



Bericht Nr.: 414782

Objekt: Gewerbe- und Wohnhaus Obermatt
5102 Rapperswil

Auftraggeber: Herr Rainer Kaufmann
Dorfstrasse 20
5102 Rapperswil

Datum: 2003-05-08

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Objektbeschreibung	4
2.1	<i>Gebäude</i>	4
2.2	<i>Nutzung</i>	4
2.3	<i>Anlage</i>	4
2.4	<i>Gebäudedaten</i>	6
3	Erfolgskontrolle	7
3.1	<i>Messkonzept und Durchführung</i>	7
3.2	<i>Kontrolle der Luftvolumenströme an den Durchlässen</i>	12
3.2.1	Messgerät	12
3.2.2	Messverfahren	12
3.2.3	Resultate.....	12
3.3	<i>Komfortanalyse - Sommer Büro 1. Obergeschoss</i>	15
3.3.1	Einführung	15
3.3.2	Messgeräte und Hilfsmittel	15
3.3.3	Messung Position sitzend	16
3.3.4	Messung Position stehend	17
3.3.5	Oberflächentemperaturen	18
3.3.6	Lufttemperatur und -feuchte.....	18
3.3.7	Temperaturstratifikation in einer typischen Sommerwoche.....	19
3.3.8	Beurteilung der Resultate	20
3.4	<i>Vergleich der Klimadaten von MeteoSchweiz Buchs und HTA Rapperswil</i>	21
3.5	<i>Zeitabhängige Temperatur- und Feuchteverläufe</i>	22
3.6	<i>Korrelationsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte</i>	23
3.7	<i>Korrelationsdiagramme für die absolute Feuchte</i>	27
3.8	<i>Summenhäufigkeitsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte</i>	29
3.9	<i>Typische Wochen</i>	31
3.9.1	Sommer	31
3.9.2	Winter.....	33
3.10	<i>Zusammenstellung raumklimatischer Werte</i>	35
3.11	<i>Vergleich Büro Erdgeschoss und Büro 1. Obergeschoss</i>	36
3.12	<i>Analyse verschiedener Anlagekomponenten</i>	41
3.12.1	Erdregister.....	41
3.12.2	Wärmerückgewinnung.....	43
3.12.3	Warmwassererzeugung.....	43
3.13	<i>Energiebilanz</i>	43
3.13.1	Klimavergleich.....	43
3.13.2	Heizkennlinie	45
3.13.3	Nutz-, End- und Primärenergie	46
4	Passivhaus – Kennwerte	47

4.1	<i>Allgemein</i>	47
4.2	<i>Heizung</i>	47
4.3	<i>Warmwasser</i>	47
4.4	<i>Elektrizität</i>	47
4.4.1	Zusammenstellung Elektrizitätsverbrauch	48
4.4.2	Spezifischer Energieverbrauch p für die Luftförderung.....	49
5	Schlussfolgerungen	50
6	Verzeichnisse	51
6.1	<i>Abbildungen</i>	51
6.2	<i>Tabellen</i>	53
7	Literatur	53

1 Zusammenfassung

Durch den Fachbereich Wissens- und Technologietransfer (WTT) HLKS der HTA Luzern wurde im Passivhaus Obermatt Rapperswil seit Juli 2001 eine Erfolgskontrolle durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die Passivhaus – Richtwerte des Passivhausinstitutes Darmstadt nicht eingehalten werden konnten. Die Gründe liegen im Benutzerverhalten einerseits und überdimensionierten Anlagekomponenten andererseits. Der Einfluss allfälliger Wärmebrücken wurde nicht quantifiziert. Leider wurde erst vor wenigen Monaten der ursprünglich vorgesehene Energiezähler Heizung in Betrieb genommen. Ein wesentlicher Einfluss auf die Kennwerte kann aber ausgeschlossen werden, da diese deutlich von den Passivhaus – Richtwerten abweichen.

Das Verbesserungspotential sehen die Autoren in einer Anpassung der Heizkennlinie und einhergehender Information der Bewohner. Ohne wesentliche Anpassung der Heizkennlinie und damit Senkung des Heizenergieverbrauchs kann der ursprünglich vorgesehene Passivhaus – Standard nicht erreicht werden.

Die Ausführungsqualität der technischen Gebäudeausrüstung ist im Vergleich zu anderen Objekten positiv hervorzuheben (Leckage, wärmegeämmte Luftleitungen). Das Erdregister erfüllt die Erwartungen, indem am Austritt keine Lufttemperaturwerte unter 0°C registriert wurden. Als ungünstig erachtet wird die Kombination von Frequenzumrichter und Konstantvolumenstromregler.

2 Objektbeschreibung

2.1 Gebäude



Abbildung 1: Das Passivhaus Obermatt Rapperswil in der Nord-West Ansicht (Quelle Gebäudetechnik 1/02).

Das Passivhaus Obermatt in Rapperswil ist ein dreigeschossiges Wohn- und Bürogebäude an stark lärm- und luftschadstoffbelasteter Lage. Das Gebäude in Mischbauweise besteht aus einem Stahlbetonskelett mit wärmegeprägten Aussenwand-Elementen in Holzrahmenbauweise. Die Luft- und Wärmeverteilung ist in den massiven Betondecken eingelegt. Das Treppenhaus ist offen und unbeheizt. Ausführlichere Beschreibungen finden sich in Literatur [1] und [2].

2.2 Nutzung

Das Gebäude wird als Wohn- und Gewerbehäuser genutzt. Vier Wohnungen und zwei Büros konnten ohne Probleme vermietet bzw. selbst genutzt werden. Die Wohnungen sind nur schwach belegt. Die Belegung der Büros ist hoch und technische Einrichtungen erhöhen die internen Lasten zusätzlich.

2.3 Anlage

Die zentrale, drehzahlgeregelte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Rotor) steht im Untergeschoss und stellt die notwendige Frischluft zur Verfügung. Die Aussenluft wird durch ein Lüfterregister vorgewärmt (7 kW), resp. im Sommer vorgekühlt (5 kW). Die Luftvolumenströme sind für jeden Bezüger (Wohnung oder Büro) fest eingestellt und über einen Konstantvolumenstromregler geregelt. Bei jedem Bezüger wird die Zuluft im Winter nachgewärmt. Die Abluft wird in den Nassräumen und Küchen abgesogen und über Schachtzonen dem Wärmerückgewinnung (Rotor) zugeführt. Eine Brennwert - Gastherme mit 21 kW Leistung produziert die gesamte Wärme für Heizung und Warmwasser. Die Wohn- und Büroräume werden nur über Zuluft beheizt. Die Bäder haben Heizkörper.



Abbildung 2: Das zentrale Lüftungsgerät im Technikraum Untergeschoss.



Abbildung 3: Brennwert - Gastherme und Warmwasserspeicher im Technikraum Untergeschosses.

2.4 Gebäudedaten

Gebäudestandort	Rupperswil 500 m. ü. M.
Norm-Aussentemperatur	-8 °C
Windklasse	1
Kritische Windrichtung	keine
Lage	frei

Energiebezugsfläche nach Schweizer Definition	1068 m ²
Energiebezugsfläche nach Passivhausinstitut - Definition (Nettowohnfläche)	904 m ²
Gebäudevolumen netto	2033 m ³

Energiebezugsflächen und Belegung nach Wohn- und Büroeinheiten:

Erdgeschoss

Büro 1	7 Personen	206 m ²	29 m ² / Person
Wohnung 4	3 Personen	114 m ²	38 m ² / Person

1. Obergeschoss

Büro 2	5 Personen	206 m ²	41 m ² / Person
Wohnung 5	2 Personen	114 m ²	57 m ² / Person

2. Obergeschoss

Wohnung 3	2 Personen	149 m ²	75 m ² / Person
Wohnung 6	1 Person	114 m ²	114 m ² / Person

Baukonstruktionen:

Aussenwand		U = 0.104 W/m ² K
Flachdach		U = 0.107 W/m ² K
Boden gegen unbeheizt		U = 0.109 W/m ² K
Boden gegen Erdreich		U = 0.200 W/m ² K
Fenster	g = 0.51	U = 0.800 W/m ² K

Raumlufttemperaturen:

Wohn- und Büroräume	20 °C
Bad/WC	22 °C
Treppenhaus	unbeheizt

3 Erfolgskontrolle

3.1 Messkonzept und Durchführung

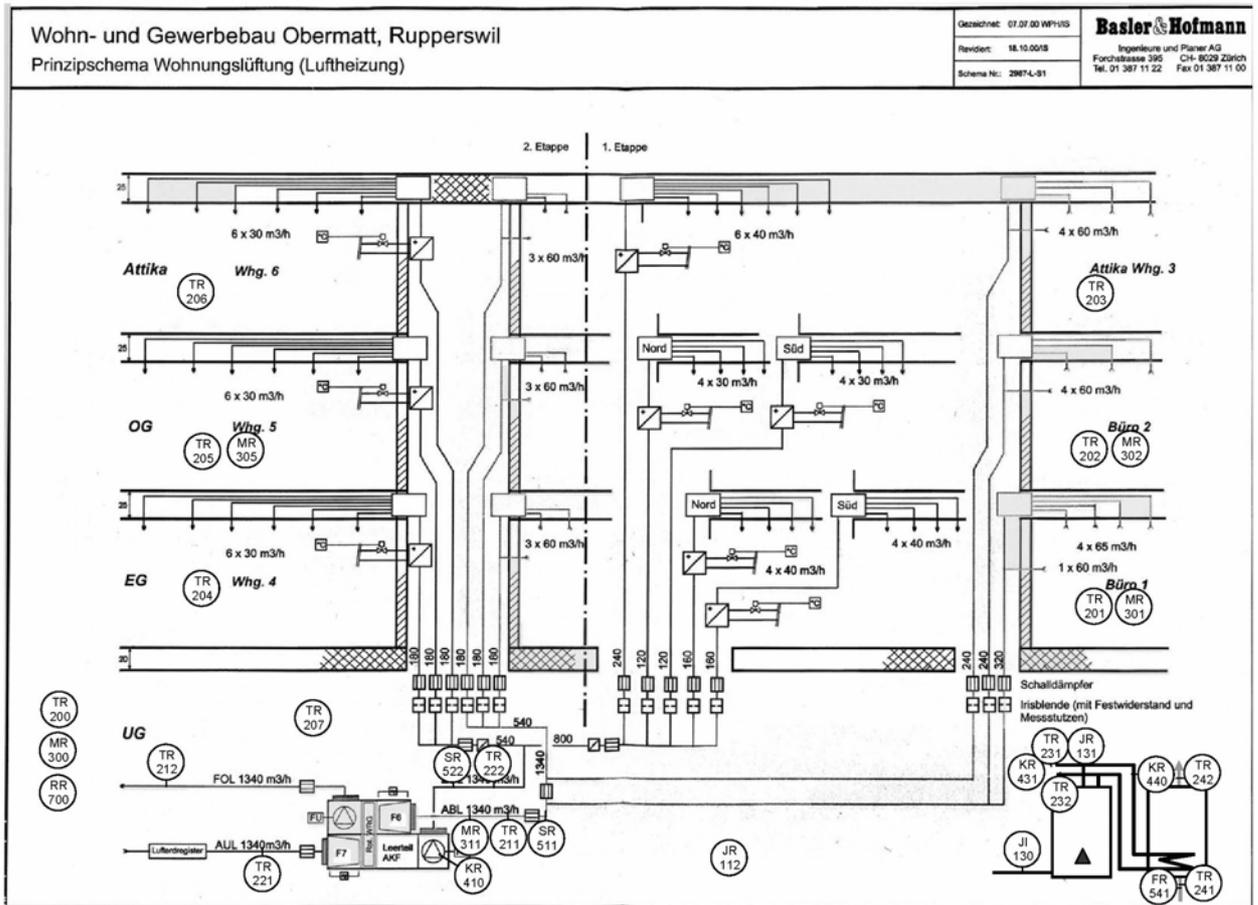


Abbildung 4: Prinzipschema des Messkonzepts.

Legende Abbildung 4:

Temperatur T / Relative Feuchte M / Strömung S / Durchfluss F / Strahlung R / Betriebszeit K

Registrierung R / Anzeige I

Permanente Messungen

Die folgenden Messpunkte wurden vom 2001-07-20 bis 2003-02-28 erfasst.

Elektrische Energie

J I 101	EW-Zähler Büro 1
J I 102	EW-Zähler Büro 2
J I 103	EW-Zähler Wohnung 3
J I 104	EW-Zähler Wohnung 4
J I 105	EW-Zähler Wohnung 5
J I 106	EW-Zähler Wohnung 6
J I 111	EW-Zähler Allgemein-Verbrauch
J R 112	Verbrauch HLK

Zähler mit Ablesung (optische Anzeige): monatliche Ablesung durch Auftraggeber.

Zähler mit Impulsausgang: jede Stunde wird der Stand elektronisch erfasst und abgespeichert

Erdgas

J I 130	Zähler Gaswerk
---------	----------------

Zähler mit Ablesung (optische Anzeige): Monatliche Ablesung durch Auftraggeber.

Thermische Energie

J R 131	Wärmeproduktion Heizkessel
---------	----------------------------

Zähler mit Impulsausgang: jede Stunde wird der Stand elektronisch erfasst und abgespeichert

Temperaturen

T R 200	Aussenluft
T R 201	Raumluft Büro 1
T R 202	Raumluft Büro 2
T R 203	Raumluft Wohnzimmer Wohnung 3

T R 204	Raumluft Wohnzimmer Wohnung 4
T R 205	Raumluft Wohnzimmer Wohnung 5
T R 206	Raumluft Wohnzimmer Wohnung 6
T R 207	Technikraum Untergeschoss
T R 211	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
T R 212	Fortluft nach Austritt aus dem Lüftungsgerät
T R 221	Aussenluft nach Erdregister
T R 222	Zuluft nach dem Lüftungsgerät
T R 231	Vorlauf Heizung
T R 232	Rücklauf Heizung
T R 241	Kaltwasser Eintritt Warmwasserspeicher
T R 242	Warmwasser Austritt Warmwasserspeicher

Die Temperaturen werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Relative Luftfeuchtigkeit

MR 300	Aussenluft
MR 301	Raumluft Büro 1
MR 301	Raumluft Büro 2
MR 305	Raumluft Wohnzimmer Wohnung 5
MR 311	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät

Die relative Feuchte wird jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Betriebszeiten

K R 410	Lüftung
K R 431	Raumheizung (z.B. Umwälzpumpe der Heizung)
K R 440	Warmwasserbetrieb (Laufzeit der Speicherladepumpe oder Stellung Umschaltventil)

Die Betriebszustände (ein/aus) werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeitsmessungen dienen als Indikatoren für die Luftvolumenströme und Betriebsstufen. Bei der Installation der Messung werden die Luftvolumenströme bei den verschiedenen Betriebsstufen gemessen und den entsprechenden Signalen der Luftgeschwindigkeitsfühler zugeordnet.

S R 511	Abluft vor dem Lüftungsgerät
S R 521	Zuluft nach dem Lüftungsgerät

Die Luftgeschwindigkeiten werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Durchfluss

F R 641	Warmwasser, Eintritt in den Warmwasserspeicher
---------	--

Zähler mit Impulsausgang: jede Stunde wird der Stand elektronisch erfasst und abgespeichert.

Strahlung

Q R 700	Globalstrahlung auf Südfassade
---------	--------------------------------

Die Strahlung wird jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Temporäre Messungen

Diese Messungen erfassen momentane Zustände oder kürzere Zeitintervalle.

Luftvolumenströme

Die Luftvolumenströme werden zu Beginn und am Schluss der Heizsaison gemessen. Die Luftvolumenströme werden in den Anschlussleitungen des Lüftungsgeräts und in jedem Raum gemessen.

Sommerfall Büro 2 1. Obergeschoss

Diese Untersuchung wurde im Juli und August 2001 im Büro 2 des ersten Obergeschosses durchgeführt. Die internen Lasten werden ermittelt und die Elektrozähler werden mehrmals abgelesen.

Thermischer Komfort

Am 23. August 2001 wurde im Büro 2 des ersten Obergeschosses der thermische Komfort erfasst. Dabei wurden mit dem Komfortanalysator Brüel & Kjaer folgende Grössen gemessen:

- Raumluftgeschwindigkeit
- Strahlungstemperatur und Strahlungsasymmetrie
- Oberflächentemperaturen von Wänden, Decke und Boden
- Wirk- und Äquivalenztemperatur mit dem Fangerkopf

Messgeräte

Datenerfassung

Der Datenlogger (Fabrikat Datataker) erfasst jede Minute Messwerte und bildet Stundenmittelwerte.

Elektrische Energie

Energie- und Leistungsmessgerät EMU 1.24K

Genauigkeit: ± 2 %

Temperatur

Pt-100 Temperaturfühler

Genauigkeit der Messkette: 0.5 K

Durchfluss

Bestimmung der Luftvolumenströme pro Raum mit dem Messgerät Flowfinder

Genauigkeit: ± 7 %

Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten beim zentralen Lüftungsgerät

Strömungssensoren Schmidt SS20.501

Relative Luftfeuchtigkeit

Kapazitive Fühler

Genauigkeit: ± 5 % r.F.

3.2 Kontrolle der Luftvolumenströme an den Durchlässen

Die Luftvolumenströme an den Durchlässen wurden am 2001-07-20, am 2001-09-26 und am 2002-10-28 kontrolliert. Hierbei wurden die folgenden Werte ermittelt. Nachfolgend werden die Bilanzen der einzelnen Wohn- und Büroeinheiten angegeben:

3.2.1 Messgerät

Fabrikat Acin Flowfinder
Typ 153 complet
Log Nr. 1.08 HP 198

3.2.2 Messverfahren

Mit dem *Flowfinder* wird der Luftvolumenstrom am Durchlass gemessen. Dabei wird ein Ventilator nach der Nullpunkt-Ausgleichsmethode so gesteuert und eingestellt, dass der Durchflusswiderstand aufgehoben wird und dadurch in Kenntnis der Ventilator Kennlinie der Luftvolumenstrom ermittelt werden kann. Die Messdaten werden per Hand protokolliert.

3.2.3 Resultate

Am 20.07.2001 wurden die Luftvolumenströme an den Durchlässen in allen Wohnungen und Büros gemessen. Ebenso wurden die Luftvolumenströme an der Aussenluftfassung und an den Fortluftauslässen bestimmt. Dabei wurde festgestellt, dass die Luftvolumenströme merklich von den Auslegungsdaten abweichen. Diese Erkenntnis korrespondierte mit Rückmeldungen der Bewohner. Die Fehlersuche ergab, dass die Ventilatoren in der Zentrale elektrisch falsch angeschlossen worden sind (Drehrichtung). Die in der Vorwoche durchgeführte Lüftungsabnahme hatte den Fehler nicht bemerkt. Der Besitzer veranlasste umgehend die Korrektur.

Am 23.08.2001 wurden die Luftvolumenströme an den Durchlässen der Büros im Erdgeschoss und im 1.Obergeschoss erneut ermittelt und protokolliert. Nachfolgend sind die Messwerte und die Auslegungsdaten tabellarisch aufgelistet.

Durchlass Nr.	Ort	Art	V _{Messung} (m ³ /h)	V _{Auslegung} (m ³ /h)
1	Büro klein	ZUL	+42	+40
2	Büro klein	ZUL	+40	+40
3	Büro gross	ZUL	+37	+40
4	Büro gross	ZUL	+37	+40
5	Büro gross	ZUL	+37	+40
6	Büro gross	ZUL	+35	+40
7	Büro gross	ZUL	+34	+40
8	Vorraum	ZUL	+38	+40
9	WC	ABL	-42	-60
10	Küche	ABL	-52	-65
11	Küche	ABL	-54	-65
12	Aufenthalt	ABL	-52	-65
13	Büro gross	ABL	-50	-65
Summe	Büro 1. OG	ZUL	+300	+320
Summe	Büro 1. OG	ABL	-250	-320

Vorzeichen: positiv Auslass – negativ Einlass

Tabelle 1: Gemessene Luftvolumenströme im Büro Erdgeschoss

Durchlass Nr.	Ort	Art	V _{Messung} (m ³ /h)	V _{Auslegung} (m ³ /h)
1	Büro klein	ZUL	+27	+30
2	Büro klein	ZUL	+26	+30
3	Büro gross	ZUL	+30	+30
4	Büro gross	ZUL	+26	+30
5	Büro gross	ZUL	+27	+30
6	Büro gross	ZUL	+29	+30
7	Büro gross	ZUL	+27	+30
8	Vorraum	ZUL	+30	+30
9	WC	ABL	-80 (-44)	-60
10	Küche	ABL	-56 (-60)	-60
11	Aufenthalt	ABL	-56 (-62)	-60
12	Büro gross	ABL	-49 (-54)	-60
Summe	Büro 1.OG	ZUL	+222	+240
Summe	Büro 1.OG	ABL	-241 (-220)	-240

Vorzeichen: positiv Auslass – negativ Einlass – kursiv in Klammern Messwerte vor Abgleich WC

Tabelle 2: Gemessene Luftvolumenströme im Büro 1.Obergeschoss

Gesamtvolumenströme

Sowohl im Erdgeschoss als auch im 1.Obergeschoss stimmen die Messdaten mit den Auslegungsdaten gut überein. Die Differenz zwischen aufsummierten Mess- und Auslegungsdaten liegt unter 10%. Dieser Wert entspricht der zu erwartenden Messunsicherheit der Einzelmesswerte.

	Ort	Art	V _{Messung} (m ³ /h)	V _{Auslegung} (m ³ /h)
Summe	N vor Gebäude	AUL	-1133	-1340
Summe	S am Gebäude	FOL	+1203	+1340

Vorzeichen: positiv Auslass – negativ Einlass

Tabelle 3: Gemessene Gesamt-Luftvolumenströme

Die Differenzen zwischen Messung und Auslegung liegen im Bereich von 10%. Wegen der Gesamtfläche der Durchlässe mussten die Messdaten aus Einzelmessungen in Sektoren ermittelt werden. Die Fehler aus Einzelmessungen summieren sich auf und somit kann die Übereinstimmung zwischen Mess- und Auslegungsdaten als gut bezeichnet werden.

Teilvolumenströme in den Büro- und Wohneinheiten

	Soll Zuluft (m³/h)	Soll Abluft (m³/h)	Zuluft (m³/h) 2001-09-26	Abluft (m³/h) 2001-09-26	Differenz Zu- und Abluft (m³/h)
Büro 1	+320	-320	+351	-197	+154
Büro 2	+240	-240	+224	-232	-8
Wohnung 3	+240	-240	+214	-207	+7
Wohnung 4	+180	-180	+171	-129	+42
Wohnung 5	+180	-180	+163	-126	+37
Wohnung 6	+180	-180	+165	-137	+28
Summe	+1340	-1340	+1288	-1028	+260

	Soll Zuluft (m³/h)	Soll Abluft (m³/h)	Zuluft (m³/h) 2002-10-28	Abluft (m³/h) 2002-10-28	Differenz Zu- und Abluft (m³/h)
Büro 1	+320	-320	+356	-190	+166
Büro 2	+240	-240	+213	-251	-38
Wohnung 3	+240	-240	+200	-181	+19
Wohnung 4	+180	-180	+161	-131	+30
Wohnung 5	+180	-180	+161	-139	+22
Wohnung 6	+180	-180	+162	-142	+20
Summe	+1340	-1340	+1253	-1034	+219

Tabelle 4: Messwerte für den Luftvolumenstrom an den Durchlässen.

Die Differenz zwischen Zu- und Abluft ist im Büro 1 zu gross. Das Defizit in der Bilanz für das Büro 2 sollte behoben werden.

Das Passivhaus hat ein Nettogebäudevolumen von 2033 m³. Somit kann mit dem gemessenen Luftvolumenstrom von 1253 m³/h der auf das Nettogebäudevolumen bezogene Luftwechsel von 0.6 / h berechnet werden. Als Planungswert wurde ein Luftwechsel von 0.55 / h vorgesehen.

3.3 Komfortanalyse - Sommer Büro 1. Obergeschoss

3.3.1 Einführung

Da im Büro des 1. Obergeschosses die Fenster konsequent geschlossen gehalten wurden, waren der thermische Komfort und die Behaglichkeit im Sommer von Interesse.



Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung der Behaglichkeit und des thermischen Komforts.

3.3.2 Messgeräte und Hilfsmittel

Komfort

Fabrikat	Brüel&Kjaer
Typ	Thermal Comfort Meter 1212A
Log Nr.	1.18 HP 007

Fabrikat	Brüel&Kjaer
Typ	Indoor Climate Analyzer 1213
Log Nr.	1.18 HP 008

Strömungsgeschwindigkeit

Fabrikat	Dantec
Typ	54N10
Log Nr.	1.18 HP 004

Temperatur

Fabrikat	Testo
Typ	Testoterm 4510
Log Nr.	1.18 HP 005

Relative Feuchte

Fabrikat	Testo
Typ	Testoterm 4510
Log Nr.	1.18 HP 005

3.3.3 Messung Position sitzend

Die *Dantec Strömungsgeschwindigkeits-Sensoren* wurden in 3 Höhen (0.1 m, 0.6 m und 1.3 m) positioniert. Zum Zeitpunkt der Messungen befanden sich fünf Personen im Raum. Vier PC waren in Betrieb. Die Beleuchtung war ausgeschaltet und die Storen Süd zu.

Die am *Indoor Climate Analyzer* angeschlossenen Sensoren für Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit, Strahlung und rel. Feuchte wurden mittels Stativ auf einer Höhe von 0.6 m über Boden positioniert. Der Fanger-Messkopf wurde in einer Höhe von 0.6 m und mit einer Neigung von 30° zur Vertikalen positioniert.

Die Einstellparameter wurden am *Thermal Comfort Meter* folgendermassen eingestellt:

Clothing	0.5 clo
Activity	1.0 met
Vapour pressure	2.1 kPa

Am *Indoor Climate Analyzer* wurden effektiv 2.0 kPa abgelesen. Aufgrund der Skaleneinteilung wurde für den Einstellparameter Dampfdruck 2.1 kPa gewählt.

Die durch das *Thermal Comfort Meter* ermittelten Grössen erreichten folgende Werte:

Komfort Temperatur	25.8° C
Äquivalenz Temperatur	26.1 °C
Temperatur Differenz	0.3 °C
PMV - <i>Predicted mean vote</i>	0.12
PPD - <i>Predicted percentage of dissatisfied</i>	5.8

Mit dem Temperatur und Feuchte Messgerät *Testoterm* wurden eine Temperatur von 26.8 °C und eine relative Feuchte von 57 % gemessen. Mit dem Oberflächentemperaturfühler wurde für das Fenster und eine Tür eine Strahlungstemperatur von jeweils 26.9 °C gemessen. Mit den *Dantec Strömungsgeschwindigkeits-Sensoren* wurden Werte von unter 0.1 m/s ermittelt.

<i>Bodenabstand</i>	<i>Strömungsgeschwindigkeit (m/s)</i>	<i>Temperatur (°C)</i>
h=1.3 m	(0.05 ± 0.01)	(28.0 ± 0.2)
h=0.6 m	(0.07 ± 0.02)	(27.8 ± 0.2)
h=0.1 m	(0.06 ± 0.01)	(27.9 ± 0.2)

Tabelle 5: Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturen in unterschiedlichen Bodenabständen.

3.3.4 Messung Position stehend

Die *Dantec Strömungsgeschwindigkeits-Sensoren* wurden einer Höhe von 0.1 m, 1.0 m und 1.8 m positioniert.

Die am *Indoor Climate Analyzer* angeschlossenen Sensoren für Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit, Strahlung und relative Feuchte wurden mittels Stativ auf einer Höhe von 1.0 m über Boden positioniert. Der *Fanger - Messkopf* wurde ebenfalls in einer Höhe von 1.0 m und mit einer Neigung von 0° zur Vertikalen positioniert.

Die Einstellparameter wurden am *Thermal Comfort Meter* folgendermassen eingestellt:

Clothing	0.5 clo
Activity	1.2 met
Vapour pressure	2.1 kPa

Am *Indoor Climate Analyzer* wurden effektiv 2.0 kPa abgelesen. Aufgrund der Skaleneinteilung wurde für den Einstellparameter Dampfdruck der Wert 2.1 kPa gewählt.

Die durch das *Thermal Comfort Meter* ermittelten Grössen erreichten folgende Werte:

Komfort Temperatur	24.3 °C
Äquivalenz Temperatur	26.6 °C
Temperatur Differenz	2.6 °C
PMV - <i>Predicted mean vote</i>	0.7
PPD - <i>Predicted percentage of dissatisfied</i>	16

Mit dem Temperatur-Feuchte Messgerät *Testoterm* wurde eine Temperatur von 27.0 °C und eine relative Feuchte von 57 % gemessen. Mit dem Oberflächentemperaturfühler wurde für ein Fenster eine Strahlungstemperatur von 27.1 °C und für eine Tür eine Strahlungstemperatur von 27.0 °C gemessen. Mit den *Dantec Strömungsgeschwindigkeits-Sensoren* wurden Strömungsgeschwindigkeiten von unter 0.1 m/s ermittelt.

<i>Bodenabstand</i>	<i>Strömungsgeschwindigkeit (m/s)</i>	<i>Temperatur (°C)</i>
h=1.8m	(0.05 ± 0.01)	(28.1 ± 0.2)
h=1.0m	(0.07 ± 0.01)	(27.7 ± 0.1)
h=0.1m	(0.05 ± 0.01)	(27.8 ± 0.1)

Tabelle 6: Zeitliche Mittelwerte für die Strömungsgeschwindigkeit und die Temperatur in unterschiedlichen Bodenabständen.

3.3.5 Oberflächentemperaturen

Die Oberflächentemperaturen wurden mit dem Oberflächentemperatursensor des *Testoterm* Gerätes gemessen.

Fenster N	28.0 °C
Fenster S	27.3 °C
Boden	26.7 °C
Innenwand	26.7 °C
Decke	26.6 °C
Aussenwand N	26.2 °C

3.3.6 Lufttemperatur und -feuchte

Temperatur und relative Feuchte wurden um 15:00 Uhr mit den jeweiligen Sensoren des *Testoterm* Gerätes gemessen.

Zuluft am Auslass	22 °C	relative Feuchte	62 %
Aussenluft	26.3 °C	relative Feuchte	52.2 %

3.3.7 Temperaturstratifikation in einer typischen Sommerwoche

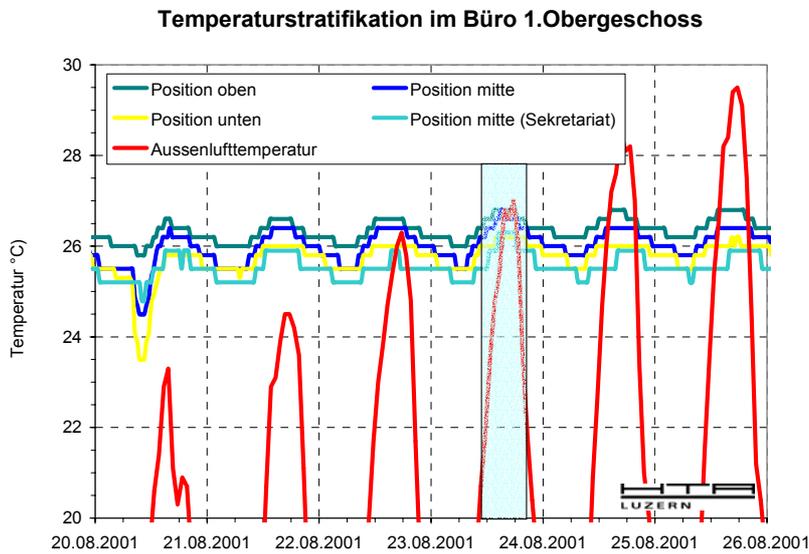


Abbildung 6: Wochenverlauf der gemessenen Temperaturstratifikation im Büro 1. Obergeschoss.

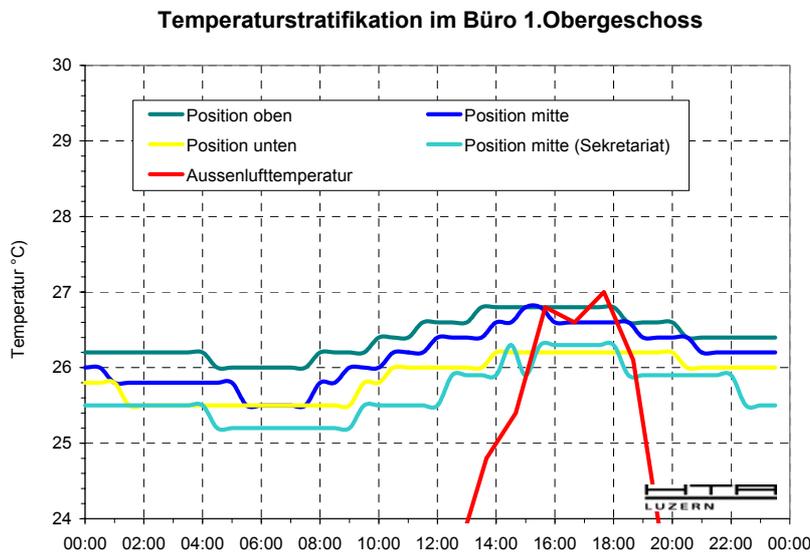


Abbildung 7: Tagesverlauf der gemessenen Temperaturstratifikation am 23.08.2001 im 1. Obergeschoss..

3.3.8 Beurteilung der Resultate

Thermischer Komfort und Behaglichkeit

Allgemein kann der thermische Komfort und die Behaglichkeit als gut bezeichnet werden. Sowohl für die sitzende als auch für die stehende Position wurden unkritische Werte ermittelt. Durchschnittlich würde das prognostizierte Votum neutral bis leicht warm lauten. Der vorausgesagte Anteil Unzufriedener erreicht mit 6 resp. 16 % einen erfreulich tiefen Wert. Die Strömungsgeschwindigkeiten lagen an allen Positionen unter 0.1 m/s und damit im unkritischen Bereich. Im untersuchten Büro wurden die Fenster konsequent geschlossen gehalten. Es fand somit keine Nachtauskühlung durch Querlüftung statt.

Temperaturstratifikation

Erwartungsgemäss konnte eine Stratifikation festgestellt werden. Sie liegt im Grossraumbüro bei rund 0.5 K. Bezogen auf eine mittlere Position - 0.5 m über Boden - kann ein Temperaturunterschied von rund 1 K zwischen Grossraumbüro und Sekretariat festgestellt werden. Generell herrschen geringe Temperaturgradienten vor.

3.4 Vergleich der Klimadaten von MeteoSchweiz Buchs und HTA Rapperswil

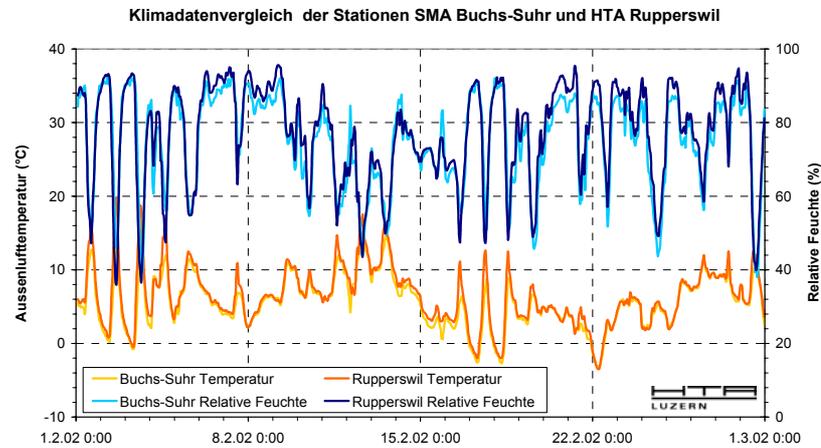


Abbildung 8: Klimadatenvergleich Winter zwischen Buchs-Suhr (MeteoSchweiz) und Rapperswil (HTA).

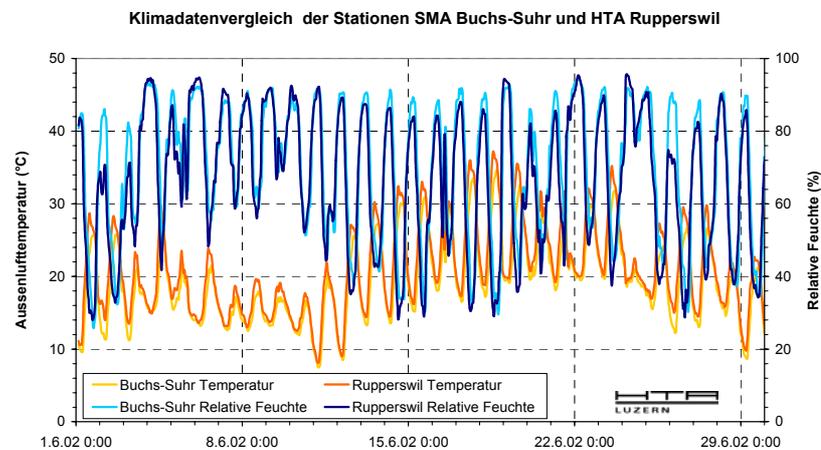


Abbildung 9: Klimadatenvergleich Sommer zwischen Buchs-Suhr (MeteoSchweiz) und Rapperswil (HTA).

Der Vergleich zeigt, dass die Übereinstimmung der beiden Stationen gut ist. An einzelnen Tagen sind Differenzen zu beobachten, welche von lokalen Gegebenheiten verursacht werden.

3.5 Zeitabhängige Temperatur- und Feuchteverläufe

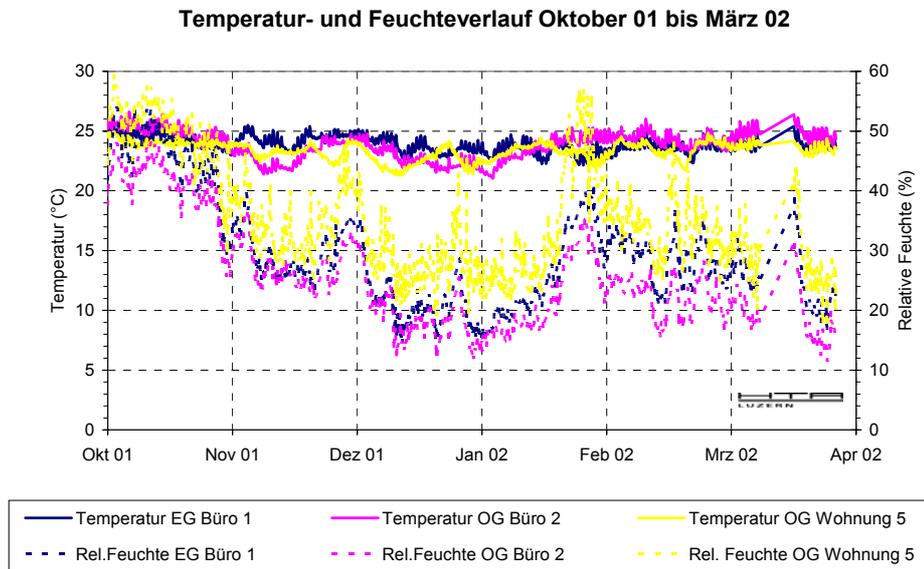


Abbildung 10: Thermisches Verhalten der beiden Büros und Wohnung 5 in der Wintersaison.

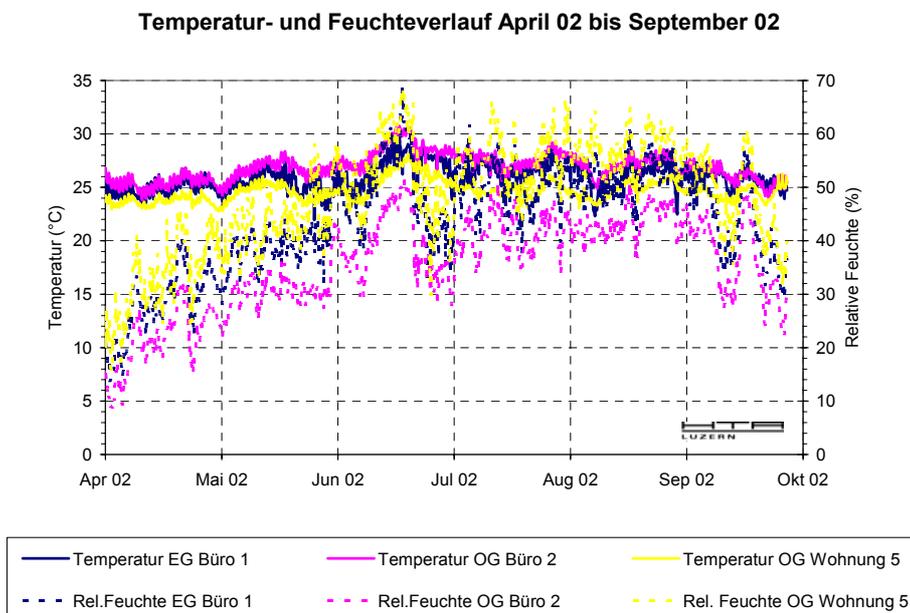
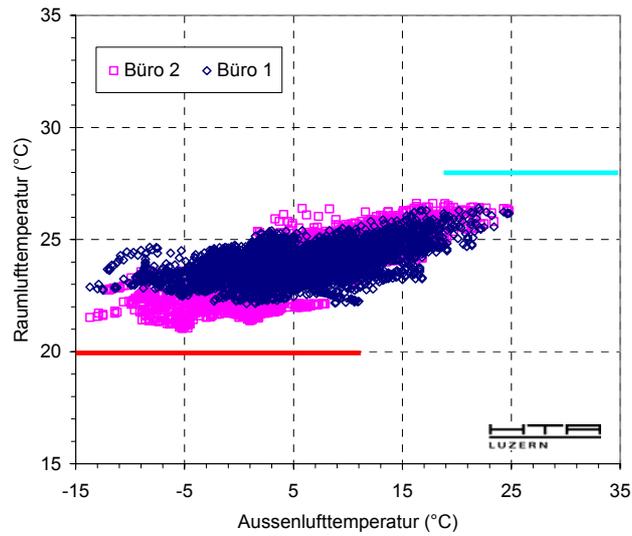


Abbildung 11: Thermisches Verhalten der beiden Büros und Wohnung 5 in der Sommersaison.

3.6 Korrelationsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte

Raumlufttemperaturen Oktober 2001 bis März 2002



Raumlufttemperaturen Oktober 2001 bis März 2002

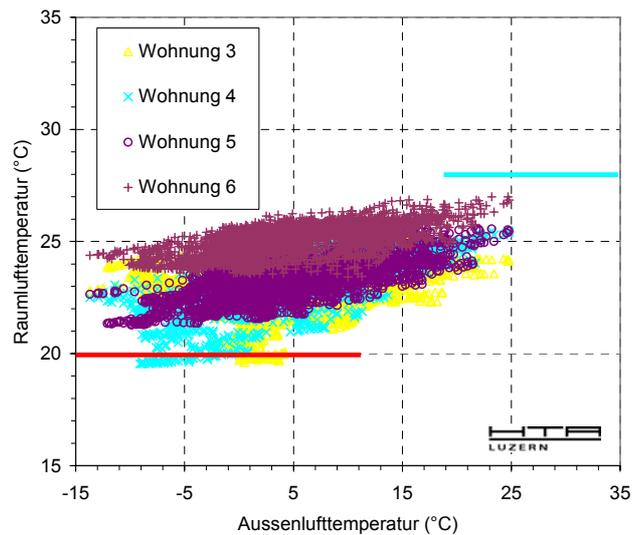
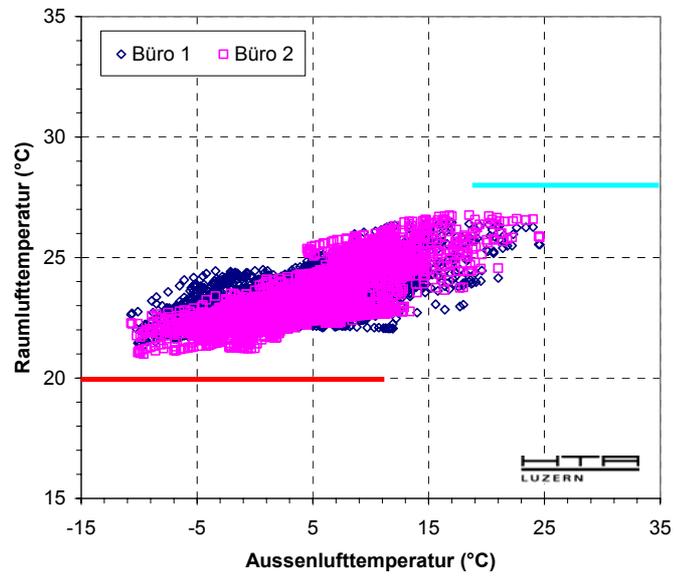


Abbildung 12: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2001 bis März 2002.

Raumlufttemperaturen Oktober 2002 bis März 2003



Raumlufttemperaturen Oktober 2002 bis März 2003

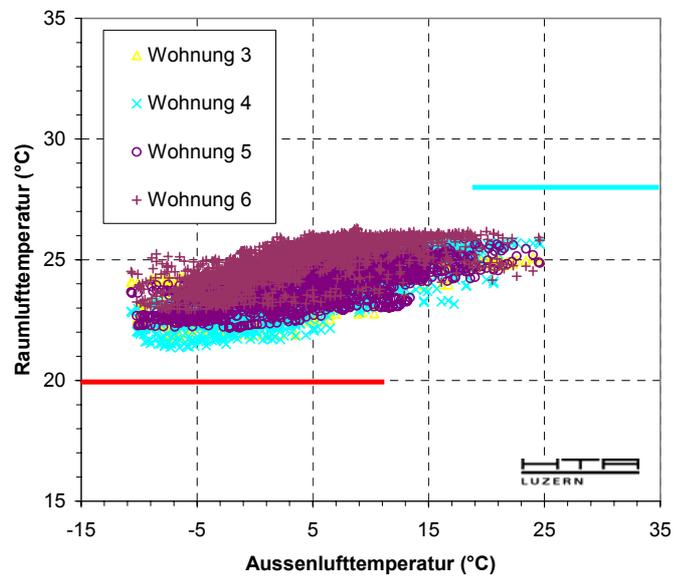
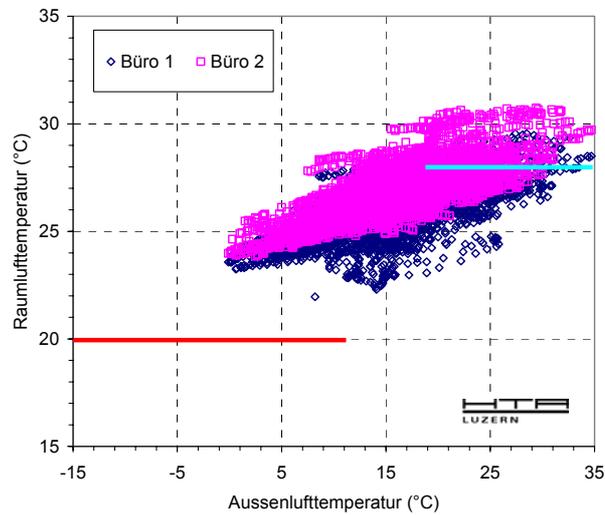


Abbildung 13: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.

Raumlufttemperaturen April 2002 bis September 2002



Raumlufttemperaturen Oktober 2001 bis März 2002

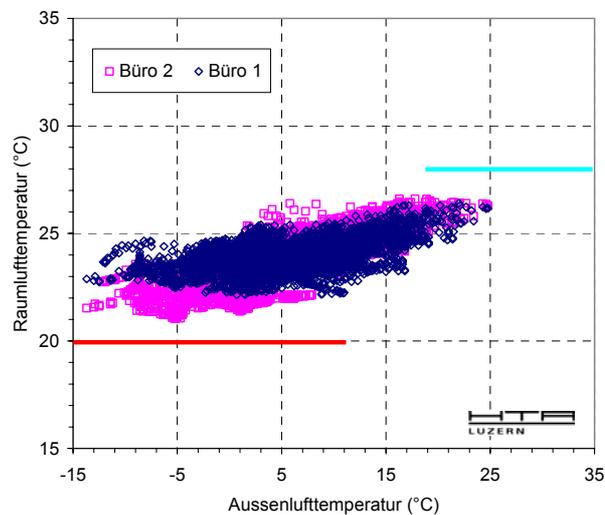


Abbildung 14: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2002 bis September 2002..

Es werden nur selten Temperaturen unter 20 °C registriert, hingegen wurden im Sommerhalbjahr Temperaturen deutlich über 26 °C festgestellt.

Relative Raumlufffeuchte Oktober 2001 bis März 2002

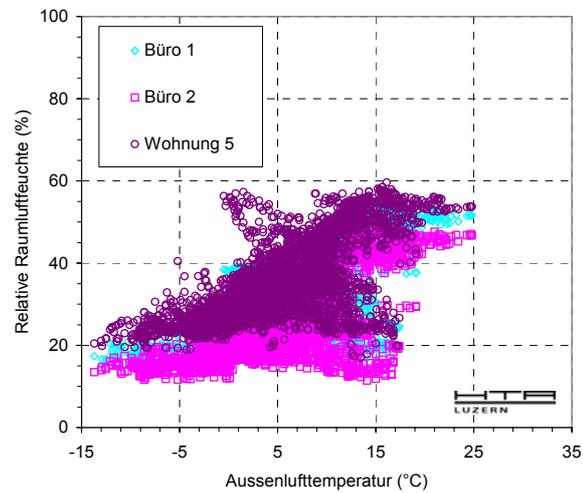


Abbildung 15: Die relative Raumlufffeuchte vom Oktober 2001 bis März 2002 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.

Relative Raumlufffeuchte Oktober 2002 bis März 2003

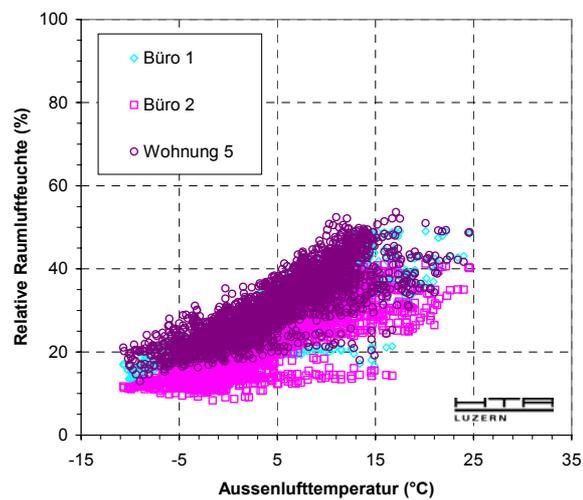


Abbildung 16: Die relative Raumlufffeuchte vom Oktober 2002 bis März 2003 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.

Relative Raumlufffeuchte April 2002 bis September 2002

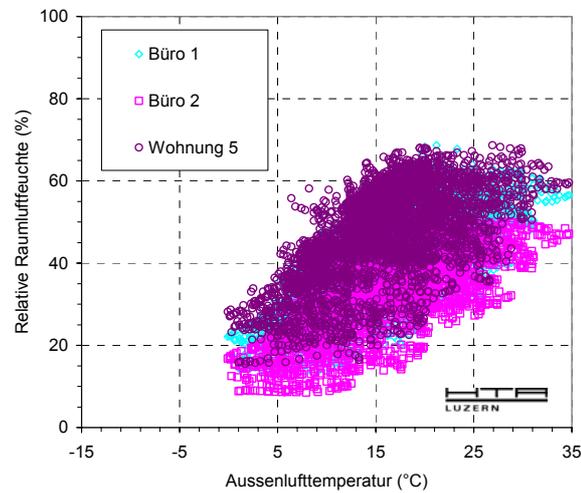


Abbildung 17: Die relative Raumlufffeuchte vom April 2002 bis September 2002 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.

3.7 Korrelationsdiagramme für die absolute Feuchte

Absolute Feuchte Oktober 2001 bis März 2002

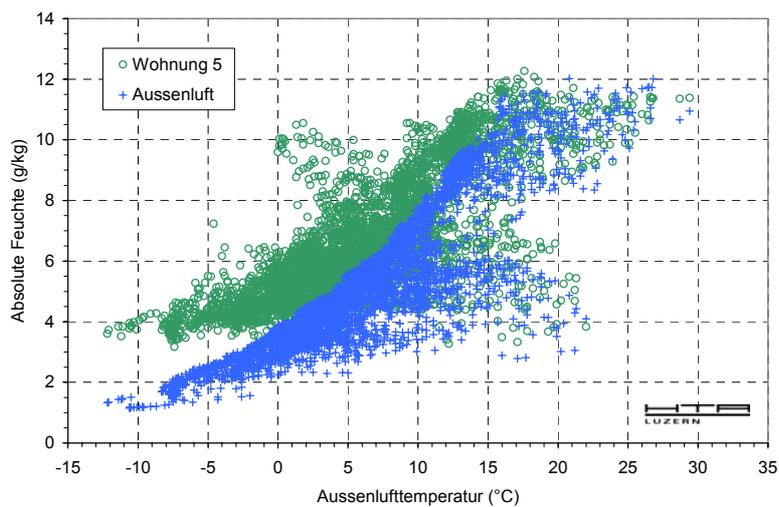


Abbildung 18: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.

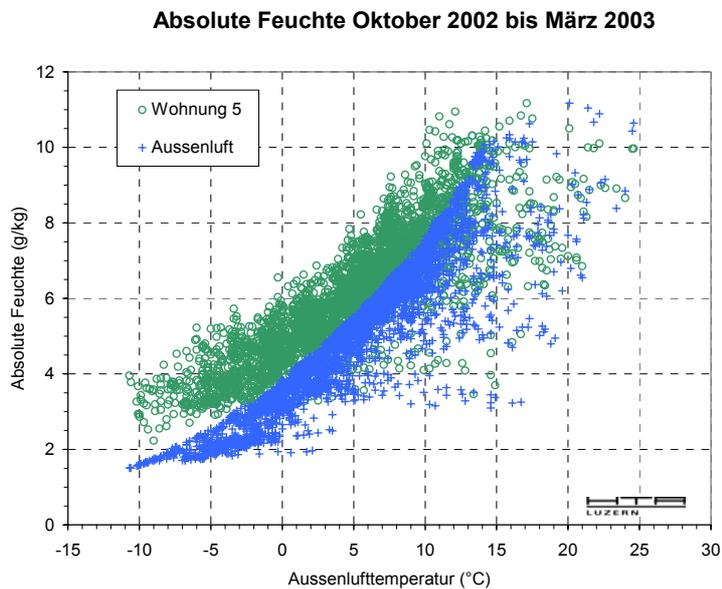


Abbildung 19: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.

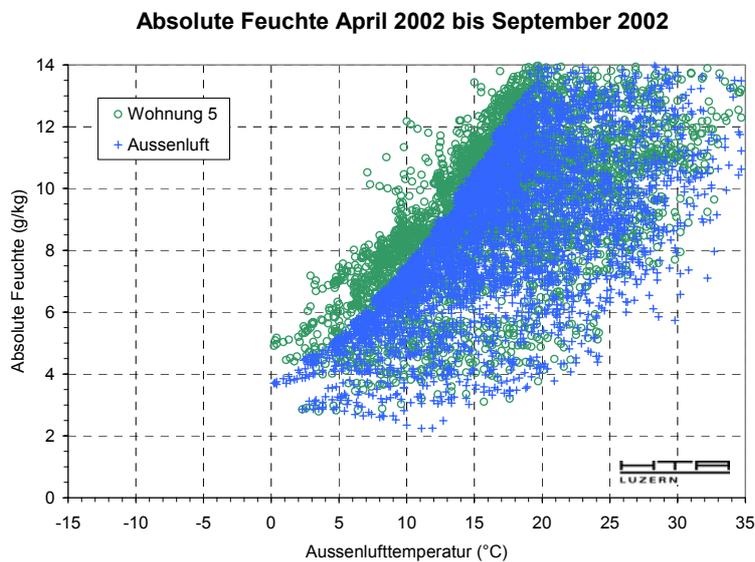


Abbildung 20: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.

Während der Heizsaison (Oktober bis März) machen sich interne Feuchtgewinne bemerkbar. Sie betragen in etwa 2 g/kg.

3.8 Summenhäufigkeitsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte

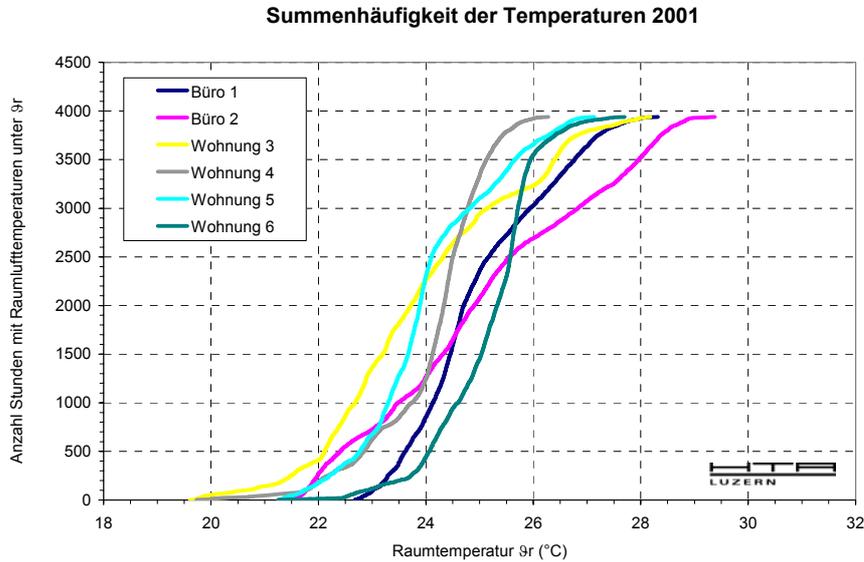


Abbildung 21: Summenhäufigkeitsdiagramm der Temperatur 2001 (Halbjahr).

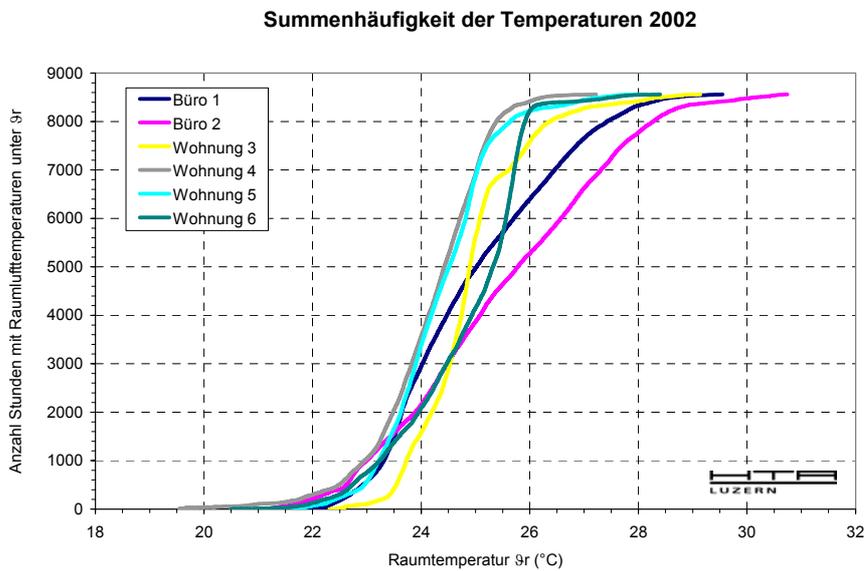


Abbildung 22: Summenhäufigkeitsdiagramm der Temperatur 2002.

<i>Stunden mit Temperaturen über 28 °C</i>	<i>Büro 1</i>	<i>Büro 2</i>	<i>Wohnung 5</i>	<i>Jahresstundenzahl</i>
--	---------------	---------------	------------------	--------------------------

2001	10 (0.3 %)	399 (10 %)	0 (0 %)	3940 (100 %)
2002	216 (2.5 %)	744 (8.7 %)	3 (0.04 %)	8561 (100 %)

Tabelle 7: Stunden mit Temperaturen über 28 °C

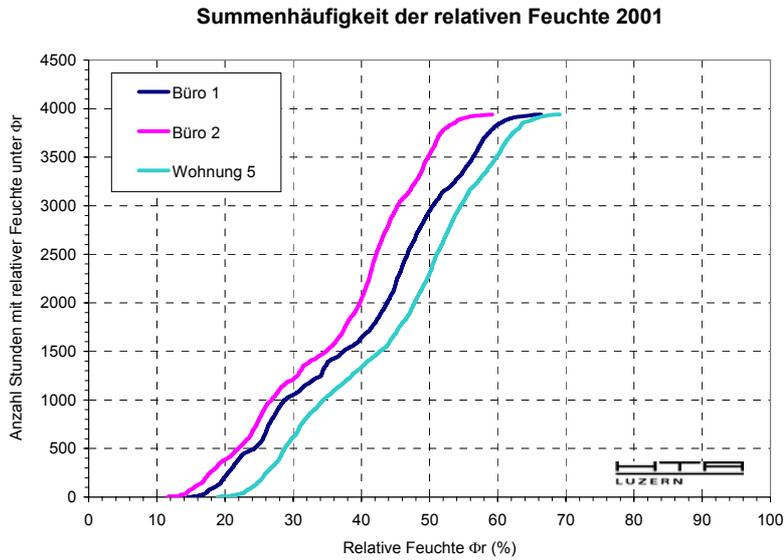


Abbildung 23: Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Feuchte 2001.

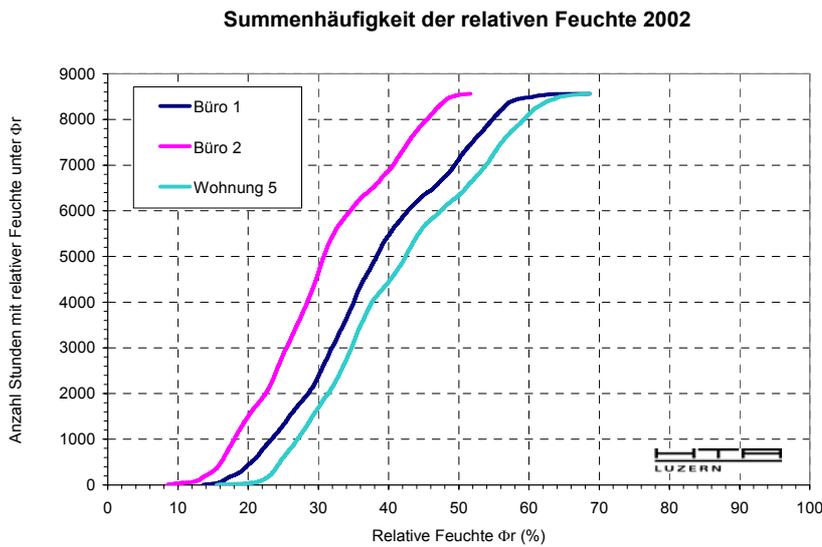


Abbildung 24: Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Feuchte 2002.

Stunden mit relativer Feuchte unter 30%	Büro 1	Büro 2	Wohnung 5	Jahresstundenzahl
2001	1058 (27 %)	1213 (31 %)	618 (16 %)	3940 (100 %)
2002	2365 (28 %)	4630 (54 %)	1687 (20 %)	8561 (100 %)

Tabelle 8: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 %

3.9 Typische Wochen

3.9.1 Sommer

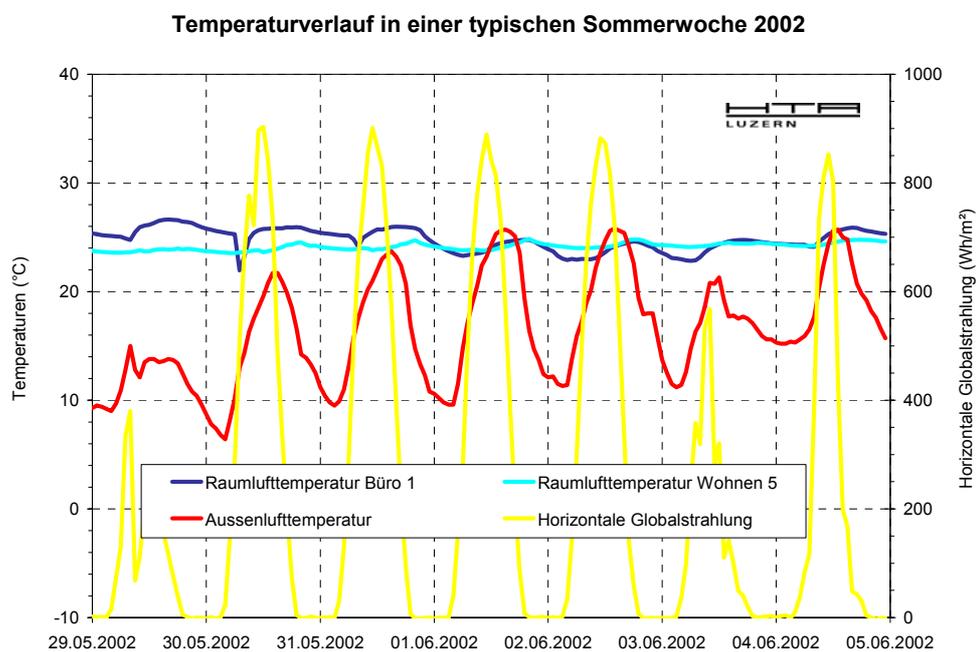


Abbildung 25: Temperaturverlauf in einer typischen Sommerwoche.

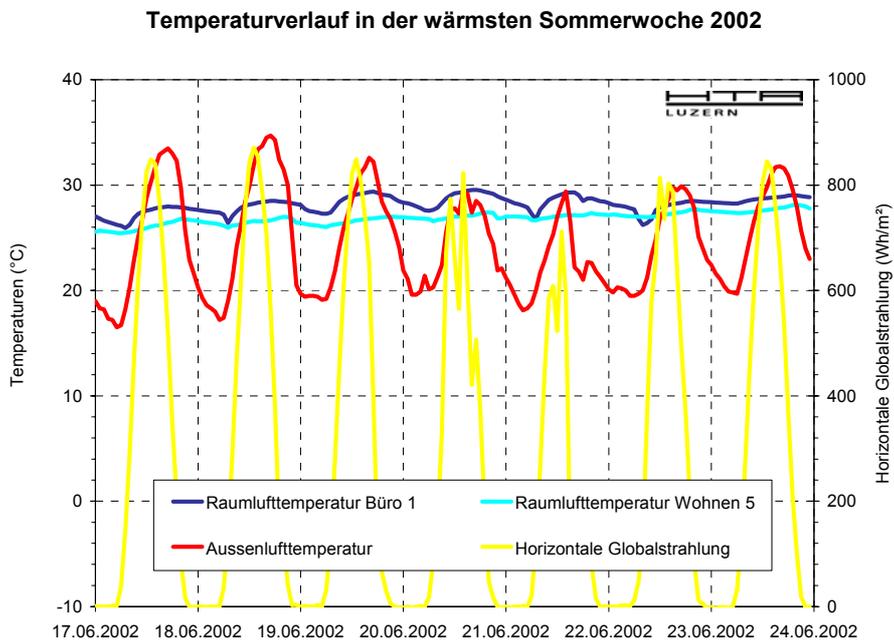


Abbildung 26: Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2002.

3.9.2 Winter

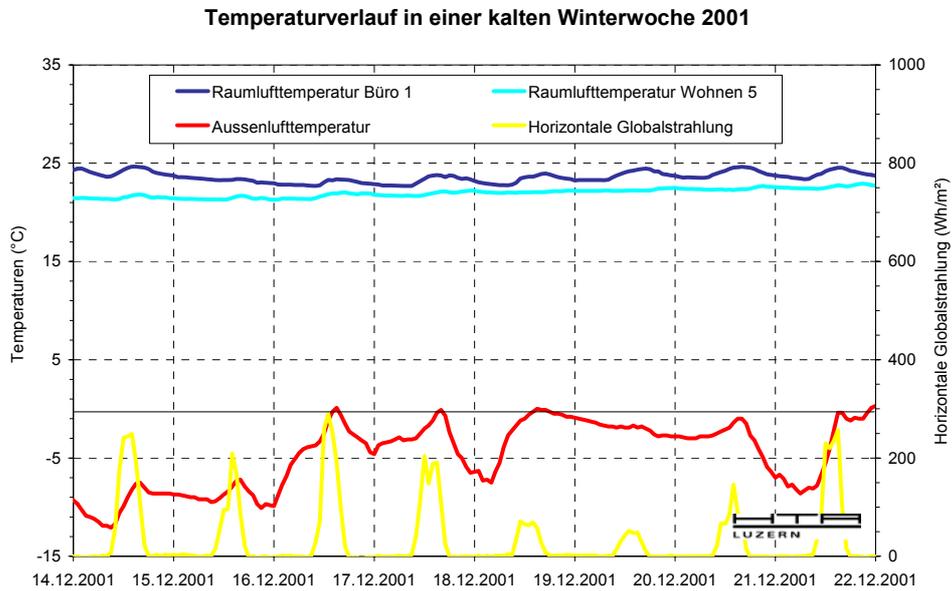


Abbildung 27: Temperaturverlauf in einer kalten Winterwoche.

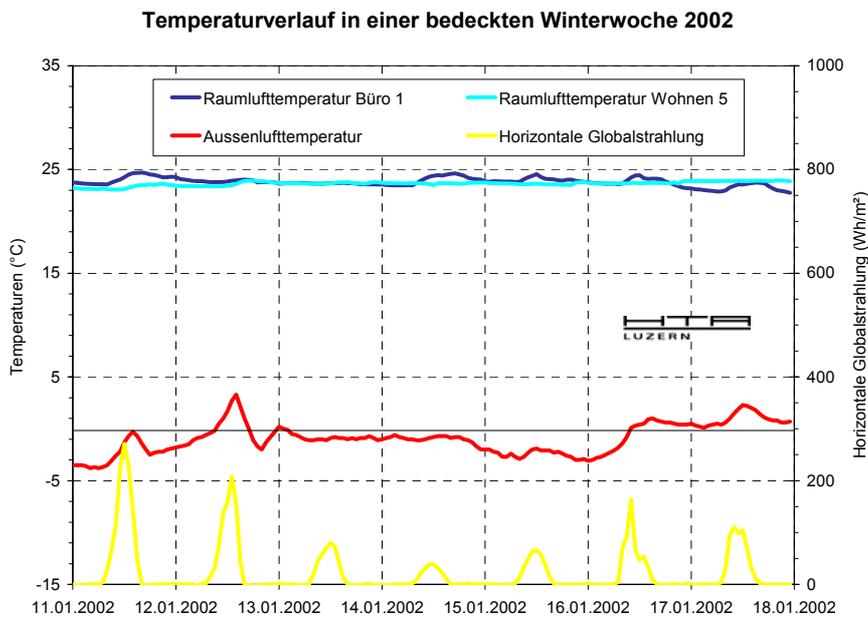


Abbildung 28: Temperaturverlauf in einer bedeckten Winterwoche 2002.

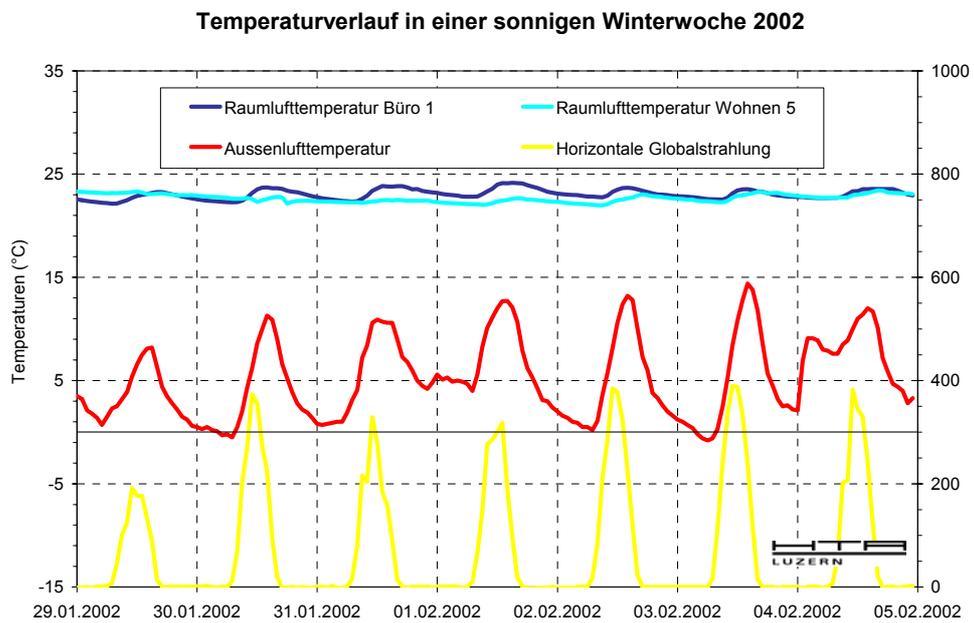


Abbildung 29: Temperaturverlauf in einer bedeckten Winterwoche 2002.

3.10 Zusammenstellung raumklimatischer Werte

Wintersaison

	Temperatur aussein (°C)	Rel. Feuchte aussein (%)	Temperatur Büro 1 (°C)	Rel. Feuchte Büro 1 (%)	Temperatur Büro 2 (°C)	Rel. Feuchte Büro 2 (%)	Temperatur Wohnung 3 (°C)	Temperatur Wohnung 4 (°C)	Temperatur Wohnung 5 (°C)	Rel. Feuchte Wohnung 5 (%)	Temperatur Wohnung 6 (°C)
Mittelwert	5.9	79.7	24.0	30.1	23.8	26.0	23.8	23.6	23.4	35.3	25.1
Standardabweichung	6.4	13.8	0.7	9.6	1.2	9.3	1.2	1.2	0.8	9.6	0.6
Maximalwert	29.4	99.1	26.4	54.2	26.6	48.2	25.6	25.6	25.6	59.6	27.0
Minimalwert	-12.2	18.9	22.1	14.6	21.0	11.4	19.6	19.5	21.3	17.0	23.4

Tabelle 9: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Oktober 2001 bis März 2002.

	Temperatur aussein (°C)	Rel. Feuchte aussein (%)	Temperatur Büro 1 (°C)	Rel. Feuchte Büro 1 (%)	Temperatur Büro 2 (°C)	Rel. Feuchte Büro 2 (%)	Temperatur Wohnung 3 (°C)	Temperatur Wohnung 4 (°C)	Temperatur Wohnung 5 (°C)	Rel. Feuchte Wohnung 5 (%)	Temperatur Wohnung 6 (°C)
Mittelwert	5.0	84.5	23.6	29.6	23.3	23.4	24.3	24.0	24.2	31.4	25.1
Standardabweichung	5.6	11.4	0.9	7.8	1.1	7.0	0.7	1.0	0.7	7.3	0.7
Maximalwert	24.6	98.8	26.5	49.0	26.8	41.5	25.6	25.8	25.9	53.7	26.3
Minimalwert	-10.7	26.7	21.4	11.7	21.0	8.4	21.8	21.4	22.2	12.9	22.9

Tabelle 10: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Oktober 2002 bis März 2003.

Sommersaison

	Temperatur aussein (°C)	Rel. Feuchte aussein (%)	Temperatur Büro 1 (°C)	Rel. Feuchte Büro 1 (%)	Temperatur Büro 2 (°C)	Rel. Feuchte Büro 2 (%)	Temperatur Wohnung 3 (°C)	Temperatur Wohnung 4 (°C)	Temperatur Wohnung 5 (°C)	Rel. Feuchte Wohnung 5 (%)	Temperatur Wohnung 6 (°C)
Mittelwert	18.3	74.1	25.9	49.8	26.7	44.7	24.9	24.8	24.8	54.0	25.0
Standardabweichung	6.3	17.9	1.1	7.3	1.4	6.0	1.8	0.5	1.1	6.8	1.1
Maximalwert	35.7	98.7	28.3	66.4	29.4	59.2	28.2	26.3	27.1	69.1	27.7
Minimalwert	4.5	29.3	23.4	32.3	24.0	29.9	21.3	23.2	22.8	35.9	21.3

Tabelle 11: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Juli 2001 bis September 2001.

	Temperatur aussein (°C)	Rel. Feuchte aussein (%)	Temperatur Büro 1 (°C)	Rel. Feuchte Büro 1 (%)	Temperatur Büro 2 (°C)	Rel. Feuchte Büro 2 (%)	Temperatur Wohnung 3 (°C)	Temperatur Wohnung 4 (°C)	Temperatur Wohnung 5 (°C)	Rel. Feuchte Wohnung 5 (%)	Temperatur Wohnung 6 (°C)
Mittelwert	17.3	69.8	26.0	43.6	26.9	35.1	25.1	24.1	24.6	47.8	24.2
Standardabweichung	6.2	18.9	1.3	10.7	1.3	9.6	1.3	0.9	1.0	10.9	1.3
Maximalwert	37.2	97.0	29.6	68.7	30.7	51.7	29.1	27.2	28.2	68.7	28.4
Minimalwert	0.2	21.1	22.0	13.6	23.8	8.5	22.3	21.7	22.8	15.5	20.5

Tabelle 12: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von April 2002 bis September 2002.

Wintersaison

Bezeichnend ist der Umstand, dass die mittleren Raumluft - Temperaturen in den beiden erfassten Perioden zwischen 23 und 25 °C lagen. Gleichzeitig erreichten die mittleren Raumluftfeuchten Werte zwischen 30 und 35 %. Bezüglich relativer Feuchte besteht eine Tendenz hin zu noch tieferen Werten. Die jeweiligen niedrigen Standardabweichungen deuten auf stabile Verhältnisse hin.

Sommersaison

Die jeweiligen mittleren Raumluft – Temperaturen sind relativ hoch. Zwischen Winterfall und Sommerfall sind die Differenzen nicht gross. Die mittleren Raunluftfeuchten erreichen erwartungsgemäss höhere und komfortablere Werte als im Winter.

3.11 Vergleich Büro Erdgeschoss und Büro 1. Obergeschoss

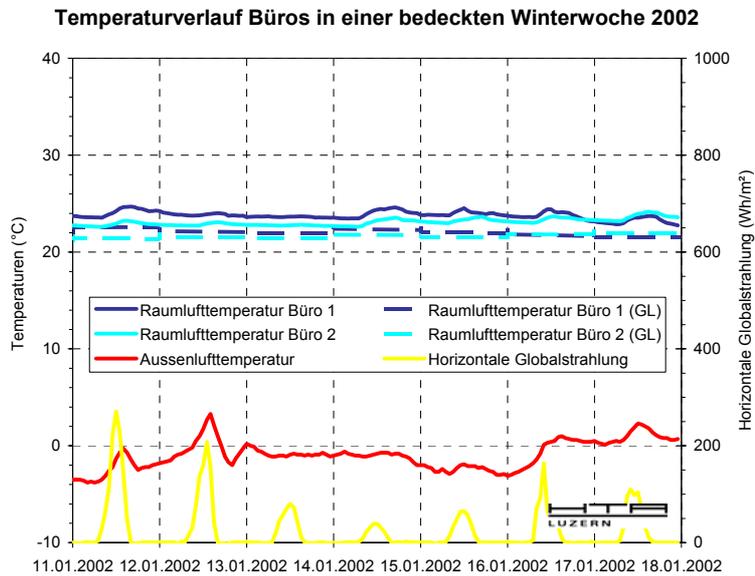


Abbildung 30: Vergleich der Büro Temperaturen in einer bedeckten Winterwoche 2002.

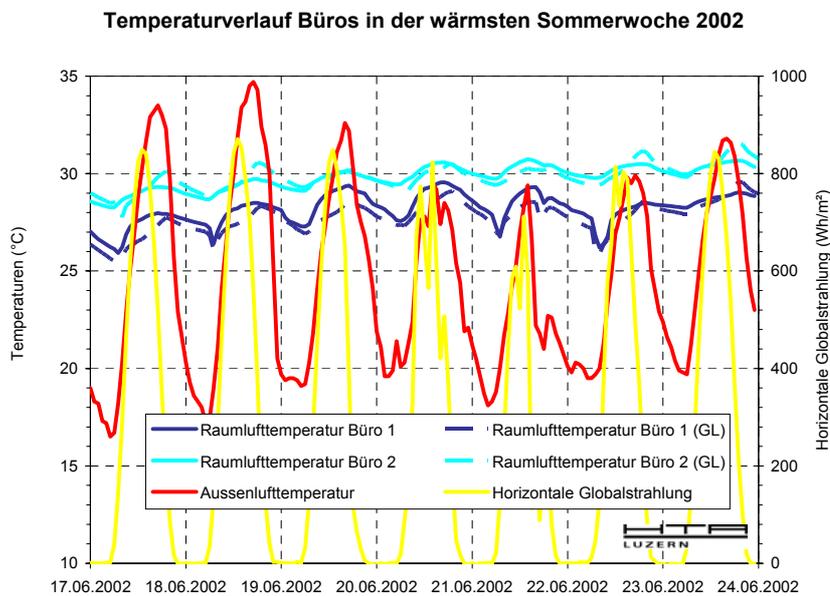


Abbildung 31: Einfluss der Nachtauskühlung auf den Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2002.

Im Büro 1 wurde eine konsequente Nachtauskühlung mittels Querlüftung (abgekippte Fenster) durchgeführt.

Durch konsequentes Ankippen der Fenster während der Nacht und daraus resultierender Querlüftung kann im Büro 1 eine Nachtabenkung der Temperatur um 2-3 °C erreicht werden. Im Büro 2 bringt die mechanische Lüftung eine Nachtabenkung *Figur: Vergleich der Raumlufttemperatur in den beiden Büros.*

Im Winterhalbjahr kann bezüglich Raumlufttemperatur kein merklicher Unterschied zwischen den Büros festgestellt werden. Hingegen weisen die Raumlufttemperaturen im Sommerhalbjahr höhere Werte im Büro des 1. Obergeschosses (~1-2 K) auf.

Vergleich Raumlufttemperatur Oktober 2001 bis März 2002

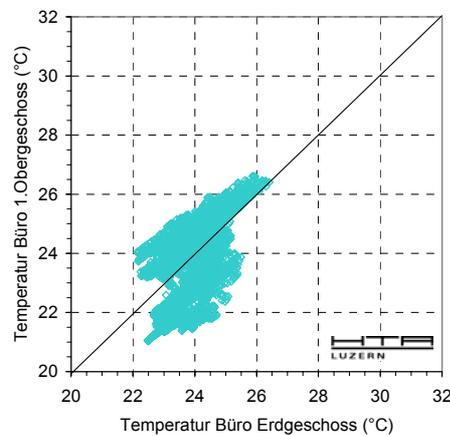


Abbildung 32: Vergleich der Raumlufttemperatur von Oktober 2001 bis März 2002.

Vergleich Raumlufttemperatur Oktober 2002 bis März 2003

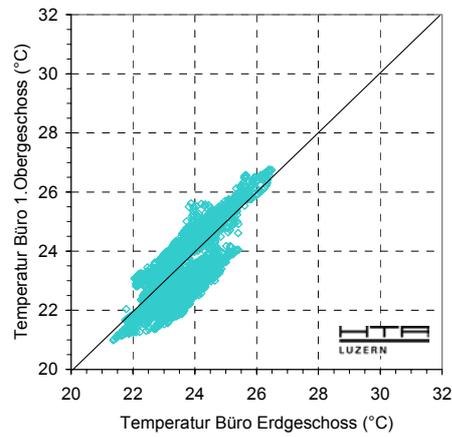


Abbildung 33: Vergleich der Raumlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.

Vergleich Raumlufttemperatur April 2002 bis September 2002

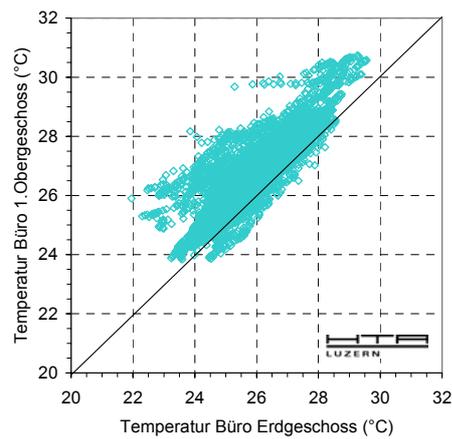


Abbildung 34: Vergleich der Raumlufttemperatur von April 2002 bis September 2002.

Vergleich relative Raumlufffeuchte Oktober 2001 bis März 2002

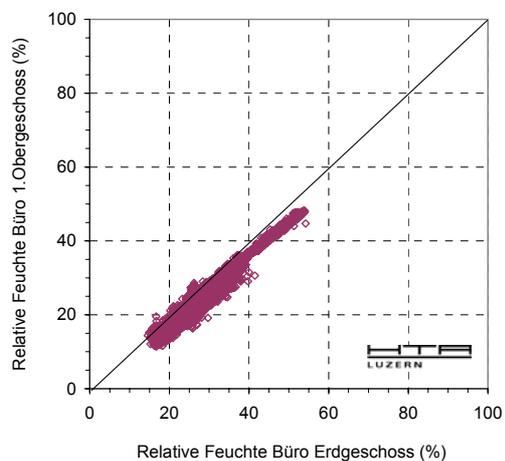


Abbildung 35: Vergleich der Raumlufffeuchte von Oktober 2001 bis März 2002.

Vergleich relative Raumlufffeuchte Oktober 2002 bis März 2003

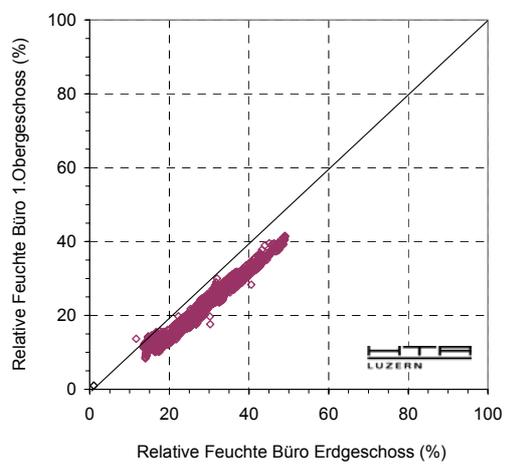


Abbildung 36: Vergleich der Raumlufffeuchte von Oktober 2002 bis März 2003.

Vergleich Raumlufffeuchte April 2002 bis September 2002

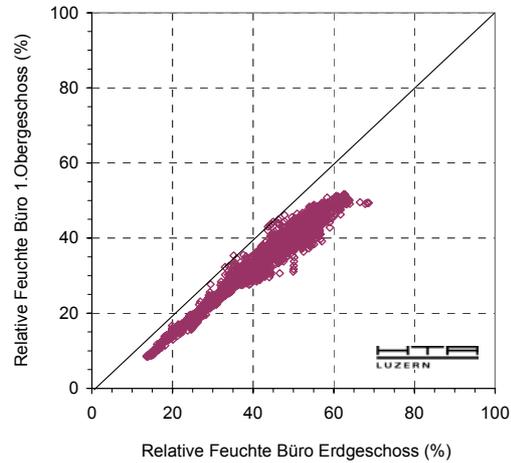


Abbildung 37: Vergleich der Raumlufffeuchte von April 2002 bis September 2002.

Generell sind im Büro des 1. Obergeschosses niedrigere Werte für die relative Feuchte zu verzeichnen.

Absolute Feuchte Oktober 2002 bis März 2003

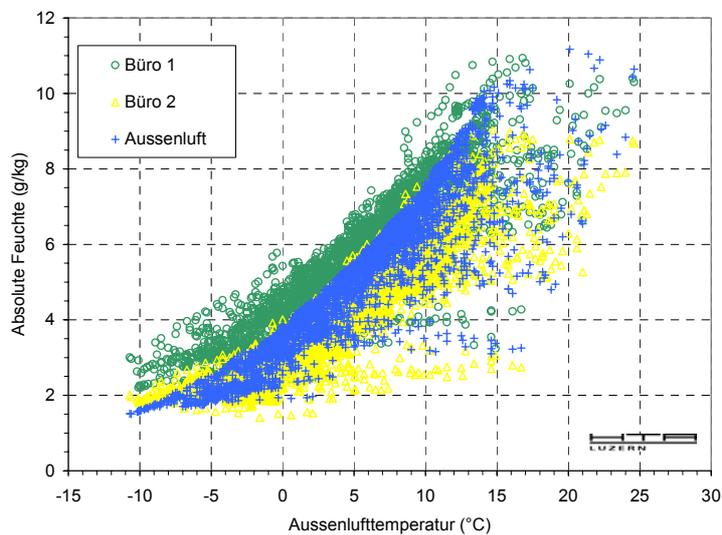


Abbildung 38: Verlauf der absoluten Feuchte Oktober 2002 bis März 2003.

Die kleineren internen Feuchtelasten des Büros 2 im ersten Obergeschoss machen sich in den Abbildungen 38 und 39 bemerkbar.

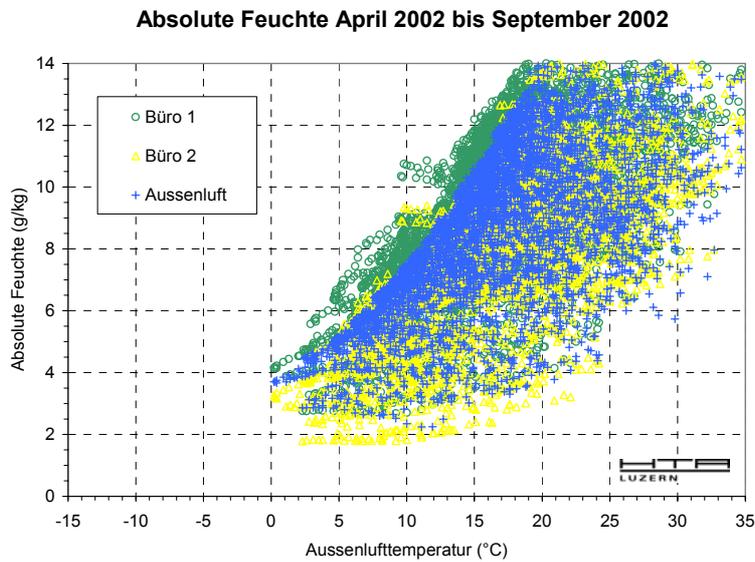


Abbildung 39: Verlauf der absoluten Feuchte Oktober 2002 bis März 2003.

3.12 Analyse verschiedener Anlagekomponenten

3.12.1 Erdregister

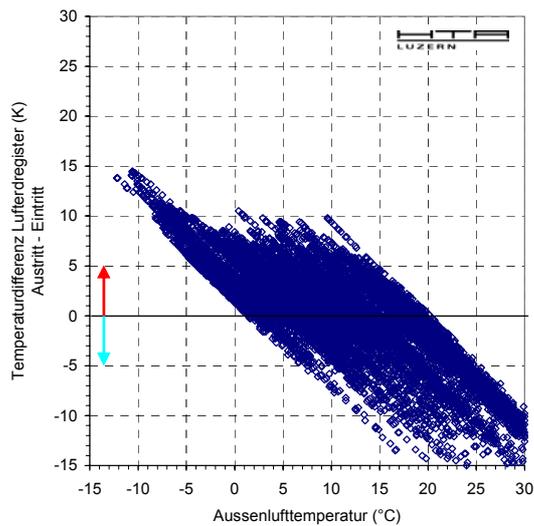


Abbildung 40: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur.

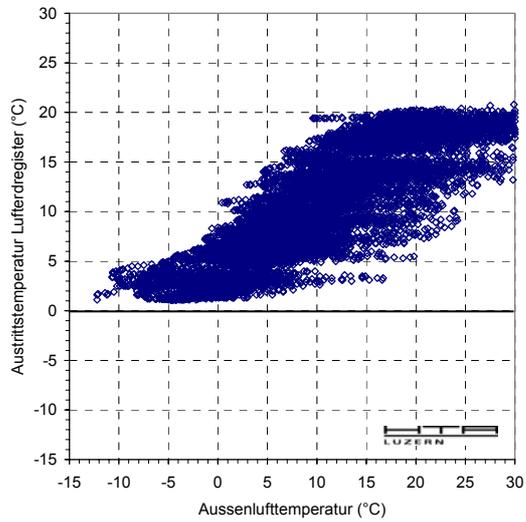


Abbildung 41: Austrittstemperatur Luft – Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur.

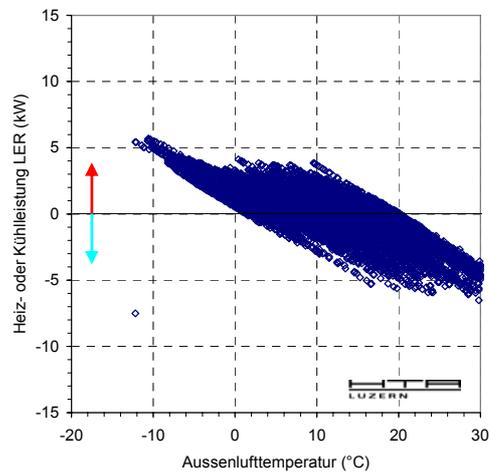


Abbildung 42: Heiz- und Kühlleistung des Luft – Erdregisters in Funktion der Aussenlufttemperatur.

3.12.2 Wärmerückgewinnung

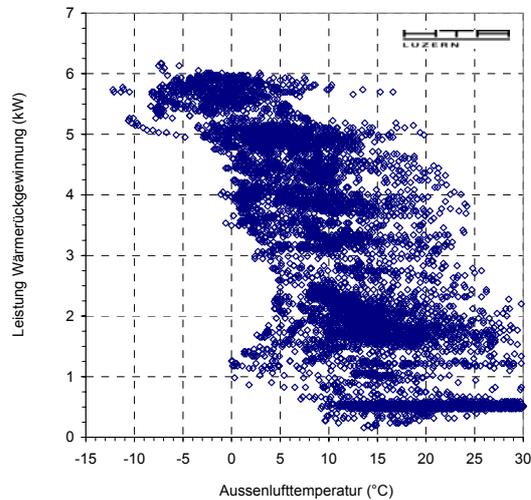


Abbildung 43: Leistung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft bezogen auf die Aussenlufttemperatur.

3.12.3 Warmwassererzeugung

3.13 Energiebilanz

3.13.1 Klimavergleich

Monat	Jahr	Temperatur	Temperatur	Globalstrahlung	Temperatur	Globalstrahlung	Temperatur	Globalstrahlung
		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Abweichung	Abweichung
		(°C)	(°C)	(Wh/m ²)	(°C)	(Wh/m ²)	(%)	(%)
		HTA	MeteoSchweiz	MeteoSchweiz	Meteonorm	Meteonorm		
		Referenzjahr	Referenzjahr	Referenzjahr	Referenzjahr	Referenzjahr		
Aug	2001	21.5	19.6	147071	18.7	145151	105	101
Sep	2001	13.3	12.4	76265	15.1	100299	82	76
Okt	2001	14.6	13.4	64020	10.4	57334	129	112
Nov	2001	4.4	3.5	27184	4.4	26233	78	104
Dez	2001	1.3	0.4	21385	1.6	19252	25	111
Jan	2002	1.5	0.7	28750	0.2	25986	314	111
Feb	2002	6.4	5.7	41663	0.7	44290	792	94
Mrz	2002	7.4	7.1	93292	5.3	80928	136	115
Apr	2002	10.9	9.5	121884	8.7	109516	109	111
Mai	2002	14.7	13.4	132455	13.2	145937	101	91
Jun	2002	21.0	19.4	173145	16.1	155741	121	111
Jul	2002	20.3	18.7	155162	19.5	173341	96	90
Aug	2002	19.6	18.0	128002	18.7	145151	96	88
Sep	2002	15.1	13.6	87254	15.1	100299	90	87
Okt	2002	11.1	10.1	56581	10.4	57334	98	99
Nov	2002	7.4	6.8	20379	4.4	26233	154	78

Tabelle 13: Klimadatenvergleich Meteonorm Referenzjahr und MeteoSchweiz Buchs - Suhr 2001 bis 2002.

Klimavergleich horizontale Globalstrahlung

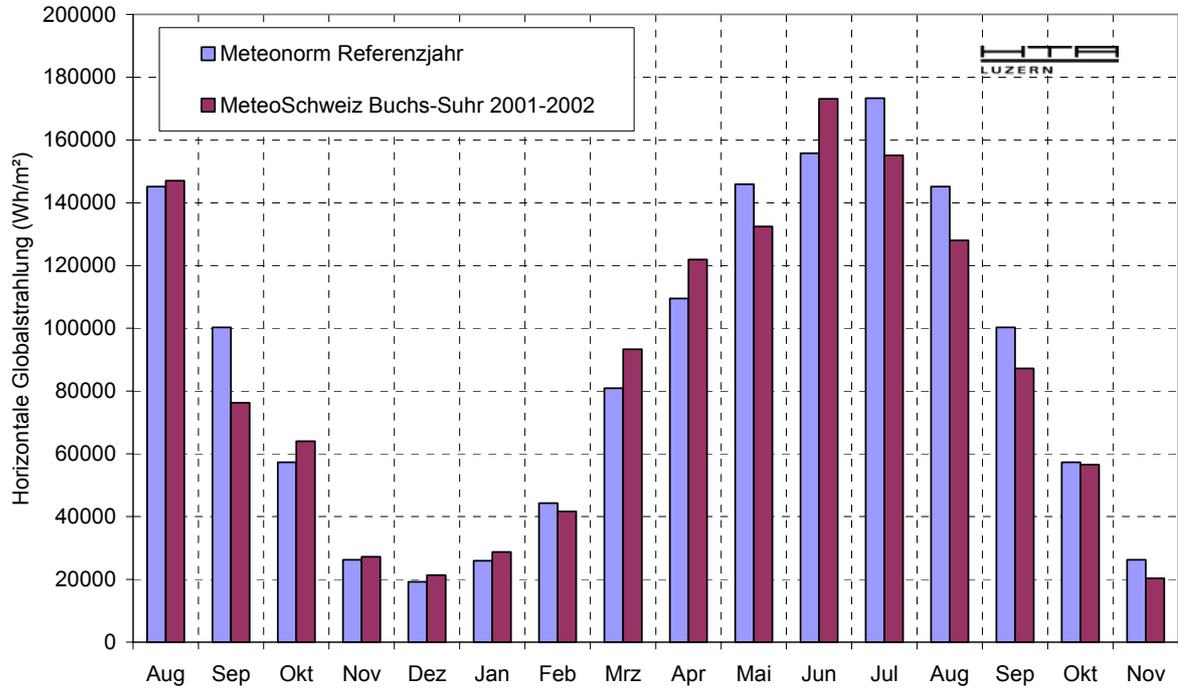


Abbildung 44: Monatsbilanzen der horizontalen Globalstrahlung im Referenzjahr und 2001-2002.

Heizgradtage	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
2001	567	462	384	351	38	29	0	0	136	72	496	599
2002	599	400	385	289	119	0	0	0	93	266	388	482

Tabelle 14: Vergleich der Heizgradtage 2001 und 2002 (Quelle MeteoSchweiz/HEV).

3.13.2 Heizkennlinie

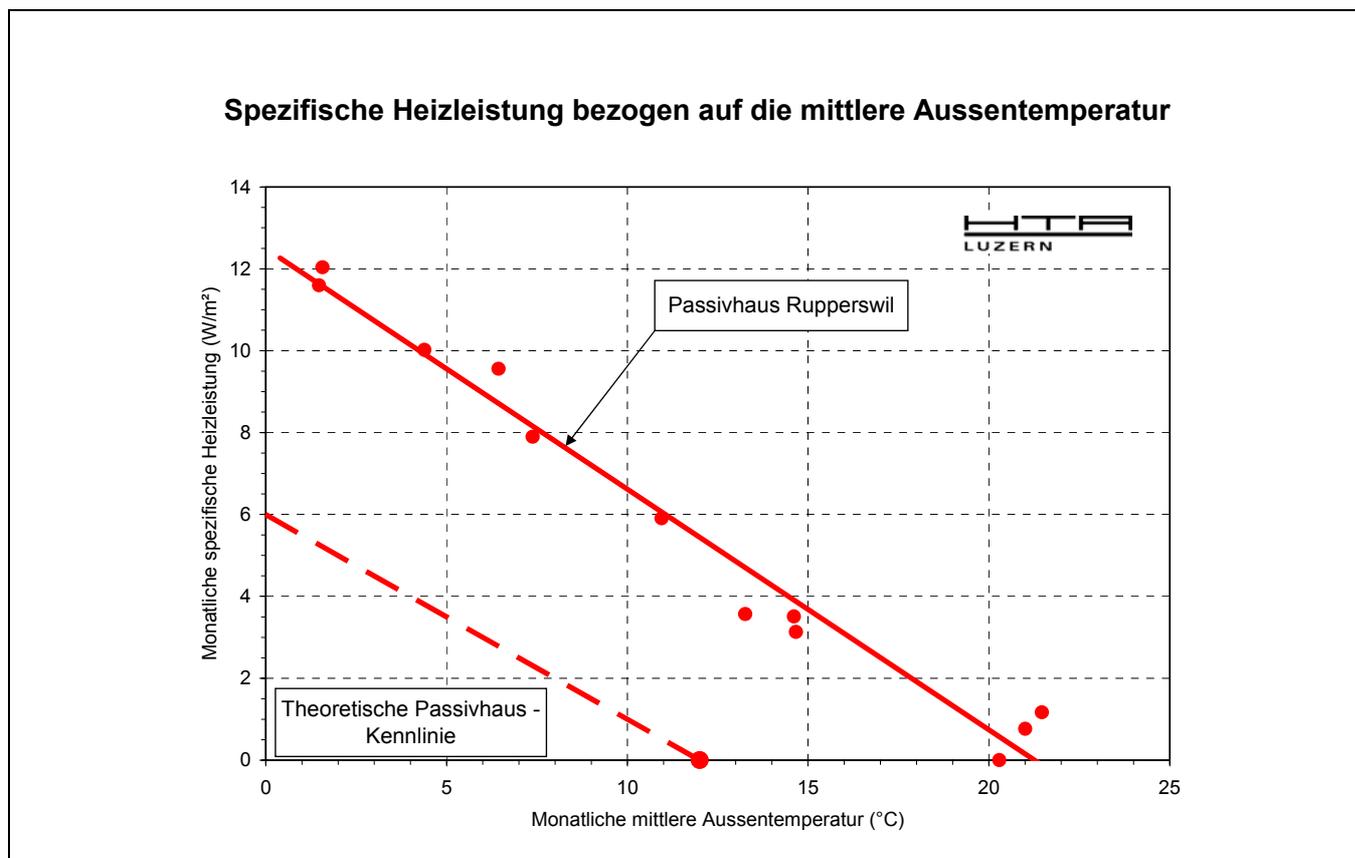


Abbildung 45: Die spezifische Heizleistung in Funktion der mittleren Aussenlufttemperatur.

3.13.3 Nutz-, End- und Primärenergie

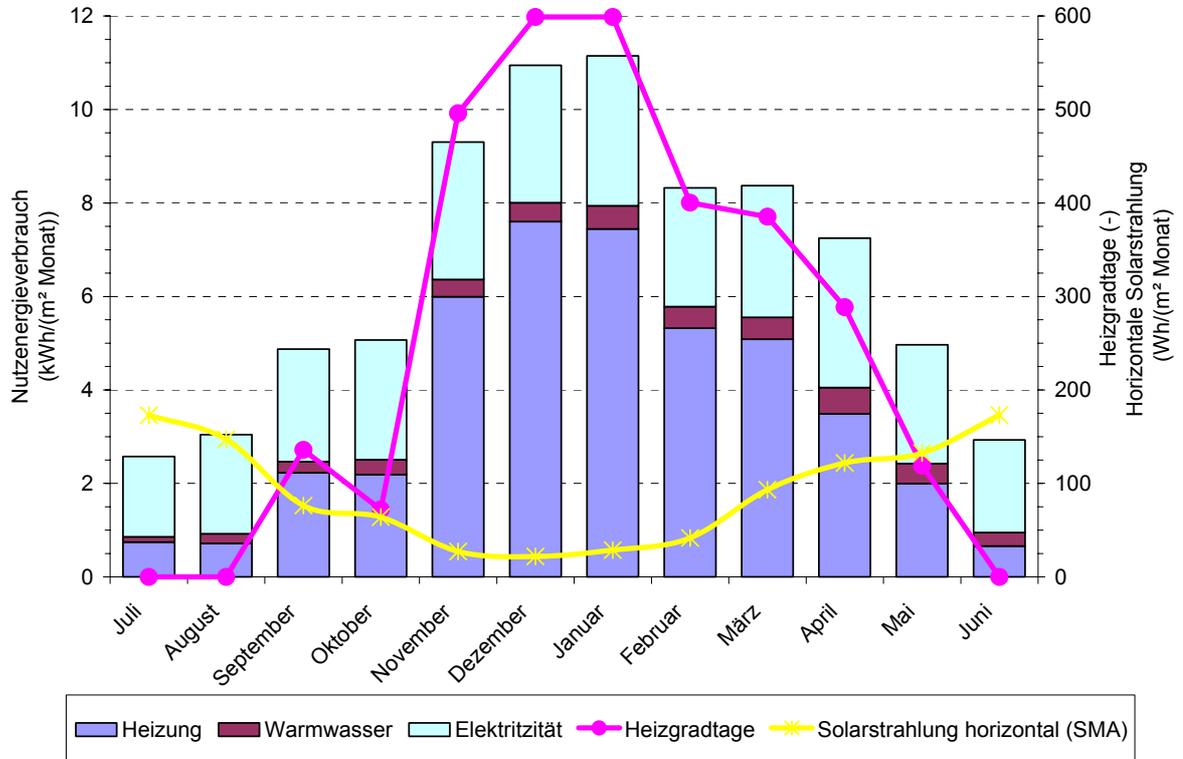


Abbildung 46: Nutzenergieverbrauch von Juli 2001 bis Juni 2002 bezogen auf die Energiebezugsfläche.

Für die Elektrizität wurde die Nutzenergie der Endenergie gleich gesetzt.

Energiebezugsfläche gemäss Schweizer Definition		1068 m ²			
Monat	Nutzwärme Heizung [kWh/m ²]	Nutzwärme Warmwasser [kWh/m ²]	Endenergie Elektrizität [kWh/m ²]	Heizgradtage SMA (-)	Solarstrahlung horizontal (SMA) [Wh/m ²]
Juli	0.75	0.11	1.72	0	173.02
August	0.72	0.21	2.12	0	147.07
September	2.23	0.24	2.41	136	76.27
Oktober	2.19	0.32	2.56	72	64.02
November	5.99	0.37	2.94	496	27.19
Dezember	7.60	0.40	2.94	599	21.85
Januar	7.45	0.49	3.21	599	28.75
Februar	5.32	0.46	2.54	400	41.66
März	5.09	0.47	2.82	385	93.29
April	3.49	0.56	3.20	289	121.89
Mai	2.00	0.42	2.54	119	132.45
Juni	0.66	0.29	1.98	0	173.15
Nutzwärme (kWh/m²)	42.7	4.2			
Endenergie (kWh/m²) f=0.85	50.3	5.0	29.3		
Primärenergiefaktoren (kWh/kWh)	1.07	1.07	2.97		
Primärenergie (kWh/m²)	53.8	4.5	86.9		
Total Primärenergie (kWh/m²)	145.2				

Tabelle 15: Kennzahlen bezogen auf die Energiebezugsfläche nach Schweizer Definition.

Energiebezugsfläche gemäss Passivhaus Definition		904		m ²	
Monat	Nutzwärme Heizung (kWh/m ²)	Nutzwärme Warmwasser (kWh/m ²)	Endenergie Elektrizität (kWh/m ²)	Heizgradtage SMA (-)	Solarstrahlung horizontal (SMA) (Wh/m ²)
Juli	0.88	0.13	2.03	0	173.02
August	0.85	0.24	2.51	0	147.07
September	2.63	0.28	2.84	136	76.27
Oktober	2.59	0.38	3.03	72	64.02
November	7.08	0.43	3.47	496	27.19
Dezember	8.98	0.47	3.47	599	21.85
Januar	8.80	0.58	3.79	599	28.75
Februar	6.29	0.54	3.00	400	41.66
März	6.01	0.55	3.33	385	93.29
April	4.13	0.66	3.78	289	121.89
Mai	2.36	0.50	3.00	119	132.45
Juni	0.78	0.35	2.34	0	173.15
Nutzwärme (kWh/m²)	50.5	5.0			
Endenergie (kWh/m²) f=0.85	59.4	5.9	34.6		
Primärenergiefaktoren (kWh/kWh)	1.07	1.07	2.97		
Primärenergie (kWh/m²)	63.6	5.3	102.7		
Total Primärenergie (kWh/m²)	171.6				

Tabelle 16: Kennzahlen bezogen auf die Energiebezugsfläche nach Passivhausinstitut – Definition.

4 Passivhaus – Kennwerte

4.1 Allgemein

Der Passivhaus – Primärenergie – Kennwert von 120 kWh/m²a wird mit 172 kWh/m²a deutlich überschritten. Die Ursachen für diese Überschreitung sind unter den einzelnen Teilkennzahlen aufgeführt.

4.2 Heizung

Der Passivhaus – Kennwert für die Heizung von 15 kWh/m²a wird mit 59 kWh/m²a deutlich überschritten. Die Raumtemperaturen sind eindeutig zu hoch. Eine Anpassung der Heizkennlinie ist zur Erreichung des Passivhaus - Kennwertes unabdingbar.

4.3 Warmwasser

Der Passivhaus – Kennwert für Warmwasser von 18 kWh/m²a wird mit 5 kWh/m²a unterschritten. Die unterdurchschnittliche Belegung und die Büronutzung sind als Gründe für diesen niedrigen Wert anzuführen.

4.4 Elektrizität

Der Passivhaus – Kennwert für Elektrizität von 55 kWh/m²a wird mit 103 kWh/m²a ebenfalls deutlich überschritten. Durch die beiden Büros mit den jeweiligen Installationen ist der Energiebedarf Elektrizität höher als im reine Wohnbereich.

4.4.1 Zusammenstellung Elektrizitätsverbrauch

Elektrizitätsverbrauch Wohnungen/Büros

Oktober 2001 bis Oktober 2002	(Periode 1)	25675 kWh
März 2002 bis März 2003	(Periode 2)	27253 kWh
Energiebezugsfläche nach Passivhaus – Definition		904 m ²

Spezifische Energieverbrauch e für Elektrizität Wohnung/Büro

$$e_{\text{Periode1}} = \frac{25675 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 28.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$e_{\text{Periode2}} = \frac{27253 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 30.1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Elektrizitätsverbrauch Allgemein mit Lüftung

Oktober 2001 bis Oktober 2002	(Periode 1)	9763 kWh
März 2002 bis März 2003	(Periode 2)	8960 kWh
Energiebezugsfläche nach Passivhaus – Definition		904 m ²

$$e_{\text{Periode1}} = \frac{9763 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 10.8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$e_{\text{Periode2}} = \frac{8960 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 9.9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Elektrizitätsverbrauch nur Lüftung

Oktober 2001 bis Oktober 2002	(Periode 1)	7109 kWh
März 2002 bis März 2003	(Periode 2)	7009 kWh
Energiebezugsfläche nach Passivhaus – Definition		904 m ²

$$e_{\text{Periode1}} = \frac{7109 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 7.9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$e_{\text{Periode2}} = \frac{7009 \text{ kWh}}{904 \text{ m}^2} = 7.8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

4.4.2 Spezifischer Energieverbrauch p für die Luftförderung

Energiezähler Lüftung	Stand 2. November 2001	4154 kWh
	Stand 28.10.2002	11185 kWh
	Verbrauch innerhalb 361 Tagen	7031 kWh
	Hochrechnung auf 365 Tage	7109 kWh
Zuluft - Luftvolumenstrom vom 2002-10-28		1253 m ³ /h

$$p = \frac{\frac{7109000 \text{ Wh}}{8760 \text{ h}}}{1253 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 0.65 \text{ W h/m}^3$$

Der spezifische Energieverbrauch für die Luftförderung bei dieser zentralen Anlage ist mit 0.65 W h/m³ höher als bei guten Einzelgeräten, welche Werte zwischen 0.3 und 0.6 W h/m³ erreichen.

5 Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Erkenntnisse aus der Erfolgskontrolle können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Passivhauswerte konnten bisher nicht eingehalten bzw. erreicht werden. Eine Ursache für diese Feststellung liegt bei der hoch eingestellten Heizkennlinie. Die durchschnittlichen Raumluft-Temperaturen lagen in beiden Heizsaisons zwischen 22 und 25 °C.
- Es wurden tiefe Werte für die relative Feuchte registriert. Sie liegt in Büros und Wohnungen während 20 bis 50 % der Jahresstunden (8760) unter Werten von 30 %. Die Tiefstwerte lagen bei 10 %. Merkliche Unterschiede sind bezogen auf die beiden Büros feststellbar. Eine weitere Beobachtung ist der fehlende Einfluss der Bauaustrocknung. Zumindest in der Anfangsphase wäre eine merklich höhere interne Feuchtigkeitsabgabe zu erwarten gewesen.
- Sommerliche Überhitzung mit Werten über 28 °C wurde an maximal 10 % der Jahresstunden nur für das Büro im 1. Obergeschoss festgestellt. Hierbei ist anzufügen, dass im besagten Büro bewusst keine Nachtauskühlung mittels Fensterlüftung durchgeführt wurde. Im Büro des Erdgeschosses konnte keine Überhitzung festgestellt werden. Hierbei stellte sich aber auch heraus, dass an der Nordseite auf Grund der grossen Fensterfläche – und daraus folgender diffuser Strahlung - eine Beschattungsvorrichtung wünschenswert wäre.
- In den integrierten Büros der jeweiligen Geschäftsleitungen konnten jeweils tiefere sommerliche Temperaturwerte als in den Grossraumbüros festgestellt werden.
- An einem Sommertag wurden im Büro des 1. Obergeschosses der thermische Komfort und die Behaglichkeit ermittelt und als gut beurteilt.
- Zu Beginn der Erfolgskontrolle liefen die beiden Ventilatoren rückwärts. Aufgrund der Volumenstrommessungen vor Ort konnte dieser Mangel, der bei der Lüftungsabnahme nicht bemerkt wurde, behoben werden.
- Der spezifische Energiebedarf zur Luftförderung bezogen auf den Luftvolumenstrom ist mit $0.65 \text{ W h} / \text{m}^3$ unerwartet hoch und liegt damit über den Erfahrungswerten mit wohnungsweisen Geräten. In Bauten nach Minergiestandard wird ein Wert von $0.35 \text{ W h} / \text{m}^3$ empfohlen.
- Der spezifische Energiebedarf zur Luftförderung bezogen auf die Energiebezugsfläche liegt bei 6.7 kWh/m^2 . Bezogen auf die Kennzahl Elektrizität sind dies 23 %, was als hoch taxiert wird.
- Die spezifische Heizleistung ist zu hoch. Nur durch eine markante Anpassung kann der Passivhaus – Kennwert annähernd erreicht werden.

6 Verzeichnisse

6.1 Abbildungen

<i>Abbildung 1: Das Passivhaus Obermatt Rapperswil in der Nord-West Ansicht (Quelle Gebäudetechnik 1/02).</i>	4
<i>Abbildung 2: Das zentrale Lüftungsgerät im Technikraum Untergeschoss.</i>	5
<i>Abbildung 3: Brennwert - Gastherme und Warmwasserspeicher im Technikraum Untergeschosses.</i>	5
<i>Abbildung 4: Prinzipschema des Messkonzepts.</i>	7
<i>Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung der Behaglichkeit und des thermischen Komforts.</i>	15
<i>Abbildung 6: Wochenverlauf der gemessenen Temperaturstratifikation im Büro 1. Obergeschoss.</i>	19
<i>Abbildung 7: Tagesverlauf der gemessenen Temperaturstratifikation am 23.08.2001 im 1. Obergeschoss..</i>	19
<i>Abbildung 8: Klimadatenvergleich Winter zwischen Buchs-Suhr (MeteoSchweiz) und Rapperswil (HTA).</i>	21
<i>Abbildung 9: Klimadatenvergleich Sommer zwischen Buchs-Suhr (MeteoSchweiz) und Rapperswil (HTA).</i>	21
<i>Abbildung 10: Thermisches Verhalten der beiden Büros und Wohnung 5 in der Wintersaison.</i>	22
<i>Abbildung 11: Thermisches Verhalten der beiden Büros und Wohnung 5 in der Sommersaison.</i>	22
<i>Abbildung 12: Raumlufitemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2001 bis März 2002.</i>	23
<i>Abbildung 13: Raumlufitemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	24
<i>Abbildung 14: Raumlufitemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2002 bis September 2002..</i>	25
<i>Abbildung 15: Die relative Raumlufefeuchte vom Oktober 2001 bis März 2002 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.</i>	26
<i>Abbildung 16: Die relative Raumlufefeuchte vom Oktober 2002 bis März 2003 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.</i>	26
<i>Abbildung 17: Die relative Raumlufefeuchte vom April 2002 bis September 2002 in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur.</i>	27
<i>Abbildung 18: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.</i>	27
<i>Abbildung 19: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.</i>	28
<i>Abbildung 20: Verlauf der absoluten Feuchte in Korrelation zur Aussenlufttemperatur.</i>	28
<i>Abbildung 21: Summenhäufigkeitsdiagramm der Temperatur 2001 (Halbjahr).</i>	29
<i>Abbildung 22: Summenhäufigkeitsdiagramm der Temperatur 2002.</i>	29

<i>Abbildung 23: Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Feuchte 2001.</i>	30
<i>Abbildung 24: Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Feuchte 2002.</i>	30
<i>Abbildung 25: Temperaturverlauf in einer typischen Sommerwoche.</i>	31
<i>Abbildung 26: Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2002.</i>	32
<i>Abbildung 27: Temperaturverlauf in einer kalten Winterwoche.</i>	33
<i>Abbildung 28: Temperaturverlauf in einer bedeckten Winterwoche 2002.</i>	33
<i>Abbildung 29: Temperaturverlauf in einer bedeckten Winterwoche 2002.</i>	34
<i>Abbildung 30: Vergleich der Büro Temperaturen in einer bedeckten Winterwoche 2002.</i>	36
<i>Abbildung 31: Einfluss der Nachtauskühlung auf den Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2002.</i>	36
<i>Abbildung 32: Vergleich der Raumlufitemperatur von Oktober 2001 bis März 2002.</i>	37
<i>Abbildung 33: Vergleich der Raumlufitemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	38
<i>Abbildung 34: Vergleich der Raumlufitemperatur von April 2002 bis September 2002.</i>	38
<i>Abbildung 35: Vergleich der Raumlufifeuchte von Oktober 2001 bis März 2002.</i>	39
<i>Abbildung 36: Vergleich der Raumlufifeuchte von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	39
<i>Abbildung 37: Vergleich der Raumlufifeuchte von April 2002 bis September 2002.</i>	40
<i>Abbildung 38: Verlauf der absoluten Feuchte Oktober 2002 bis März 2003.</i>	40
<i>Abbildung 39: Verlauf der absoluten Feuchte Oktober 2002 bis März 2003.</i>	41
<i>Abbildung 40: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur.</i>	41
<i>Abbildung 41: Austrittstemperatur Luft – Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur.</i>	42
<i>Abbildung 42: Heiz- und Kühlleistung des Luft – Erdregisters in Funktion der Aussenlufttemperatur.</i>	42
<i>Abbildung 43: Leistung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft bezogen auf die Aussenlufttemperatur.</i>	43
<i>Abbildung 44: Monatsbilanzen der horizontalen Globalstrahlung im Referenzjahr und 2001-2002.</i>	44
<i>Abbildung 45: Die spezifische Heizleistung in Funktion der mittleren Aussenlufttemperatur.</i>	45
<i>Abbildung 46: Nutzenergieverbrauch von Juli 2001 bis Juni 2002 bezogen auf die Energiebezugsfläche.</i>	46

6.2 Tabellen

<i>Tabelle 1: Gemessene Luftvolumenströme im Büro Erdgeschoss</i>	12
<i>Tabelle 2: Gemessene Luftvolumenströme im Büro 1.Obergeschoss</i>	13
<i>Tabelle 3: Gemessene Gesamt-Luftvolumenströme</i>	13
<i>Tabelle 4: Messwerte für den Luftvolumenstrom an den Durchlässen.</i>	14
<i>Tabelle 5: Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturen in unterschiedlichen Bodenabständen.</i>	17
<i>Tabelle 6: Zeitliche Mittelwerte für die Strömungsgeschwindigkeit und die Temperatur in unterschiedlichen Bodenabständen.</i>	18
<i>Tabelle 7: Stunden mit Temperaturen über 28 °C</i>	30
<i>Tabelle 8: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 %</i>	31
<i>Tabelle 9: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Oktober 2001 bis März 2002.</i>	35
<i>Tabelle 10: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	35
<i>Tabelle 11: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von Juli 2001 bis September 2001.</i>	35
<i>Tabelle 12: Zusammenstellung raumklimatischer Werte von April 2002 bis September 2002.</i>	35
<i>Tabelle 13: Klimadatenvergleich Meteonorm Referenzjahr und MeteoSchweiz Buchs - Suhr 2001 bis 2002.</i>	43
<i>Tabelle 14: Vergleich der Heizgradtage 2001 und 2002 (Quelle MeteoSchweiz/HEV).</i>	44
<i>Tabelle 15: Kennzahlen bezogen auf die Energiebezugsfläche nach Schweizer Definition.</i>	46
<i>Tabelle 16: Kennzahlen bezogen auf die Energiebezugsfläche nach Passivhausinstitut – Definition.</i>	47

7 Literatur

- [1] Setz W., *Wohn- und Bürogebäude an der Autobahn*, Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, 12. Schweizerisches Status – Seminar 2002, ETH Zürich.
- [2] de Lainsecq M., *Lärmproblem gelöst*, Gebäudetechnik 1|02
- [3] Frei B., Huber H., *Erfahrungen aus messtechnischen Untersuchungen an Passivhäusern*, Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, 12. Schweizerisches Status – Seminar 2002, ETH Zürich.

Die Messresultate gelten ausschliesslich für das gemessene Prüfobjekt.

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, 2003-05-08

B. Frei
Dipl. HLK Ing. HTL
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

H. Huber
Dipl. HLK/Masch. Ing. FH
Stv. Leiter Wissens- und Technologietransfer HLKS