



Bericht Nr. 414781

Objekt: **Passiv-Mehrfamilienhaus „Im Wechsel“ 6370 Stans**

Auftraggeber: **Einfache Gesellschaft „Wohnen im Wechsel“, 6370 Stans**

Datum: **2003-10-24**

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	4
2	Auftraggeber.....	4
3	Kenndaten.....	4
4	Zielsetzung	6
5	Messverfahren	7
5.1	<i>Ablauf der Messungen.....</i>	7
5.2	<i>Messaufbau</i>	7
5.2.1	Legende zur Bezeichnung der Messstellen	7
5.2.2	Liste der Messstellen.....	8
5.3	<i>Messgeräte</i>	14
5.3.1	Elektrische Energie	14
5.3.2	Temperatur / relative Feuchte	14
5.3.3	Geschwindigkeit.....	14
5.3.4	Durchfluss Luft (Volumenstrommessung in der Wohnung)	14
5.3.5	Durchfluss Luft (Volumenstrommessung am zentralen Lüftungsgerät)	14
6	Auswertung.....	15
6.1	<i>Volumenstrommessung</i>	15
6.2	<i>Raumluftqualität</i>	18
6.2.1	Temperaturverläufe	18
6.2.2	Temperaturkorrelationen.....	19
6.2.3	Summenhäufigkeitsdiagramme der Raumtemperatur	20
6.2.4	Mittelwerte Temperatur.....	21
6.2.5	CO ₂ Konzentrationen	23
6.2.6	Summenhäufigkeitsdiagramme der relativen Raumluftfeuchten	26
6.2.7	Differenz der absoluten Raumluftfeuchte zur absoluten Aussenluftfeuchte	27
6.2.8	Mittelwerte der relativen Feuchte.....	28
6.3	<i>Elektrizitätsverbrauch.....</i>	30
6.3.1	Energieverbrauch Elektrizität.....	30
6.3.2	Energieverbrauch durch die Lüftung.....	32

6.4	Wärmebilanz	34
6.4.1	Energiekennlinie	34
6.4.2	Wärmerückgewinnung (WRG)	35
6.4.3	Lufterdregister (LER).....	38
6.4.4	Nutzenergieverbrauch	41
6.4.5	Primärenergieverbrauch	42
6.5	Passivhaus Kriterien.....	44
6.5.1	Vergleich mit den Planungswerten.....	45
7	Schlussfolgerungen	46
8	Schlussbemerkung	47
9	Anhang 1, Klimavergleich	48
10	Anhang 2, Verzeichnisse	49
10.1	Abbildungsverzeichnis	49
10.2	Tabellenverzeichnis.....	51
10.3	Formelverzeichnis.....	51

1 Ausgangslage

Im Passiv - Mehrfamilienhaus „Im Wechsel“ in Stans wird im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojektes eine Erfolgskontrolle durchgeführt. Die Bauherrschaft führt dabei Messungen verschiedener physikalischer Grössen über eine längere Zeitperiode durch, welche durch den Fachbereich WTT HLKS der HTA Luzern ausgewertet werden. Anhand dieser Datenerfassung soll eine Beurteilung bezüglich Energie und Luftqualität erfolgen. Die Raumkomfortanalyse wird in einer Wohnung im Erdgeschoss durchgeführt.

2 Auftraggeber

Auftraggeber: Einfache Gesellschaft „Wohnen im Wechsel“
Kontaktperson: Herr Ruedi Keiser, Wächselacher 19, 6370 Stans
Projektleitung: Wissens- und Technologietransfer (WTT) HLKS, HTA Luzern

3 Kenndaten

Gebäude

Gebäudetyp: Passiv-Mehrfamilienhaus mit 8 Wohnungen als Neubau in Holzelementbauweise.
Meereshöhe 450 m
Orientierung (Hauptfassade) 30° Süd-Südwesten
Energiebezugsfläche 998 m² (netto gemäss PHPP)
1250 m² (brutto gemäss SIA 380/1)
Gebäudevolumen 5209 m³ (gemäss SIA 116)

Energie (Planungswerte)

Energiekennwert Heizwärme 14.5 kWh/m²·a
Energiekennwert Elektrizität 15.7 kWh/m²·a
Spezifische Nutzwärme Warmwasser (WW) 15.9 kWh/m²·a
Gesamtwärmenachfrage des WW-Systems 22.0 kWh/m²·a
Primärenergiekennwert 75.4 kWh/m²·a

Berechnungsgrundlagen PHPP 99 (Passivhaus-Institut Darmstadt)
Alle Werte bezogen auf die Nettoflächen



Abbildung 3-1 : Passivhaus "Im Wechsel" Stans in der Westansicht (Quelle: Gebäudetechnik 1/02).

4 Zielsetzung

Die Erfolgskontrolle hat folgende Zielsetzungen:

Raumluftqualität

- CO₂
- Feuchte
- Beurteilung des Komforts anhand der Messdaten sowie Vergleich mit den Planungswerten

Elektrizitätsverbrauch

- im beheizten Bereich
- im unbeheizten Bereich
- Hilfsenergie HLK

Wärmebilanz

- Wärmeenergie Heizung und Warmwasser
- Endenergie Wärme
- Heizleistung

Passivhaus Kriterien

- Heizwärmebedarf
- Total Primärenergie
- Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

5 Messverfahren

5.1 Ablauf der Messungen

Die in diesem Bericht betrachteten Messreihen wurden im Stundentakt kontinuierlich erfasst.

Messbeginn	22. November 2001
Messende	31. August 2003

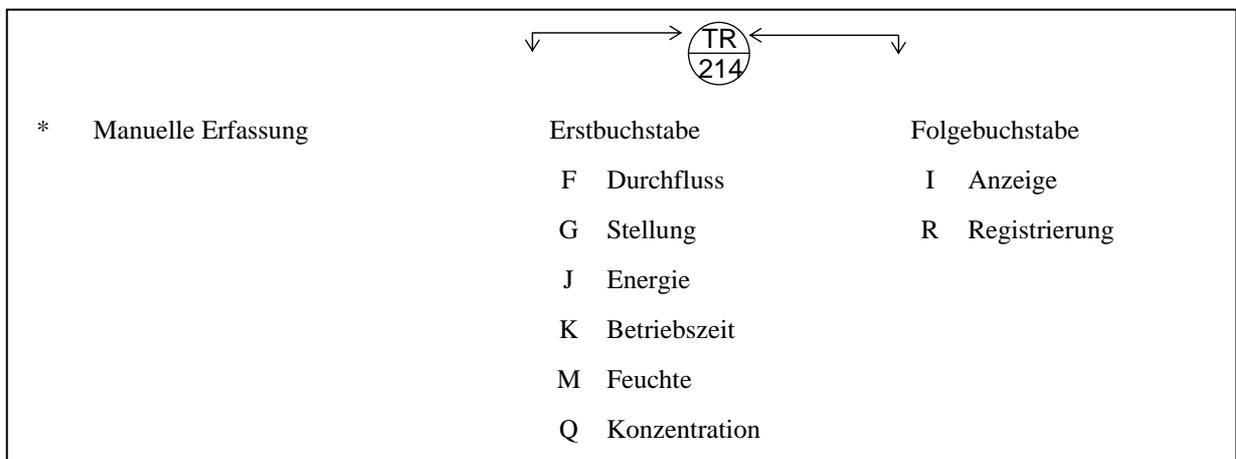
Tabella 5-1 : Dauer der Messperiode

Die Datenerfassung erfolgt über das Gebäudeleitsystem UNIGYR. Die Daten werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert gespeichert.

Die Elektro- und Wärmezähler werden jeden Monat manuell abgelesen.

5.2 Messaufbau

5.2.1 Legende zur Bezeichnung der Messstellen



5.2.2 Liste der Messstellen

Temperaturen

TR 201	Raumluft Wohnen EG in Wohnung 1
TR 202	Raumluft Büro EG in Wohnung 1
TR 203	Raumluft Eltern OG in Wohnung 1
TR 204	Raumluft Livio OG in Wohnung 1
TR 205	Raumluft Ronja OG in Wohnung 1
TR 206	Raumluft Bad/WC OG in Wohnung 1
TR 209	Aussenluft
TR 211	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
TR 212	Fortluft nach Austritt aus dem Lüftungsgerät
TR 221	Aussenluft nach Erdregister
TR 222	Zuluft nach Austritt aus dem Lüftungsgerät
TR 223	Zuluft bei Eintritt Wohnung 1
TR 224	Zuluft nach Lufterwärmung Wohnung 1
TR 231	Vorlauf Raumheizung
TR 232	Rücklauf Raumheizung
TR 241	Kaltwasser
TR 242	Warmwassertemperatur nach Mischventil
TR 243	Speichertemperatur oben
TR 244	Speichertemperatur unten
TR 250	Untergeschoss: Korridor
TR 251	Untergeschoss: Wäsche trocknen 1
TR 253	Untergeschoss: Wäsche trocknen 3

Wärmeenergie

J I 121* - 128*	Wohnungszähler
--------------------	----------------

Elektrische Energie

J I 101* - 108*	Wohnungszähler (Zähler des Elektrizitätswerks)
J I 110*	Gesamter Bezug 'Allgemein' (Zähler des Elektrizitätswerks)
JR 111	Lüftungs-Anlage
JR 120	Wärmezähler Raumheizung

Durchfluss

FR 341	Warmwasserverbrauch (Eingang in Speicher)
--------	---

Feuchte

MR 401	Raumluft Wohnen EG in Wohnung 1
MR 402	Raumluft Büro EG in Wohnung 1
MR 403	Raumluft Eltern OG in Wohnung 1
MR 404	Raumluft Livio OG in Wohnung 1
MR 405	Raumluft Ronja OG in Wohnung 1
MR 406	Raumluft Bad/WC OG in Wohnung 1
MR 409	Aussenluft
MR 411	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
MR 450	Untergeschoss: Korridor
MR 451	Untergeschoss: Wäsche trocknen 1
MR 452	Untergeschoss: Wäsche trocknen 2
MR 453	Untergeschoss: Wäsche trocknen 3

Geschwindigkeit

SR 511	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
SR 522	Zuluft nach Lüftungsgerät

Laufzeiten und Betriebszeiten

KR 601	Heizkessel: Brenner Pelletsfeuerung
KR 610	Zentrales Lüftungsgerät: Betriebszeit Ventilatoren

Masse

W I 700*	Verbrauch Pellets
----------	-------------------

Luftqualität

QR 901	CO ₂ -Konzentration Wohnen EG in Wohnung 1
QR 902	CO ₂ -Konzentration Schlafen OG in Wohnung 1
QR 910	CO ₂ -Konzentration Zuluft Wohnung 1
QR 911	CO ₂ -Konzentration Abluft Wohnung 1
QR 909	CO ₂ -Konzentration Aussenluft

Stellung

GR 951	Stellung Zuluftklappe Wohnung 1
--------	---------------------------------

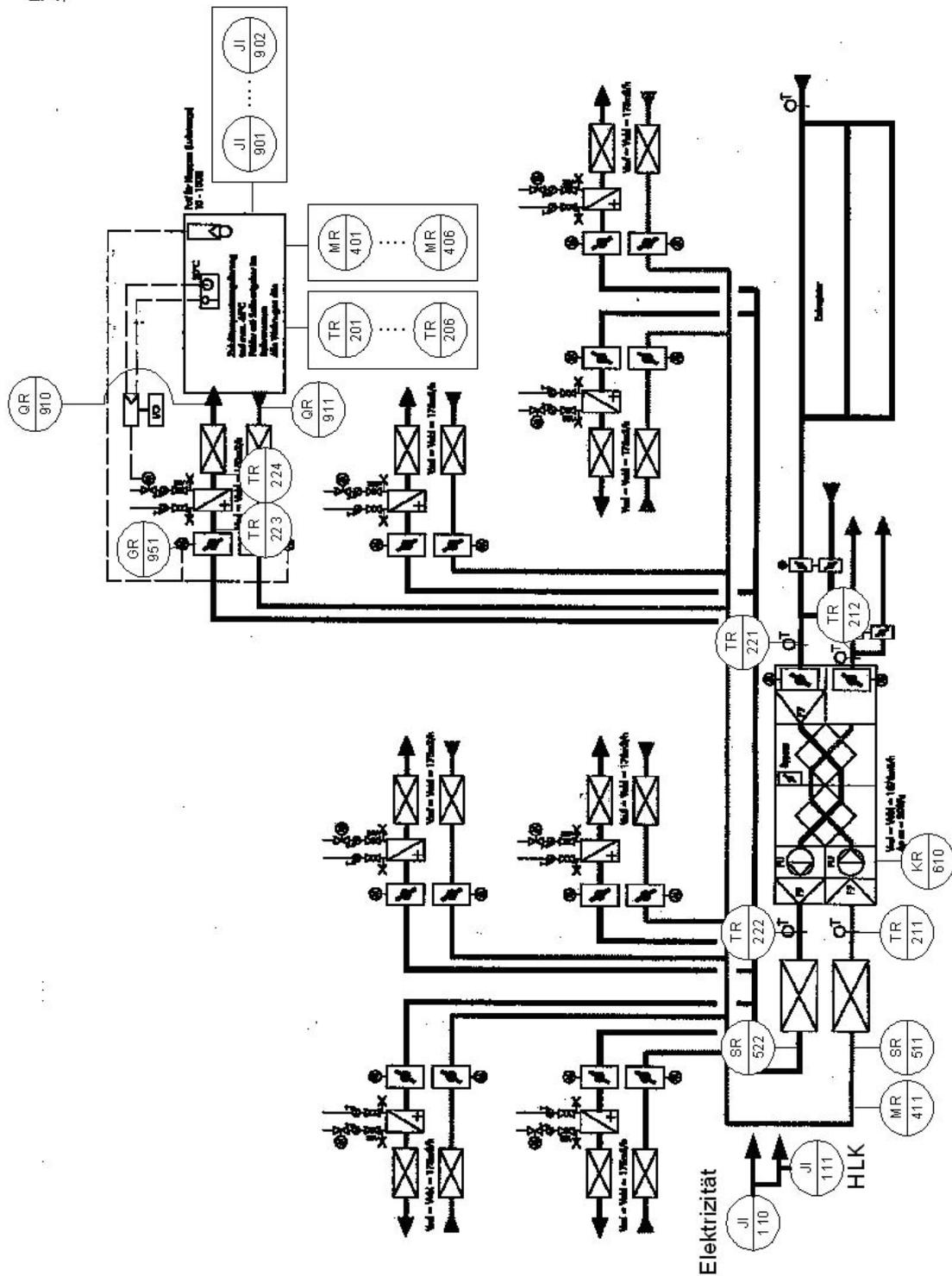


Abbildung 5-1 : Messstellenschema der Lüftungsanlage.

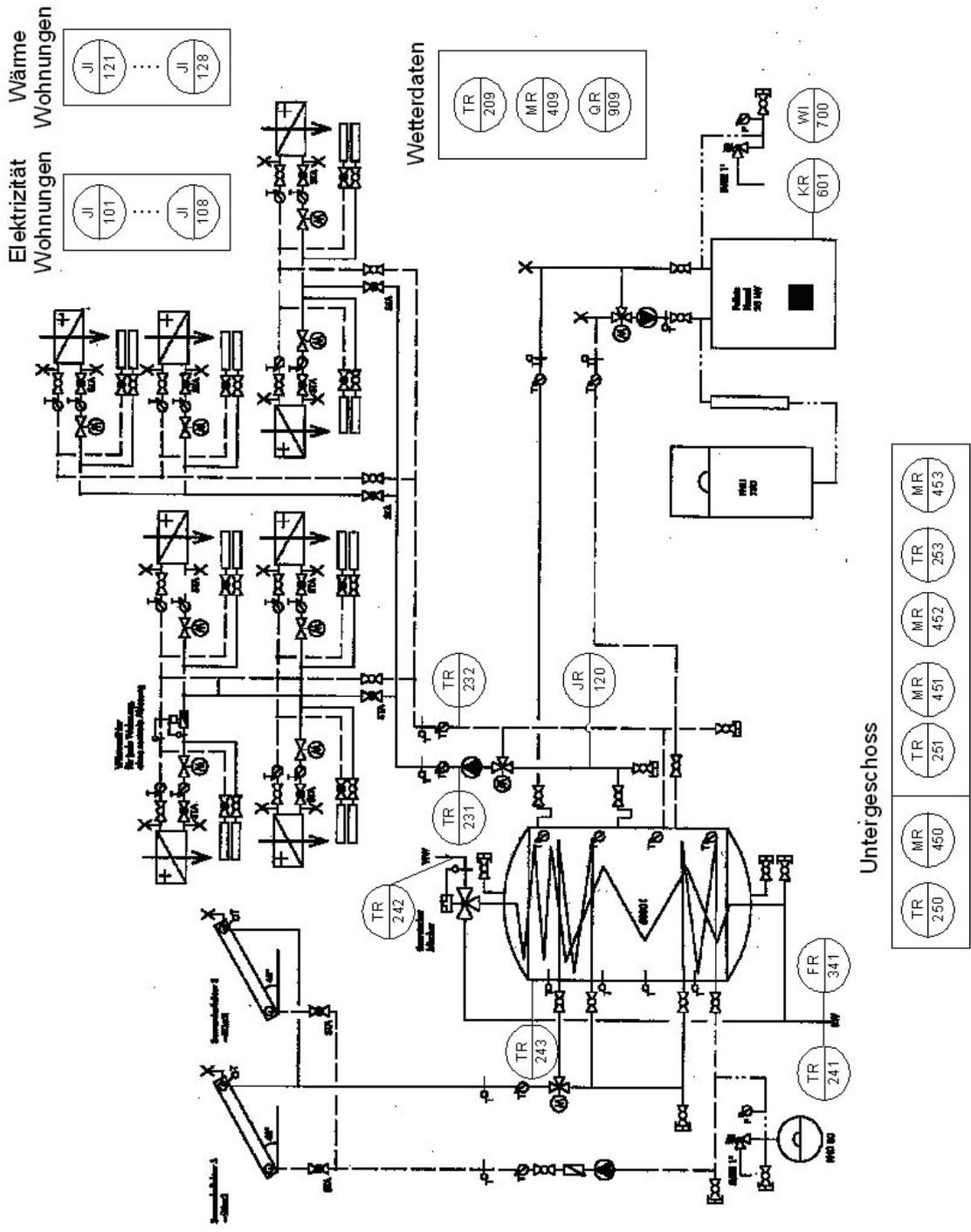


Abbildung 5-2 : Messstellenschema der Heizungs- und Solaranlage.

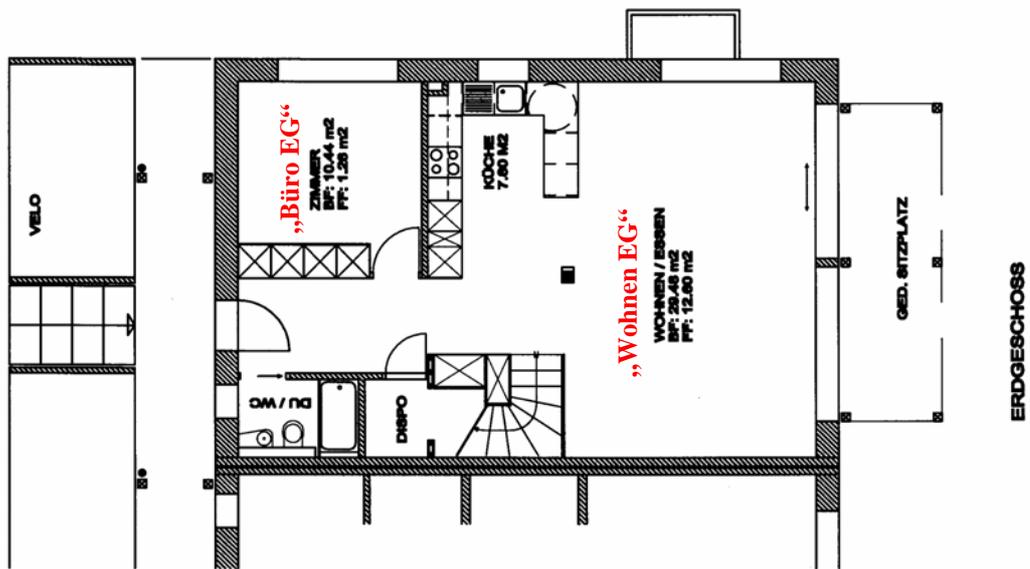
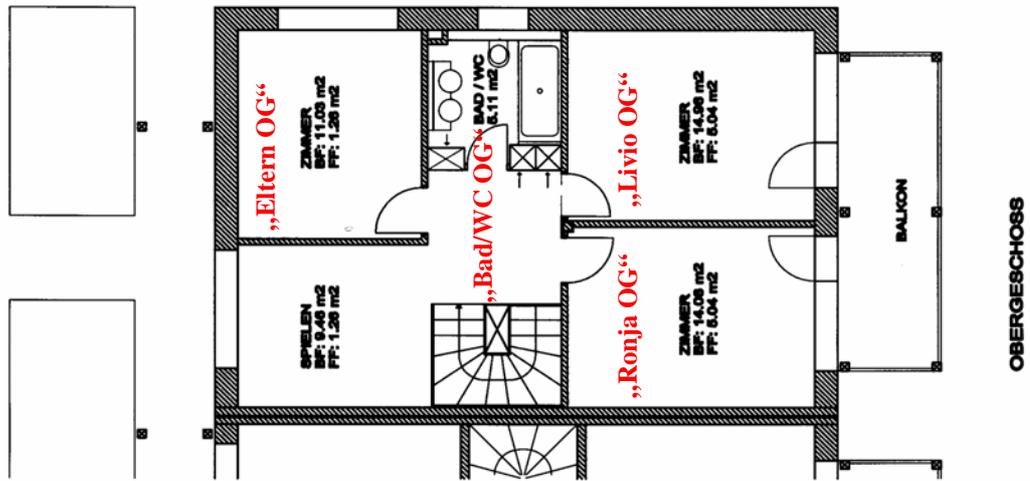


Abbildung 5-3 : Grundriss mit Bezeichnung der Zimmer.

5.3 Messgeräte

5.3.1 Elektrische Energie

Sensoren: EMU 1.24 K
Messbereich: 0 .. 2.56 kW
Genauigkeit: Klasse 2 nach IEC 1036

5.3.2 Temperatur / relative Feuchte

Sensoren: Siemens Raumfühler QFA65
Messbereich: 0 .. 50 °C / 10 .. 95 % r.F.
Genauigkeit: ± 3 % r.F. bei 40 .. 60 % r.F. / ± 5 % r.F. bei 20 .. 90 % r.F.

5.3.3 Geschwindigkeit

Sensoren: Siemens Luftgeschwindigkeitsfühler QVM62.1
Messbereich: 0 .. 10 m/s
Genauigkeit: ± 0.2 m/s + 3 % vom Messwert

5.3.4 Durchfluss Luft (Volumenstrommessung in der Wohnung)

Messgerät: Acin Flowfinder 153
Messbereich: 0 .. 225 m³/h
Genauigkeit: ± 5 % vom Messwert (mindestens ± 2 m³/h)

5.3.5 Durchfluss Luft (Volumenstrommessung am zentralen Lüftungsgerät)

Messgerät: Hesco Pilgersteg V-Control – \varnothing 400 mm
Messbereich: 800.. 6000 m³/h
Genauigkeit: ± 25 m³/h (entspricht einer Genauigkeit von ± 0.5 Pa des Differenzdrucksensors)

6 Auswertung

6.1 Volumenstrommessung

Messprotokoll Lüftungsanlage

Zusammenfassung der Resultate

Ausgeführt durch: B. Frei / F. Reichmuth - HTA Luzern

Datum: 2003-02-06 16.00 Uhr

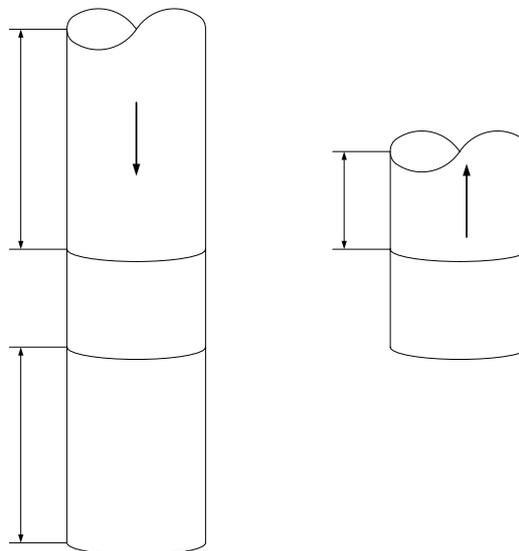
Messgerät: Flowfinder (1.08 HP198)

	Zimmer	Zimmerbezeichnung Grundriss	Etage	Volumenstrom q_v [m^3/h] Ventilation 100 %	Volumenstrom q_v [m^3/h] Ventilation 60 %
ZULUFT	Wohnen links	Wohnen EG	EG	35	30
	Wohnen rechts	Wohnen EG	EG	41	34
	Büro	Büro EG	EG	20	16
	Schlafen Eltern	Schlafen OG	OG	18	15
	Spielen		OG	14	11
	Schlafen Kind l.	Livio OG	OG	27	22
	Schlafen Kind r.	Ronja OG	OG	16	14
	Σ_{Zul}			171	142
ABLUF	Küche		EG	43	37
	Abstellraum		EG	34	29
	WC		EG	48	45
	Bad / WC	Bad/WC OG	OG	35	30
	Σ_{Abl}			160	141
	Verhältnis $\Sigma_{Zul}/\Sigma_{Abl}$			1.07	1.01

Tabelle 6-1 : Messprotokoll der Volumenstrommessung in der Wohnung mit Erd- und Obergeschoss.

Bei einer Einstellung von 60 % werden effektiv 83 % bzw. 88 % des Nominalvolumenstromes gefördert.

An der Aussenluftfassung (Foto 6.1) und am Fortluftaustritt (Foto 6.3) wurden die Volumenströme gemessen. Einerseits mit der im Monobloc - Gerät integrierten Messdüse und andererseits mit einem Differenzdruckmessgerät (Hesco Pilgersteg V-Control) der HTA Luzern (Foto 6.2).



Beide Verfahren ordnen einem gemessenen Differenzdruck einen bestimmten Volumenstrom zu. Beim Hesco Pilgersteg Gerät sind die Umrechnungsformeln aus den Kalibrationsdaten der HTA Luzern bekannt, bei der Düsenmessung wurde auf eine Hersteller - Umrechnungstabelle zurückgegriffen.

Aufgrund der plausiblen Übereinstimmung der Messresultate wurden die beiden Werte gemittelt und gerundet.

Um die Leistungen des Erdregisters und der WRG berechnen zu können, wurden zum Zeitpunkt der Volumenstrommessung auch die Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Damit kann später zu jeder Zeit der Volumenstrom anhand der Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden, da sich dieser proportional zur Strömungsgeschwindigkeit ändert.

Messung Volumenströme LG

Zusammenfassung der Resultate

Ausgeführt durch:

B. Frei - HTA Luzern

Datum:

2002-02-28 14.00 Uhr

Messgerät:

Hesco Pilgersteg V-Control

	Messmethode	Messgrösse	Volumenstrom q_v [m ³ /h]	Gemessene Strömung
AUSSENLUFT	Düsenmessung	331 Pa	1366	1.65 m/s
	V-Control HTA Luzern	9.5 Pa	1400	
	V-Control HTA Luzern	9.5 Pa		
	V-Control HTA Luzern	9.6 Pa		
	Mittelwert	1380 m³/h		
FORTLUFT	Düsenmessung	382 Pa	1465	1.36 m/s
	V-Control HTA Luzern	9.9 Pa	1400	
	V-Control HTA Luzern	9.2 Pa		
	V-Control HTA Luzern	9.3 Pa		
	Mittelwert	1430 m³/h		
Verhältnis $\Sigma_{AUL}/\Sigma_{FOL}$		0.97		

Tabelle 6-2: Messprotokoll der Volumenstrommessung am zentralen Lüftungsgerät.

Die Differenz zwischen den beiden Messmethoden beträgt 3.5 %. Diese Übereinstimmung ist für eine Feld-Messung sehr gut.

6.2 Raumlufqualität

6.2.1 Temperaturverläufe

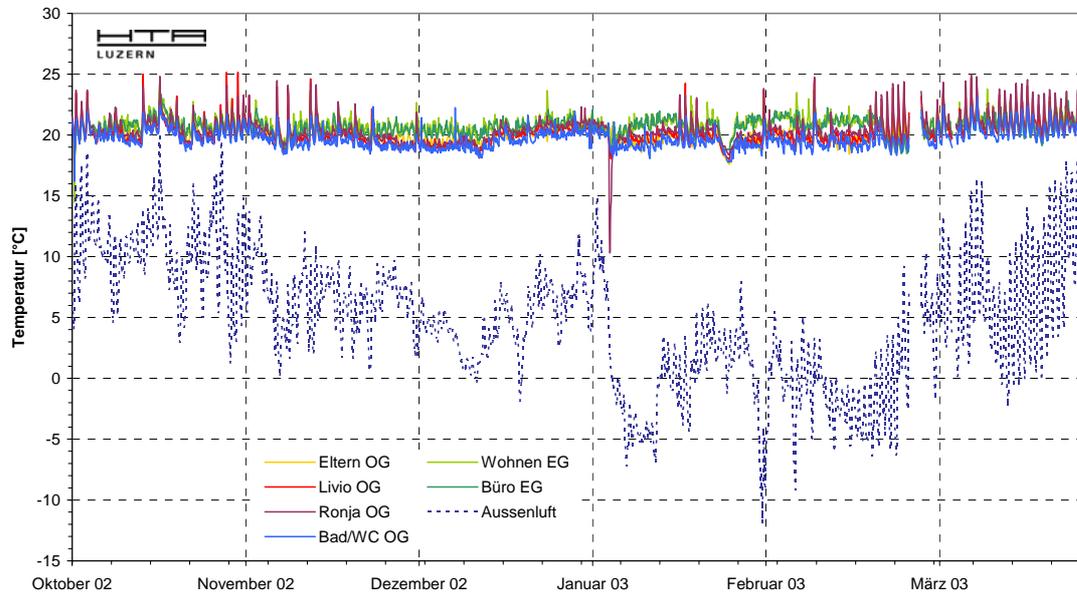


Abbildung 6-1 : Temperaturverläufe während der Messperiode von Oktober 02 bis März 03.

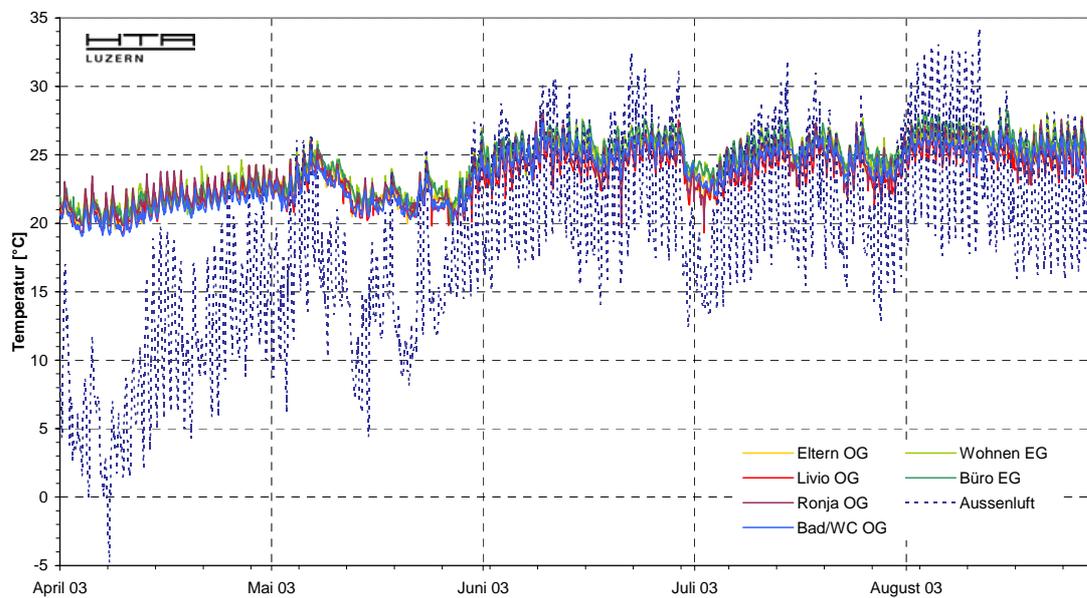


Abbildung 6-2 : Temperaturverläufe während der Messperiode von April 03 bis August 03.

6.2.2 Temperaturkorrelationen

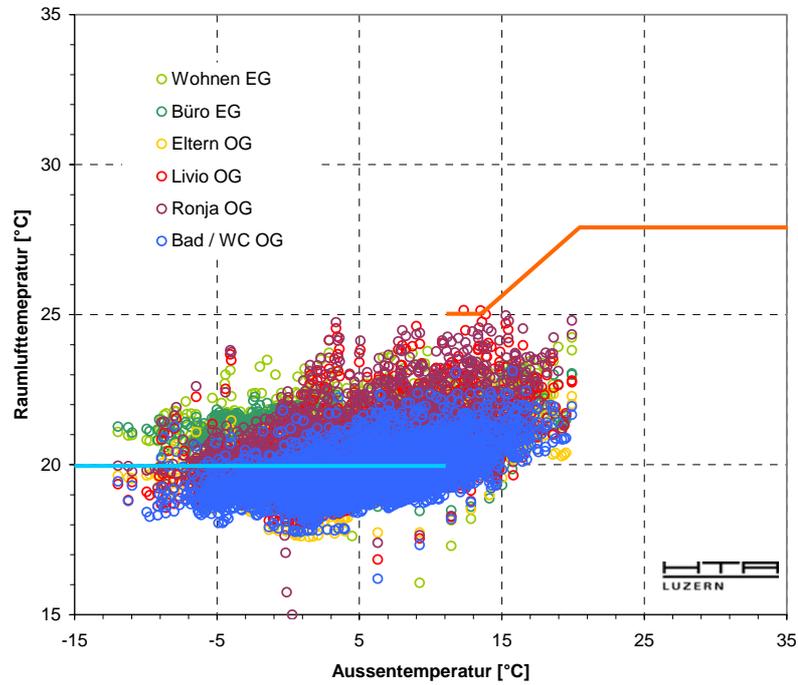


Abbildung 6-3 : Temperaturkorrelation - Raumtemperatur in Funktion der Aussentemperatur - von Oktober 02 bis März 03.

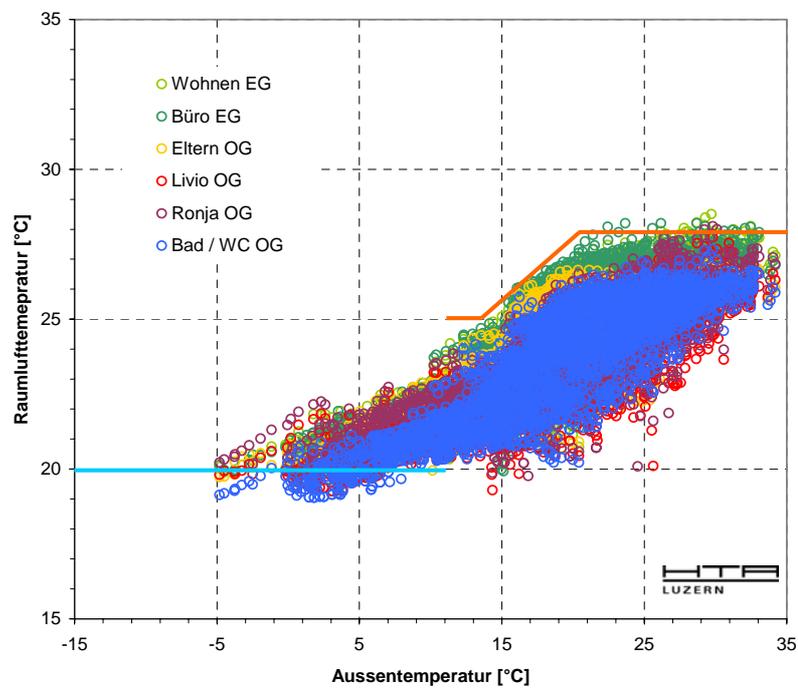


Abbildung 6-4 : Temperaturkorrelation - Raumtemperatur in Funktion der Aussentemperatur - von April 03 bis August 03.

6.2.3 Summenhäufigkeitsdiagramme der Raumtemperatur

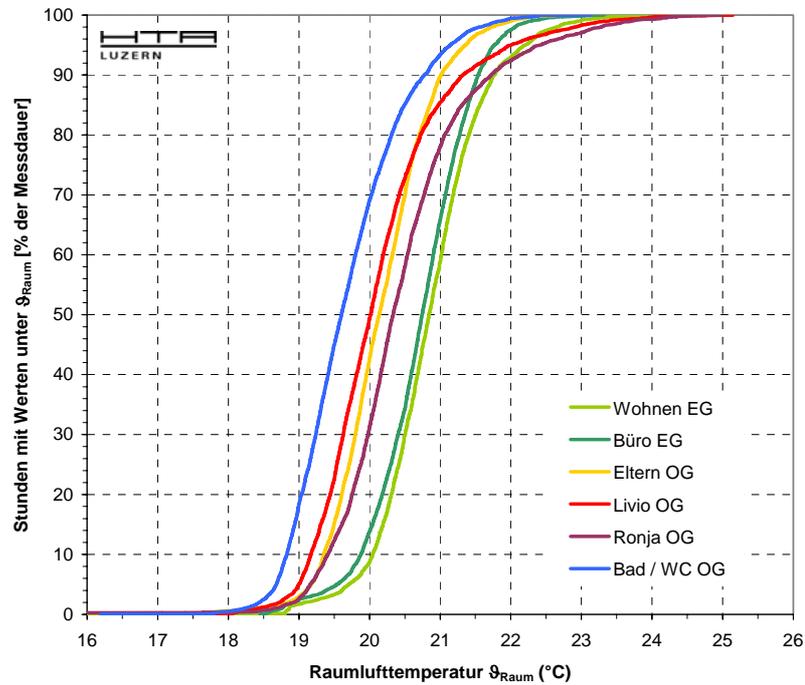


Abbildung 6-5 : Summenhäufigkeitsdiagramm der Raumtemperaturen von Oktober 02 bis März 03.

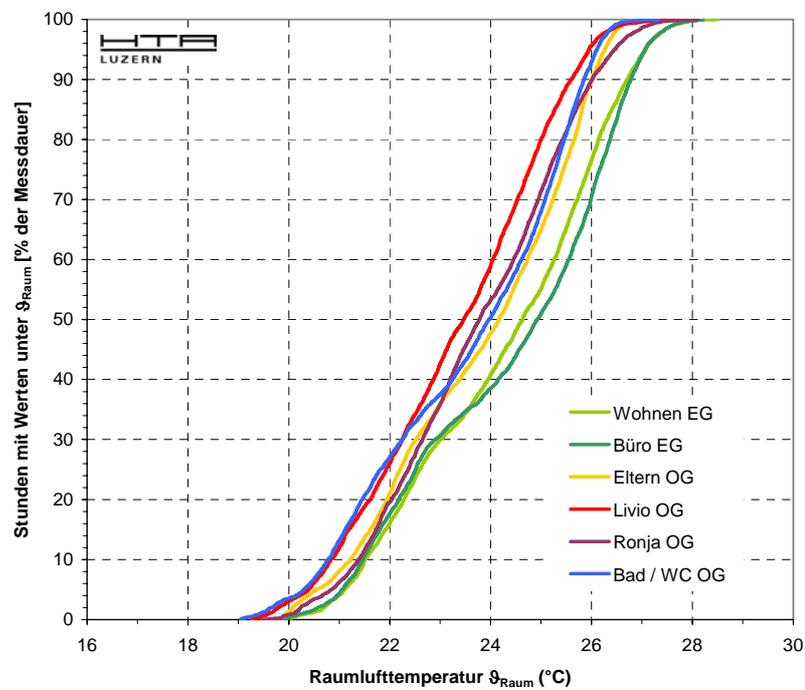


Abbildung 6-6 : Summenhäufigkeitsdiagramm der Raumtemperaturen von April 03 bis August 03.

6.2.4 Mittelwerte Temperatur

Temperatur Heizsaison 02/03 (Oktober 02 bis März 03)

	OG Eltern [°C]	OG Livio [°C]	OG Ronja [°C]	OG Bad / WC [°C]	Mittelwert OG [°C]
Mittelwert	20.1	20.1	20.4	19.7	20.1
Maximalwert	22.8	25.1	25.0	23.1	24.0
Minimalwert	17.6	16.8	10.3	16.2	15.2

	EG Büro [°C]	EG Wohnen [°C]	Mittelwert EG [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Mittelwert Alle Zimmer [°C]
Mittelwert	20.7	20.8	20.8	4.6	20.4
Maximalwert	23.3	24.2	23.8	19.9	23.9
Minimalwert	18.5	14.5	16.5	-11.9	15.8

Tabelle 6-3 : Mittelwerte der Temperaturen während der Heizsaison 2002 / 2003.

Offengelassene Fenster oder Türen führen während der Heizsaison zu tiefen Momentanwerten.

Temperatur Frühling/Sommer 03 (April 03 bis August 03)

	OG Eltern [°C]	OG Livio [°C]	OG Ronja [°C]	OG Bad / WC [°C]	Mittelwert OG [°C]
Mittelwert	23.8	23.3	23.7	23.6	23.6
Maximalwert	27.2	27.7	28.1	27.3	27.6
Minimalwert	19.5	19.3	19.4	19.0	19.3

	EG Büro [°C]	EG Wohnen [°C]	Mittelwert EG [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Mittelwert Alle Zimmer [°C]
Mittelwert	24.4	24.3	24.4	18.7	24.0
Maximalwert	28.2	28.5	28.4	34.2	28.0
Minimalwert	19.9	19.9	19.9	-4.8	19.6

Tabelle 6-4 : Mittelwerte der Temperaturen im Frühling und Sommer 2003.

Raumtemperaturen während der Heizsaison

Die Temperaturkorrelationen in den Abbildungen 6-3 und 6-4 zeigen nur unwesentliche Unterschiede sowohl in horizontaler Ebene als auch in vertikaler Ebene. Während der Heizsaison liegen die Raumtemperaturen im Mittel bei 20.4 °C und damit nahe der Auslegungstemperatur von 20 °C.

Die Summenhäufigkeitsdiagramme in den Abbildungen 6-5 und 6-6 zeigen, dass das Temperaturniveau im Erdgeschoss leicht höher ist als im Obergeschoss. Die Raumtemperaturen bewegen sich während 90% der Messdauer innerhalb der Grenzen von 19 °C und 22 °C. Die geringen Temperaturunterschiede in der horizontalen Ebene - pro Geschoss - deuten auf eine ausgeglichene Wärmeverteilung innerhalb der Wohnung hin. Hingegen ist darauf hinzuweisen, dass immerhin 70 % der erfassten Stunden im Bad/WC OG Werte unter 20 °C aufwiesen. Der thermische Komfort und die Behaglichkeit lassen in diesem Raum zu wünschen übrig.

Der Handtuchradiator im Badezimmer wird über ein Zeitschaltprogramm gesteuert und läuft infolge dessen nur während den zwei kältesten Monaten im Jahr jeweils rund 2 Stunden pro Tag.

Raumtemperaturen während des Sommers

Auch bei hohen Aussenlufttemperaturen – wie im Sommer 2003 – war keine Überhitzung festzustellen.. Bei Aussenlufttemperaturen von deutlich über 30 °C während einigen Tagen stiegen die Raumtemperaturen nie höher als 28°C. Die durchschnittliche Raumtemperatur lag im Sommer 2003 bei erträglichen 24 °C.

Die gleichmässige Temperaturverteilung innerhalb der Wohnung, mit leicht erhöhten Temperaturen im Erdgeschoss zeigt sich auch im Sommer wieder. Im Obergeschoss waren während 50 % der Messdauer Werte von unter 24 °C zu verzeichnen und im Erdgeschoss wurde dieser Wert während 40 % der Messdauer nicht überschritten. Die Temperatur von 26 °C wurde im Obergeschoss nur während 10 % der Messdauer überschritten - im Erdgeschoss hingegen erreichten die Temperaturen während 25 % der Messdauer höhere Werte. Offenstehende Balkontüren, Abwärme vom Kochen sowie die Tatsache dass sich die Leute während des Tages eher im EG als OG befinden, können als Erklärung für diesen Umstand dienen.

6.2.5 CO₂ Konzentrationen

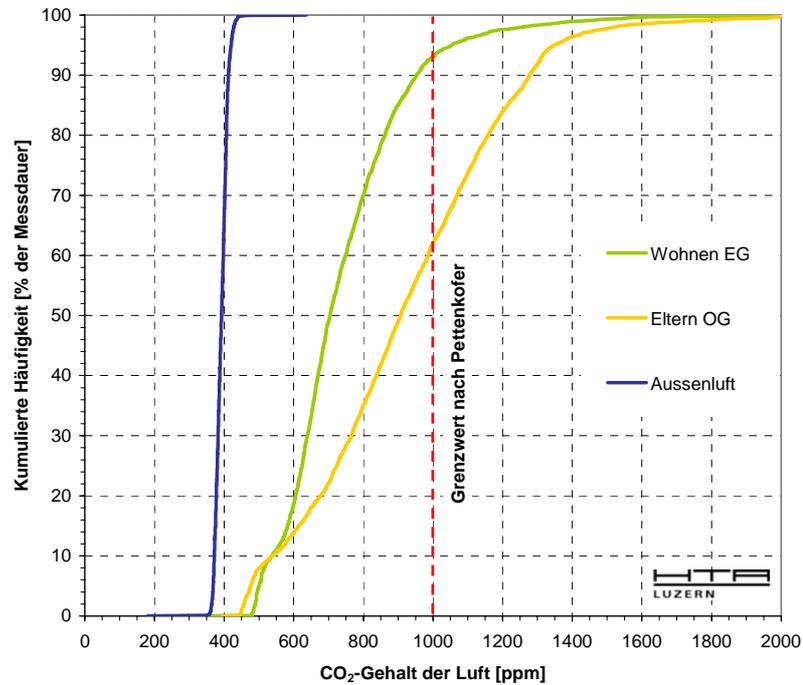


Abbildung 6-7 : Summenhäufigkeitsdiagramm für den CO₂ - Gehalt der Raum- und Aussenluft von Oktober 01 bis März 02.

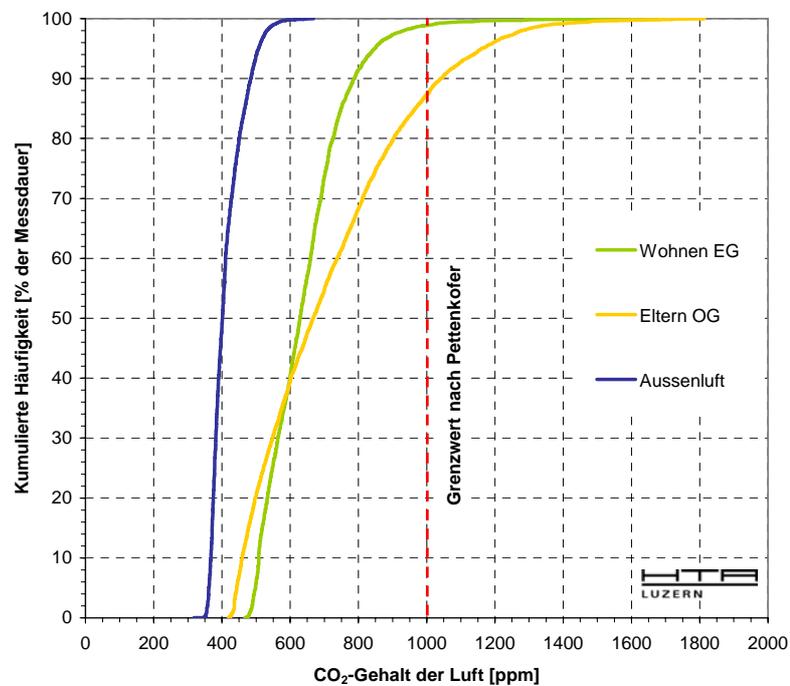


Abbildung 6-8 : Summenhäufigkeitsdiagramm für den CO₂ - Gehalt der Raum- und Aussenluft von April 02 bis August 02.

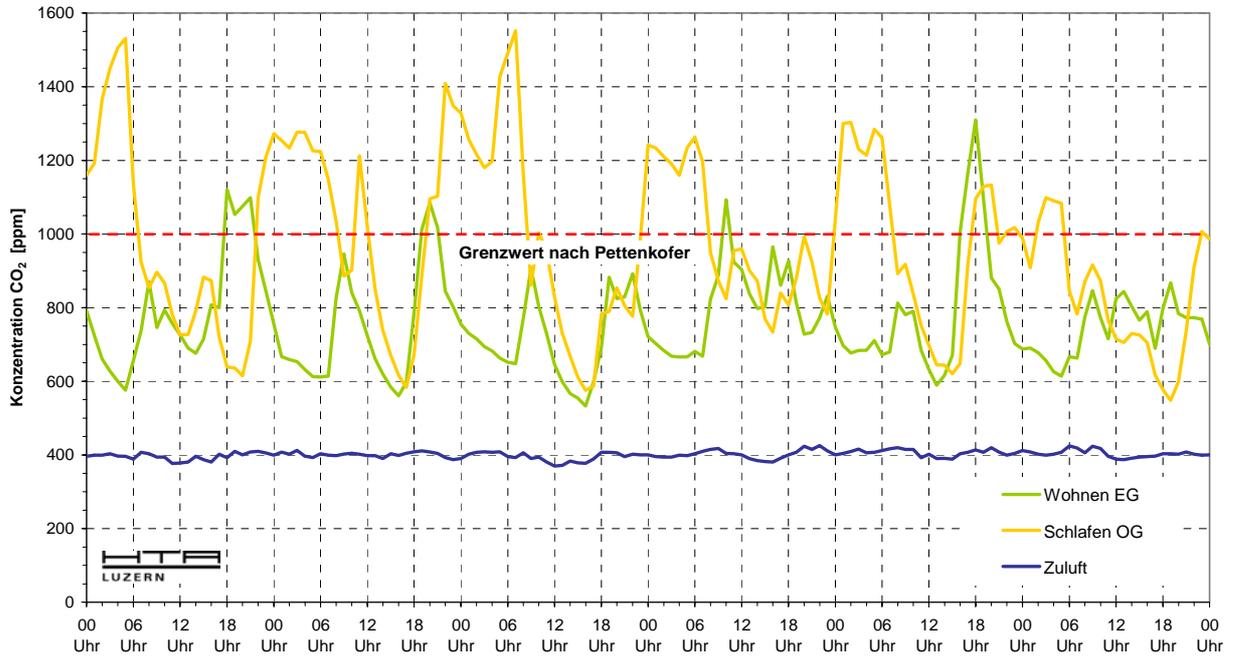


Abbildung 6-9 : CO₂ Verlauf während einer Winterwoche (18.1.02 bis 24.1.02)

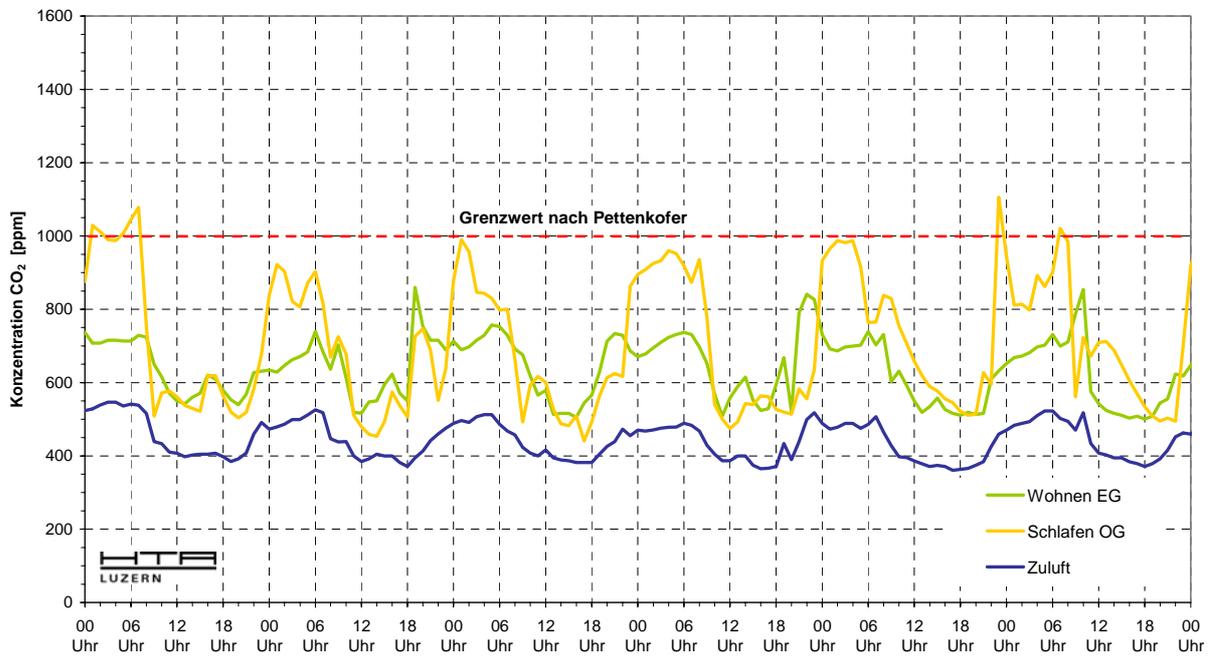


Abbildung 6-10 : CO₂ Verlauf während einer Sommerwoche (18.8.02 bis 24.8.02)

Die CO₂ Konzentration lässt einerseits auf die Raumbelagung schliessen, da im Raum befindliche Personen CO₂ ausatmen und sich die Konzentration in Abhängigkeit der Zeit erhöht. Andererseits gibt sie Auskunft darüber, wie gut die „verbrauchte“ Luft von der Wohnungslüftung abgeführt und durch neue Luft ersetzt wird (Luftwechsel).

Als Kriterium für gute Raumlufte wird die sog. „Pettenkofer Zahl“ verwendet. Diese Zahl definiert einen Grenzwert von 0.1 Volumenprozent oder 1000 ppm. In der Literatur finden sich teilweise auch höhere Grenzwerte. Je nach dem ist von 1200 ppm oder auch von 1500 ppm die Rede.

Bei gegebener Aussenluftkonzentration lässt sich nach Pettenkofer die pro Raum nötige Zuluftmenge berechnen. Die Berechnung geht davon aus, dass 1 Person pro Stunde 0.5 m³ Luft einatmet und die ausgeatmete Luft 4 Volumenprozent CO₂ (40'000 ppm) enthält. Die Konzentration der ausgeatmeten Luft ist vom Energieumsatz des Körpers abhängig und daher während der Nacht etwas tiefer.

$$\dot{V} = \frac{0.5 \cdot 40000}{1000 - c_{\text{Aussen}}} \left[\frac{m^3 \cdot ppm}{h \cdot (ppm - ppm)} \right]$$

Formel 1 : Zuluftvolumenstrom pro Person nach Pettenkofer.

Mit einer mittleren Aussenluftkonzentration von 400 ppm aus Abbildung 6-8 ergibt sich ein Zuluftvolumenstrom von 33 m³/h pro Person.

CO₂ Konzentrationen im Wohnzimmer

Die CO₂ Konzentration im Wohnzimmer steigt während über 90 % der Messdauer nicht über 1000 ppm an. Dies gilt für die Heizsaison und den Sommer. Der Grund hierfür liegt in den grosszügig eingestellten Zuluftvolumenströmen welche - je nach Ventilationseinstellung - zwischen 64 und 76 m³/h liegen. Nach obenstehender Berechnungsmethode reicht der vorhandene Volumenstrom also für zwei gleichzeitig im Raum anwesende Personen aus.

CO₂ Konzentrationen im Elternschlafzimmer

Die CO₂ Konzentration im Schlafzimmer der Eltern steigt während der Heizsaison auf Werte von deutlich über 1000 ppm an - dies während 60 % der Messdauer. Wenn von einer täglichen Belegung des Schlafzimmers von 8 Stunden ausgegangen wird, kann angenommen werden, dass der Grenzwert für die CO₂ Konzentration bereits nach kurzer Aufenthaltszeit im Schlafzimmer überschritten wird. Die Volumenstrommessung stützt diesen Befund. Der Zuluftvolumenstrom – bei 100 % - Einstellung - beträgt 18 m³/h, was für ein mit 2 Personen belegtes Schlafzimmer zu wenig ist. Der Wohnungsbesitzer hat das Problem durch eine Vergrösserung des Zuluftvolumenstroms während der Nacht angepackt. Der Volumenstrom im EG wird verringert und der Volumenstrom im OG steigt dadurch. Die Auswirkung dieser Massnahme, welche erst nach der Volumenstrommessung ergriffen wurde, müsste mit einer erneuten Messung quantifiziert werden.

Zur Belegung des Schlafzimmers sei zu sagen, dass sich die beiden Kinder teilweise ebenfalls im Elternschlafzimmer aufhielten und die Belegung somit doppelt so hoch war.

6.2.6 Summenhäufigkeitsdiagramme der relativen Raumluftheuchten

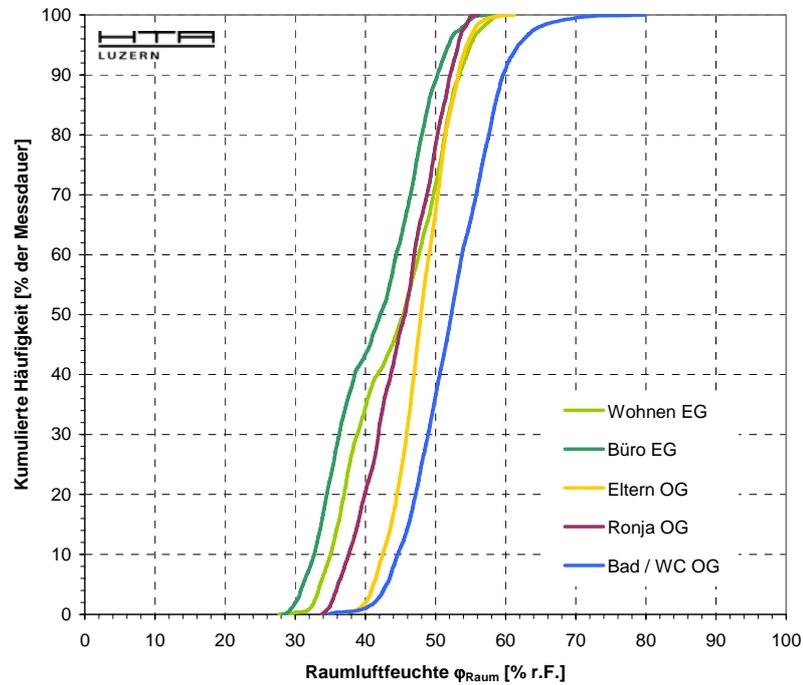


Abbildung 6-11 : Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Raumluftheuchte von Oktober 02 bis März 03.

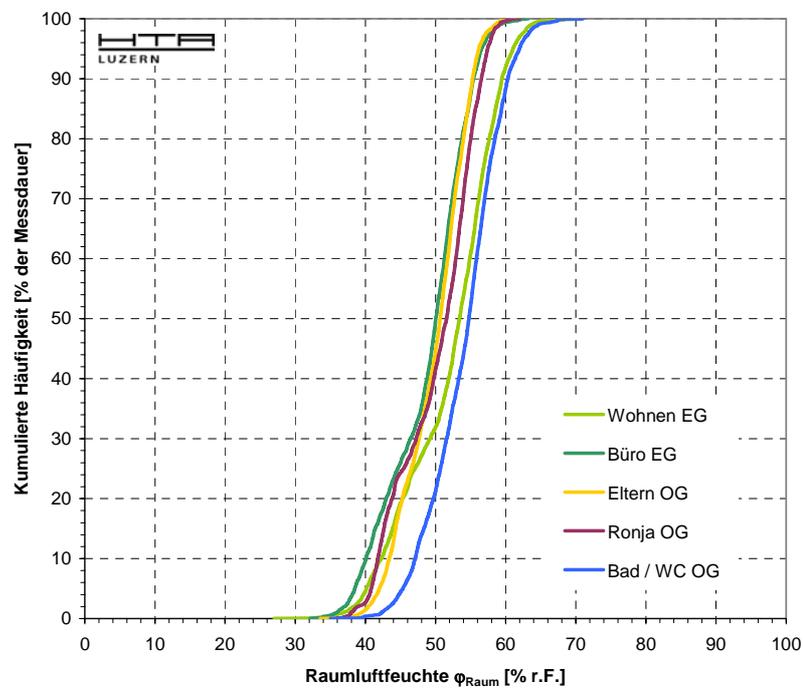


Abbildung 6-12 : Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Raumluftheuchte von April 03 bis August 03.

6.2.7 Differenz der absoluten Raumlufffeuchte zur absoluten Aussenluftfeuchte

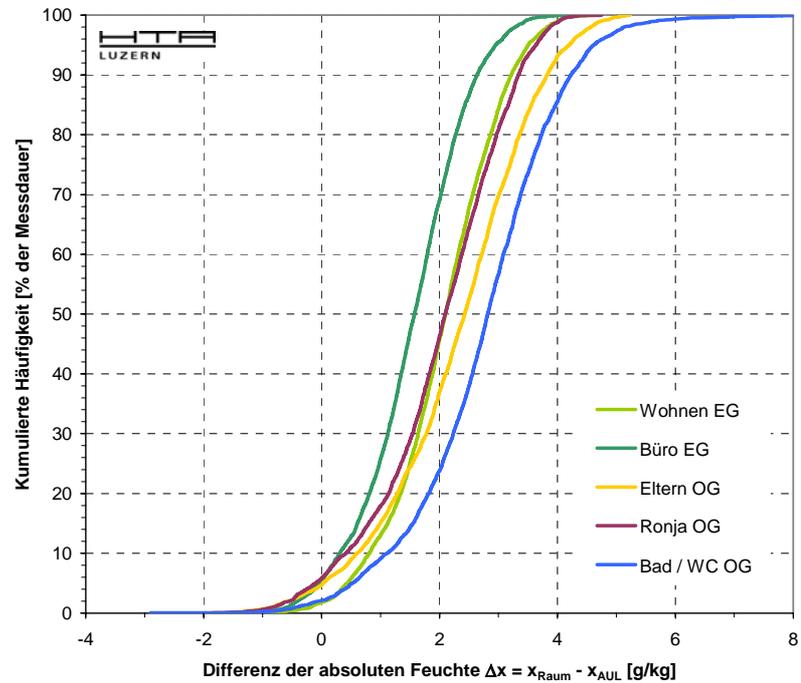


Abbildung 6-13: Summenhäufigkeitsdiagramm der Differenz der absoluten Feuchten von Oktober 02 bis März 03.

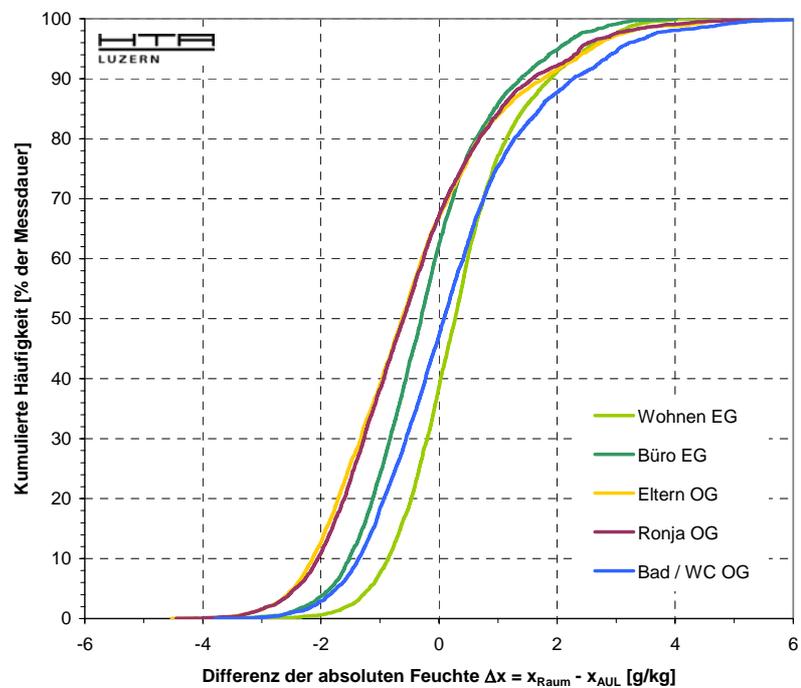


Abbildung 6-14: Summenhäufigkeitsdiagramm der Differenz der absoluten Feuchten von April 03 bis August 03.

6.2.8 Mittelwerte der relativen Feuchte

Feuchte Heizsaison 02/03 (Oktober 02 bis März 03)

	OG Eltern [% r.F.]	OG Ronja [% r.F.]	OG Bad / WC [% r.F.]	Mittelwert OG [% r.F.]
Mittelwert	48	45	52	49
Maximalwert	61	56	80	66
Minimalwert	35	34	35	34

	EG Büro [% r.F.]	EG Wohnen [% r.F.]	Mittelwert EG [% r.F.]	Feuchte Aussen [% r.F.]	Mittelwert Alle Zimmer [% r.F.]
Mittelwert	42	44	43	87	46
Maximalwert	58	61	59	100	62
Minimalwert	28	28	28	38	31

Tabella 6-5 : Mittelwerte der relativen Feuchten während der Heizsaison 2002 / 2003

Feuchte Frühling/Sommer 03 (April 03 bis August 03)

	OG Eltern [% r.F.]	OG Ronja [% r.F.]	OG Bad / WC [% r.F.]	Mittelwert OG [% r.F.]
Mittelwert	50	50	54	51
Maximalwert	62	62	71	65
Minimalwert	34	36	35	35

	EG Büro [% r.F.]	EG Wohnen [% r.F.]	Mittelwert EG [% r.F.]	Feuchte Aussen [% r.F.]	Mittelwert Alle Zimmer [% r.F.]
Mittelwert	49	52	50	71	51
Maximalwert	63	70	66	100	66
Minimalwert	32	27	30	25	32

Tabella 6-6 : Mittelwerte der relative Feuchten im Frühling und Sommer 2003.

Ausfall des Sensors im Zimmer „Livio OG“

Aufgrund eines Messfehlers welcher offensichtlich unplausible Werte verursachte, sind die Daten des Sensors aus dem Zimmer „Livio OG“ nicht in die Auswertung miteinbezogen worden.

Raumluftfeuchten während der Heizsaison

Die Werte liegen während der Heizsaison im Mittel leicht über 40 % r.F. Zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss bestehen fast keine Unterschiede. Positiv zu bewerten ist die Tatsache, dass die relativen Feuchten in den Räumen nicht unter 30 % absinken. Im Bad / WC ist die relative Feuchte erwartungsgemäss etwas höher, da an diesem Ort interne Lasten anfallen.

Die Summenhäufigkeitsdiagramme, welche die absolute Feuchtedifferenz Δx - definiert als Differenz zwischen der absoluten Raumfeuchte [g_{Wasser} pro kg_{Luft}] und der absoluten Aussenluftfeuchte [g_{Wasser} pro kg_{Luft}] - darstellen, zeigen die Belegung der einzelnen Räume. Fast alle Räume weisen positive Feuchtedifferenzen auf, was auf interne Gewinne zurückzuführen ist, die aus der Raumbelastung resultieren.

Raumfeuchten während des Sommers

Die Feuchtwerte während des Sommers liegen im Mittel bei rund 50 % relativer Feuchte. Zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss bestehen wie im Winter fast keine Unterschiede.

Die absoluten Feuchtedifferenzen fallen im Sommer ausgeglichener aus. Während der halben Messdauer waren negative Werte zu verzeichnen. Dieser Effekt ist der Kühlwirkung des Erdregisters zuzuschreiben. Bei der Abkühlung der Aussenluft im Sommer kann Wasser auskondensieren und somit wird die Raumluftfeuchte nicht den Wert der Aussenluftfeuchte erreichen können.

6.3 Elektrizitätsverbrauch

6.3.1 Energieverbrauch Elektrizität

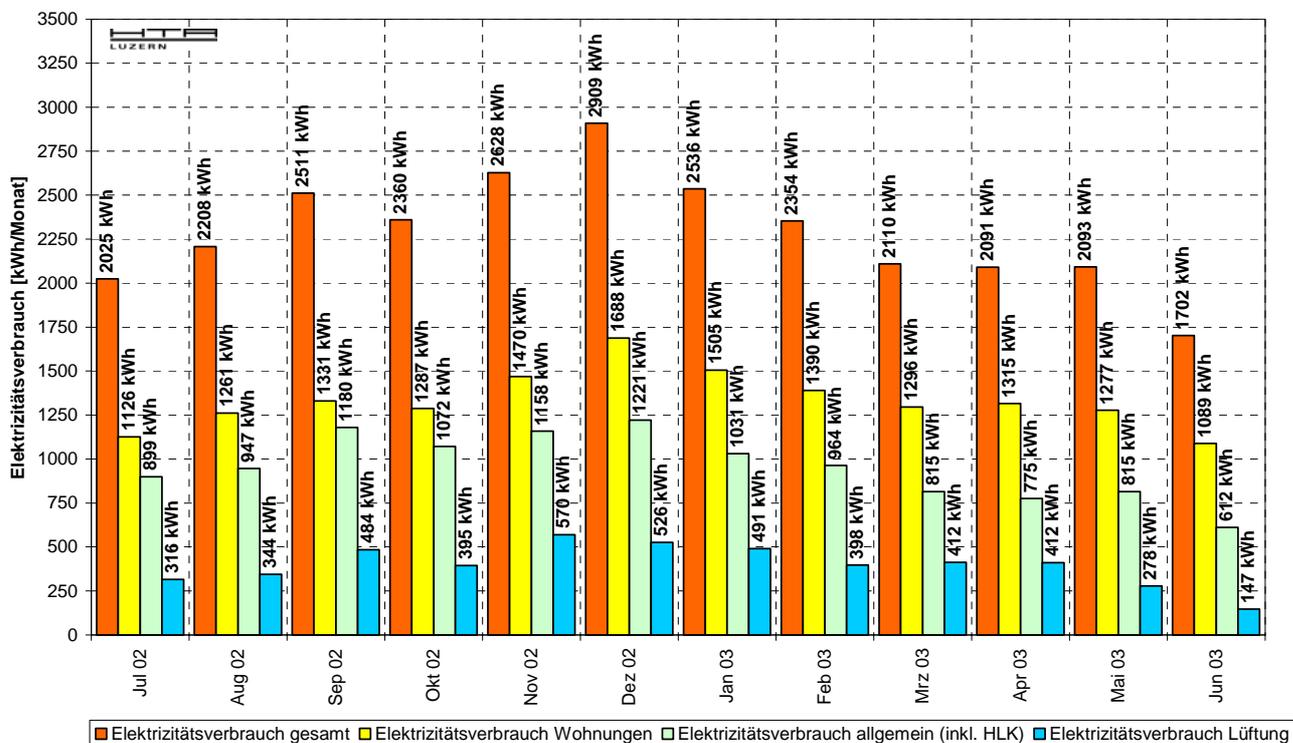


Abbildung 6-15 : Aufgeschlüsselter Verbrauch an elektrischer Energie.

	Elektrizität pro Monat gesamt [kWh]	Elektrizität pro Monat Wohnungen [kWh]	Elektrizität pro Monat Wohnungen [%]	Elektrizität pro Monat Allgemein (inkl. Lüftung) [kWh]	Elektrizität pro Monat Allgemein (inkl. Lüftung) [%]	Elektrizität pro Monat Lüftung [kWh]	Elektrizität pro Monat Lüftung [%]
Juli 02	2025	1126	56	899	44	316	16
August 02	2208	1261	57	947	43	344	16
September 02	2511	1331	53	1180	47	484	19
Oktober 02	2360	1287	55	1072	45	395	17
November 02	2628	1470	56	1158	44	570	22
Dezember 02	2909	1688	58	1221	42	526	18
Januar 03	2536	1505	59	1031	41	491	19
Februar 03	2354	1390	59	964	41	398	17
März 03	2110	1296	61	815	39	412	20
April 03	2091	1315	63	775	37	412	20
Mai 03	2093	1277	61	815	39	278	13
Juni 03	1702	1089	64	612	36	147	9

Tabelle 6-7 : Prozentualer Elektrizitätsverbrauch pro Monat.

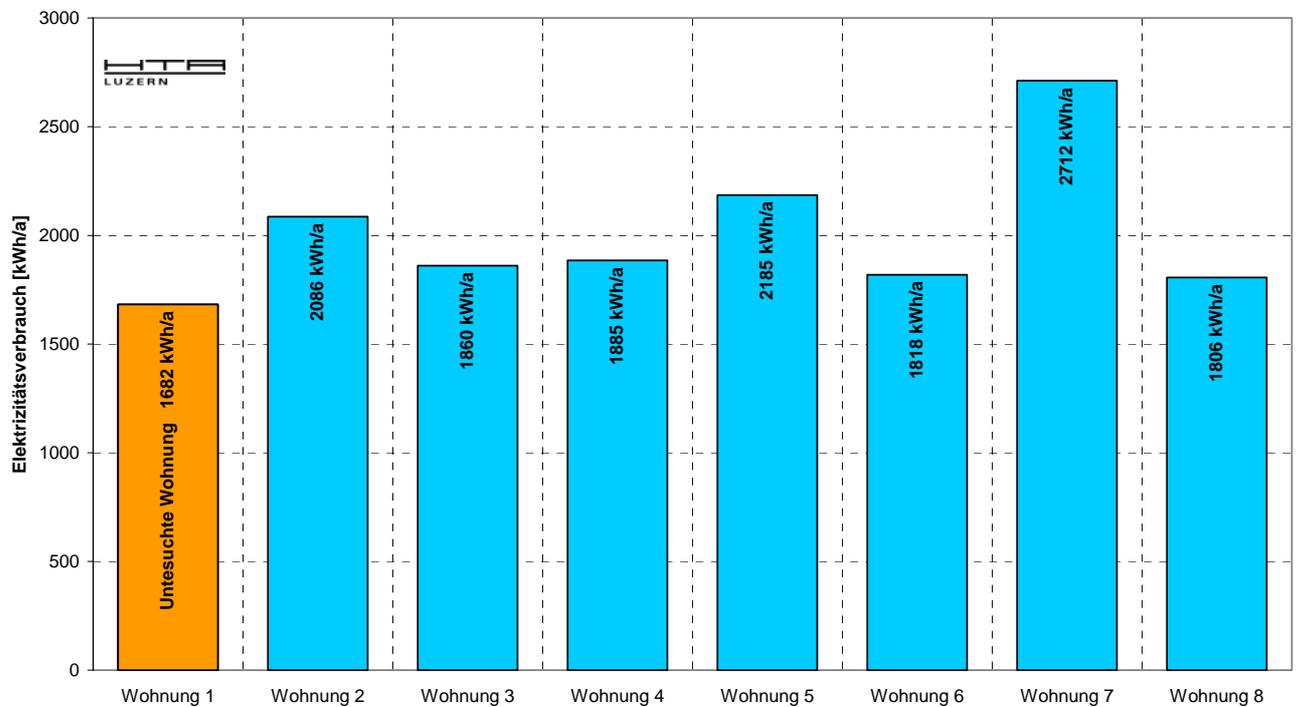


Abbildung 6-16 : Wohnungsweiser jährlicher Elektrizitätsverbrauch in der Periode von Juli 02 bis Juni 03

Der gemessene Passivhaus Kennwert für den Elektrizitätsverbrauch e_{EI} während der Periode vom Juli 02 bis zum Juni 03 überschreitet mit $28 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ den vom PHPP vorgegebenen Kennwert von $18 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ deutlich.

PH im Wechsel Stans

Passivhaus Standard PHPP

Abweichung

$e_{EI} = 28 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$

$e_{EI} = 18 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$

56%

6.3.2 Energieverbrauch durch die Lüftung

Mit den Messwerten für den Lüftungsenergieverbrauch und der Strömungsgeschwindigkeit im Zuluftkanal kann wie in Kapitel 6.1 beschrieben der Volumenstrom als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden ($q_{vAUL} = 1380 \text{ m}^3/\text{h}$ bei $c_{AUL} = 1.65 \text{ m/s}$). Somit lassen sich die Kennzahlen für den Lüftungsenergieverbrauch berechnen:

Monat	Laufzeit [h]	Energieverbrauch [kWh]	$c_{\text{Mittel AUL}}$ [m/s]	$q_v \text{ AUL}$ [m³/h]	$p_{\text{Lüftung}}$ [Wh/m³]	$e_{\text{Lüftung}}$ [kWh/m²]
Februar 02	669.6	282.7	1.23	1026	0.412	0.283
März 02	916.4	670.6	1.55	1300	0.563	0.672
April 02	541.6	543.9	1.88	1571	0.639	0.545
Mai 02	743.4	603.3	1.80	1505	0.539	0.604
Juni 02	719.4	401.6	1.57	1317	0.424	0.402
Juli 02	712.3	315.9	1.44	1204	0.368	0.317
August 02	743.5	344.3	1.49	1249	0.371	0.345
September 02	718.5	483.9	1.76	1476	0.456	0.485
Oktober 02	744.5	395.0	1.49	1242	0.427	0.396
November 02	719.6	570.2	1.74	1452	0.546	0.571
Dezember 02	742.5	526.2	1.62	1355	0.523	0.527
Januar 03	743.5	491.0	1.56	1309	0.505	0.492
Februar 03	637.2	398.1	1.45	1211	0.516	0.399
März 03	724.3	412.4	1.36	1138	0.501	0.413
April 03	719.5	411.5	1.34	1118	0.511	0.412
Mai 03	743.5	278.4	0.96	800	0.468	0.279
Juni 03	482.7	146.9	0.73	612	0.497	0.147
Juli 03	452.0	121.0	0.60	500	0.535	0.121
August 03	497.2	173.0	0.79	660	0.527	0.173

Tabelle 6-8 : Monatliche Messwerte des zentralen Lüftungsgerätes im Passivhaus Stans

Der Richtwert für den spezifische Energieverbrauch p für die Luftförderung liegt bei zentralen Lüftungsgeräten für Passivhäuser bei rund 0.4 Wh/m^3 .

Er berechnet sich aus folgender Formel:

$$p = \frac{P_{\text{Elektrisch}}}{\frac{\Sigma \dot{V}_{\text{ZUL}} + \Sigma V_{\text{ABL}}}{2}} \left[\frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{m}^3} \right]$$

Formel 2 : Spezifischer Energieverbrauch p für die Luftförderung.

Anhand der obigen Messdaten wurde der Kennwert p für zwei sich überschneidende Messperioden berechnet.

$$\begin{aligned} p_{\text{Lüftung}} \text{ für Februar 02 bis Januar 03} &= \mathbf{0.48 \text{ Wh/m}^3} \\ p_{\text{Lüftung}} \text{ für September 02 bis August 03} &= \mathbf{0.50 \text{ Wh/m}^3} \end{aligned}$$

Der spezifische Energieverbrauch für die Lüftung - bezogen auf die Energiebezugsfläche nach PHPP - Definition - berechnet sich aus folgender Formel:

$$e = \frac{E_{\text{Lüftung}}}{A_{\text{Netto}}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$

Formel 3 : Energieverbrauch e der Lüftung.

Eine Aufsummierung während eines Jahres führt zum Jahresenergieverbrauch.

$$\begin{aligned} e_{\text{Lüftung}} \text{ für Februar 02 bis Januar 03} &= \mathbf{5.6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}} \\ e_{\text{Lüftung}} \text{ für September 02 bis August 03} &= \mathbf{4.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}} \end{aligned}$$

In der zweiten Messperiode ist der Jahresenergieverbrauch um rund 20 % gesunken. Dies kann unmittelbar auf eine Reduktion des Volumenstroms um 20 % zurückgeführt werden. Eine weitere Reduktion der Energie wurde erreicht, indem die Lüftung ab Juni 03 von 08.00 Uhr Morgens bis 20.00 Uhr Abends ausgeschaltet blieb, sofern die Temperatur auf der Nordseite 28 °C nicht überschritten hat. Diese Massnahme und die damit verbundene stetige Abnahme des Lüftungsenergieverbrauchs zeigen, dass ein Passivhaus viel Potential zum Optimieren hat.

$$\begin{aligned} q_{v \text{ Mittel}} \text{ für Februar 02 bis Januar 03} &= \mathbf{1334 \text{ m}^3/\text{h}} \\ q_{v \text{ Mittel}} \text{ für September 02 bis August 03} &= \mathbf{1073 \text{ m}^3/\text{h}} \end{aligned}$$



Abbildung 6-17 : Zentrales Lüftungsgerät im P+D Passivhaus Stans

6.4 Wärmebilanz

6.4.1 Energiekennlinie

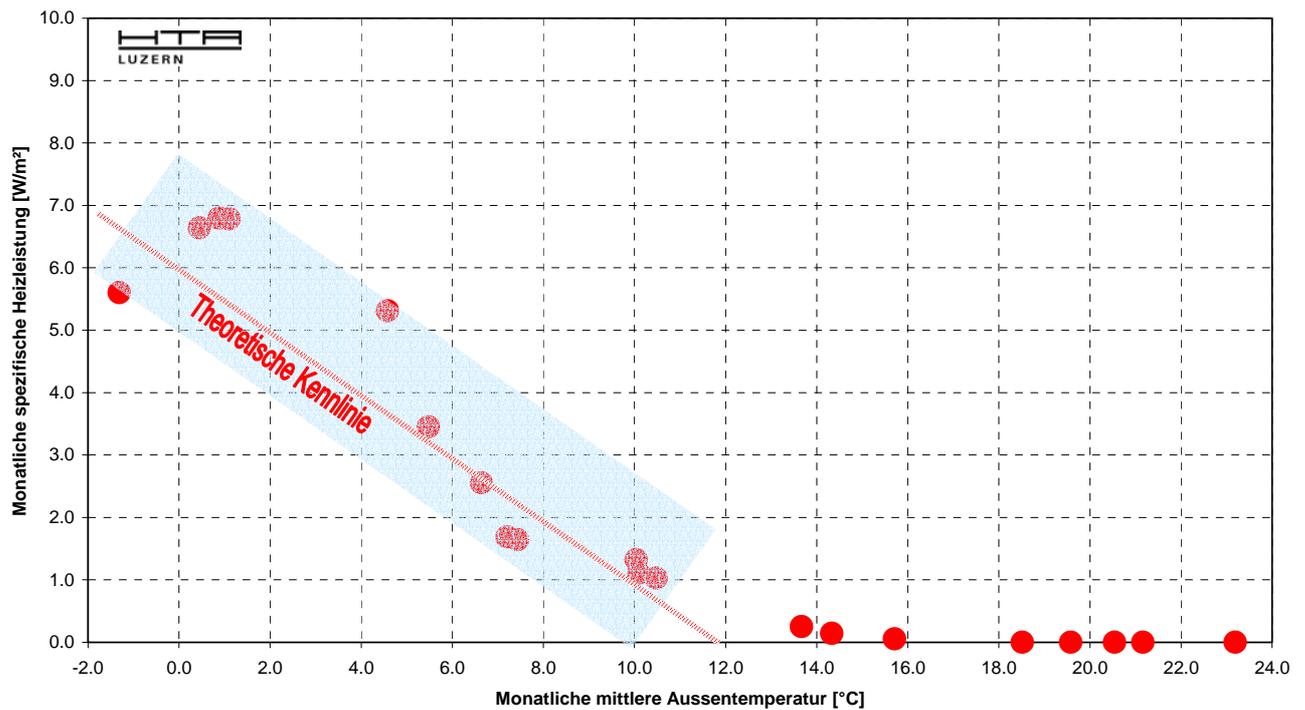


Abbildung 6-18 : Mittlere Heizleistung bezogen auf die gemessene Aussentemperatur.

Die Theoretische Energiekennlinie liegt innerhalb des gemessenen Bereichs (dargestellt durch die halbtransparente Fläche) wenn auch die Tendenz der gemessenen Heizleistung eher etwas höher ausfällt.

6.4.2 Wärmerückgewinnung (WRG)

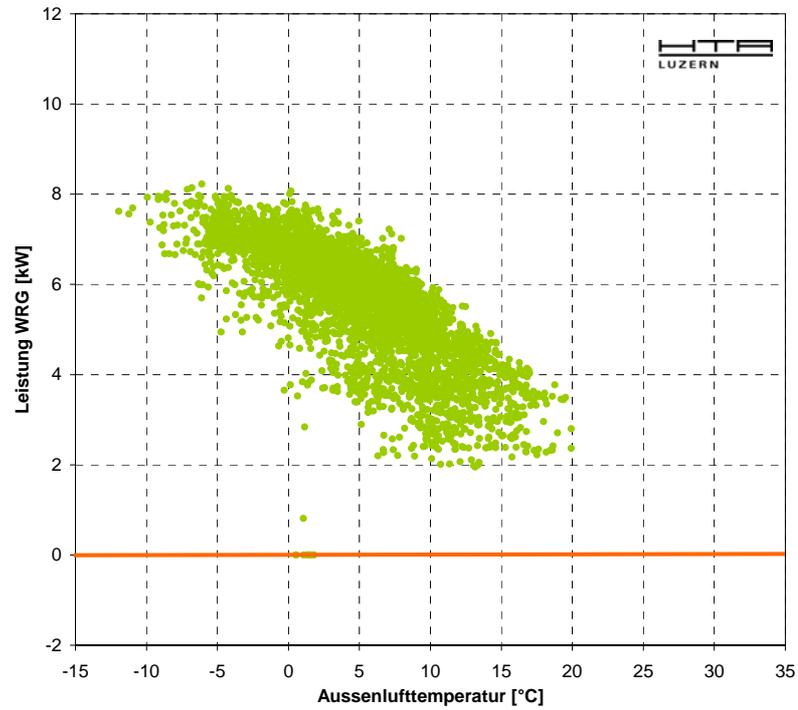


Abbildung 6-19 : Leistung der WRG von Oktober 02 bis März 03

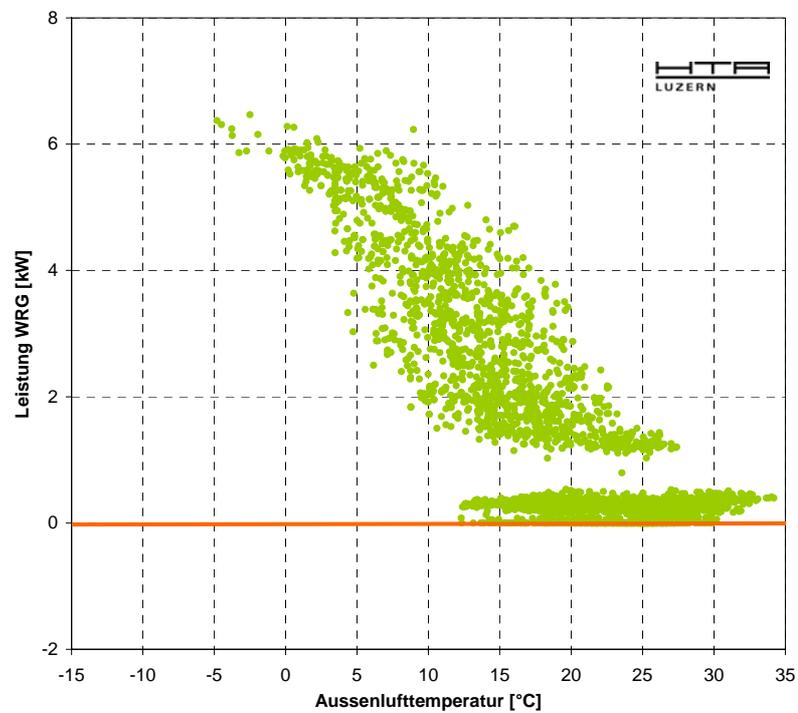


Abbildung 6-20 : Leistung der WRG von April 03 bis August 03

Leistung der WRG Anlage:

$$\begin{aligned} P_{\text{WRG}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{5.6 \text{ kW}} \\ P_{\text{WRG}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{1.4 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Bezogen auf ein Jahr bedeuten diese Werte eine bedeutende Einsparung an Heizenergie.

$$\begin{aligned} Q_{\text{WRG}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{24500 \text{ kWh}} \\ Q_{\text{WRG}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{5982 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

oder bezogen auf die Nettofläche nach Passivhaus Definition

$$\begin{aligned} q_{\text{WRG}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{24.5 \text{ kWh/m}^2} \\ q_{\text{WRG}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{6.0 \text{ kWh/m}^2} \end{aligned}$$

Es ergibt sich hiermit eine Einsparung von etwa **30 kWh/m²·a** an Heizenergie durch die Wärmerückgewinnung.

Zu Abbildung 6-18 sei zu sagen, dass die Luft vom 1. Juni 03 bis Ende September 03 nicht über die WRG Anlage geführt, sondern mittels Bypass daran vorbei geleitet wurde.

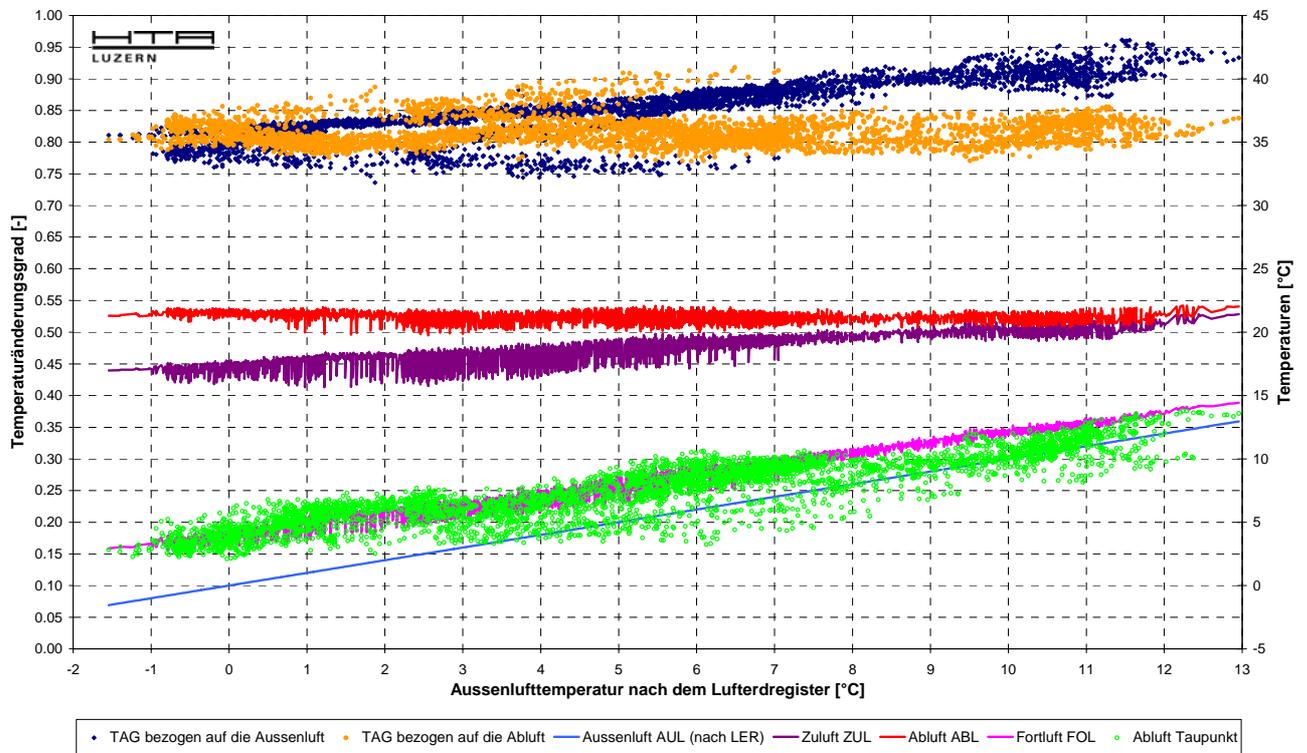


Abbildung 6-21 : TAG in Funktion der Aussenlufttemperatur (nach dem LER) von Oktober 02 bis März 03

In obiger Abbildung wird zwischen zwei Temperaturänderungsgraden (bezogen auf Abluft resp. Aussenluft) unterschieden, welche sich aus folgenden Formeln berechnen lassen [ϑ = Temperatur in °C]:

$$\eta_{iAUL} = \frac{\vartheta_{ZUL} - \vartheta_{AUL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} [-]$$

Formel 4 : Aussenluftbezogener Temperaturänderungsgrad η_{iAUL} (Aussenluft nach Lufterdregister)

$$\eta_{tABL} = \frac{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{FOL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} [-]$$

Formel 5 : Abluftbezogener Temperaturänderungsgrad η_{tABL}

Die Anlage erreicht für die Temperaturänderungsgrade als gut zu bezeichnende Werte (>80%):

η_{tAUL} Mittel	Oktober 02 bis März 03	\approx	85 %
η_{tABL} Mittel	Oktober 02 bis März 03	\approx	80 %

6.4.3 Lufterdregister (LER)

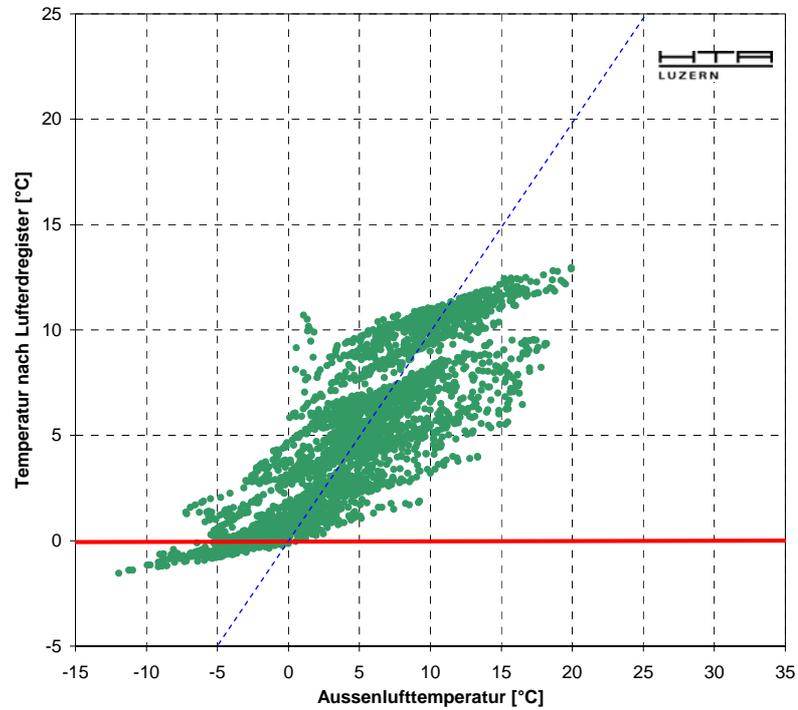


Abbildung 6-22 : Temperatur nach LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 02 bis März 03.

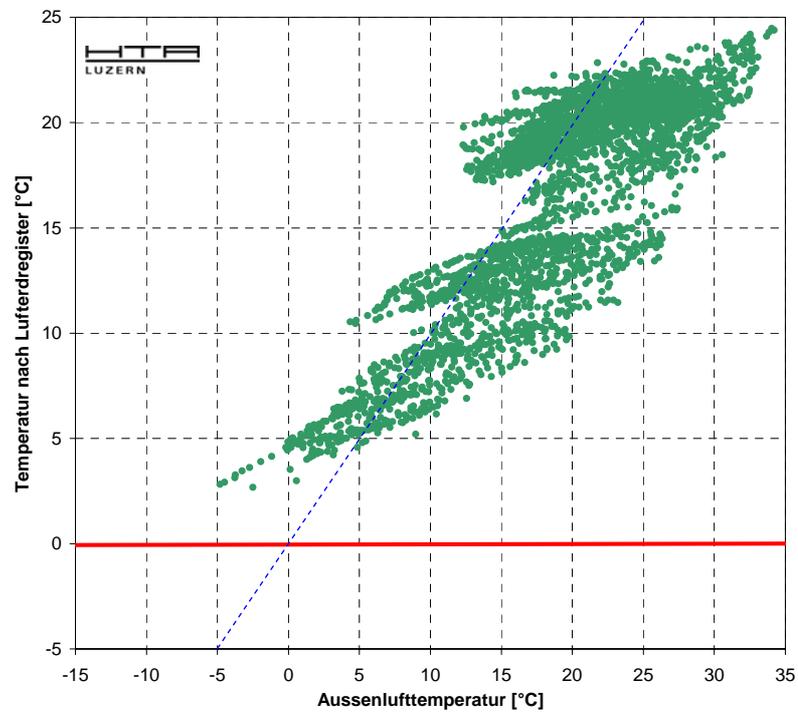


Abbildung 6-23 : Temperatur nach LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 03 bis August 03.

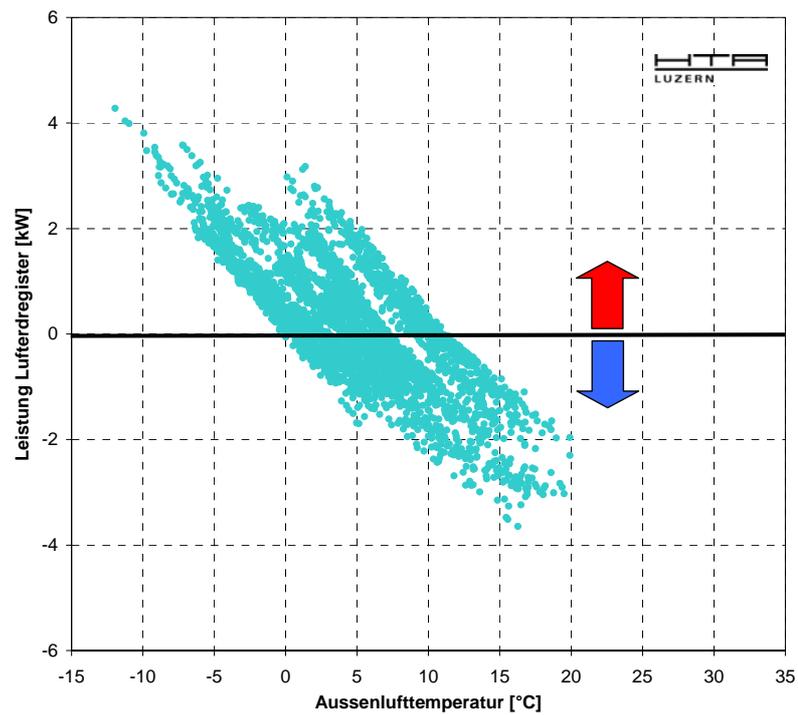


Abbildung 6-24 : Leistung des LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 02 bis März 03

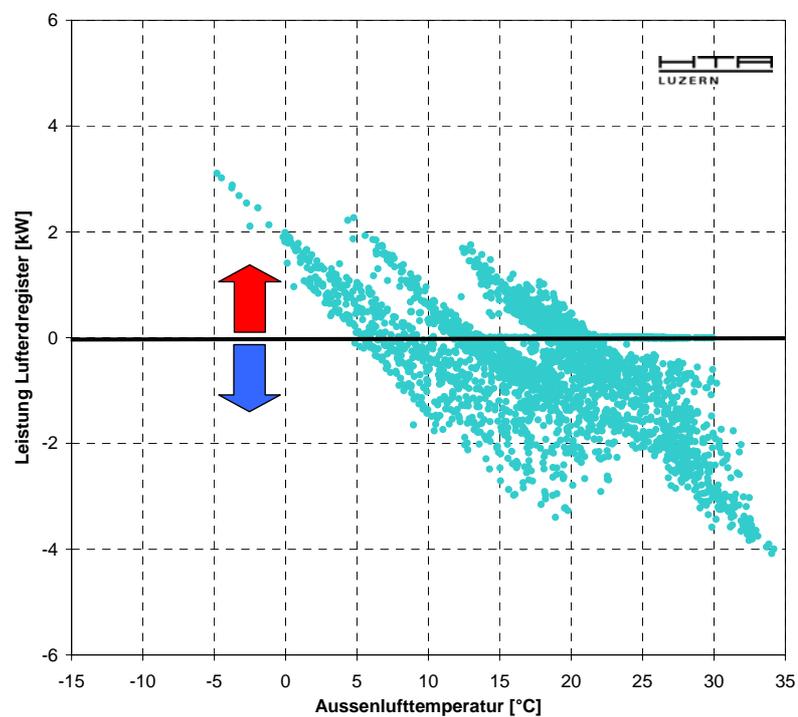


Abbildung 6-25 : Leistung des LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 03 bis August 03

Leistung des Lufterdregisters (LER):

$$\begin{aligned} P_{\text{LER}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{0.2 \text{ kW}} \\ P_{\text{LER}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{-0.5 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Bezogen auf ein Jahr bedeuten diese Werte folgende Einsparung an Heizenergie

$$\begin{aligned} Q_{\text{LER}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{675 \text{ kWh}} \\ Q_{\text{LER}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{-2027 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

oder bezogen auf die Nettofläche nach Passivhaus Definition

$$\begin{aligned} q_{\text{LER}} \text{ Oktober 02 bis März 03} &= \mathbf{0.7 \text{ kWh/m}^2} \\ q_{\text{LER}} \text{ April 03 bis August 03} &= \mathbf{-2.0 \text{ kWh/m}^2} \end{aligned}$$

Es ergibt sich also eine Einsparung von weniger als **1 kWh/m²** an Heizenergie durch das Lufterdregister im Winter und ein Gewinn von **2 kWh/m²** an Kühlenergie während des Sommers.

Obwohl diese Leistungen eher gering ausfallen ist die Funktion des Erdregisters als Schutz der Wärmerückgewinnungsanlage vor Vereisung gegeben. Eine vereiste WRG Anlage im Winter hätte eine massive Einbusse an Energieeinsparung zur Folge. Die Diagramme mit der Austrittstemperatur in Funktion der Aussentemperatur zeigen eindrücklich, dass die Austrittstemperatur selbst bei Aussentemperaturen unter -10°C nur selten die Nullgradgrenze unterschreitet.

6.4.4 Nutzenergieverbrauch

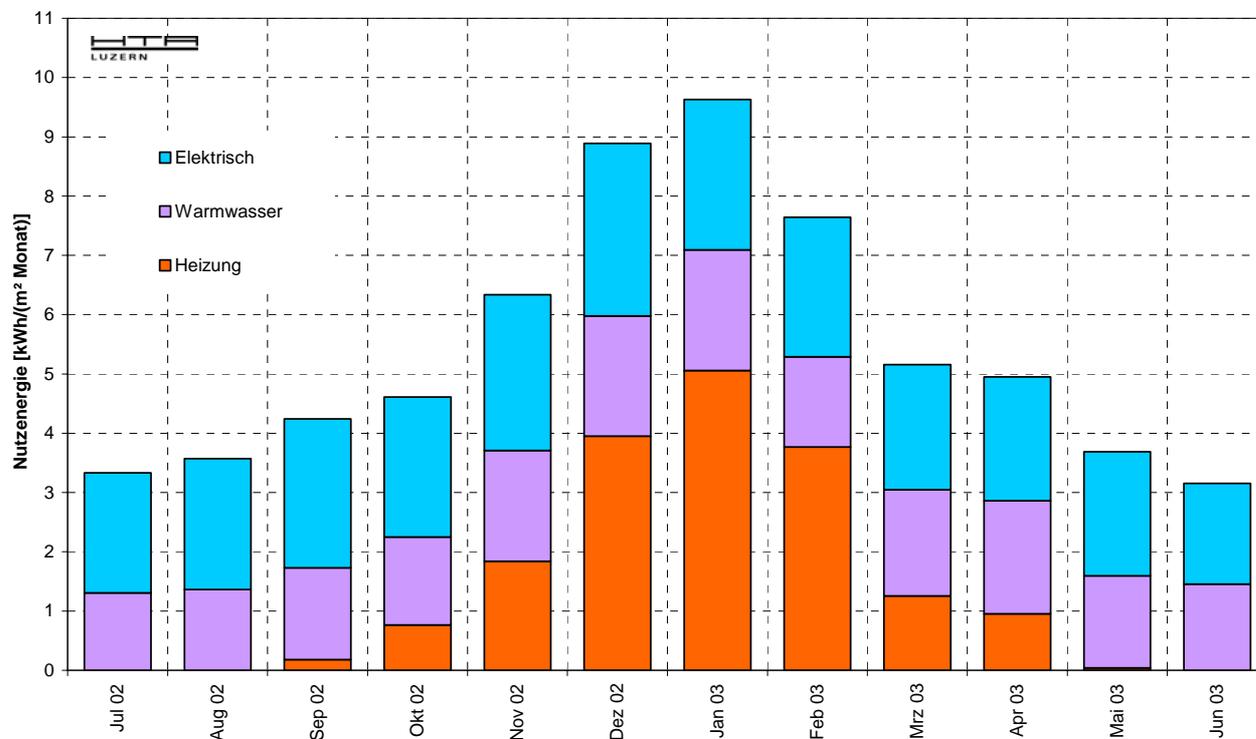


Abbildung 6-26 : Aufgeschlüsselter Nutzenergieverbrauch pro Monat und Nettofläche ach PHPP (998 m²).

	Nutzenergie pro Monat gesamt [kWh/m²]	Nutzenergie pro Monat Heizung [kWh/m²]	Nutzenergie pro Monat Heizung [%]	Nutzenergie pro Monat Warmwasser [kWh/m²]	Nutzenergie pro Monat Warmwasser [%]	Nutzenergie pro Monat Elektrisch [kWh/m²]	Nutzenergie pro Monat Elektrisch [%]
Juli 02	3.33	0.00	0	1.31	39	2.03	61
August 02	3.57	0.00	0	1.36	38	2.21	62
September 02	4.24	0.18	4	1.55	37	2.51	59
Oktober 02	4.61	0.77	17	1.48	32	2.36	51
November 02	6.34	1.84	29	1.87	30	2.63	41
Dezember 02	8.89	3.95	44	2.03	23	2.91	33
Januar 03	9.63	5.06	53	2.04	21	2.54	26
Februar 03	7.64	3.77	49	1.52	20	2.35	31
März 03	5.16	1.26	24	1.79	35	2.11	41
April 03	4.95	0.95	19	1.91	39	2.09	42
Mai 03	3.69	0.04	1	1.55	42	2.09	57
Juni 03	3.15	0.00	0	1.45	45	1.70	53

Tabelle 6-9 : Prozentualer Nutzenergieverbrauch pro Monat

6.4.5 Primärenergieverbrauch

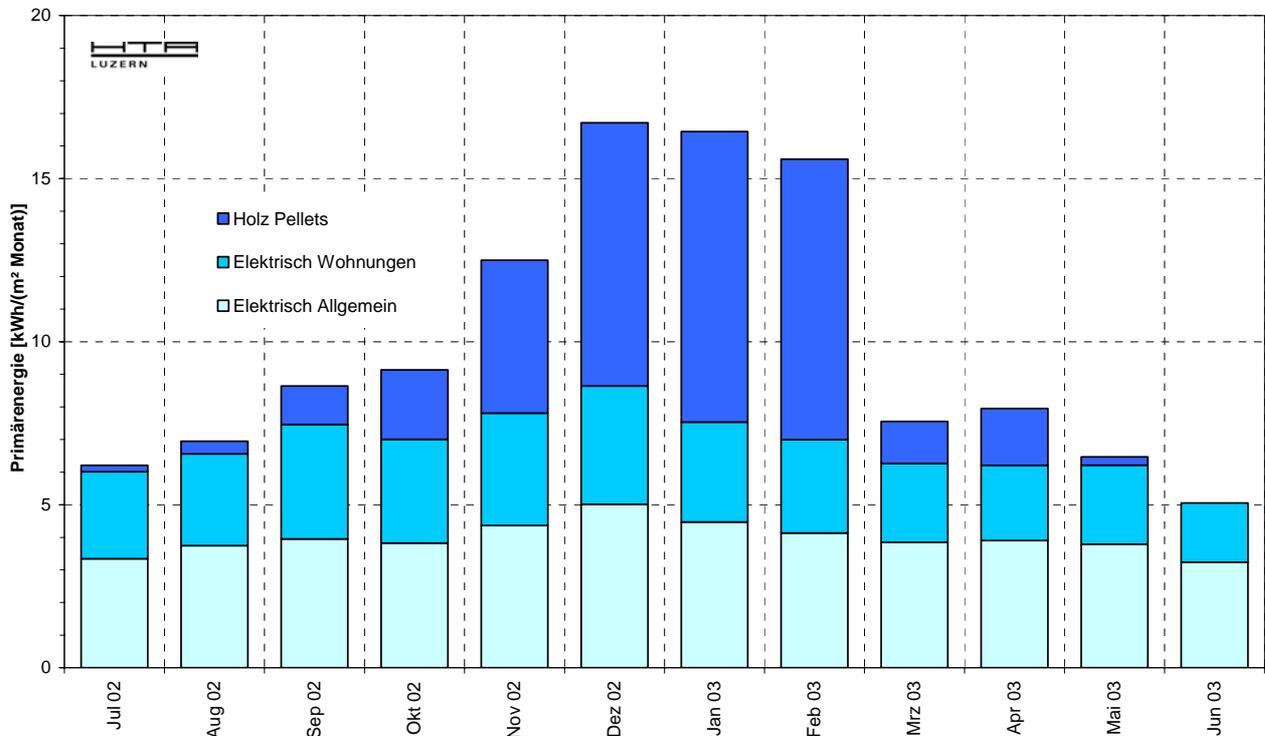


Abbildung 6-27: Aufgeschlüsselter Primärenergieverbrauch pro Monat und Nettofläche nach PHPP (998 m²)

Die kumulierten Energieaufwände (KEA) für die Gewichtung der verbrauchten Energieform sind aufgrund der Werte aus dem PHPP gewählt worden.

Energieart	Prozess	KEA
Brennstoff	Holz Pellets	1.01
Strom	Strom Mix	2.97

Tabelle 6-10 : Kumulierter Energieaufwand (KEA) nach PHPP

Der kumulierte Energieaufwand (KEA), auch bekannt als Primärenergiefaktor, ist definiert als Quotient aus Primärenergie und Endenergie.

$$KEA = \frac{E_{Pr im} \left[\frac{kWh}{kWh} \right]}{E_{End} \left[\frac{kWh}{kWh} \right]}$$

Formel 6 : Kumulierter Energieaufwand (KEA)

	Primär- energie pro Monat gesamt [kWh/m ²]	Primär- energie pro Monat Elektrisch Allgemein [kWh/m ²]	Primär- energie pro Monat Elektrisch Allgemein [%]	Primär- energie pro Monat Elektrisch Wohnungen [kWh/m ²]	Primär- energie pro Monat Elektrisch Wohnungen [%]	Primär- energie pro Monat Holz Pellets [kWh/m ²]	Primär- energie pro Monat Holz Pellets [%]
Juli 02	6.21	3.34	54	2.67	43	0.19	3
August 02	6.94	3.75	54	2.81	41	0.39	6
September 02	8.64	3.95	46	3.50	41	1.18	14
Oktober 02	9.14	3.82	42	3.18	35	2.13	23
November 02	12.50	4.37	35	3.44	28	4.69	38
Dezember 02	16.71	5.01	30	3.63	22	8.07	48
Januar 03	16.44	4.47	27	3.06	19	8.91	54
Februar 03	15.60	4.13	26	2.86	18	8.61	55
März 03	7.55	3.85	51	2.42	32	1.29	17
April 03	7.95	3.91	49	2.30	29	1.74	22
Mai 03	6.46	3.79	59	2.42	37	0.25	4
Juni 03	5.05	3.24	64	1.82	35	0.00	-1

Tabelle 6-11 : Prozentuale Verteilung des Primärenergieverbrauch pro Monat

6.5 Passivhaus Kriterien

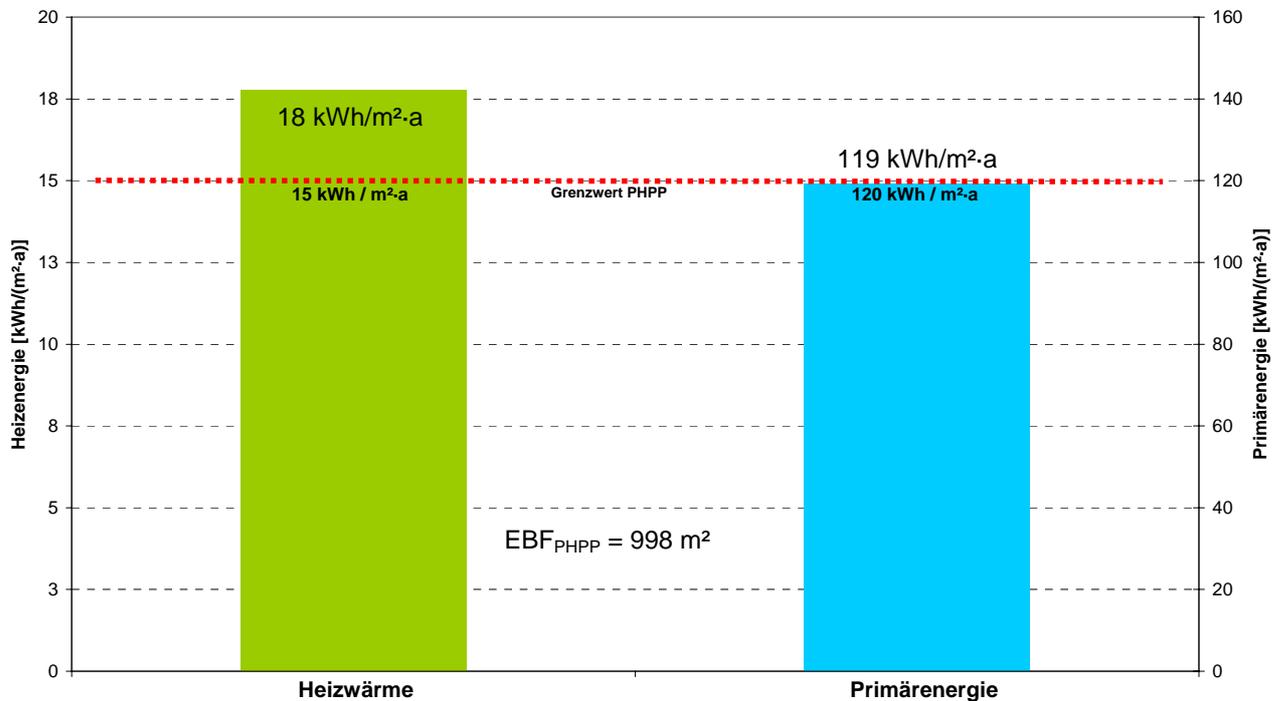


Abbildung 6-28 : Passivhaus Kennzahlen nach PHPP für das MFH Stans.

Der Energieverbrauch ist während der Periode von Juli 02 bis Juni 03, erfasst worden. Die daraus resultierenden Passivhaus Kennwerte Heizenergie q_h und Primärenergie e_p betragen somit

<u>PH im Wechsel Stans</u>	<u>Passivhaus Standard PHPP</u>	<u>Abweichung</u>
$q_h = 18 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	$q_h = 15 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	20 %
$e_p = 119 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	$e_p = 120 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	1 %

Der Passivhaus Standard für den Primärenergieverbrauch kann eingehalten werden und auch der Heizenergiebedarf überschreitet den Grenzwert aus dem Passivhaus Planungspaket (PHPP) nicht markant.

6.5.1 Vergleich mit den Planungswerten

Die Planungswerte für das Passiv-Mehrfamilienhaus Stans fielen zu optimistisch aus. Während das Haus auf der Heizwärmeseite mit 14.2 kWh/m²·a knapp am Grenzwert lag, bescheinigt der Qualitätsnachweis aus dem Projektierungspaket dem Passivhaus einen Primärenergieverbrauch, welcher den Standart um fast 40 % unterbieten sollte.

<u>Messwert</u>	<u>Planungswert</u>	<u>Abweichung</u>
$q_h = 18 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	$q_h = 14.2 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	27 %
$e_p = 119 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	$e_p = 74.9 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{a}$	59 %

Diesen sehr tiefen Wert konnten die Messungen nicht bestätigen, aber trotzdem ist die Kennzahl für die Primärenergie mit 119 kWh/m²·a als gut zu bezeichnen.

7 Schlussfolgerungen

Passivhauskriterien

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass das Passiv-Mehrfamilienhaus Stans gute energetische Kennwerte vorzuweisen hat. Die vom Passivhaus-Institut in Darmstadt definierten Passivhaus-Kennwerte werden aber nicht ganz erreicht - die Abweichungen bewegen sich jedoch in einem vertretbaren Rahmen. Signifikanter sind hingegen die Abweichungen von den Planungswerten. Hier ging die Planung von zu optimistischen Annahmen aus, die im praktischen Betrieb nicht oder nur teilweise zum Tragen kamen.

Benutzerverhalten

Die Bewohner der untersuchten Wohnung zeigen ein Benutzerverhalten, wie es vom Passivhaus - Institut bei der Definition des Passivhaus - Standards vorgesehen worden war. Das Passivhaus - Konzept funktioniert dann am besten, wenn die projektierten internen Lasten bezüglich Feuchte und Wärme tatsächlich wirksam werden. Eine weitere Randbedingung ist, dass die resultierende Raumlufttemperatur um 20 °C liegt. Die Bewohner sind sich der Zusammenhänge im Passivhaus – Standard bewusst und setzen ihn aktiv um.

Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit sowie die Raumluftqualität können in der untersuchten Wohnung als genügend bis gut beurteilt werden. Die durchschnittlichen Raumlufttemperaturen in der Heizperiode bewegen sich mit 20 °C an der unteren Grenze. Sollen die Werte des Passivhaus - Standards eingehalten werden, darf die Raumlufttemperatur während der Heizperiode nicht wesentlich über 20 °C liegen. Die Temperaturverteilung in der horizontalen und vertikalen Ebene ist gleichmässig. Die sommerlichen Raumlufttemperaturen sind in Anbetracht der lang anhaltenden und hohen Aussenlufttemperaturen während der untersuchten Periode als angenehm zu beurteilen. Die Räume im Gebäude zeigten keine Anzeichen von Überhitzung. Die mittleren Raumlufttemperaturen während des Sommers betragen rund 24°C.

Elektrizitätsverbrauch

Der Elektrizitätsverbrauch im Passiv - Mehrfamilienhaus Stans ist gemessen an der Kennzahl für den spezifischen Verbrauch relativ hoch. Der Kennwert von 18 kWh/m²-a wird um rund 50 % überschritten. Dies kann mit der vergleichsweise hohen Belegung und damit einhergehender Präsenzdauer erklärt werden. Möglicherweise ist der Grund für den erhöhten Energieverbrauch auch in einer zuwenig effizienten Beleuchtung zu suchen. Im Winter 02/03 waren zusätzlich noch Luftbefeuchter sowie ein Elektroradiator in der Wohnung Bossard in Betrieb was sich sicher ebenfalls auf den Stromverbrauch ausgewirkt hat. Eine Möglichkeit zur Senkung des Elektrizitätsverbrauchs liegt in der konsequenten Verwendung von Haushaltsgeräten der Energieklasse A oder A+. Die Einbaugeräte in den Wohnungen entsprechen bereits der höchsten Effizienzklasse.

8 Schlussbemerkung

Die Messungen der HTA Luzern wurden im Rahmen einer energetischen Erfolgskontrolle durchgeführt. Diese Untersuchungen sind weder als Abnahmemessung noch als Expertise zu verstehen.

Die elektronisch erfassten Daten werden während 3 Jahren gespeichert. Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden bei uns an der Prüfstelle während 10 Jahren archiviert.

Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

Horw, 2003-10-24

Heinrich Huber
dipl. Masch. und HLK Ing. FH
Stv. Leiter WTT HLKS

Beat Frei
dipl. HLK Ing. HTL
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Florian Reichmuth
dipl. Masch. Ing. FH
Assistent

9 Anhang 1, Klimavergleich

Durch Vergleich der gemessenen Temperaturdaten mit einem Referenzjahr soll ermittelt werden, ob das Messjahr markante Abweichungen von den üblichen Klimatischen Bedingungen in der Region aufweist.

Abbildung 9.1 zeigt eine gute Übereinstimmung so dass die untersuchte Zeitperiode, abgesehen von etwas weniger Sonneneinstrahlung zu Beginn der Messperiode, als repräsentativ zu betrachten ist.

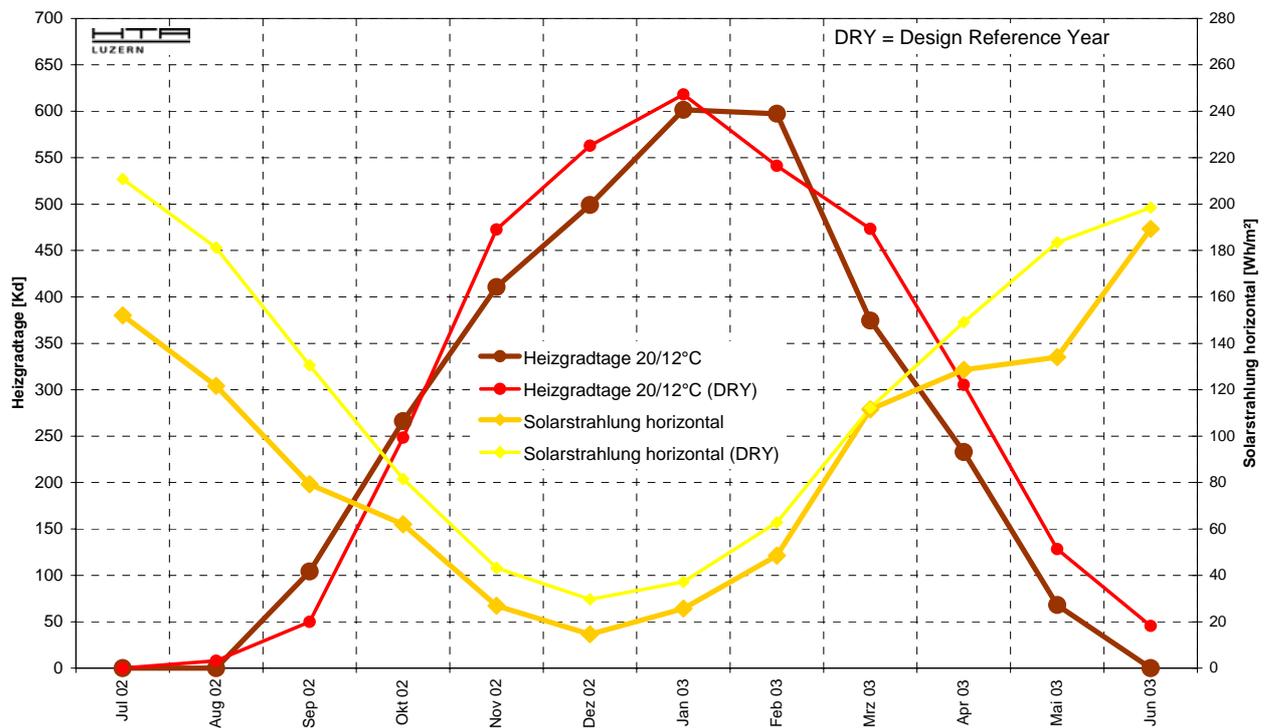


Abbildung 9-1 : Klimavergleich der betrachteten Periode mit einem Design Reference Year (DRY) der SMA Station Luzern

10 Anhang 2, Verzeichnisse

10.1 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 3-1 : Passivhaus "Im Wechsel" Stans in der Westansicht (Quelle: Gebäudetechnik 1/02).	5
Abbildung 5-1 : Messstellenschema der Lüftungsanlage.	11
Abbildung 5-2 : Messstellenschema der Heizungs- und Solaranlage.	12
Abbildung 5-3 : Grundriss mit Bezeichnung der Zimmer.	13
Abbildung 6-1 : Temperaturverläufe während der Messperiode von Oktober 02 bis März 03.	18
Abbildung 6-2 : Temperaturverläufe während der Messperiode von April 03 bis August 03.	18
Abbildung 6-3 : Temperaturkorrelation - Raumtemperatur in Funktion der Aussentemperatur - von Oktober 02 bis März 03.	19
Abbildung 6-4 : Temperaturkorrelation - Raumtemperatur in Funktion der Aussentemperatur - von April 03 bis August 03.	19
Abbildung 6-5 : Summenhäufigkeitsdiagramm der Raumtemperaturen von Oktober 02 bis März 03.	20
Abbildung 6-6 : Summenhäufigkeitsdiagramm der Raumtemperaturen von April 03 bis August 03.	20
Abbildung 6-7 : Summenhäufigkeitsdiagramm für den CO ₂ - Gehalt der Raum- und Aussenluft von Oktober 01 bis März 02.	23
Abbildung 6-8 : Summenhäufigkeitsdiagramm für den CO ₂ - Gehalt der Raum- und Aussenluft von April 02 bis August 02.	23
Abbildung 6-9 : CO ₂ Verlauf während einer Winterwoche (18.1.02 bis 24.1.02)	24
Abbildung 6-10 : CO ₂ Verlauf während einer Sommerwoche (18.8.02 bis 24.8.02)	24
Abbildung 6-11 : Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Raumluftfeuchte von Oktober 02 bis März 03.	26
Abbildung 6-12 : Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Raumluftfeuchte von April 03 bis August 03.	26
Abbildung 6-13: Summenhäufigkeitsdiagramm der Differenz der absoluten Feuchten von Oktober 02 bis März 03.	27
Abbildung 6-14 : Summenhäufigkeitsdiagramm der Differenz der absoluten Feuchten von April 03 bis August 03.	27
Abbildung 6-15 : Aufgeschlüsselter Verbrauch an elektrischer Energie.	30
Abbildung 6-16 : Wohnungsweiser jährlicher Elektrizitätsverbrauch in der Periode von Juli 02 bis Juni 03	31
Abbildung 6-17 : Zentrales Lüftungsgerät im P+D Passivhaus Stans	33
Abbildung 6-18 : Mittlere Heizleistung bezogen auf die gemessene Aussentemperatur.	34

Abbildung 6-19 : Leistung der WRG von Oktober 02 bis März 03	35
Abbildung 6-20 : Leistung der WRG von April 03 bis August 03	35
Abbildung 6-21 : TAG in Funktion der Aussenlufttemperatur (nach dem LER) von Oktober 02 bis März 03	37
Abbildung 6-22 : Temperatur nach LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 02 bis März 03.	38
Abbildung 6-23 : Temperatur nach LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 03 bis August 03.	38
Abbildung 6-24 : Leistung des LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 02 bis März 03	39
Abbildung 6-25 : Leistung des LER in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 03 bis August 03	39
Abbildung 6-26 : Aufgeschlüsselter Nutzenergieverbrauch pro Monat und Nettofläche nach PHPP (998 m ²).	41
Abbildung 6-27: Aufgeschlüsselter Primärenergieverbrauch pro Monat und Nettofläche nach PHPP (998 m ²)	42
Abbildung 6-28 : Passivhaus Kennzahlen nach PHPP für das MFH Stans.	44
Abbildung 9-1 : Klimavergleich der betrachteten Periode mit einem Design Reference Year (DRY) der SMA Station Luzern	48

10.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1 : Dauer der Messperiode	7
Tabelle 6-1 : Messprotokoll der Volumenstrommessung in der Wohnung mit Erd- und Obergeschoss.	15
Tabelle 6-2: Messprotokoll der Volumenstrommessung am zentralen Lüftungsgerät.	17
Tabelle 6-3 : Mittelwerte der Temperaturen während der Heizsaison 2002 / 2003.	21
Tabelle 6-4 : Mittelwerte der Temperaturen im Frühling und Sommer 2003.	21
Tabelle 6-5 : Mittelwerte der relativen Feuchten während der Heizsaison 2002 / 2003	28
Tabelle 6-6 : Mittelwerte der relative Feuchten im Frühling und Sommer 2003.	28
Tabelle 6-7 : Prozentualer Elektrizitätsverbrauch pro Monat.	30
Tabelle 6-8 : Monatliche Messwerte des zentralen Lüftungsgerätes im Passivhaus Stans	32
Tabelle 6-9 : Prozentualer Nutzenergieverbrauch pro Monat	41
Tabelle 6-10 : Kumulierter Energieaufwand (KEA) nach Gemis 4.13.	42
Tabelle 6-11 : Prozentuale Verteilung des Primärenergieverbrauch pro Monat	43

10.3 Formelverzeichnis

Formel 1 : Zuluftvolumenstrom pro Person nach Pettenkofer.	25
Formel 2 : Spezifischer Energieverbrauch p für die Luftförderung.	32
Formel 3 : Energieverbrauch e der Lüftung.	33
Formel 4 : Aussenluftbezogener Temperaturänderungsgrad η_{iAUL}	37
Formel 5 : Abluftbezogener Temperaturänderungsgrad η_{iABL}	37
Formel 6 : Kumulierter Energieaufwand (KEA)	42