

Erfahrungen aus messtechnischen Untersuchungen an Passivhäusern

Beat Frei, Heinrich Huber
Hochschule für Technik + Architektur (HTA) Luzern
Abteilung Heizung - Lüftung - Klima
Technikumstrasse 21 CH-6048 Horw
bhfrei@hta.fhz.ch

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Erfahrungen und Beispiele von Erfolgskontrollen an Passivhäusern mitgeteilt. Die HTA Luzern führt mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie derzeit zwei Erfolgskontrollen an den Passivhäusern Wechselacker Stans und Obermatt Ruppertswil durch. Zudem führt sie eine Erfolgskontrolle an einer Passivhausstandard-nahen Mehrfamilienhaus-Sanierung an der Magnusstrasse in Zürich durch.

Beachtenswerte Aspekte betreffend Ventilatoren, Leckagen, wasserbeheizten Luftheritzern und der relativen Feuchte in Passivhäusern werden dargelegt. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass die relative Feuchte in Passivhäusern Werte von 25% und weniger erreicht.

Vergleichende Darstellungen in Korrelations- und Summenhäufigkeitsdiagrammen zeigen das Verhalten der untersuchten Anlagen.

Der Einfluss der Abluftfeuchte auf das Verhalten einer Abluft - Wärmepumpe im Passivhaus wird im h-x Diagramm dargestellt. Die Abluftfeuchte beeinflusst das Abtauverhalten und die Heizleistung der Wärmepumpe nachhaltig.

1. Einleitung

Die Abteilung Heizung-Lüftung-Klima der Hochschule für Technik+Architektur (HTA) Luzern führt im Auftrag des Bundesamtes für Energie mehrere Erfolgskontrollen an Passivhäusern durch. Durch Erfassung der Grössen Temperatur, relative Feuchte und Energie wird das Verhalten von zertifizierten Passivhäusern oder Objekten, die den Passivhaus - Standard annähernd erreichen, untersucht.

In diesem Beitrag wird über Erfahrungen berichtet, die von den Autoren bei der Durchführung von Erfolgskontrollen an Passivhäusern gemacht wurden.

2. Erfahrungen und Beispiele

Die folgenden Erfahrungen stammen aus Messungen und Beobachtungen, die in vorab erwähnten Erfolgskontrollen an schweizerischen Passivhäusern gemacht wurden.

Ventilatoren

Bei Anlagen mit unregelmässigen Ventilatoren veränderten sich die Volumenströme durch Filterverschmutzung und Witterungseinflüsse immer wieder. Ungleiche Massenströme in Zu- und Abluft wirken sich negativ auf den Energieverbrauch aus.

Bei zwei Projekten mit zentralen Anlagen (eine Lüftungsanlage für ein Mehrfamilienhaus) lag der spezifische Energieverbrauch für die Luftförderung bei rund 0.7 Wh/m^3 . Dieser Wert ist unerwartet hoch. Mit guten Kleinlüftungsgeräten werden Werte von ca. 0.3 Wh/m^3 erreicht. Besonders bei zentralen Anlagen sollen die Ventilatoren, Ventilatorantriebe und auch die Luftverteilung (Druckverluste) sorgfältig geplant und einreguliert werden.

Leckagen

Es werden immer wieder Leckagemengen von über 10% festgestellt. Nicht nur Luftleitungen sind undicht, sondern auch Armaturen und Geräte.

Beispiele von Leckagen:

- Nicht abgedichtete Verbindungsstellen in Rohrleitungen (weder Klebband noch Lippendichtung)
- Undichte Schalldämpfer
- Fehlende Dichtung bei einem Platten-Wärmeübertrager in einem Lüftungsgerät
- Undichte Blechkästen (Verteilboxen, Anschlussboxen für Durchlässe)
- Undichter Übergang von Erdregister auf Blechrohr (hat zu Geruchsübertragung geführt)

Wasserbeheizte Luftherhitzer

Die Luftherhitzergehäuse werden teilweise direkt an Spirorohre angeschlossen. Die Anströmung des Wärmeübertragers kann dabei sehr ungleichmässig sein. Die berechnete oder unter idealen Strömungsverhältnissen gemessene Leistung wird dabei eventuell nicht erreicht.

Standardisierte Luftherhitzer sind teilweise nicht auf jene Temperaturverhältnisse ausgelegt, wie sie in Passivhaus-Luftheizungen vorkommen. Umrechnungen sind deshalb kritisch zu beurteilen.

Luftfeuchtigkeit

Im Dezember 2001 und Januar 2002 lag die Aussentemperatur während rund vier Wochen deutlich im Minusbereich.

Während dieser Zeit liefen Erfolgskontrollen, bei denen in insgesamt sechs Wohnungen und Büros mit Luftheizung die Feuchte gemessen wurde. Die relative Luftfeuchte sank bei allen Objekten während Tagen auf Werte von 25% und tiefer. Bei einigen Objekten haben die Bewohner die tiefe relative Feuchte bemerkt und als störend beurteilt. In anderen Objekten kam zumindest keine

Rückmeldung. Bei einer konkreten Anfrage in einem Büro wurde die Feuchte nicht als unangenehm beurteilt.

Bei Luftheizungen, wie sie im PH-Bereich eingesetzt werden, ist der Aussenluftvolumenstrom so hoch, dass sich die Benutzer auf Phasen mit tiefer relativer Feuchte (unter 25%) einstellen müssen.

Mehrfamilienhaus Wechselacker, Stans

Das Achtfamilienhaus wurde im August 2001 fertiggestellt. Im Rahmen des Pilot- und Demonstrationsprojektes wird eine Erfolgskontrolle durchgeführt, die bis Herbst 2002 läuft.

Kontaktperson: Beda Bossard, Dipl. Arch. ETH, Stans

Konzept

Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einem Heizkessel mit Pelletfeuerung und einer Solaranlage. Beide Wärmeerzeuger geben die Wärme an einen Kombispeicher für Heizung und Warmwasser ab.

Die Aussenluft wird in einem Lufterdregister vorgewärmt. Das zentrale Lüftungsgerät für das ganze Haus steht im Untergeschoss. Die Wärmerückgewinnung besteht aus zwei in Serie angeordneten Platten-Wärmeübertragern.

Jede Wohnung hat einen Luftherhitzer. Die Wohn- und Schlafzimmer werden nur durch die Zuluft beheizt. Die Bäder haben Heizkörper.

Jede Wohnung hat Volumenstromregler für Zu- und Abluft. Der Luftvolumenstrom kann von den Bewohnern von Hand zweistufig eingestellt werden.

Spezielles und Erfahrungen

Am Beispiel dieses Gebäudes wurde in einer Diplomarbeit an der HTA Luzern der Einfluss von Leckagen und unerwünschten Wärmeflüssen in der Luftverteilung untersucht.

Wegen Leckagen und Nachbesserungsarbeiten in der Verteilung konnte die Lüftungsanlage erst ein halbes Jahr nach Inbetriebnahme fertig eingestellt werden.

Wohn- und Gewerbehaus Obermatt, Rapperswil

Das im April 2001 fertiggestellte Gebäude umfasst vier Wohnungen und zwei Geschosse mit Büros. Im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojektes wird eine Erfolgskontrolle durchgeführt, die bis zum Sommer 2002 dauert.

Eine detailliertere Beschreibung des Wohn- und Gewerbehauses Obermatt Rapperswil im Passivhaus - Standard erfolgt am Statusseminar 2002 in einem separaten Beitrag durch Werner Setz.

Kontaktstelle: Ing.-Büro Kaufmann, Hediger + Partner AG, Hr. R. Kaufmann, 5102 Rapperswil

Konzept

Eine Gastherme produziert die gesamte Wärme für Heizung und Warmwasser. Das zentrale Lüftungsgerät steht im Untergeschoss. Die Aussenluft wird durch ein Lufterdregister vorgewärmt, resp. im Sommer vorgekühlt. Die Wärmerückgewinnung erfolgt mit einem Rotor. 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 Wohn- und Büroräume werden über Zuluft beheizt. Die Bäder haben Heizkörper.

Erfahrungen

Nach der Inbetriebnahme der Lüftung drehte der Zuluftventilator während rund drei Monaten in die falsche Richtung. Die Bestimmung der Auslass – Volumenströme im Rahmen der Erfolgskontrolle

fürte zur Behebung dieses Mangels. Im Sommer 2001 wurde in einem Büro der thermische Komfort untersucht. Der Komfort konnte als gut beurteilt werden. Die massive Bauweise wirkte sich dabei positiv aus.

Sanierung Mehrfamilienhaus Magnusstrasse, Zürich

Das Vierfamilienhaus stammt aus der Jahrhundertwende. Es wurde 2001 saniert. Der Passivhaus-Standard für Neubauten wird annähernd erreicht. Im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojektes wird eine Erfolgskontrolle durchgeführt, die bis Sommer 2003 dauert.

Eine detailliertere Beschreibung des Mehrfamilienhauses Magnusstrasse, Zürich erfolgt am Statusseminar 2002 in einem separaten Beitrag durch Karl Viridén.

Konzept

Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, die auf dem Dach installiert ist. Eine Solaranlage dient in erster Linie der Wassererwärmung, sie kann aber auch die Heizung unterstützen. Beide Wärmeerzeuger liefern die Wärme an einen Kombispeicher für Heizung und Warmwasser, der im Untergeschoss steht.

In jeder Wohnung ist ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung installiert. Die Aussenluft wird direkt an der Fassade angesogen. Für die Raumheizung wird die Zuluft über einen Lufterhitzer erwärmt. Die Luftverteilung befindet sich über einer heruntergehängten Decke im Korridor.

Um die Heizleistung zu erhöhen kann ein Umluftventilator von Hand zugeschaltet werden. Die Umluft wird aus dem Korridor und Wohnzimmer angesogen.

Unterhalb einer Aussentemperatur von ca. -5°C reicht die Leistung der Wärmepumpe nicht mehr aus. Deshalb sind in den Wohnzimmern Holzöfen installiert. Das Bad wird über die Rücklaufleitung der Wärmepumpe temperiert.

Spezielles und Erfahrungen

Der Umluftventilator ist so laut, dass er von den Bewohnern nur am Tag eingeschaltet wird. Trotz des kalten Dezembers 2001 und Januars 2002 war die Umluft nur selten in Betrieb. Die Bewohner scheinen bei kalten Aussentemperaturen den Holzöfen zu bevorzugen. Wegen der Holzöfen sind die Lüftungsanlagen so eingestellt, dass der Aussenluftvolumenstrom um rund $20\text{ m}^3/\text{h}$ grösser ist als der Fortluftvolumenstrom.

Lüftungswirksamkeit der gesamten Wohnung

Im Februar 2002 wurde die Lüftungswirksamkeit mit einer Spurengasmessung untersucht. Bei einer ersten Messung waren alle Zimmertüren (auch Bad und Küche) geschlossen und bei einer zweiten Messung waren sie offen. Bei geschlossenen Türen wurde festgestellt, dass die erwartete Kaskadenlüftung funktioniert. Das heisst, dass in den Schlafzimmern die Luft das kleinste Alter hat (sie ist dort am frischesten) und im Bad ist das Alter am grössten. Bei offenen Türen beginnt sich die Luft in der ganzen Wohnung zu mischen - trotz Kaskadenlüftung. Damit wird auch Feuchte in der Wohnung verteilt.

Aus dem Versuch kann folgendes geschlossen werden: Wenn Gerüche oder hohe Feuchtelasten aus Bad und Küche abgeführt werden sollen, werden mit Vorteil die Türen der betroffenen Räume geschlossen. Um bei tiefen Aussentemperaturen die Feuchte innerhalb der Wohnung zu verteilen, sollen die Zimmertüren geöffnet werden, sobald es vom Geruchsniveau her akzeptabel ist. Die Bewohner können durch die Bedienung der Zimmertüren die Feuchteverteilung in der Wohnung beeinflussen.

3. Messresultate aus den Erfolgskontrollen

Temperatur 2002

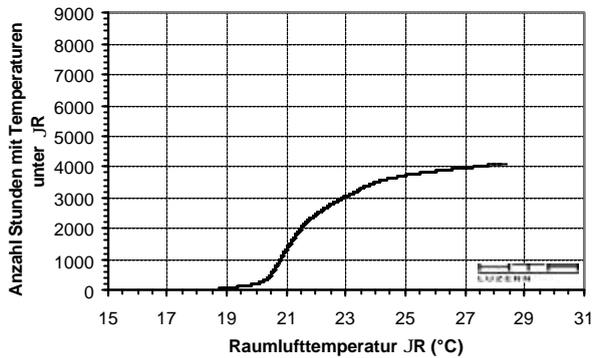


Abb. 1: Temperatur Wohnung PH Stans.

Relative Feuchte 2002

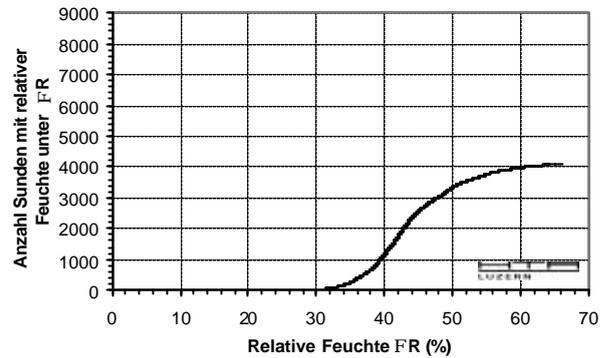


Abb. 4: Relative Feuchte Wohnung PH Stans.

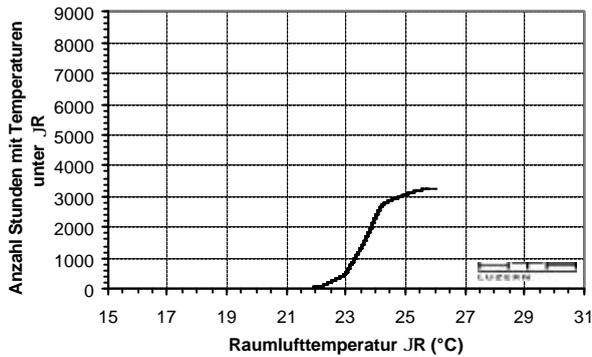


Abb. 2: Temperatur Wohnung PH Rapperswil.

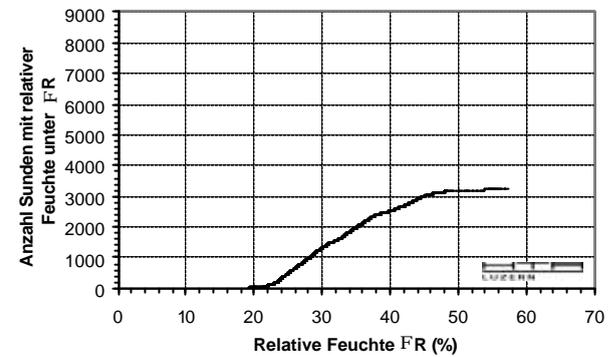


Abb. 5: Relative Feuchte Wohnung PH Rapperswil.

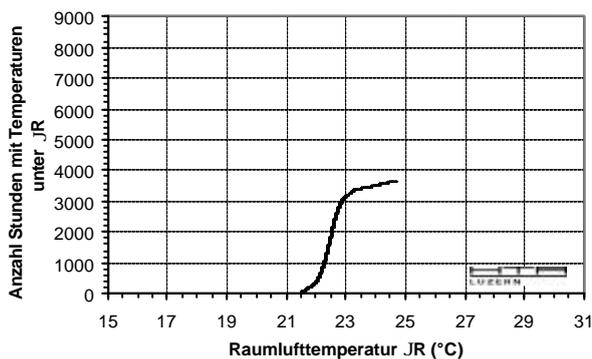


Abb. 3: Temperatur Wohnung Magnusstrasse.

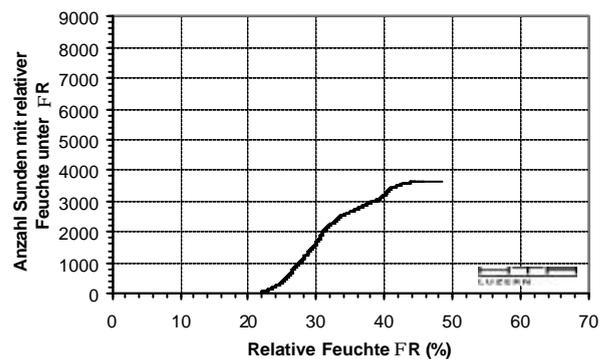


Abb. 6: Relative Feuchte Wohnung Magnusstrasse.

Aus den Abbildungen 1 – 6 wird ersichtlich, dass die Objekte Rapperswil und Magnusstrasse bezüglich Temperatur und relativer Feuchte ein vergleichbares Verhalten zeigen. Das Objekt Stans zeigt im Vergleich zu den anderen Objekten tiefere Winterwerte für die Temperatur und höhere Winterwerte für die relative Feuchte. Damit alle 3 Objekten miteinander vergleichbar sind, wurden nur Werte aus dem Jahr 2002 aufgetragen.

Feuchtekorelation 2001 – 2002

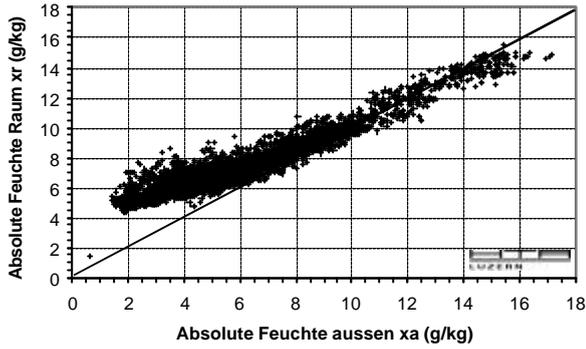


Abb. 7: Absolute Feuchte Wohnung PH Stans

Temperaturkorrelation 2001 – 2002

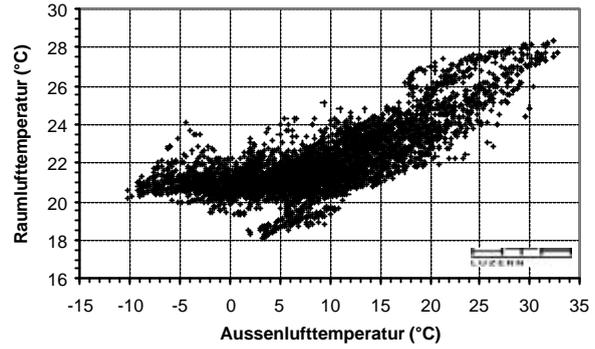


Abb. 10: Temperaturkorrelation Wohnung PH Stans

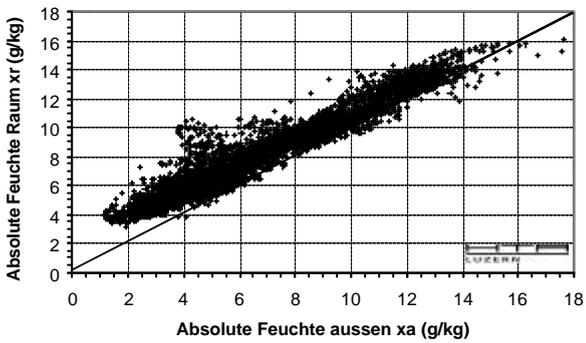


Abb. 8: Absolute Feuchte Wohnung PH Rupperswil

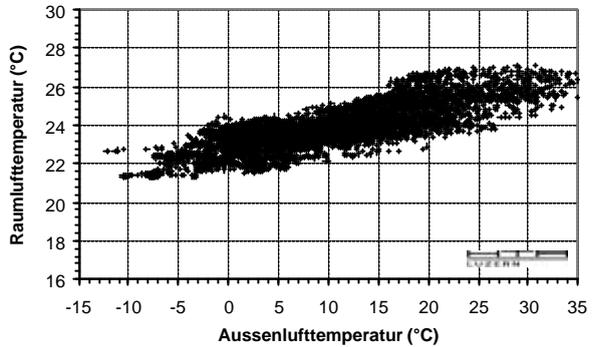


Abb. 11: Temperaturkorrelation Whg. Rupperswil

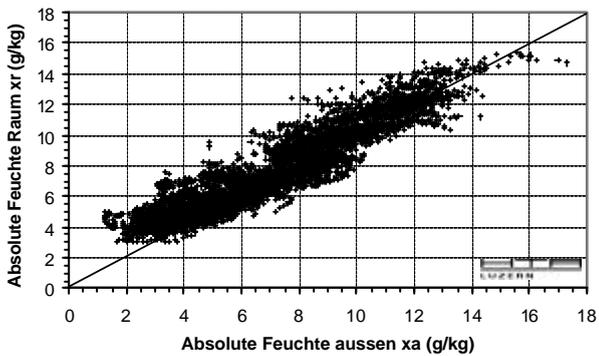


Abb. 9: Absolute Feuchte Wohnung Magnusstrasse

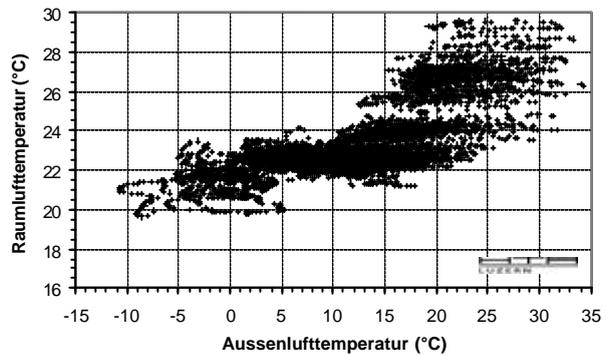


Abb. 12: Temperaturkorrelation Whg. Magnusstr.

In den Abbildungen 7 – 9 ist die Korrelation der absoluten Feuchte aufgetragen. Die Unterschiede zwischen den Objekten sind nur unmerklich - es fällt aber auf, dass hin zu tieferen Feuchtwerten interne Quellen zum Tragen kommen.

In den Abbildungen 10 – 12 ist die Korrelation der Temperatur aufgetragen. Die Unterschiede zwischen den Objekten sind ausgeprägter. So zeigt sich, dass nur in Stans die Raumtemperaturwerte teilweise unter 20°C lagen. Im Gegenzug wurden an der Magnusstrasse sommerliche Raumtemperaturen bis 29.5°C registriert. Die Wohnung im Passivhaus Rupperswil zeigt in jeder Hinsicht ein moderates Verhalten - dies ist sicher auch auf die massivere Bauweise zurückzuführen.

4. Einfluss der Abluftfeuchte auf das Verhalten einer Wärmepumpe im Passivhaus

Experimentelle Untersuchungen der HTA Luzern an einer Abluftwärmepumpe haben den Einfluss des Feuchtegehaltes der Abluft auf das Abtauverhalten und die Heizleistung gezeigt. In Abbildung 13 ist der experimentell ermittelte Verlauf für eine typische Spezifikation von Geräte - Leistungsdaten mit einem Abluftzustand von 21 °C und 47 % relative Feuchte dargestellt. Der Aussenluftzustand entspricht einem Auslegungsfall bei -8 °C mit vorgeschaltetem Lufterdregister.

Beobachtungen und Messresultate aus Erfolgskontrollen haben ergeben, dass in Passivhäusern die relative Feuchte häufig niedrigere Werte zeigt. In Abbildung 14 ist daher der Verlauf für einen Abluftzustand von 20 °C und 26 % relative Feuchte dargestellt. In diesem Fall tritt die Vereisung bedeutend häufiger auf – somit sinkt die mittlere Leistung infolge vermehrter Abtauerung. Aufgrund der Abtauzyklen sinkt die mittlere Zulufttemperatur auf 26 °C.

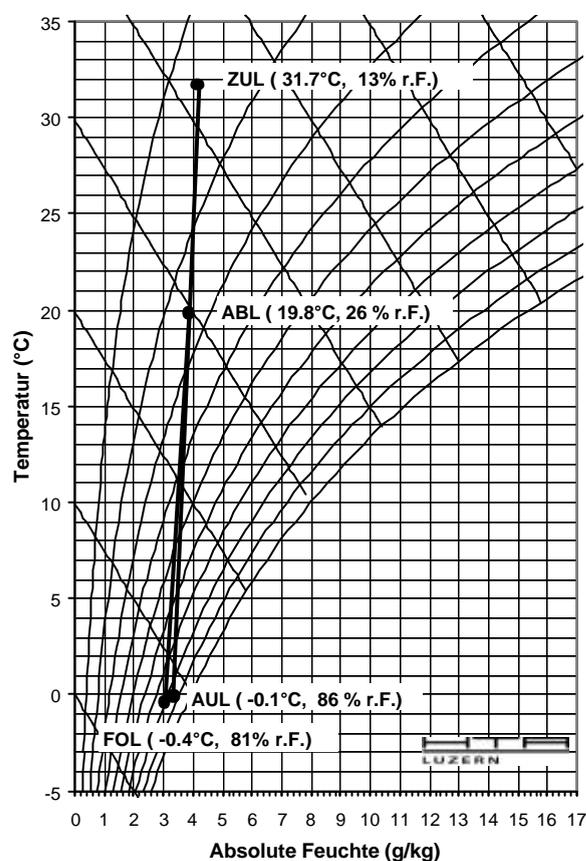
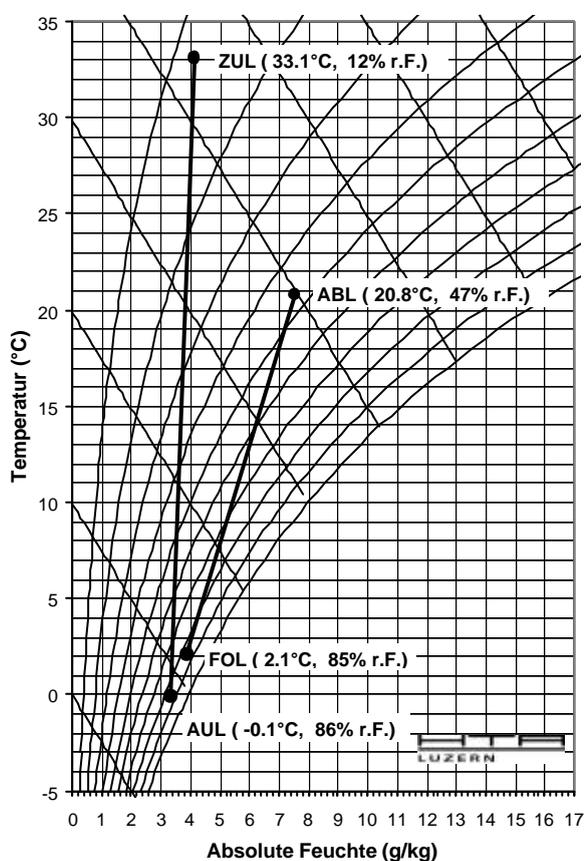


Abb. 13: Abluftzustand 1 (20.8°C, 47% rel. Feuchte) Abb. 14: Abluftzustand 2 (19.8°C, 26% rel. Feuchte)

5. Ausblick

Die Erfahrungen werden laufend in die Passivhaus-relevanten Weiterbildungsveranstaltungen der HTA Luzern und der EMPA eingebracht.

Im Programm *PH Luft* werden durch die HTA Luzern experimentelle Aspekte der Luftheizung und -verteilung in Passivhäusern untersucht. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere den Hersteller - Auslegungsdaten gebührend Beachtung geschenkt werden muss. Die Planung und Ausführung von Luftheizungen in Passivhäusern hat sorgfältiger zu erfolgen als bei Komfortlüftungen. Weitere Teilgebiete aus dem Programm *PH Luft* werden am Statusseminar 2002 in einem EMPA - Beitrag von Anne Haas und Viktor Dorer behandelt.

Für das BFE - Forschungsprogramm *Rationelle Energienutzung in Gebäuden* wurde eine Projektskizze eingereicht und positiv beurteilt. In dieser Projektskizze wird vorgeschlagen, dass laufende Erfolgskontrollen aufgrund neuerer Erkenntnisse messtechnisch nachgerüstet werden und die Resultate und Befunde aus den einzelnen Erfolgskontrollen zusammengefasst werden können.

Mittlerweile konnte die HTA Luzern mit Unterstützung durch das Bundesamt für Energie eine weitere Erfolgskontrolle am Passivhaus Stämpfli in Unterägeri starten.