höher sind als wenn keine Glasbalkone vorhanden wären.

5.2 Raumlufttemperaturen

Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer

	Okt 08 °C	Nov 08 °C	Dez 08 °C	Jan 09 °C	Feb 09 °C	Mrz 09 °C	Apr 09 °C	Mai 09 °C	Jun 09 °C	Jul 09 °C	Aug 09 °C	Sep 09 °C	
TR301 mittlere Raumlufttemperatur	22.6	21.3	20.5	19.4	18.8	20.7	22.6	23.6	24.2	24.4	25.3	24.3	22.3
TR301 minimale Raumlufttemperatur	19.6	18.5	18.2	16.0	16.3	18.7	19.8	19.8	21.6	19.4	22.2	21.5	16.0
TR301 maximale Raumlufttemperatur	27.6	34.3	27.4	23.7	22.1	29.7	26.9	28.8	28.4	27.0	28.7	28.3	34.3

Tabelle 5: Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer

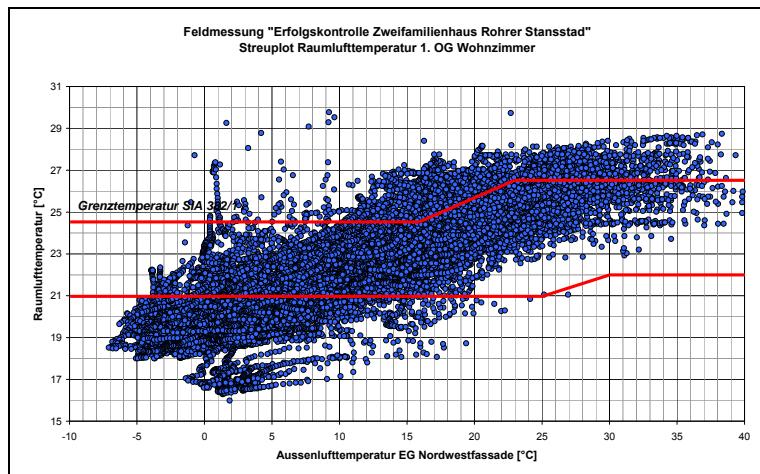


Diagramm 2: Streuplot Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer

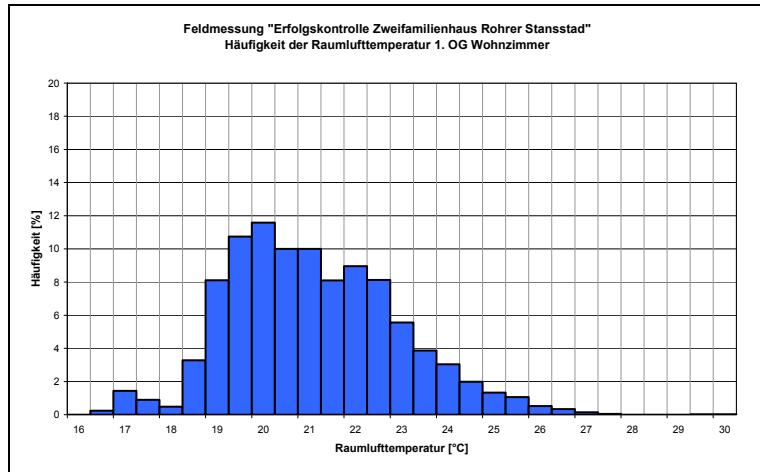


Diagramm 3: Häufigkeit der Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer (Okt bis Apr)

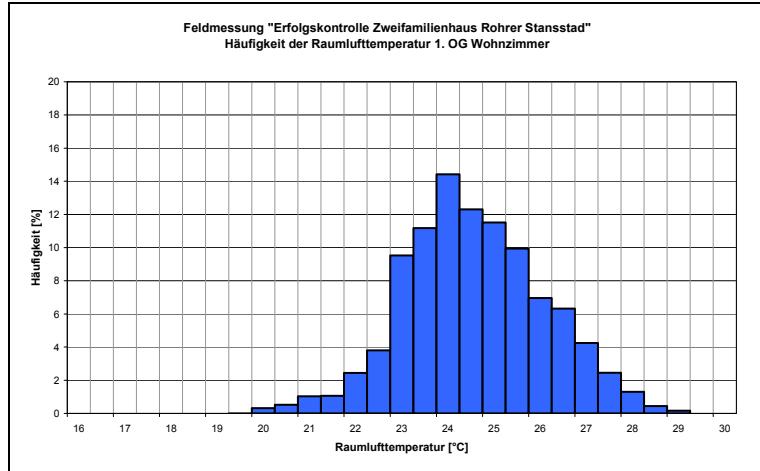


Diagramm 4: Häufigkeit der Raumlufttemperatur 1. OG Wohnzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufittemperatur 1. OG Schlafzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR303 mittlere Raumlufittemperatur	*	19.3	19.0	18.4	18.5	20.7	21.8	22.7	23.6	24.4	25.3	23.3	21.6
TR303 minimale Raumlufittemperatur	*	17.7	16.9	16.8	16.7	18.7	19.2	20.0	22.5	19.4	22.2	20.2	16.7
TR303 maximale Raumlufittemperatur	*	21.7	26.5	21.3	21.8	29.7	26.8	26.2	26.2	27.0	28.7	25.1	29.7

Tabelle 6: Raumlufittemperatur 1. OG Schlafzimmer

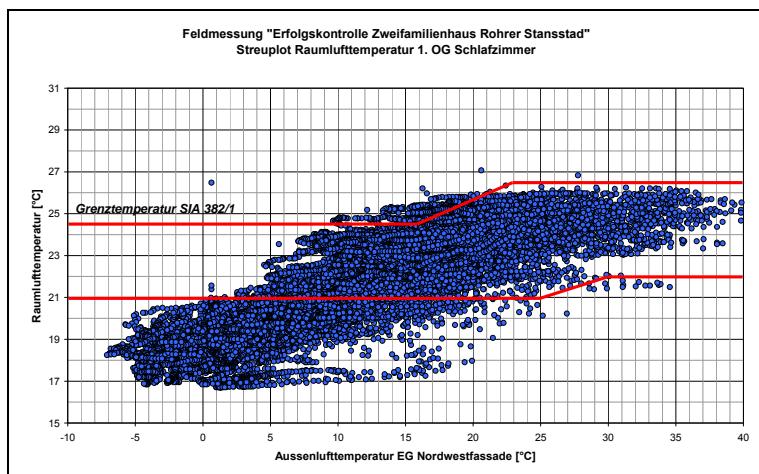


Diagramm 5: Streuplot Raumlufittemperatur 1. OG Schlafzimmer

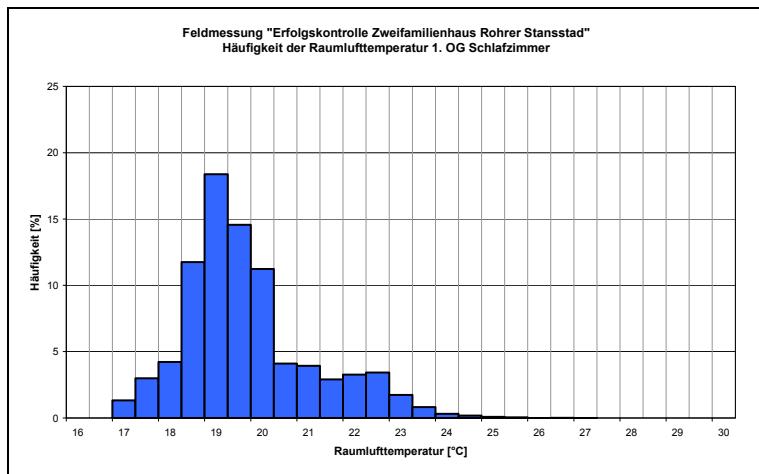


Diagramm 6: Häufigkeit der Raumlufittemperatur 1. OG Schlafzimmer (Okt bis Apr)

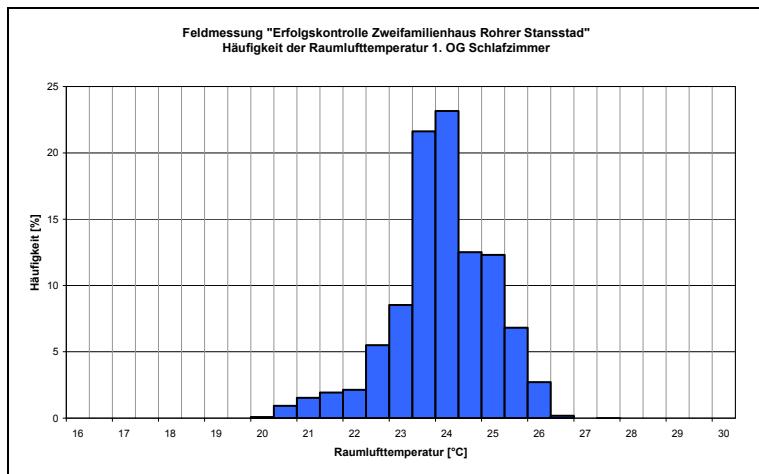


Diagramm 7: Häufigkeit der Raumlufittemperatur 1. OG Schlafzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufstemperatur 1. OG Kinderzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR305 mittlere Raumlufstemperatur	*	19.8	20.0	19.8	19.6	20.9	21.6	23.1	23.8	24.3	24.8	22.7	21.9
TR305 minimale Raumlufstemperatur	*	17.0	17.4	17.3	17.1	18.7	19.4	19.5	21.5	21.8	22.0	20.4	17.0
TR305 maximale Raumlufstemperatur	*	22.6	26.0	22.5	23.5	22.7	25.2	27.0	26.7	26.2	27.5	25.2	27.5

Tabelle 7: Raumlufstemperatur 1. OG Kinderzimmer

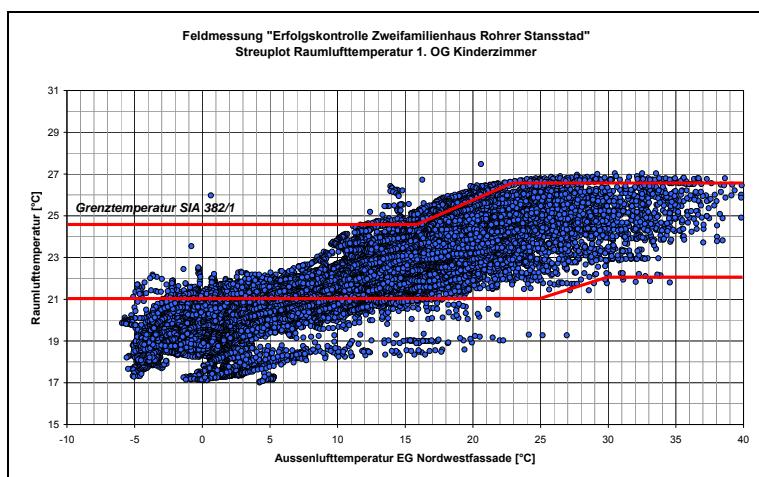


Diagramm 8: Streuplot Raumlufstemperatur 1. OG Kinderzimmer

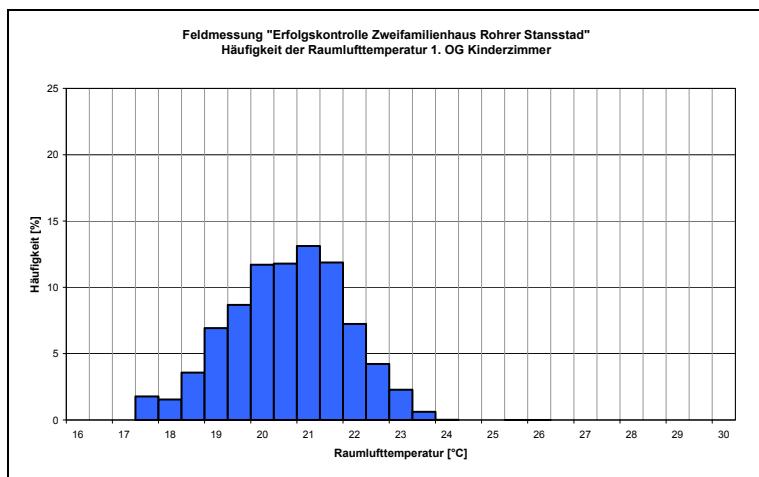


Diagramm 9: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 1. OG Kinderzimmer (Okt bis Apr)

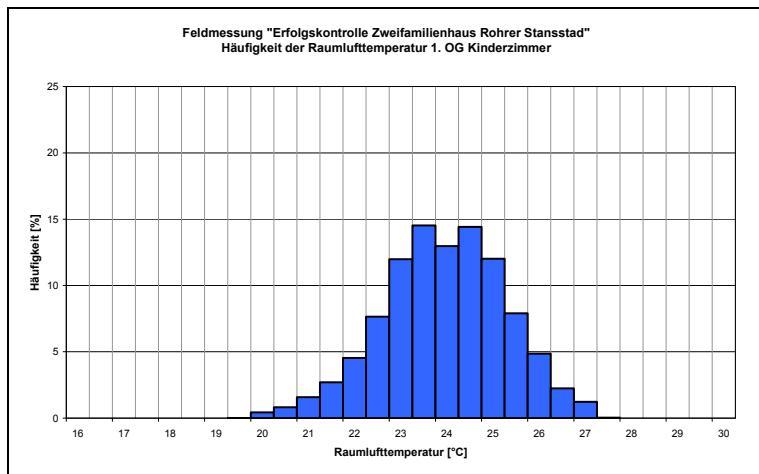


Diagramm 10: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 1. OG Kinderzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufttemperatur 1. OG Entrée

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR307 mittlere Raumlufttemperatur	*	*	19.7	19.1	19.3	20.2	21.9	23.0	23.7	24.1	24.8	23.4	21.9
TR307 minimale Raumlufttemperatur	*	*	17.4	17.5	17.8	18.7	19.9	20.4	22.3	18.9	22.2	20.6	17.4
TR307 maximale Raumlufttemperatur	*	*	25.4	21.4	21.6	23.0	26.4	26.2	26.1	25.8	28.3	25.4	28.3

Tabelle 8: Raumlufttemperatur 1. OG Entrée

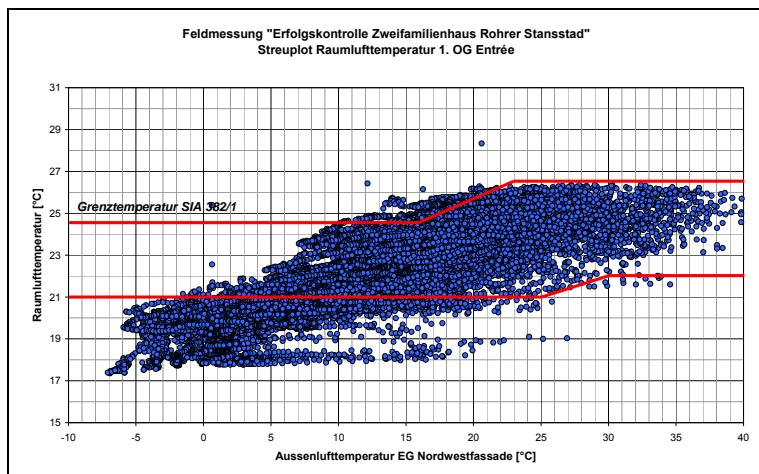


Diagramm 11: Streuplot Raumlufttemperatur 1. OG Entrée

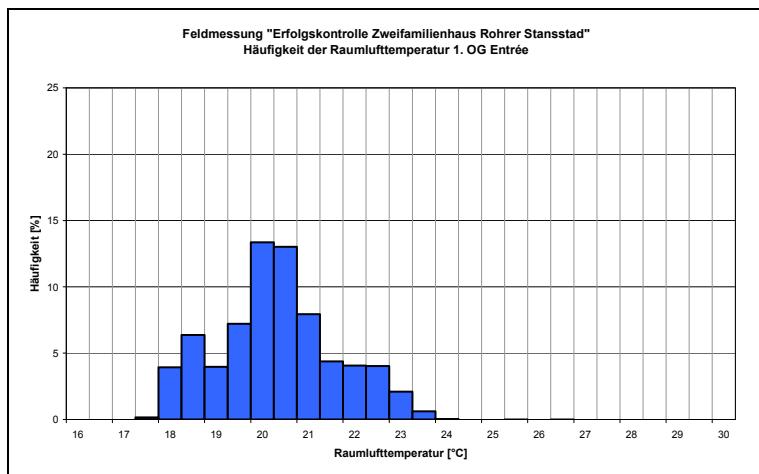


Diagramm 12: Häufigkeit der Raumlufttemperatur 1. OG Entrée (Okt bis Apr)

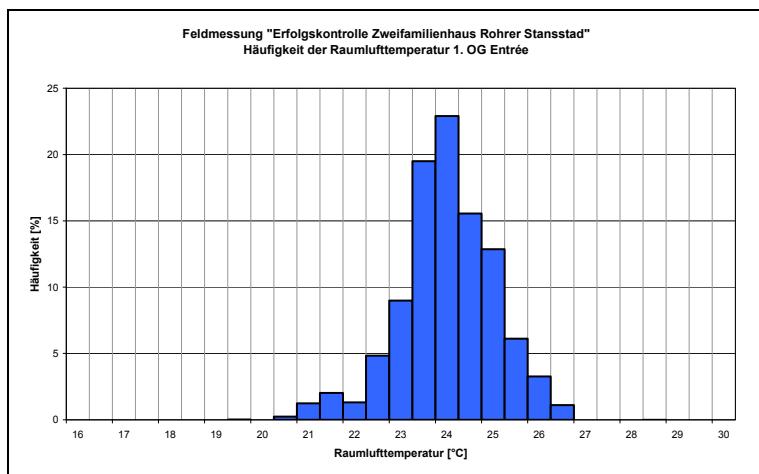


Diagramm 13: Häufigkeit der Raumlufttemperatur 1. OG Entrée (Mai bis Sep)

Raumlufstemperatur 2. OG Wohnzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR401 mittlere Raumlufstemperatur	21.2	21.6	21.5	21.9	21.3	21.5	22.7	23.2	22.9	23.6	24.2	23.4	22.4
TR401 minimale Raumlufstemperatur	19.0	20.0	20.3	20.6	18.8	19.7	20.1	19.6	20.1	19.9	20.4	20.6	18.8
TR401 maximale Raumlufstemperatur	24.9	25.5	25.9	26.8	26.5	26.9	28.2	27.5	28.6	26.5	28.7	25.4	28.7

Tabelle 9: Raumlufstemperatur 2. OG Wohnzimmer

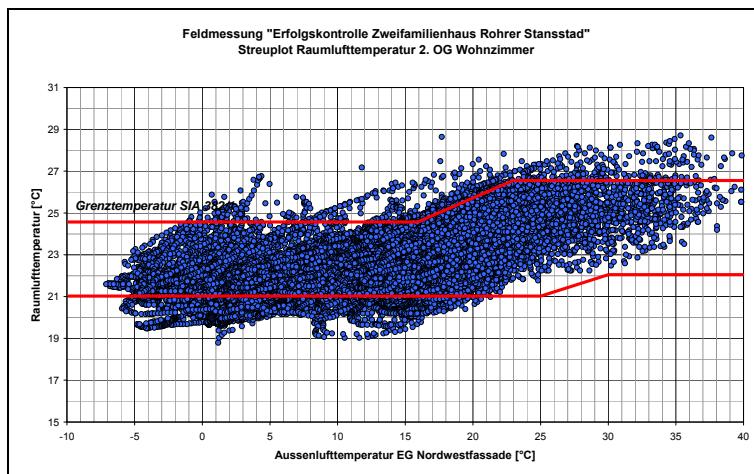


Diagramm 14: Streuplot Raumlufstemperatur 2. OG Wohnzimmer

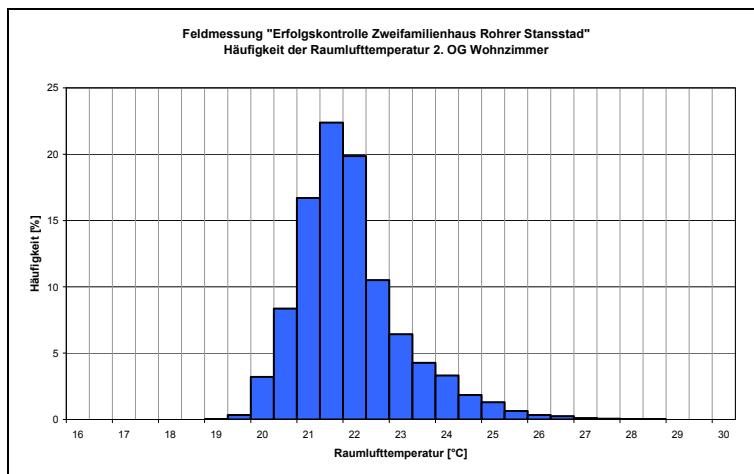


Diagramm 15: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Wohnzimmer (Okt bis Apr)

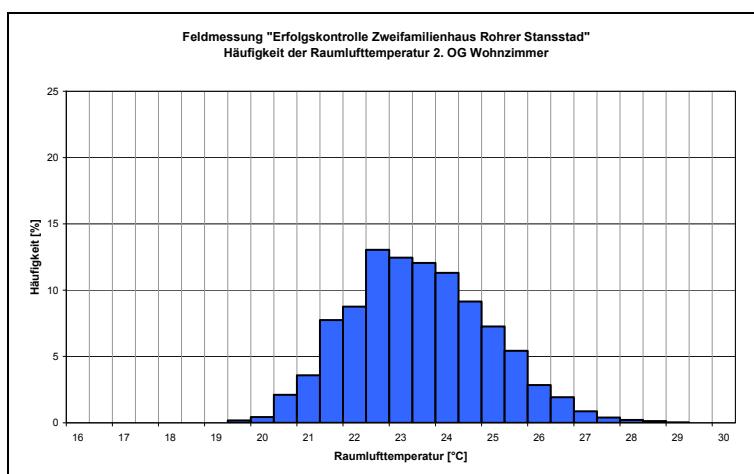


Diagramm 16: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Wohnzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufstemperatur 2. OG Schlafzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR403 mittlere Raumlufstemperatur	*	21.1	21.3	21.7	21.4	21.5	23.0	23.8	23.7	24.4	24.9	22.9	22.7
TR403 minimale Raumlufstemperatur	*	19.6	17.6	20.4	19.8	20.0	19.1	21.2	20.9	21.2	21.9	20.0	17.6
TR403 maximale Raumlufstemperatur	*	23.3	26.1	23.6	23.2	23.9	26.8	27.8	30.0	27.7	27.5	27.6	30.0

Tabelle 10: Raumlufstemperatur 2. OG Schlafzimmer

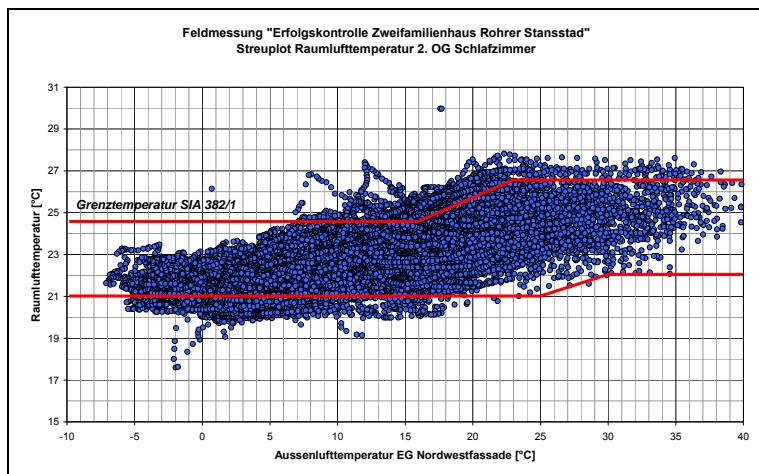


Diagramm 17: Streuplot Raumlufstemperatur 2. OG Schlafzimmer

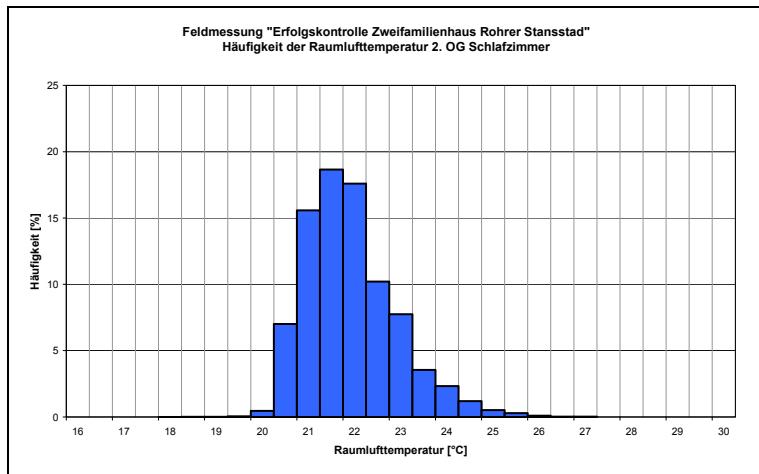


Diagramm 18: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Schlafzimmer (Okt bis Apr)

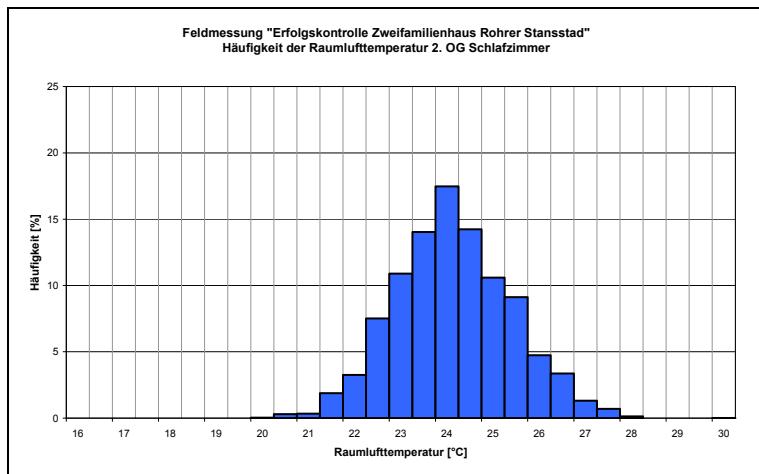


Diagramm 19: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Schlafzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufstemperatur 2. OG Kinderzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR405 mittlere Raumlufstemperatur	*	20.5	20.8	21.3	20.9	21.6	22.7	23.4	23.0	23.2	24.1	22.5	22.2
TR405 minimale Raumlufstemperatur	*	13.0	16.8	15.4	16.6	17.6	19.3	20.3	19.1	19.2	20.0	19.7	13.0
TR405 maximale Raumlufstemperatur	*	24.1	24.5	23.2	23.6	25.1	26.2	27.1	29.1	26.7	27.7	25.6	29.1

Tabelle 11: Raumlufstemperatur 2. OG Kinderzimmer

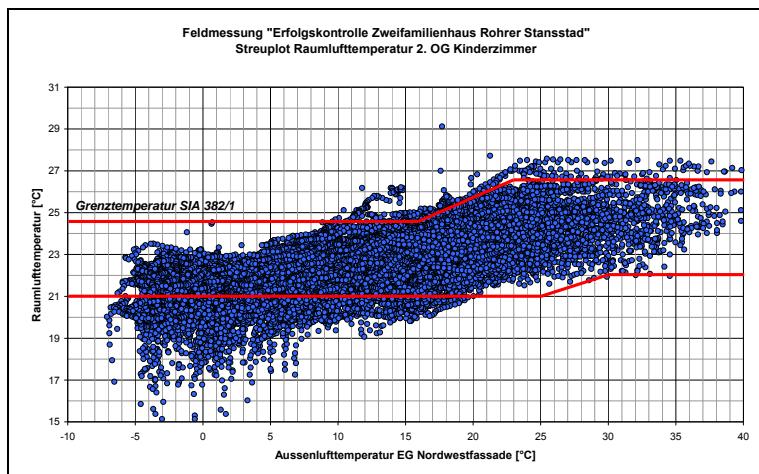


Diagramm 20: Streuplot Raumlufstemperatur 2. OG Kinderzimmer

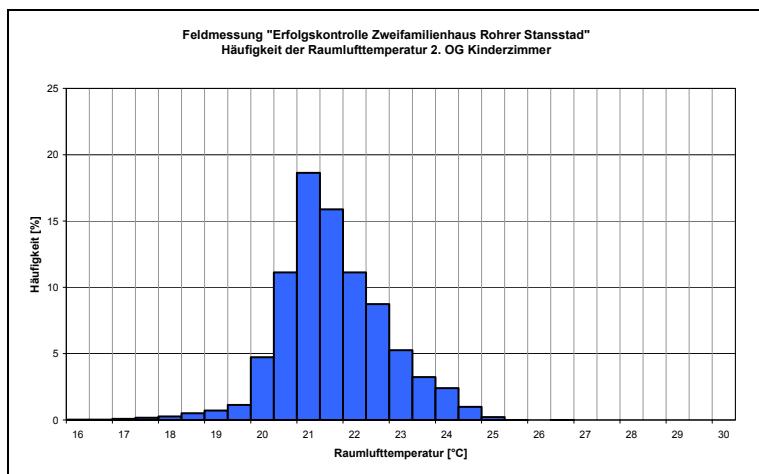


Diagramm 21: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Kinderzimmer (Okt bis Apr)

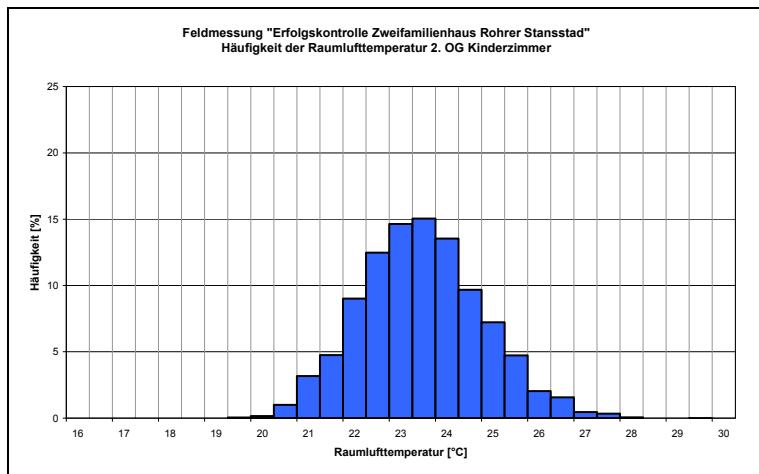


Diagramm 22: Häufigkeit der Raumlufstemperatur 2. OG Kinderzimmer (Mai bis Sep)

Raumlufittemperatur 2. OG Entrée

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	°C	°C											
TR407 mittlere Raumlufittemperatur	*	21.0	21.2	21.5	21.1	21.5	22.6	23.3	23.3	24.0	24.6	22.5	22.4
TR407 minimale Raumlufittemperatur	*	20.3	20.3	20.5	19.9	20.2	20.4	20.3	20.7	21.1	20.9	19.7	19.7
TR407 maximale Raumlufittemperatur	*	22.6	25.4	23.8	23.9	24.2	26.0	27.8	30.2	27.6	28.9	27.2	30.2

Tabelle 12: Raumlufittemperatur 2. OG Entrée

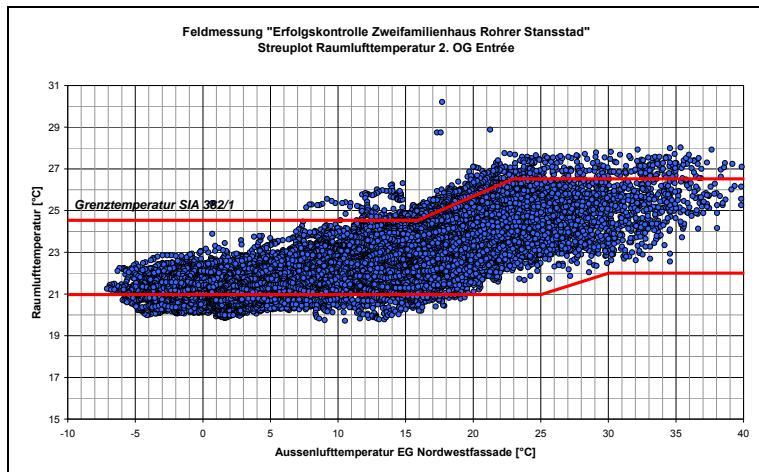


Diagramm 23: Streuplot Raumlufittemperatur 2. OG Entrée

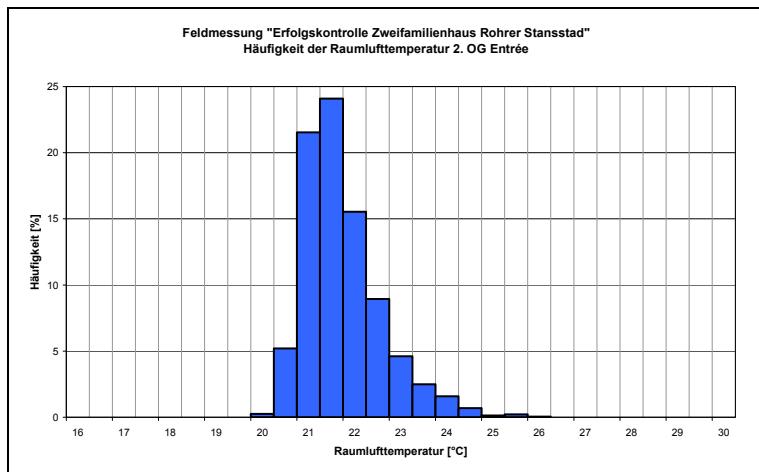


Diagramm 24: Häufigkeit der Raumlufittemperatur 2. OG Entrée (Okt bis Apr)

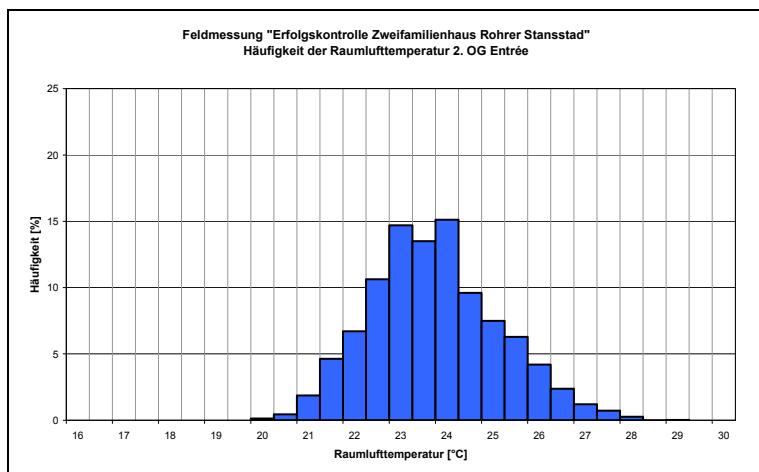


Diagramm 25: Häufigkeit der Raumlufittemperatur 2. OG Entrée (Mai bis Sep)

Raumlufstemperatur EG Treppenhaus

	Okt 08 °C	Nov 08 °C	Dez 08 °C	Jan 09 °C	Feb 09 °C	Mrz 09 °C	Apr 09 °C	Mai 09 °C	Jun 09 °C	Jul 09 °C	Aug 09 °C	Sep 09 °C	
TR901 mittlere Raumlufstemperatur	*	*	16.6	15.8	15.8	16.5	17.9	19.6	20.8	21.7	22.6	21.5	18.9
TR901 minimale Raumlufstemperatur	*	*	16.1	14.9	15.3	15.2	16.4	17.8	19.8	20.5	21.6	20.9	14.9
TR901 maximale Raumlufstemperatur	*	*	17.2	16.5	21.8	20.0	23.3	21.5	24.6	22.7	26.8	22.5	26.8

Tabelle 13: Raumlufstemperatur EG Treppenhaus

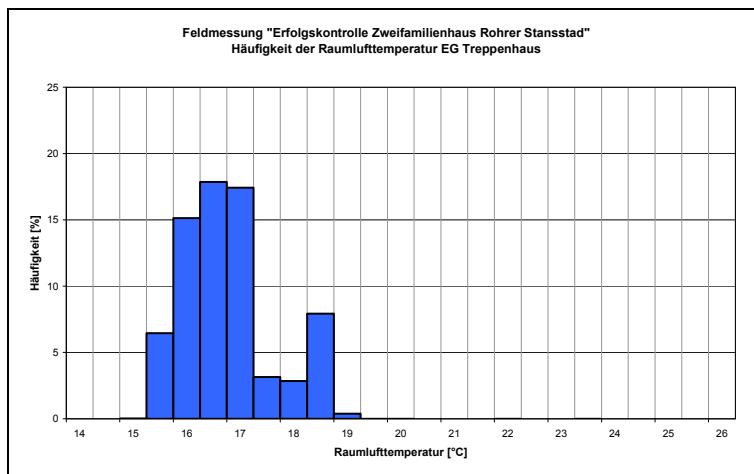


Diagramm 26: Häufigkeit der Raumlufstemperatur EG Treppenhaus (Okt bis Apr)

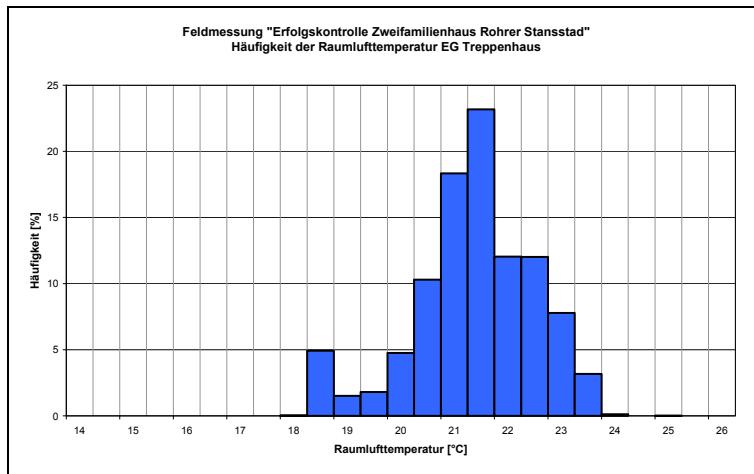


Diagramm 27: Häufigkeit der Raumlufstemperatur EG Treppenhaus (Mai bis Sep)

Die Raumlufstemperatur betrug während der Heizperiode (10. Oktober 2008 bis 22. April 2009) im 1. und 2. Obergeschoss durchschnittlich 20.9°C. Im 1. Obergeschoss betrug die mittlere Raumlufstemperatur während der Heizperiode 20.2°C, im 2. Obergeschoss lag sie um 1.3°C höher als im 1. Obergeschoss bei 21.5°C.

5.3. relative Raumluftfeuchtigkeit

Raumluftfeuchte 1. OG Wohnzimmer

	Okt 08 %	Nov 08 %	Dez 08 %	Jan 09 %	Feb 09 %	Mrz 09 %	Apr 09 %	Mai 09 %	Jun 09 %	Jul 09 %	Aug 09 %	Sep 09 %	
TR101 mittlere Raumluftfeuchte	48.6	49.3	51.1	51.2	47.3	45.1	41.6	49.5	51.7	57.9	58.0	53.9	50.4
TR101 minimale Raumluftfeuchte	37.9	28.0	34.0	35.5	29.4	35.3	25.7	34.3	35.1	41.3	39.4	33.1	25.7
TR101 maximale Raumluftfeuchte	59.6	59.4	70.3	62.0	55.3	52.8	52.9	58.5	68.2	69.0	83.3	65.3	83.3

Tabelle 14: Raumluftfeuchtemessung 1. OG Wohnzimmer

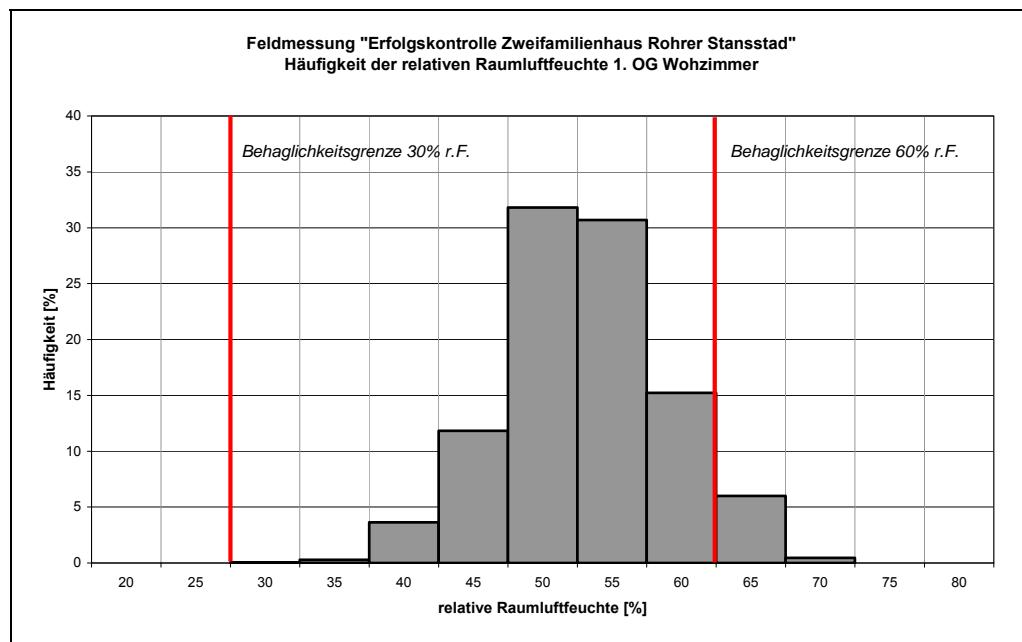


Diagramm 28: Häufigkeit der Raumluftfeuchtemessung 1. OG Wohnzimmer

Raumluftfeuchte 2. OG Wohnzimmer

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
TR103 mittlere Raumluftfeuchte	49.7	44.5	43.2	40.6	39.3	39.4	39.4	46.7	51.7	57.3	58.9	55.9	47.2
TR103 minimale Raumluftfeuchte	35.8	33.8	34.5	33.7	32.5	32.4	28.8	33.2	36.2	42.3	45.0	40.3	28.8
TR103 maximale Raumluftfeuchte	59.6	50.9	50.8	44.8	48.5	46.8	43.9	60.0	64.4	73.8	67.6	65.8	73.8

Tabelle 15: Raumluftfeuchtemessung 2. OG Wohnzimmer

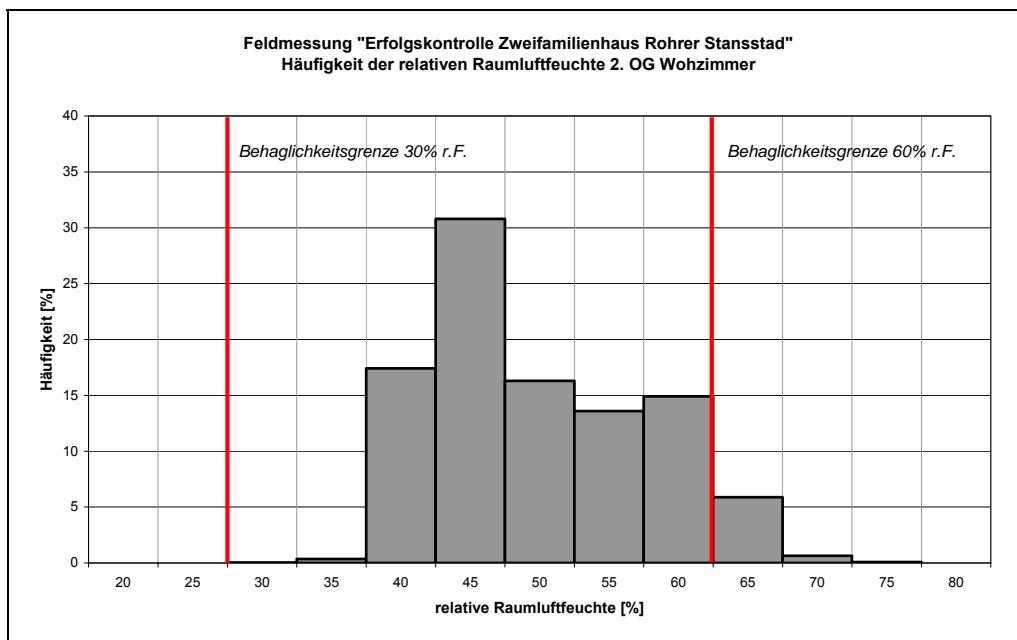


Diagramm 29: Häufigkeit der Raumluftfeuchtemessung 2. OG Wohnzimmer

Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit während der Heizperiode (10. Oktober 2008 bis 22. April 2009) betrug im Wohnzimmer des 1. OG 48% r.F. und im Wohnzimmer des 2. OG 43% r.F.. Die Behaglichkeitsgrenze von 30% r.F. [SIA 382/1] wurde in dieser Zeit an 4 Stunden im 1. OG bzw. 1 Stunde im 2. OG unterschritten. In den Sommermonaten lag die relative Luftfeuchtigkeit 265 Stunden im 1. OG und 579 Stunden im 2. OG über der Behaglichkeitsgrenze von 60% r.F. [SIA 382/1].

5.4. Warmwasserverbrauch

	Okt 08 Liter	Nov 08 Liter	Dez 08 Liter	Jan 09 Liter	Feb 09 Liter	Mrz 09 Liter	Apr 09 Liter	Mai 09 Liter	Jun 09 Liter	Jul 09 Liter	Aug 09 Liter	Sep 09 Liter	Total Liter
Fl803	5'151	6'827	5'924	5'487	4'768	5'312	5'230	5'292	4'644	3'999	3'387	3'947	59'969
Fl804	2'696	3'302	2'763	2'776	2'444	2'560	2'292	2'183	1'981	1'985	1'977	1'885	28'845

Tabelle 16: Warmwasserverbrauch 1. OG und 2. OG

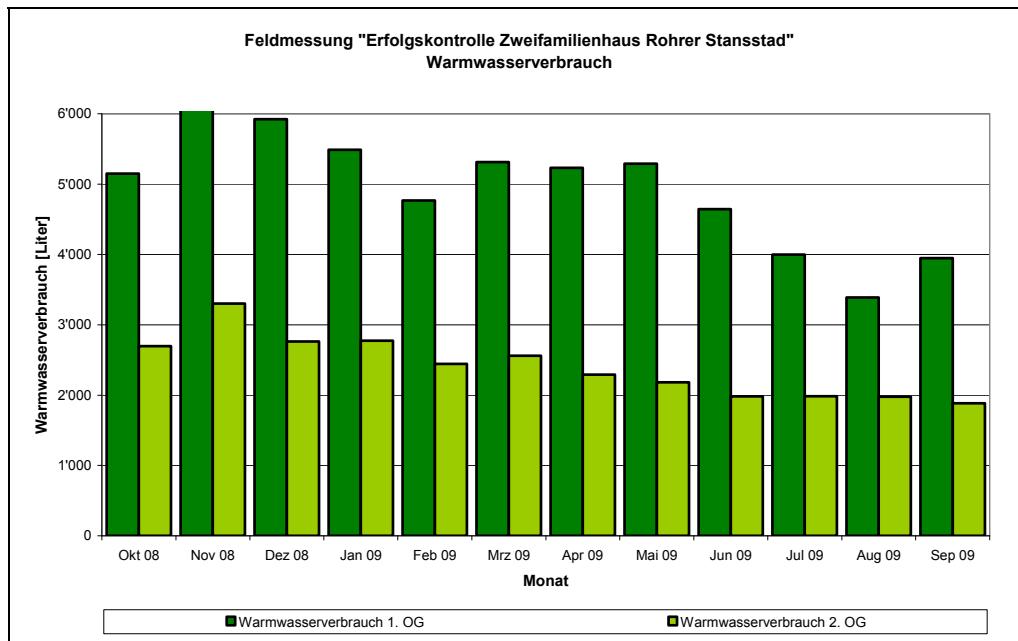


Diagramm 30: Warmwasserverbrauch 1. OG und 2. OG

Der tägliche Warmwasserverbrauch des Zweifamilienhauses mit zwei Erwachsenen im 2. Obergeschoss und zwei Erwachsenen mit zwei Kleinkindern im 1. Obergeschoß liegt bei 40.5 Litern pro Tag und Person, was im Normverbrauch liegt. Der Verbrauch von Warmwasser ist in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.

5.5. Energiebedarf Raumheizung und Warmwasser

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	Total
	kWh	kWh											
UR503 Heizenergie Raumheizung	685*	1081*	1081	1849	1260	1172	197	1	0	3	0	4	7333
UR602 Heizenergie Warmwasseraufbereitung	540*	565*	614	666	496	503	224	180	206	124	47	252	4417
UR703 Heizenergie Solarkreislauf	143	118	67	62	83	184	516	511	411	174	222	227	2718

Tabelle 17: Energiebedarf

*keine Messdaten ->Abschätzung

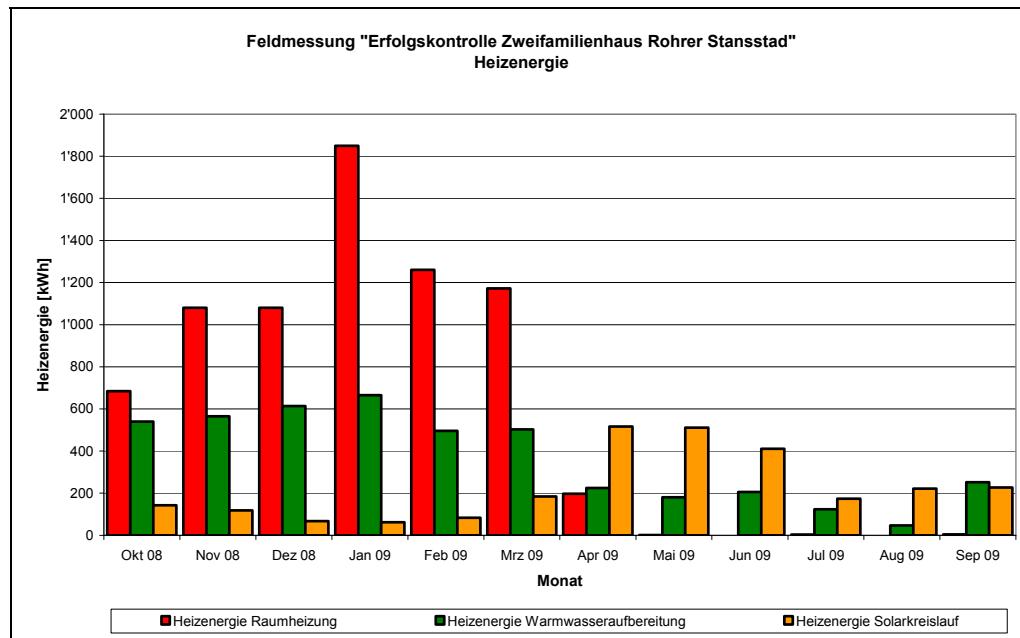


Diagramm 31: Monatsverteilung Energiebedarf

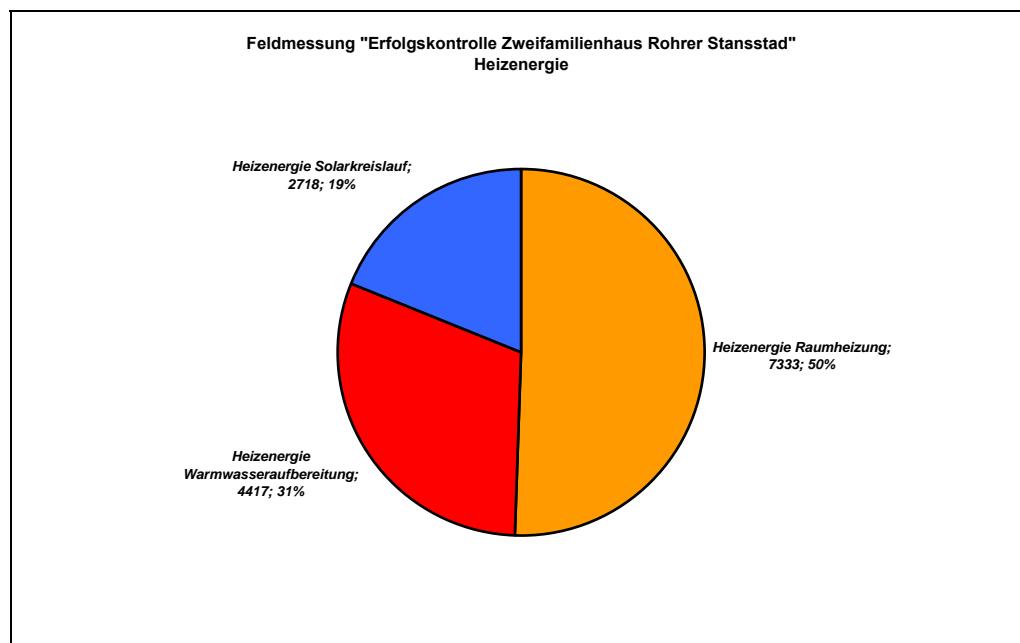


Diagramm 32: Aufteilung Energiebedarf

Da in den Messperioden Okt/Nov 2008 keine Messdaten vorliegen, wurde eine Abschätzung vorgenommen.

Für das Gebäude wurde gemäss Minergie-P Antrag ein effektiver Heizwärmebedarf von 16,9 kWh/m²a ausgewiesen. Rechnet man den Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 bei gleichbleibenden Parametern für eine Raumtemperatur von 21°C statt 20°C aus, erhält man einen effektiven Heizwärmebedarf von 18.9 kWh/m²a. Der nun in der Feldmessung gemessene effektive Heizwärmebedarf von 19,7 kWh/m²a bezieht sich auf eine über das 1. und 2. Obergeschoss gemittelte Raumlufttemperatur von 20.9°C. Im Vergleich zur Berechnung liegt der reale effektive Heizwärmebedarf um ca. 4% höher.

Der gemessene Energiebedarf für Warmwasser beträgt 7135 kWh/a bzw. 19.1 kWh/m² und ist in etwa gleich gross wie für die Raumheizung. Mit der Solaranlage konnten dabei ca. 38% des Bedarfs gedeckt werden. Verglichen mit dem Standardnutzungswert nach SIA 380/1 für den Wärmebedarf für Warmwasser (Wohnen EFH) von 50 MJ/m² bzw. 13.9 kWh/m² ist der effektive Bedarf ca. 38% höher.

Die Energieberatungen gehen von einem Wärmebedarf von 1000 kWh/a pro Person aus. Auch dieser Wert wird mit einem gemessenen Verbrauch pro Person von 1186 kWh/a um ca. 19% überschritten.

Um den Energiebedarf für Warmwasser und Heizung von 11750 kWh (ohne Solaranlage) zu decken, müsste, bei einem Wirkungsgrad des Pelletkessels von 0.65 und einem Heizwert der Pellets von 4.9 kWh/kg, theoretisch eine Pelletmenge 3689 kg verbrannt worden sein. Gemäss Angaben der Bewohner lag die verbrauchte Menge für den Zeitraum der Messungen in etwa bei 3700 kg.

5.6. Elektrischer Energiebezug der Hilfsenergien

		Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	Total
		kWh	kWh											
EI704	el. Energiebezug Solarkreislauf	8	6	2	3	5	8	11	13	14	13	11	10	105
EI504	el. Energiebezug Pelletkessel (HT+WW)	38	63	77	82	67	57	36	19	10	11	18	19	497
EI209	el. Energiebezug Luftaufbereitung	82	102	92	94	81	81	67	56	45	42	45	56	842

Tabelle 18: elektrischer Energiebezug der Hilfsenergien

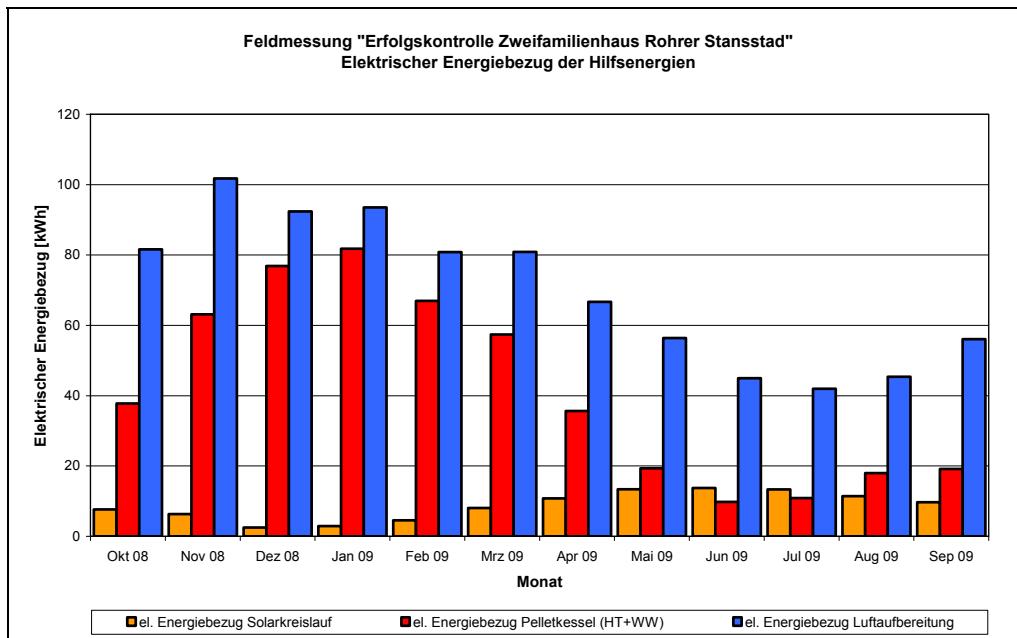


Diagramm 33: Monatsverteilung elektrischer Energiebezug der Hilfsenergien



Diagramm 34: Aufteilung elektrischer Energiebezug der Hilfsenergien

Die totale Leistungsaufnahme aller Hilfsgeräte wie Pumpen, Ventilatoren und Steuerung/Regelung liegt während über die ganze Messperiode bei 1'443 kWh/a.

5.7. Typischer Tagesverlauf im Winter

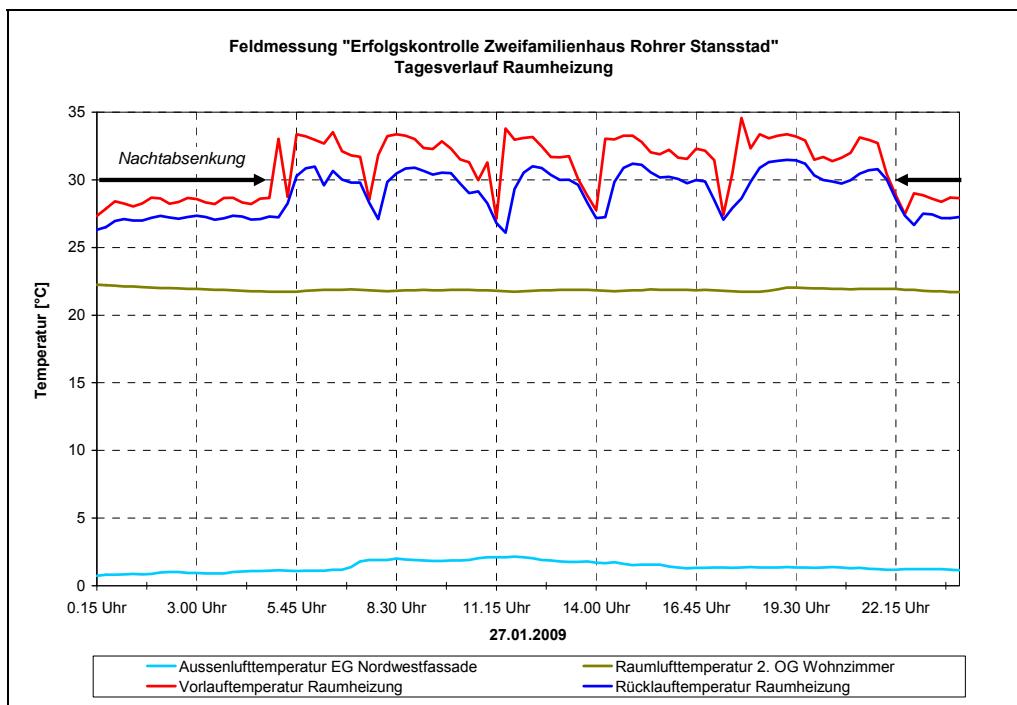


Diagramm 35: typischer Tagesverlauf im Winter der Raumheizung

Die gemessenen Vorlauftemperaturen der Raumheizung liegen bei Heizbetrieb zwischen 25°C und 35°C mit einer Temperaturdifferenz zum Rücklauf von 2-3 K. Die Vorlauftemperatur wird Aussenlufttemperaturabhängig gemäss einer Heizkurve vorgegeben. Die Raumtemperatur wird zusätzlich mit Thermostatventilen an den Heizkörpern in den Wohnungen reguliert.

Gut ersichtlich ist die Nachtabsenkung ab ca. 22.30 Uhr bis ca. 05.00 Uhr mit gemessenen Vorlauftemperaturen von 28°C bis 29 °C und einer Temperaturdifferenz zum Rücklauf von 1-2 K. Jedoch hat die Nachtabsenkung keinen reduzierenden Einfluss auf die Raumlufttemperatur. Eventuell könnte die Heizungsanlage noch energiesparender betrieben werden, wenn die Nachtabsenkung versuchsweise noch tiefer eingestellt oder die Heizungsanlage ganz abgestellt wird.

Bei der tiefstgemessenen Aussenlufttemperatur an der Nordfestfassade von -7.1°C erreichte die Vorlauftemperatur der Raumheizung einen maximalen Wert von 36°C. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Vorlauftemperatur der Raumheizung bei Auslegungstemperatur ideal eingestellt ist.

5.8. Typischer Tagesverlauf Warmwasseraufbereitung an einem Frühsommertag

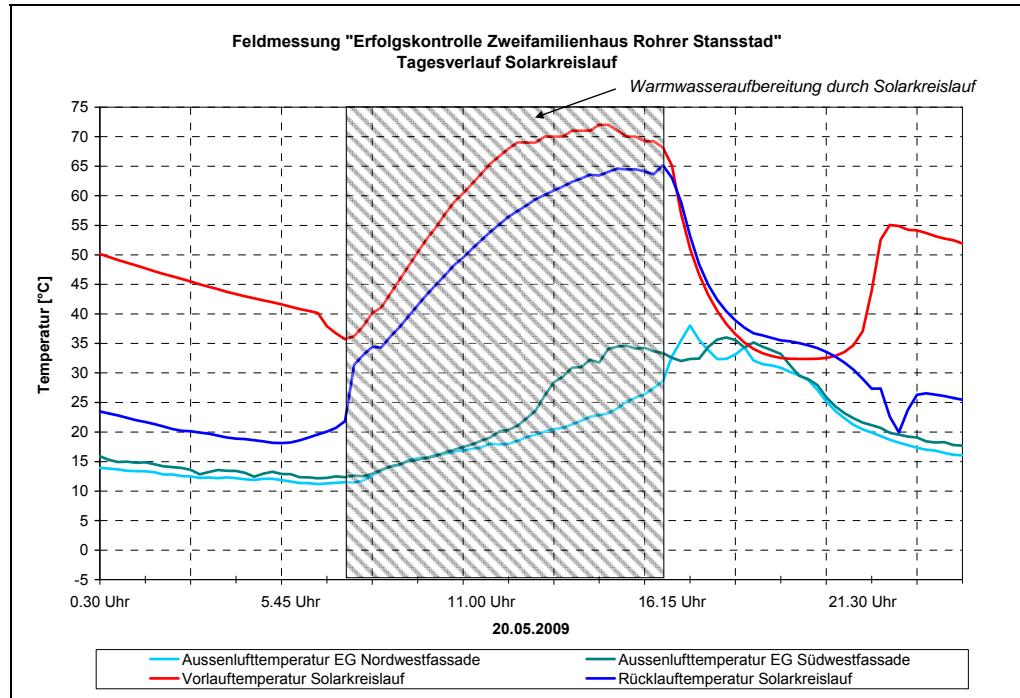


Diagramm 36: typischer Tagesverlauf an einem Frühsommertag des Solarkreislaufs

An diesem Frühsommertag deckte die Kollektoranlage 100% des Energiebedarfs für die Warmwasseraufbereitung und die Pelletheizung musste nicht zusätzlich eingeschaltet werden

5.9. Typischer Tagesverlauf Warmwasseraufbereitung an einem Spätsommertag

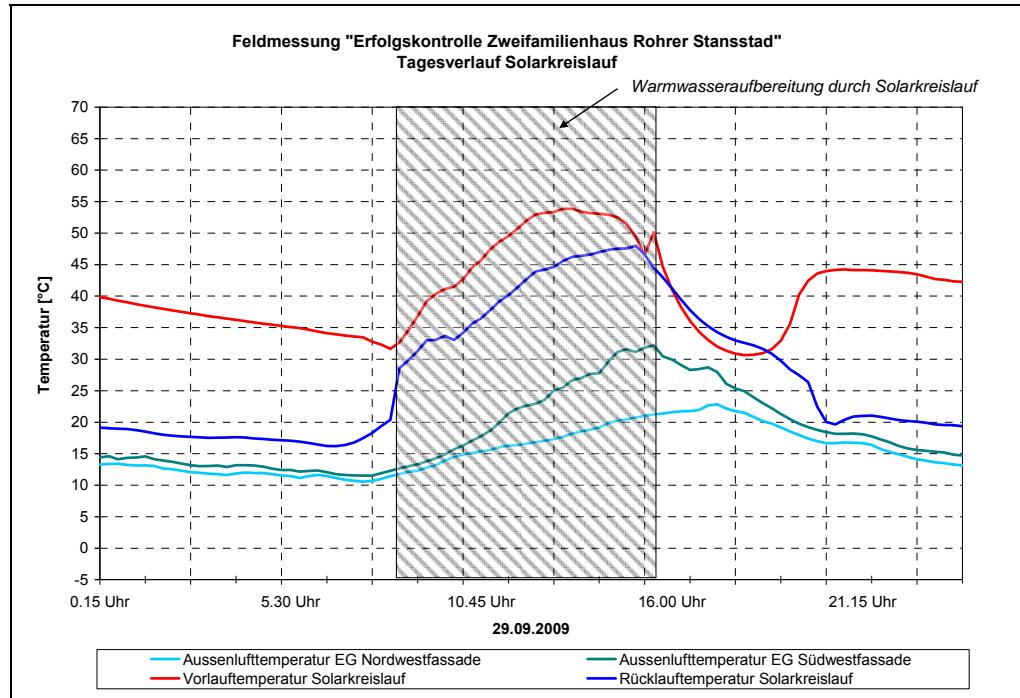


Diagramm 37: typischer Tagesverlauf an einem Spätsommertag des Solarkreislaufs

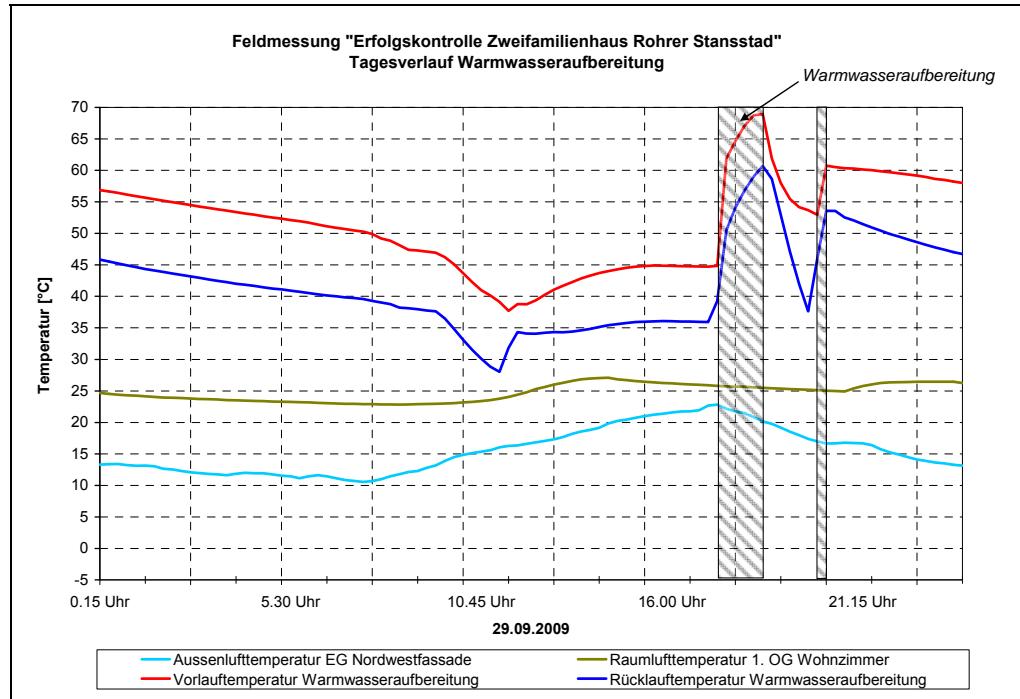


Diagramm 38: typischer Tagesverlauf an einem Spätsommertag der Warmwasseraufbereitung

Ein grosser Teil des Warmwassers wird über die Solaranlage aufbereitet. Jedoch wird zusätzlich am späteren Nachmittag der Pelletkessel für die zusätzliche Erwärmung des Warmwasserspeichers eingeschaltet. An diesem Spätsommertag deckte die Kollektoranlage 68% des Energiebedarfs für die Warmwasseraufbereitung.

5.10. Temperatur- und Feuchtemessung der Lüftung an einem Wintertag

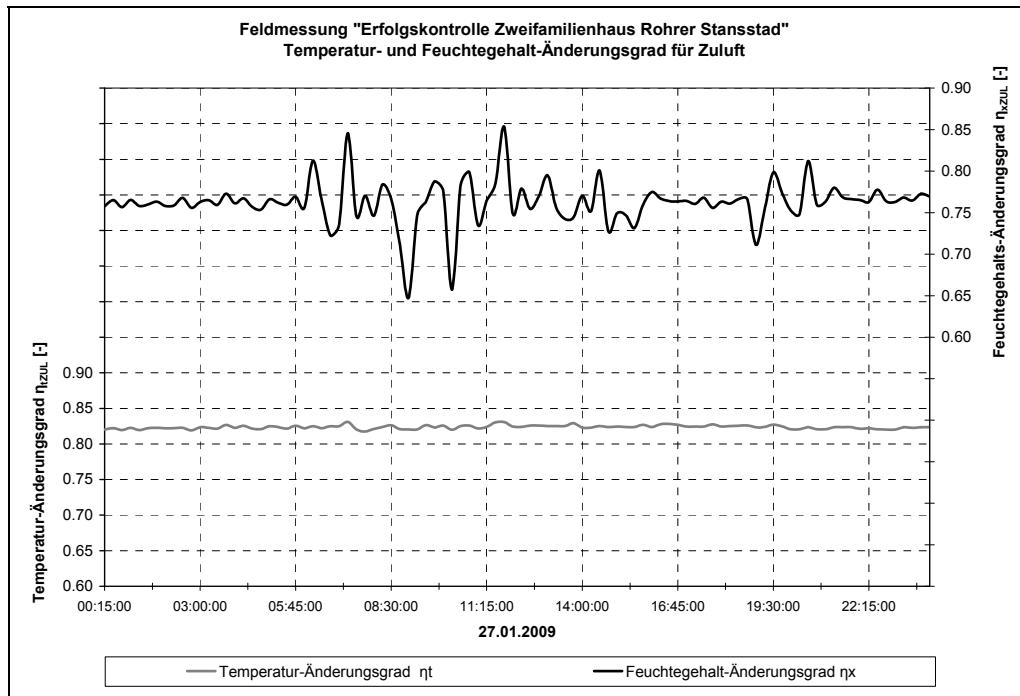


Diagramm 39: Änderungsgrad für Zuluft an einem typischen Wintertag

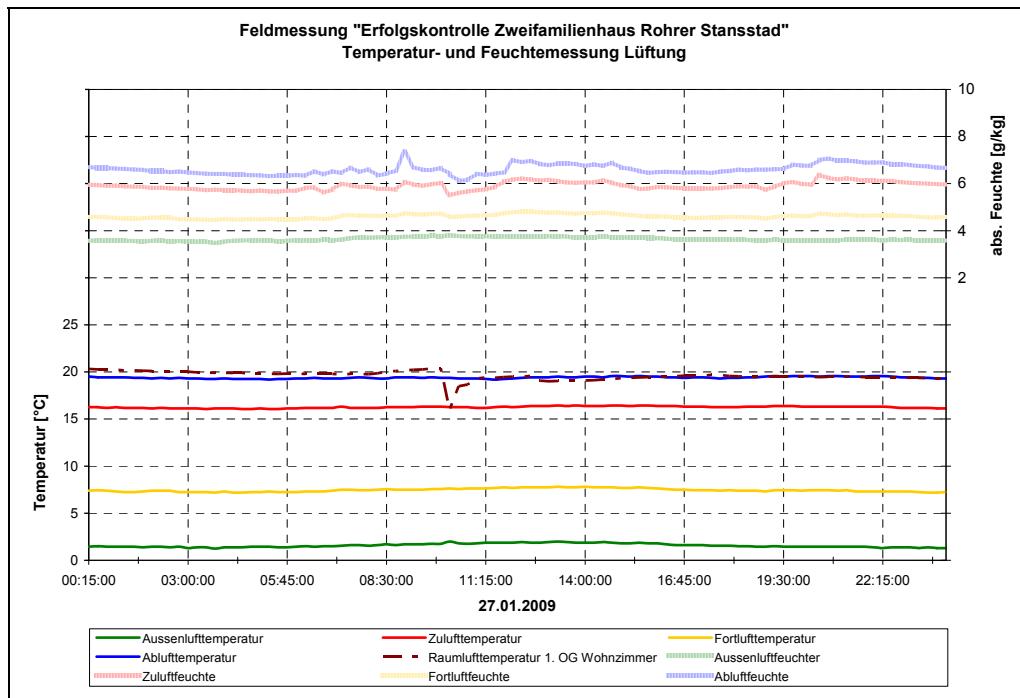


Diagramm 40: Temperatur- und Feuchteverlauf an einem typischen Wintertag

Dank dem Enthalpierotationstauscher, welcher im Wohnungslüftungsgerät eingebaut ist, kann an einem typischen Wintertag die Außenluft um ca. 2.3 g/kg befeuchtet und eine um ca. 15 K erwärmt werden. Dies ergibt einen mittleren Feuchte-Änderungsgrad von 76% und einen mittleren Temperaturänderungsgrad von 82%. Sehr gut zu erkennen ist um ca. 10.00 Uhr eine kurze Stosslüftung im Wohnzimmer des 1. Obergeschosses. Die Außenluft wird an der Dachuntersicht angesogen und im unbeheizten Estrich in einer gedämmten, ca. 10 m langen Leitung zum Lüftungsgerät geführt.

5.11. Temperatur- und Feuchtemessung der Lüftung an einem Spätsommertag

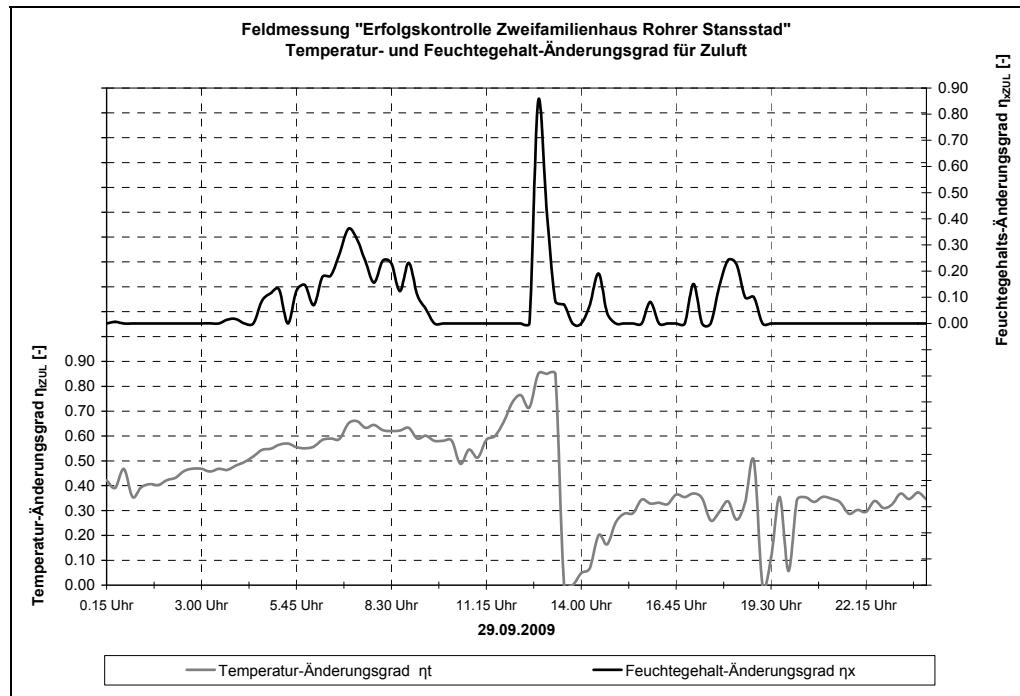


Diagramm 41: Änderungsgrad für Zuluft an einem typischen Spätsommertag

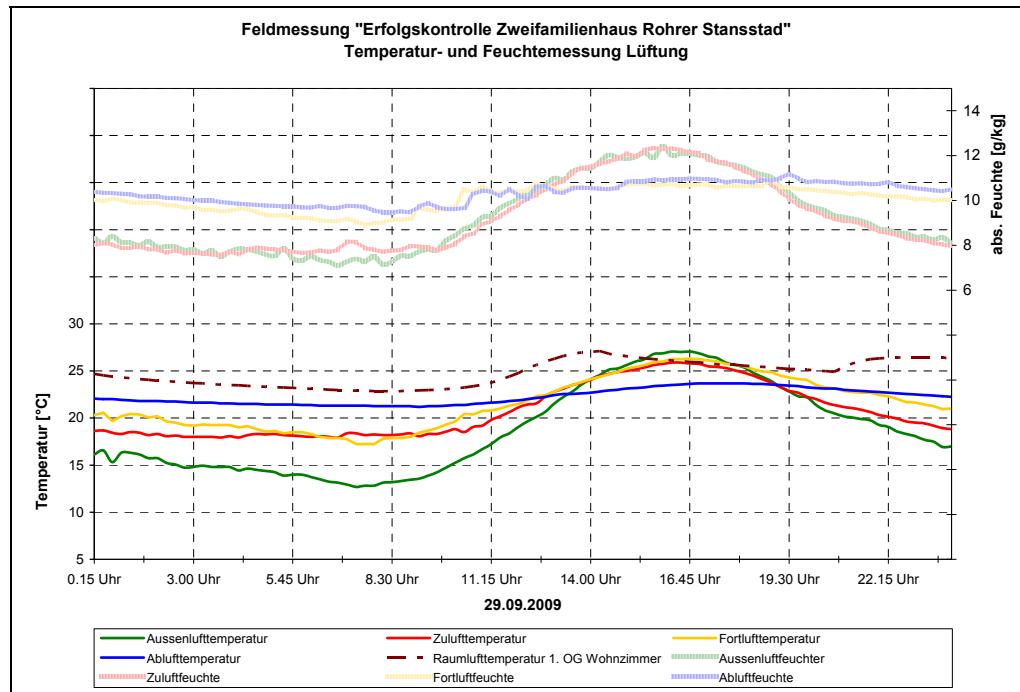


Diagramm 42: Temperatur- und Feuchteverlauf an einem typischen Spätsommertag

Im Sommer ist es meist nicht sinnvoll die Aussenluft zusätzlich zu befeuchten und aufzuheizen. Die Übertragung der Feuchte und Wärme wird durch reduzierten Rotordrehzahl eingeschränkt und die Feuchte- und Temperatur-Änderungsgrad sinken gegen 0 %.

Am Beispieltag steigt aufgrund direkter Sonneneinstrahlung kurz vor der Mittagszeit die Raumlufttemperatur stark an. Dank der WRG wird die Aussenlufttemperatur über die WRG um ca. 2 K gekühlt.

5.12. Einfluss der Aussen- auf die Raumlufttemperatur

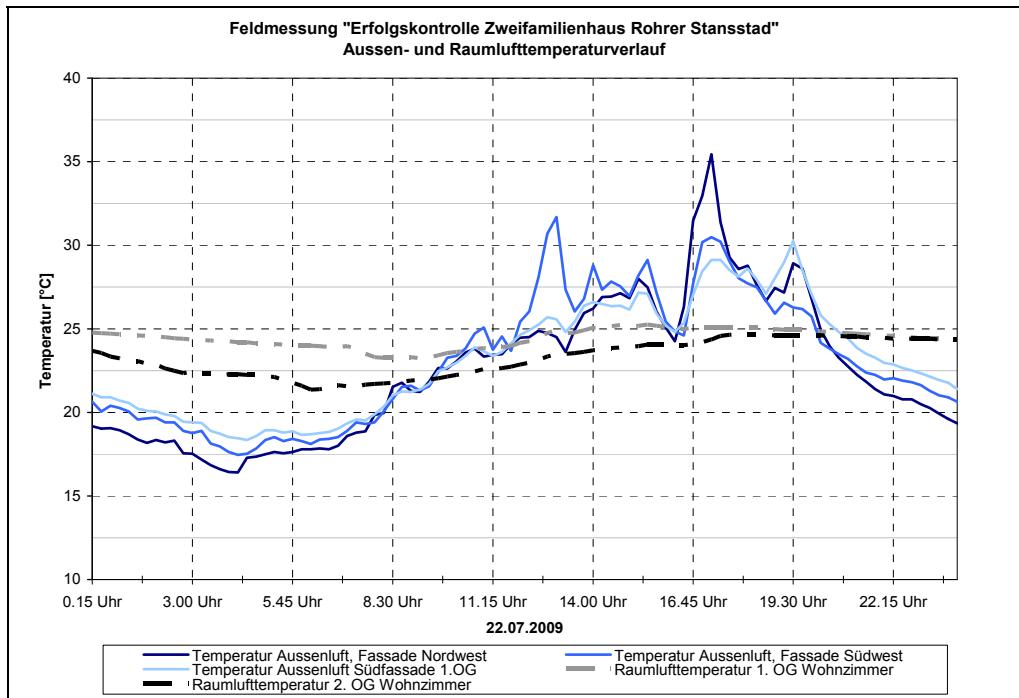


Diagramm 43: Aussen- und Temperaturverlauf an einem Sommertag

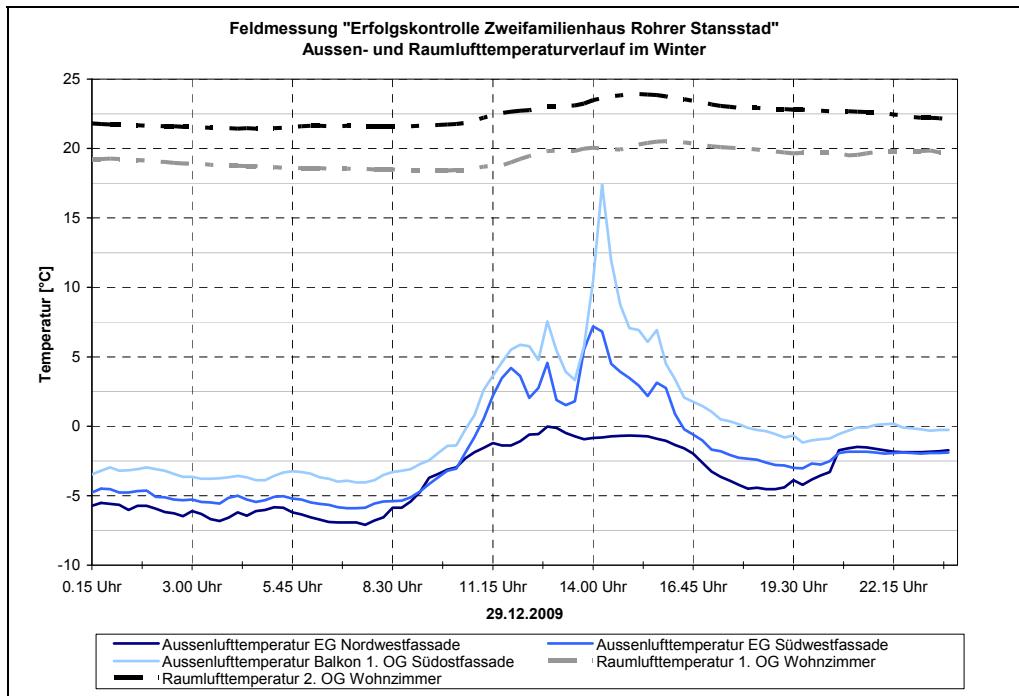


Diagramm 44: Aussen- und Temperaturverlauf an einem Wintertag

In diesen zwei Diagrammen ist der Einfluss der Aussenlufttemperatur auf die Raumlufttemperatur dargestellt. Ab ca. 9:00 Uhr ist die Aussenlufttemperatur höher als die Raumtemperatur. Im 1. OG steigt die Raumtemperatur darauf hin während ca. 4 - 5 Stunden um ca. 4 K an und bleibt dann rel. konstant, trotz höhere Aussenlufttemperatur, bei ca. 25°C. Der Temperaturanstieg im 2.OG verläuft einiges träger und erreicht erst gegen Abend den Spitzenwert. von knapp 25 °C. Im Gegensatz zur Familie im 1. OG sind die Bewohner im 2. OG arbeitstätig und die Wohnung ist an Werktagen in der Regel leer. Während der Heizperiode sind die Temperaturverläufe in beiden Wohnungen vergleichbar. und der Einfluss der Aussentemperatur ist deutlich geringer.

5.13. CO₂-Konzentrationsmessung

	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	
	ppm	ppm											
QR409 mittlere CO ₂ -Konzentration	640	640	*	572	573	482	534	653	626	616	549	660	595
QR409 minimale CO ₂ -Konzentration	291	291	*	306	301	274	248	313	280	292	302	308	248
QR409 maximale CO ₂ -Konzentration	1059	1059	*	1377	892	1247	1268	1138	1071	994	1019	1672	1672

Tabelle 19: CO₂-Konzentrationsmessung 1. OG Wohnzimmer

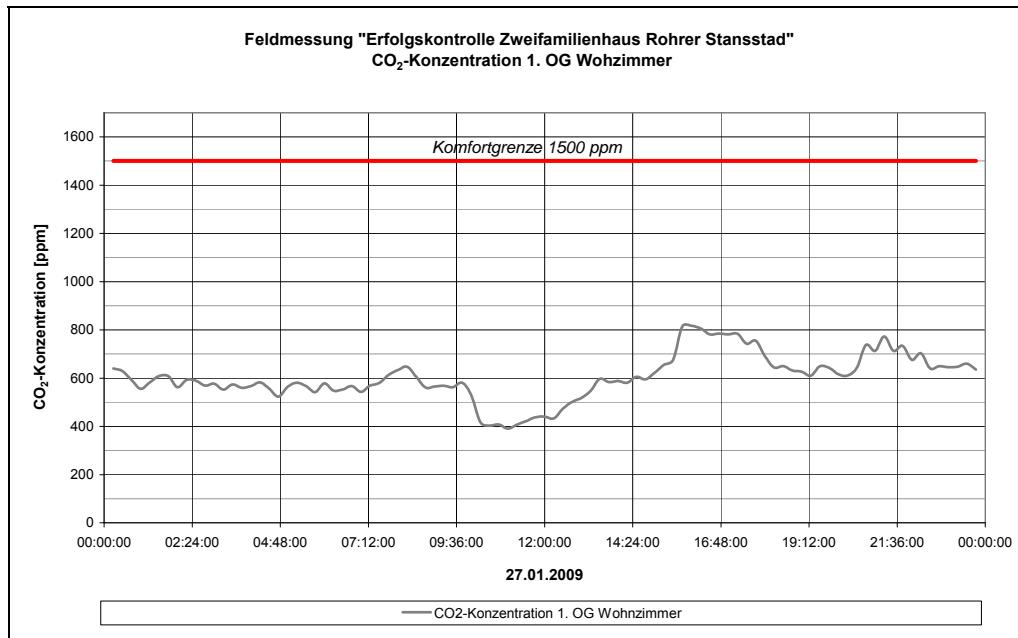


Diagramm 45: Tagesverlauf CO₂-Konzentration 1. OG Wohnzimmer

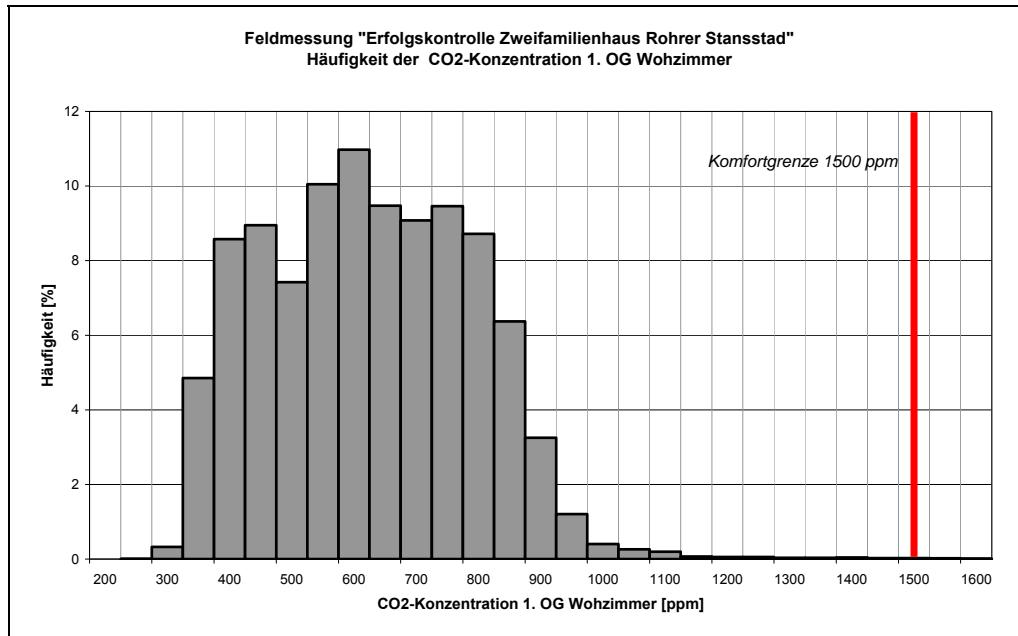


Diagramm 46: Häufigkeit der CO₂-Konzentration 1. OG Wohnzimmer

Als Luftqualitätsindikator wurde das Kohlendioxid (CO₂) der Raumluft im Wohnzimmer im 1. OG gemessen. Der CO₂ - Mittelwert während der ganzen Messperiode beträgt 595 ppm. Der Richtwert von 1500 ppm wurde nur im September einige wenige Male überschritten. In der restlichen Zeit bewegt sich die CO₂-Konzentration in einem sehr ausgeglichenen akzeptablen Bereich, in welchem keine Beeinträchtigungen des Wohlbefindens zu erwarten sind.

6. Schlussfolgerung

Die Raumlufttemperaturen und Feuchten liegen mehrheitlich in den geforderten Bereichen der SIA 382/1. Im Vergleich zu anderen Gebäuden hat die Lüftungsanlage den Vorteil einer Feuchterückgewinnung, welche im Winter die trockene Aussenluft befeuchtet. Dadurch befindet sich die relative Feuchte im Gebäude über die ganze Heizperiode im vom SIA 382/1 geforderten behaglichen Klima.

Das Gebäude wurde gemäss Minergie-P Antrag bei einer Energiebezugsfläche von 373m² mit effektivem Heizwärmebedarf von 16,9 kWh/m²a bei einer Raumlufttemperatur von 20°C berechnet. Der gemessene effektive Heizwärmebedarf von 19,7 kWh/m²a bezieht sich auf eine mittlere Raumlufttemperatur von 20.9°C. Im Vergleich mit dem theoretischen Heizenergiebedarf bei 21°C wird der reale effektive Heizwärmebedarf um ca. 4% überschritten.

Der Energiebedarf für Warmwasser liegt mit 19.1 kWh/m² um 38% höher als der Standardnutzungswert von SIA 380/1. Der von Energieberatern kommunizierte Energiebedarf von 1000 kWh/a pro Person wird um 19% überschritten.

Während der Messperiode wurde gemäss Aussagen der Bewohner eine Pelletmenge von 3700 kg verbraucht. Unter Annahme eines Pelletkesselwirkungsgrades von 0.65 und einem Heizwert der Pellet von 4.9 kWh/kg beträgt der theoretische Verbrauch 3689 kg.

Der Richtwert von 1500 ppm Kohlendioxid (CO₂) wurde nur im September einige Male überschritten. In der restlichen Zeit bewegt sich die CO₂-Konzentration in einem sehr ausgeglichenen akzeptablen Bereich, in welchem keine Beeinträchtigungen des Wohlbefindens zu erwarten sind.

Grundsätzlich wurden die Planungswerte, soweit Unterlagen vorliegen, in etwa eingehalten und mit der Feldmessung bestätigt. Von der Effizienz der Solaranlage hätte man sich jedoch mehr erwartet.

Anhang 1 – Planunterlagen



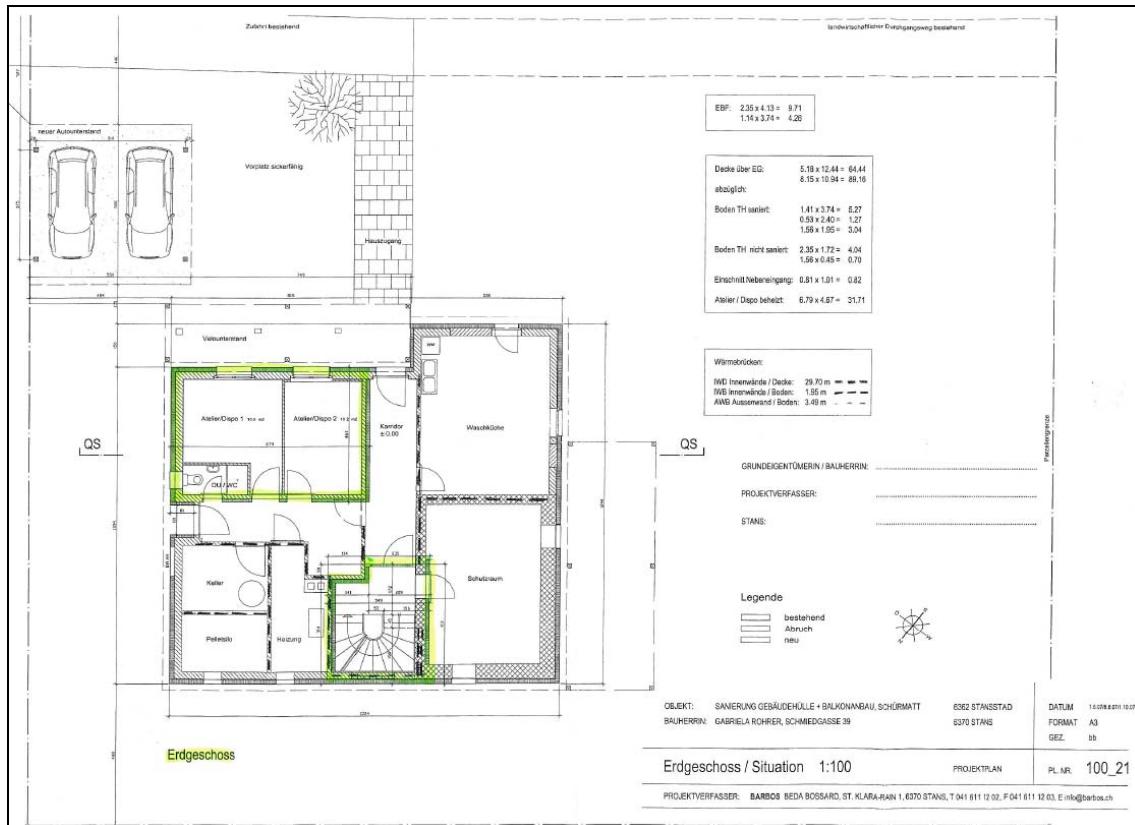
Figur 2: Ansicht Nordwestfassade und Nordostfassade



Figur 3: Ansicht Südwestfassade und Südostfassade

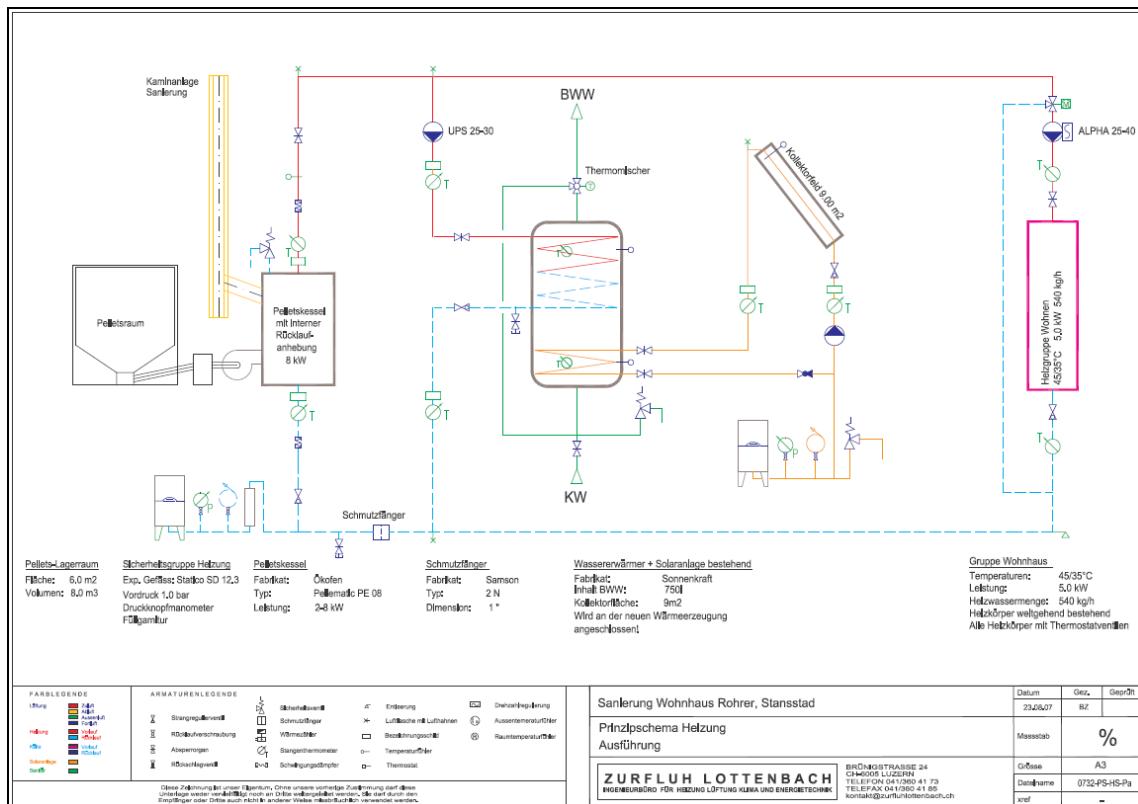


Figur 4: Grundriss 1. und 2. Obergeschoss

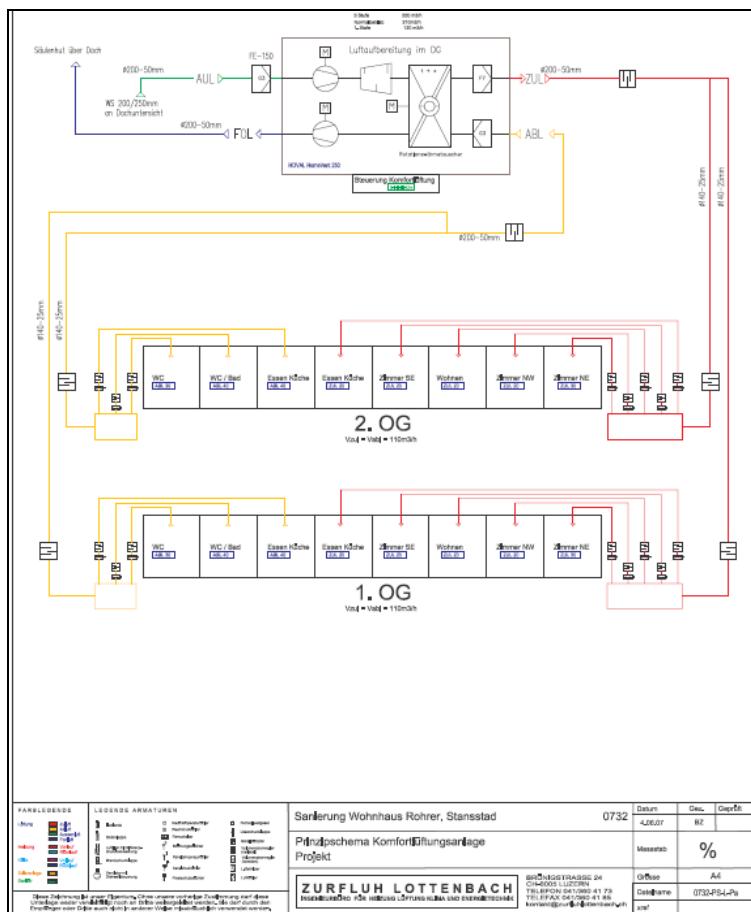


Figur 5: Grundriss Erdgeschoss/Situation

Anhang 2 – Schemas



Figur 6: Prinzipschema Heizung



Figur 7: Prinzipschema Komfortlüftungsanlage

Anhang 3 – Fotos



Figur 8: Aussenluftfühler EG Nordwestfassade



Figur 9: Aussenluftfühler EG Südwestfassade



Figur 10: Aussenluftfühler Balkon 1. OG Südostfassade



Figur 11: CO₂ -Fühler 1. OG Wohnzimmer



Figur 12: Pelletkessel im Technikraum



Figur 13: Wohnungslüftungsgerät im Dachgeschoss



Figur 14: Nordwestfassade



Figur 15: Sonnenkollektoren auf dem Dach