

# **Messtechnische Begleituntersuchung am ChristophorusHaus**

## **Autoren**

Ing. Waldemar Wagner  
Dipl.-Ing. Dagmar Jähnig

**AEE – Institut für Nachhaltige Technologien**

Gleisdorf, im Juni 2006

## **Auftraggeber:**

**Bundesministerium für Verkehr,  
Innovation und Technologie**  
Renngasse 5  
**1010 Wien**



**Vertrag:** GZ 607.239/1-III/I6/2003  
**vom 17.12.2003**

## **Auftragnehmer:**

### **AEE - Institut für Nachhaltige Technologien**

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19  
Tel.: +43-3112 5886 -17  
Fax: +43-3112 5886 -18  
**E-Mail:** [office@aee.at](mailto:office@aee.at)



Projektpartner:

### **Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H**

Faradaygasse 3  
A – 1030 Wien  
Tel.: + 43 / 0 / 50550  
**E-Mail:** : [office@arsenal.ac.at](mailto:office@arsenal.ac.at)



# Inhalt

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>6</b>
<b>2 BAUBESCHREIBUNG</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Aus der Sicht des Bauherrn</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Die Architektur</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Das ChristophorusHaus aus der Sicht des Holzbaues</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4 Das Energiekonzept</b> .....	<b>17</b>
2.4.1 Anforderungen des Bauherrn an das Gebäude.....	17
2.4.2 Integrale Gebäudeplanung.....	17
2.4.3 Energetischer Optimierungsprozess des ChristophorusHauses .....	18
2.4.4 Theoretischer Heiz- und Kühlenergiebedarf in der Ausführungsvariante ...	20
2.4.5 Energie- und Frischwasserversorgung .....	21
2.4.6 Wärmequelle, Wärmesenke und Bereitstellung der nötigen Antriebsenergie.....	22
2.4.7 Elektrischer Strom .....	23
2.4.8 Wärme- und Kälteabgabe sowie Frischluftversorgung.....	24
<b>3 MESSTECHNIK</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Messtechnisches Konzept</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 Messdatenerfassung und -verarbeitung</b> .....	<b>30</b>
<b>4 ANALYSE DER MESSDATEN</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1 Einleitung</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2 Erstes Messjahr</b> .....	<b>31</b>
4.2.1 Komfortparameter .....	31
4.2.2 Lüftungsanlage.....	34
4.2.2.1 Sommerbetrieb.....	34
4.2.2.2 Winterbetrieb .....	35
4.2.3 Energiebilanz .....	37
4.2.3.1 Heiz- und Kühlenergie .....	38
4.2.3.2 Warmwasserbereitung .....	42
4.2.3.3 Stromverbrauch.....	42
4.2.3.4 Gesamtenergieverbrauch .....	44
<b>4.3 Zweites Messjahr</b> .....	<b>46</b>
4.3.1 Komfortparameter .....	46
4.3.2 Lüftungsanlage.....	50
4.3.3 Energiebilanz .....	50
4.3.3.1 Heiz- und Kühlenergie .....	53
4.3.3.2 Gesamtenergieverbrauch .....	54
<b>4.4 Beispielwochen Komfortparameter</b> .....	<b>56</b>
<b>4.5 Zusammenfassung der Messergebnisse und Fazit</b> .....	<b>57</b>
<b>5 LITERATURHINWEISE</b> .....	<b>59</b>

## Kurzfassung

Das in Stadl Paura (OÖ) errichtete ChristophorusHaus beherbergt mit der MIVA (Mission- Verkehrs-Arbeitsgemeinschaft) und dem Beschaffungsbetrieb der MIVA (BBM) zwei eigenständige Betriebe, welche sich durch ihre Tätigkeit in der Mission und Entwicklungszusammenarbeit auch mit der ökologisch verträglichen Energie- und Wasserversorgung in Entwicklungsländern beschäftigen. Die damit gegebene Identifikation mit der Thematik war ausschlaggebend, das Verwaltungsgebäude nach energierelevanten und ökologischen Gesichtspunkten in Passivhausbauweise zu errichten.

Das ChristophorusHaus ist ein multifunktionales Verwaltungsgebäude mit einer Nettogeschossfläche für den Bürotrakt von etwa 1.215 m<sup>2</sup>.

Als Wärmequelle (Heizbetrieb) und als Wärmesenke (Kühlbetrieb) dient das Erdreich, das über Erdsonden aktiviert wird. Im Heizbetrieb dienen die Tiefensonden als Wärmequelle für eine Wärmepumpe. Dabei wird dem Erdreich Wärme entzogen und damit ein günstiges Temperaturprofil im Erdreich für den sommerlichen Kühlfall hergestellt. Neben der Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 43 kW wurden eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und eine Photovoltaikanlage mit 9,8 kW<sub>peak</sub> errichtet.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Komfortparameter wie Raumtemperatur und Raumfeuchte sowohl im Sommer als auch im Winter außerordentlich zufriedenstellende und konstante Werte aufweisen. Lediglich bei extrem niedrigen Außentemperaturen liegen die Raumfeuchten in einem zu trockenen Bereich.

Auch die Bereitstellung der in der Übergangszeit rasch wechselnden Anforderungen von Heiz- und Kühlbedarf funktioniert reibungsfrei. Das Kühlen erfolgt nahezu ohne zusätzlichem Primärenergieaufwand. Das heißt, dass die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage bzw. die Soletemperatur der Tiefensonden im „Direktkühl-Modus“ ausreicht, um das Raumklima in einer sehr zufriedenstellenden Qualität zur Verfügung zu stellen.

Der gemessene Heizwärmebedarf lag bei 20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) im ersten Messjahr und 23 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) im zweiten Messjahr. Diese Werte wurden dann auf 20°C Raumtemperatur und einen Standardwetterdatensatz für Österreich normiert. Damit ergeben sich Werte von 17,2 bzw. 17,8 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a), die schon recht nahe am Passivhausgrenzwert von 15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) Heizwärmebedarf liegen. Zumal die Bedingungen im Bürohausbereich, aufgrund der hohen Besucherfrequenz bzw. der großen Raumhöhen im Artikabereich (3 Stockwerke) erschwerte sind.

Die Heizenergie wird über eine Wärmepumpe bereitgestellt. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe liegt bei rund 6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) und wird gut zur Hälfte vom Ertrag der PV-Anlage abgedeckt. Sowohl Heiz- als auch Kühlenergiebedarf liegen innerhalb der Spanne der für verschiedene Wetterszenarien simulierten Planungswerte.

Der weitaus größere Teil des Energiebedarfs im ChristophorusHaus liegt aber beim allgemeinen Stromverbrauch für Bürogeräte, Cafeteria, Beleuchtung etc. Dieser Stromverbrauch liegt mit 50 bzw. 45 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) deutlich über dem Heizenergiebedarf. Verglichen mit Bürogebäuden im Bestand, wo Werte zwischen 100 und 140 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) durchaus üblich sind, liegt der Stromverbrauch aber nicht extrem hoch, obwohl beim ChristophorusHaus im Stromverbrauch auch ein Anteil enthalten ist, der außerhalb des Bürobereichs in den Logistikbereichen anfällt.

Trotzdem liegt der Gesamtprimärenergieeinsatz für den Betrieb des ChristophorusHauses im Schnitt bei nur 110 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) (Strom: Primärenergiefaktor 2,5).

## Summary

The ChristophorusHaus located in Stadl Paura (Upper Austria) accommodates the MIVA (Mission Transportation Consortium) and the purchasing company of the MIVA (BBM). Both institutions have to do with mission and development cooperation in developing countries dealing among others with ecological energy and water supply. An empathy with these topics was crucial for the decision to construct their own office building according to energy and ecology related aspects (passive house standard).

The ChristophorusHaus is a multi-functional office building with a net area of 1215 m<sup>2</sup>.

The soil serves as energy source (heating mode) and energy sink (cooling mode) and is activated using borehole heat exchangers. In the heating mode, the borehole heat exchangers serve as energy source for a heat pump. Heat is distracted from the soil and a favorable temperature profile for cooling operation in summer is created in the soil. In addition to the heat pump, a solar thermal system for domestic hot water preparation and a photovoltaic system with a capacity of 9.8 kW<sub>peak</sub> were installed.

The measurement results on hand show that the comfort parameter such as room temperature and relative humidity proved very satisfactory. Only when the ambient temperature is extremely low, the relative humidity is slightly too low.

Also, the system reacts well to changes in demand during spring and fall. Cooling demand can be met almost without any additional primary energy usage. That means that the heat recovery function of the ventilation system and the brine temperature from the borehole heat exchangers in ‚direct cooling‘ mode suffice to ensure a good indoor air quality.

The measured space heating demand was 20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) in the first year of measurement and 23 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) in the second year. These values were normalized to 20°C room temperature conditions and a standard set of weather data for Austria. This results in 17,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) and 17,8 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) respectively which is very close to the limit for passive houses of 15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a). Especially the terms and conditions of offices buildings are more difficult.

The heat pump supplies energy for space heating. The electricity consumption of the heat pump is approximately 6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) and about 50% of it is covered by the photovoltaic system. Both heating and cooling demand is within the range of values that were simulated for different weather scenarios in the planning phase.

The electricity consumption in the ChristophorusHaus for office equipment, the cafeteria, lighting etc. is much larger than the energy demand for heating and cooling. The values for the first and second measurement year are 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) and 45 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) respectively. However, compared to existing office building where an electricity consumption of 100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) to 140 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) is not unusual, these values are not extremely high. In addition, the ChristophorusHaus has an electricity consumption that is not part of the office building itself but is used in the adjacent logistics area.

Nevertheless, the total primary energy consumption for the operation of the ChristophorusHaus sums up to only 110 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) on average (primary energy factor for electricity: 2.5).

# 1 Einleitung

Das vorliegende Projekt zur „MESSTECHNISCHEN BEGLEITUNTERSUCHUNG AM CHRISTOPHORUSHAUS“ wurde im Dezember 2003 beauftragt und hat die messtechnische Erfassung, Dokumentation und Analyse sämtlicher energietechnischer und systemtechnischer Messgrößen sowie die Erfassung der Komfortparameter zum Inhalt.

Eine detaillierte Analyse des Anlagen- und Benutzerverhaltens sowie der Vergleich mit Messdaten von anderen in Österreich errichteten Passivhäusern soll darüber hinaus auch Aussagen über die Alltagstauglichkeit von Passivhäusern ermöglichen.

Die Vermessung und Auswertung erfolgt analog zu den Messungen, die im Rahmen des EU-Projektes CEPHEUS (Cost effective passive houses as European standards, Projekt-Nummer: BU/0127/97) gebaut und vermessen wurden. Bei diesem Projekt wurden in den Jahren 1998 bis 2001 verteilt auf Österreich, Frankreich, Schweden, Deutschland und die Schweiz insgesamt 14 Passivwohngebäude mit insgesamt 221 Wohneinheiten vermessen und analysiert (Schniders et al., 2001).

Die messtechnische Untersuchung des Gebäudeverhaltens soll einerseits auf objektiver Ebene die Zielerreichung hinsichtlich energierelevanter Größen und der Komfortparameter dokumentieren und andererseits eine detaillierte Analyse des Anlagenverhaltens zulassen und damit auch Aussagen über die Alltagstauglichkeit von Passivhäusern ermöglichen.

Die energietechnische Evaluierung beinhaltet die Erfassung und Analyse der Energiebilanzen über das gesamte Gebäude mit speziellem Fokus auf den Heizenergieverbrauch, den Kühlenergieverbrauch, den Warmwasserverbrauch, den Stromverbrauch sowie die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte unter Berücksichtigung des tatsächlichen Klimas, welches durch Messung der Außentemperatur, der Außenfeuchte und der solaren Einstrahlung festgehalten wird.

Parallel zu diesem Projekt werden im Rahmen eines ‚Haus der Zukunft‘-Projektes fünf weitere Passivhäuser analog vermessen und analysiert (IBK – Messtechnische und baubiologische Begleituntersuchung von integrierten Bauprojekten, Wagner et al., 2005). Am Ende dieses Projektes wird ein Berichtsteil erstellt, in dem die Gebäude untereinander sowie mit den im Rahmen des EU-CEPHEUS Projektes vermessenen Gebäuden dargestellt werden. In diesem Berichtsteil wird auch das ChristophorusHaus aufgenommen.

Letztendlich soll diese Evaluierung dazu beitragen, dass die Funktion ökologischer und energiesparender Gebäude auf einer fundierten Basis nachgewiesen wird und damit zu einer raschen und breiten Markteinführung beiträgt.

## 2 Baubeschreibung

### 2.1 Aus der Sicht des Bauherrn

von Dir. Franz X. Kumpfmüller

Bereits seit mehreren Jahren werden vom BBM, einem Dienstleister in der Entwicklungszusammenarbeit, ressourcenschonende Technologien zum Beispiel bei der Sanierung von Krankenhäusern in Afrika eingesetzt. Mit dem Bau des ChristophorusHauses wurde vom BBM nun auch im Norden ein glaubwürdiges Zeichen im Bereich Klimaschutz geschaffen. So soll das ChristophorusHaus mit seinen vielen technischen Innovationen für alle Interessierten nachvollziehbar sein. Eine der Aufgaben ist es, das beim Bau erworbene Know-how zu vermitteln. Fachleute aus EU-Staaten, Beitrittsländern und Entwicklungsländern sollen mit der Thematik vertraut gemacht werden. Durch Workshops, Veranstaltungen und Präsentationen wird die Erfahrung weitergegeben, denn: Das ChristophorusHaus ist ein wichtiger Impuls für einen neuen Umgang mit den Ressourcen. Je mehr Bauherren in Zukunft diesem Impuls folgen, desto besser. Desto besser für Österreich, desto besser für Europa und die Welt. Sehr erfreulich ist daher, dass das Projekt "ChristophorusHaus" bereits in der Bauphase ein großes mediales Interesse fand. Durch mehrere Veranstaltungen, eine Impulstagung "Klimaschutz in kirchlichem Bauwesen", und die Vorstellung des Projektes bei Exkursionen wurde bereits in der Umsetzungsphase für entsprechende Verbreitung gesorgt. Besonders großes Interesse zeigte die Bevölkerung bei den Eröffnungsfeierlichkeiten vom 17. bis 19. Oktober 2003. Rund 3.000 Menschen haben an diesen Tagen das ChristophorusHaus besichtigt.

### 2.2 Die Architektur

von Arch. DI Albert P. Böhm und Arch. Mag. Ing. Helmut Frohnwieser



Abb. 1: Modell

#### **Baufaufgabe:**

Um den gestiegenen Anforderungen gerecht werden zu können, waren neue Räumlichkeiten vonnöten. Es hätte aber der Philosophie beider Einrichtungen nicht entsprochen, ein reines Verwaltungsgebäude zu errichten. So hat man sich entschlossen, neue Wege der Technologie zu gehen und ein multifunktionales Gebäude mit Logistik- und Kulturzentrum in Form eines Passivhauses in nachhaltiger Holzbauweise zu planen. Ort:

Das Grundstück war in den vergangenen Jahrzehnten teilweise von einer Tankstelle genutzt worden. Eine erhebliche Kontamination des Bodens durch Mineralöle war bis in acht Metern Tiefe durch eine Bodenauswechslung saniert worden. Der Grund liegt am Rande des Ortes, weist einen dreieckigen Zuschnitt auf, ist eben und an allen Seiten von Straßen umgeben.

**Entwurf:**

Entsprechend den Wünschen des Bauherrn sollte das Haus den Menschen als Mittelpunkt haben und beispielhaft sein für Umweltkonzepte, welche Teil der Arbeit des Beschaffungsbetriebes der MIVA (BBM) sind, und in Entwicklungsländern realisiert werden. Das Haus beinhaltet: Verwaltungsräume, Veranstaltungsbereiche, Verkaufslokal und ein Logistikzentrum. Diese unterschiedlichen Nutzungen stellten sowohl an den Entwurf als auch an die Haustechnik außergewöhnliche Anforderungen. Aus der Situation des Bauplatzes und der Philosophie des Bauherrn ergab sich die Kreisform, welche von einem Zwischenbaukörper durchdrungen wird und das Gebäude öffnet. Die Zweiteilung des Hauptbaukörpers entspricht der Verwaltungsorganisation entsprechend der Nutzung. Dieser Hauptbaukörper ist dreigeschossig und birgt in seiner Mitte eine über alle Geschosse reichende Aula mit Galerien, welche durch ihr Glasdach bis unten belichtet wird. Im Erdgeschoß der Aula ist die Begegnungsstätte für bis zu 100 Personen situiert. Das Logistikzentrum schließt im Süden an und wurde als eigenständiger Baukörper ausgeführt. Ihm sind Verladezonen und ein KFZ-Lagerplatz zugeordnet. Als Grundanforderung stand die Ausführung als Passivhaus. Erfahrungsgemäß bot sich dafür eine Holzbauweise an. Hier wurde aus verschiedenen Gründen die Skelettbauweise verwendet, bei der die Wände nicht lastabtragend wirken. Die runde Bauform des Hauptbaukörpers war, wie sich in der Detailausbildung gezeigt hat, für die Holzbauweise eine außergewöhnliche Anforderung. Im Besonderen unter Bedachtnahme wärmebrückenfreier Anschlüsse für die Passivhaus-tauglichkeit. Die runde Gebäudeform gewährleistet eine besonders gute Belichtung der Flächen, so dass auch größere Raumtiefen möglich sind. Wesentlich zum Aussehen des Gebäudes wurde von der sorgfältigen Gebäudesimulation beigetragen. Die Abstimmung zwischen Energieeintrag und Energieverlust hatte wesentliche Auswirkungen auf das Aussehen des Gebäudes und auf die Ausführung der Bauteile. Speziell die Nutzungsvielfalt mit sehr unterschiedlichen Belegungszahlen wirkt sich auf den Energiehaushalt aus. Gestaltgebende Faktoren in diesem Zusammenhang sind u. a. die Regelung des Energieeintrages, die Gewährleistung einer optimierten Durchlüftung und die Anordnung von Kühlflächen. Darüber hinaus ist das Gebäude mit einer Regenwasserfilterung und -speicherung, einer Grauwassersammlung und -behandlung, und einer entsprechenden Brauchwassernutzung ausgestattet. Alle diese hier angewandten Technologien und Gebäudeausstattungen verlangten eine frühe und durchgehende gemeinsame Planung. Der Planungs- und Bauablauf musste beim ökologischen Bauen anders sein. Mit dem ChristophorusHaus wird dargestellt, was Architektur unter Berücksichtigung der ökologischen Situation sein sollte.



## Der Lageplan

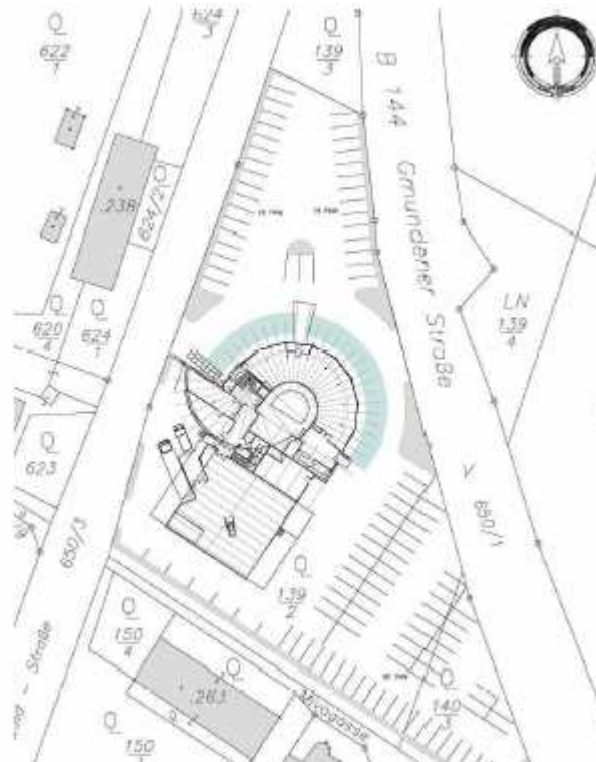


Abb. 2: Lageplan

### Konstruktion:

#### 1.) Gekrümmt, runde Außenwände in Passivhausstandard in Elementbauweise:

Übliche Fertigungsanlagen des Holzbaues lassen nur ebene und keine räumliche Elementfertigung zu. Es galt, Vorrichtungen für eine mm-genaue Fertigung zu entwickeln. Im Bürobau ist es üblich, durchlaufende Fensterbänder anzuordnen, was im Holzbau bei ebenen Wandflächen bedingt, dass die Stützen unmittelbar an den Wänden angeordnet werden müssen, um diese zu stabilisieren. Die Krümmung der Elemente, verbunden mit der Möglichkeit einer räumlichen Kraftableitung ohne Einspannung im Deckenbereich (Wärmebrücke), soll ein Loslösen der Stützen von den Wänden ohne weitere Verbindung ermöglichen. Es galt, statistische Modelle hierfür zu finden, sowie Adaptionen im Elementaufbau für deren Umsetzung vorzunehmen.

#### 2.) Tragende Passivhaus- Wandelemente für die Belastung aus drei Vollgeschossen eines Bürogebäudes:

Die höheren Lasten eines Bürogebäudes gegenüber einem Wohnbau gekoppelt mit der Mehrgeschossigkeit sowie die Wärmebrückenfreiheit erforderten ein neues Tragsystem für diese Wände. Hinzu kam die Entwicklung eines geeigneten Deckenauflegers für die erhöhten Lasten und die Wärmebrückenfreiheit.

#### 3.) Rundstützen aus festigkeitssortiertem Rundholz:

Ziel war die Vermeidung von teurem und primärenergieintensiverem Brettschichtholz. Weiters sollte die höhere Tragfähigkeit von Rundholz genutzt werden. Um gleiche Querschnitte und damit eine Standardisierung der Anschlusspunkte zu erzielen, erfolgte eine Festigkeitssortierung der Grundmenge, so dass tragfähigere Teile dort eingesetzt werden konnten, wo höhere Beanspruchungen auftreten. Für die Einbindung von Rundstützen in die Elementbauweise (Decken) galt es neue Auflagerpunkte und Verbindungstechnik zu entwickeln.

#### 4.) Stahlteilmfreie Deckenaufleger:

Stahlteile sind energieintensiv in der Herstellung. Weiters erfordern sie das Zusammenwirken zweier Gewerbe im Holzbau (Schlosser, Zimmerer). Die Reduktion der Komplexität der Auflager sollte die Multiplikation des Deckensystems für Folgeprojekte in den Reformstaaten erleichtern. Erforderlich war eine Neukonzeption des Deckentragwerkes sowie des Dachtragwerkes. Die genannten Neuerungen ließen das Bürogebäude zu einem Prototyp in weiten Bereichen des Holzbauwes werden (siehe oben angeführte Bauteile). Die Zukunftsträchtigkeit dieses Objektes rechtfertigte die Entwicklung neuartiger Bauteile und Systeme, um eine Multiplikation dieses "Prototyps" ökonomisch wie ökologisch noch sinnvoller zu machen. Durch das architektonischakzentuierte Gestaltungskonzept sollte erhöhte Aufmerksamkeit und Sensibilisierung für die Themen nachhaltige Entwicklung, globale Veränderung und Ökosysteme erreicht werden.

Erdgeschoß

Obergeschoß

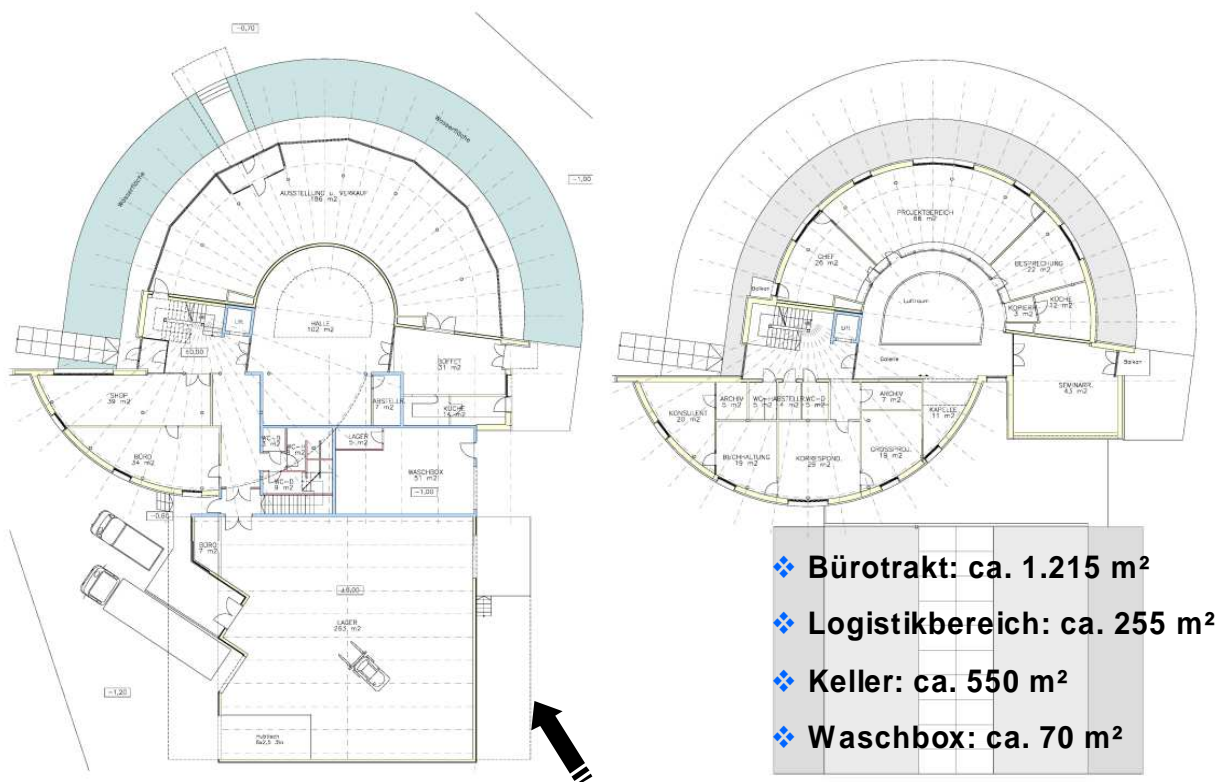


Abb. 3: Grundrisse des ChristophorusHouses

## 2.3 Das ChristophorusHaus aus der Sicht des Holzbaues

von Dipl.-Ing. Hans Christian Obermayr

Das ChristophorusHaus - warum in Holz?

Da Holz selbst eine gute Wärmedämmung besitzt und wärmebrückenfreies Konstruieren erleichtert, kommt es beim Bauen im Passivhausstandard sehr häufig zum Einsatz. Nahezu 70% aller errichteten Passivhäuser werden in Holzbauweise gefertigt. Es gibt jedoch noch weitere Gründe für den Baustoff Holz: Folgt man der Passivhausphilosophie vom Anfang bis zum Ende, so spielt nicht nur die Energieeinsparung während der Nutzungsphase eine Rolle, sondern auch der Energieaufwand bei der Errichtung und beim letztendlichen Abbruch des Gebäudes. Da Holz einen vergleichsweise geringen Energieaufwand zur Herstellung und Montage benötigt, besitzt es auch hier erhebliche Vorteile gegenüber anderen Baustoffen, die tlw. im Hochofen erschmolzen oder im Ofen gebrannt werden. Auf diese Art und Weise wird bei Passivhausbauten in Holzbauweise wenig "graue Energie" während der Errichtungsphase gespeichert bzw. verbraucht.



Abb. 4: Anlieferung der Fertigteile

Darüber hinaus ist Holz ein nachwachsender Rohstoff, schont somit die Ressourcen und speichert während seines Wachstums im Wald  $\text{CO}_2$ , welches bei der Verwendung von Holz für Bauten entsprechend in den Gebäuden gespeichert wird.

Holzbauten leisten auf diese Art und Weise einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz, da der Ausstoß von  $\text{CO}_2$  wesentlich reduziert werden kann. Dies ist bedeutend für die Erreichung des sogenannten Kyoto-Zieles, zu welchem sich auch die österreichische Bundesregierung verpflichtet hat, und das die Senkung des weltweiten  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes zum Ziel hat. Im ChristophorusHaus werden z. B. 350 Tonnen  $\text{CO}_2$  gespeichert. Würden 25% aller Neubauten in Österreich nach dem Konzept des ChristophorusHauses errichtet, so könnte das Kyoto-Ziel für Österreich erreicht werden. Abgesehen von energetischen und ökologischen Vorteilen sprechen auch andere Gründe für die Holzbauweise:

Die Holzbauweise ist eine trockene Bauweise, es gibt somit keine Austrocknungszeiten, was ermöglicht, dass das Gebäude unmittelbar nach Fertigstellung bezogen werden kann.

Die Holzbauweise ermöglicht eine Vorfertigung, welche zu einer erheblichen Verkürzung der Bauzeit führt. Das ChristophorusHaus wurde in neun Monaten errichtet. Parallel zu den Baumeisterarbeiten vor Ort erfolgte die Vorfertigung der Holzelemente im Werk. Unmittelbar nach Abschluss der Baumeisterarbeiten begann die Montage des Holzbaues.

Die Holzbauweise besitzt einen berechenbaren Brandschutz: Unter extremen Bedingungen in der Prüfanstalt hält die Konstruktion des ChristophorusHauses einem Vollbrand 60 Minuten Stand. Unter realen und damit weniger extremen Bedingungen jedoch noch viel länger.

Schlussendlich besitzt Holz Eigenschaften, welche eine angenehme Wohn- und Arbeitsatmosphäre ermöglichen, wie z. B. ökroskopisches Verhalten für einen ausgeglichenen Feuchtigkeitshaushalt, Strahlungsminderung, Absorption von Luftschadstoffen, usw.

### **Die Umsetzung des Holzbaues, zeitlicher Ablauf:**

Die Auftragserteilung für den Holzbau erfolgte im Februar 2003. Unmittelbar danach wurde mit der Werksplanung begonnen und ab März 2003 parallel zu den Baumeisterarbeiten bereits vorgefertigt. Von 23. bis 25. April wurde das Logistikzentrum montiert. Nach Abschluss der Baumeisterarbeiten des Bürogebäudes wurden diese exakt vermessen, ausgewertet und am 5. Mai 2003 mit der Hauptmontage des Bürobaues begonnen. In den ersten vier Tagen wurden der Nordbauteil und der Seminartrakt errichtet, nach einer witterungsbedingten Pause von einer Woche wurde am 19.5. mit der Montage des zentralen Atrium-Bereiches und des Südbauteiles begonnen. Die Montage dieses Bauteiles war bis 23.5. 2003 abgeschlossen. Nach Abschluss der Hauptmontage erfolgten die Komplettierungsarbeiten.

### **Die Stützen**

Die vertikalen Kräfte werden zu einem großen Teil über Rundholzstützen abgetragen. Diese sind winter- und mondphasengeschlägert in heimischer Fichte ausgeführt. Anschließend wurden sie rundgefräst und mit einem Trennschnitt versehen, um die natürliche Rissbildung zu minimieren. Der Grund für die Wahl von Rundholzstützen im Gegensatz zu runden Brettschichtholzstützen besteht im Wesentlichen darin, dass für die Herstellung von runden Brettschichtholzstützen ein höherer Holzbedarf (ca. das dreifache) und außerdem ein erheblicher Energieaufwand für die Herstellung des runden Brettschichtholzes notwendig ist. Um die Ausnutzung des Rundholzes zu optimieren, wurden die Stämme anschließend mittels Ultraschall festigkeitssortiert und visuell nachsortiert, sodass bei gleichem Stützendurchmesser die aufgrund ihrer natürlichen Festigkeit höher tragfähigen Stämme aussortiert und in den höher beanspruchten Bereichen des Erdgeschosses eingesetzt wurden, wogegen jene mit geringerer Festigkeit in den Obergeschossen angeordnet sind. Um Stahlteile und damit "graue Energie" zu sparen, wurde ein stahlfreies Stützenkopfdetail entwickelt, welches durch hochfeste Holzwerkstoffe die konzentrierte Lasteinleitung aus den Decken in die Stützen ermöglicht.



Abb. 5: Stützen

### **Die Decken**

Diese bestehen aus Brettschichtholz- Primärträgern und dazwischen liegenden Vollholzträmen. Die obere und untere Beplankung erfolgt mittels OSB (Oriented Strand Board), wobei die untere OSB-Beplankung sichtbar bleibt. Aus Brandschutz- und Schallschutzgründen erfolgte eine Dämmung der Decken mit Steinwolle. Die Deckenelemente sind untereinander so verbunden, dass sie als Scheiben zur Abtragung der Horizontal-

kräfte dienen. Die Decken ruhen im Wesentlichen auf den Rundstützen, teilweise eckigen Brettschichtholzstützen und Innenwänden. Nur bei den Auflagern am Stahlbeton und den Seminarbereichs-Außenwänden mussten Stahlauflageteile verwendet werden.



Abb. 6: Das Dach

Die Dachkonstruktion verfügt ebenfalls über Primärträger aus Brettschichtholz, die sekundären Rippen wurden aus Vollholz gefertigt. Die Untersicht ist ebenfalls in OSB ausgeführt und bleibt wiederum sichtbar. Das Dach erhält eine Hinterlüftung und ist mit Zellulose gedämmt, da hier sowohl brandschutztechnische Gründe als auch ökonomische Überlegungen einen Einsatz dieser ökologisch vorteilhaften Dämmung ermöglichen. In die Dachelemente wurde bereits im Werk das Vordach integriert, ebenso wie Stocküberdämmungen, Leibungen, udgl., weiters Gullys für den Regenwasserabfluss sowie diverse Durchbrüche für Installationen.



## Die Außenwände

Die Konzeption des ChristophorusHouses als Rundbau bringt mit sich, dass die Außenwände in einem bestimmten Radius gekrümmt ausgeführt werden mussten. Die Form konnte nur durch den Einsatz von gekrümmtem Brettschichtholz erreicht werden, welches mittels Sägen in dünne Scheiben aufgetrennt wurde, um den Holzanteil und damit den Wärmedurchgang in den Außenwänden zu minimieren. Die Wandrippen wurden zur energetischen Optimierung geteilt ausgeführt. Aus Brandschutzgründen wurde als Dämmstoff wiederum Steinwolle eingesetzt.



Abb. 7: Außenwandelemente

Die Rohschalung Stützen aus österreichischer Lärche wurde, soweit möglich, bereits im Werk angebracht und musste nur an den Elementstößen vor Ort komplettiert werden. Weiters wurden bereits Stocküberdämmungen und Leibungen werkseitig ausgeführt. Die besondere Herausforderung bei der Fertigung der gekrümmten Außenwände bestand einerseits in der Krümmung selbst und andererseits in den hohen Genauigkeitsanforderungen seitens des Fensterbauers, da dieser im Bereich zwischen den Wänden zweier Geschosse ein polygonales Oberlichtband aus 24 Einzelteilen mit einer Abwicklungslänge von 34 Metern montieren musste. Erschwerend für die Ausführung in Passivhausstandard war die aufgrund der Architektur sehr komplexe statische Tragwerksstruktur. Hier wurde versucht, durch Überdämmungen das Vorhandensein von eventuellen Wärmebrücken zu minimieren.

**Zahlen und Fakten:**

Holzeinsatz:	ca. 175 m <sup>3</sup> Vollholz und Brettschichtholz ca. 7 000 m <sup>2</sup> Holzwerkstoffplatten
Summe	350 m <sup>3</sup> Holzeinsatz Dies wiederum entspricht einer Waldfläche von ca. 7 000 m <sup>2</sup> .
Wärmedämmung:	ca. 154 m <sup>3</sup> Zellulosedämmung ca. 500 m <sup>3</sup> Steinwollgedämmung

Die 51 Rundholzstützen tragen gemeinsam mit den restlichen Brettschichtholzstützen das ca. 1000 Tonnen schwere Bürogebäude, wobei die maximale Last auf einer Rundholzstütze ca. 35 Tonnen beträgt. Das Bürogebäude besteht aus ca. 90 vorgefertigten Elementen, welche mit 17 LKW-Transporten zur Baustelle gebracht wurden. Die maximale Transportbreite betrug 5,30 m.



Abb. 8: Geschoßaufbau

## Die Perspektiven

Das ChristophorusHaus ist das erste dreigeschossige Bürogebäude in Passivhausstandard in Oberösterreich. Darüber hinaus ist es der erste Rundbau in dieser Bauweise und Größenordnung. Dank der Förderung durch EU, Bund und Land Oberösterreich ist es auch im Holzbau bei diesem Projekt möglich, neue Technologien einzusetzen. Die hier gesammelten Erfahrungen in ökologischer wie statisch-konstruktiver und bauphysikalischer Hinsicht ermöglichen eine erhebliche Weiterentwicklung des Holzelementbaues im Passivhausstandard. Die Realisierung innovativer Projekte im Passivhausstandard birgt die Hoffnung und Zuversicht, dass sich dieser Standard zu der Bauweise der Zukunft entwickelt und somit auch das Bauwesen seinen Beitrag leistet, dass unser aller Umwelt auch für künftige Generationen in einem lebenswerten Zustand erhalten bleibt.



Abb. 9: Rohbau



## 2.4 Das Energiekonzept

von Ing. Christian Fink und Dipl.-Ing. Ernst Blümel, Dipl.-Ing. Thomas Mach

Die konsequente Entwicklung von Niedrigenergie- und Passivhausstandards im Wohnbau machte es möglich, dass mittlerweile auch zahlreiche Büro- und Verwaltungsbauten mit geringstem Wärmebedarf errichtet wurden. Im Vergleich zu Wohngebäuden benötigen Büro- und Verwaltungsgebäude bei meist geringerem Wärmebedarf (höhere interne Lasten), durch die Anforderungen an Beleuchtung, EDV und Klimatisierung, aber wesentlich mehr elektrische Energie. Somit müssen in Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich andere bzw. zumindest ergänzende Ansätze zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und zur Schaffung von behaglichen Raumbedingungen verfolgt werden. Sämtliche Maßnahmen müssen nicht nur für den Winterfall, sondern auch für den Sommerfall betrachtet werden, da vielfach kontraproduktive Auswirkungen auftreten. Lastenreduktion für Heizung und Kühlung sowie Deckung der verbleibenden Heiz- und Kühllasten mit möglichst erneuerbaren Energieträgern in Kombination mit einfacher Gebäudetechnik zeichnen innovative Energiekonzepte aus, erfordern aber integrale Planungs- und Bauabläufe bei frühzeitiger Einbindung von Energietechnikern.

### 2.4.1 Anforderungen des Bauherrn an das Gebäude

Die Identifikation des Bauherrn mit der Thematik war schlussendlich ausschlaggebend, dass das neue Verwaltungsgebäude für die knapp 40 Personen umfassende Belegschaft nach besonders innovativen und ökologischen Aspekten errichtet wird. Motiviert durch das sehr früh involvierte Planungsteam (Architekten, Energietechniker, Holzbautechniker) entschied sich die Geschäftsführung zum Bau eines multifunktionalen Gebäudes mit Büro-, Logistik- Geschäfts- und Veranstaltungsräumlichkeiten in Passivhausbauweise. Die Zielvorgaben für das Planungsteam wurden wie folgt festgelegt:

- Multifunktionale Nutzung (Büro, Veranstaltungen, Minni-Shop, Schauräume, Lager- und Logistikzentrale)
- Holzkonstruktion
- Heizwärmebedarf  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Drucktestluftwechsel  $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Energiekennwert Primärenergie  $< 80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (inkl. Strombedarf der Haustechnik)
- Keine Kompressionskältemaschine für Kühlzwecke bei gleichzeitig maximalen Raumtemperaturen von  $26^\circ\text{C}$
- Deckung des verbleibenden Energiebedarfes mit möglichst erneuerbaren Energieträgern
- Höchste Behaglichkeit für MitarbeiterInnen bei geringsten Betriebskosten
- Zertifizierung des Gebäudes als „qualitätsgeprüftes Passivhaus“ durch das Passivhausinstitut in Darmstadt

Diese ambitionierten Vorgaben stellten für das gesamte Planungsteam eine große Herausforderung dar, konnten aber im Zuge eines integralen Planungsprozesses erreicht werden.

### 2.4.2 Integrale Gebäudeplanung

Die integrale Gebäudeplanung vereint alle Aspekte zur Schaffung höchster Behaglichkeit und höchster ökologischer Vertretbarkeit bei gleichzeitig definierten ökonomischen Rahmenbedingungen. Aus energetischer Sicht wird in integralen Planungsprozessen die Wechselwirkung zwischen dem Gebäude, dem Nutzer und der Bereitstellung behaglicher Arbeitsbedingungen (Temperatur, Luft, Licht, Arbeitsbehelfe, etc.) behandelt und optimiert. Erfolgt in konventionellen Planungsprozessen die Einbindung der einzelnen Exper-

ten nach vorgegebenen Zeitabschnitten, was häufig vollendete Rahmenbedingungen bedeutet, so zeichnen sich integrale Planungsprozesse durch die praktisch zeitgleiche Einbindung aller wesentlichen Planungsgewerke sowie einen daraus resultierenden Diskussions- und Optimierungsprozess aus.

Die Erfahrung zeigte bei derart innovativen Bauprojekten die Notwendigkeit eines übergeordneten „Energieverantwortlichen“ deutlich auf. Dieser behandelt nicht nur, wie in konventionellen Planungsprozessen üblich, die Haustechnik, sondern besitzt den Überblick über alle energierelevanten Bereiche und ist das Bindeglied zwischen den Einzelgruppen (Bauherr, Architekt, Haustechnikplaner, Elektroplaner, Statiker, Bauphysiker, Bauleitung, etc.).

### **2.4.3 Energetischer Optimierungsprozess des ChristophorusHauses**

Im Zuge der Planungsarbeiten zum ChristophorusHaus wurde ein integraler Planungsprozesses umgesetzt. Die „Energieverantwortung“ in diesem Planungsprozess wurde der AEE INTEC (in Kooperation mit dem IWT der TU Graz) übertragen. Vom Energie-Planungsteam wurde als Werkzeug zur Optimierung des Gebäudeverhaltens bei klimatischen Spitzenbelastungen die dynamische Simulationsumgebung TRNSYS gewählt. Zur verbesserten Übersicht und Analyse des thermischen Verhaltens wurde das im Entwurfsstadium befindliche Gebäude in 20 thermische Zonen geteilt und in dieser Form in der dynamischen Simulationsumgebung, unter Berücksichtigung von Geometrien und thermischen Stoffdaten, modelliert.

Um die Belastbarkeit der Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation zu verbessern, wurde jede einzelne Variation (Wandaufbauten, Speichermassen, Luftwechsel, externe Lasten, interne Lasten, etc.) für zwei unterschiedliche Klimate durchgeführt. Einmal für das Extrem „Heizen“ (1996 war für den Standort das kälteste Jahr der letzten Dekade) und einmal für das Extrem „Kühlen“ (1994 war für den Standort das heißeste Jahr der letzten Dekade). Desweiteren muss die Gebäudenutzung in entsprechender Detaillierung festgelegt werden. Dazu zählt die:

- Definition der Gebäudebelegung (Tages-, Wochen- und Monatsprofile)
- Definition der Luftwechselraten (der hygienisch erforderliche Luftwechsel für Nichtraucherbüros kann mit etwa 30 m<sup>3</sup>/h und Person angesetzt werden)
- Definition der Beleuchtungslasten- und Zeiträume (die Bandbreite der Lasten reicht hier von der konventionellen Bürobeleuchtung von 20 W/m<sup>2</sup> bis zur innovativen Bürobeleuchtung mit etwa 5 W/m<sup>2</sup>a)
- Definition von EDV-Nutzungszeiten (die Bandbreite der Lasten reicht hier von der konventionellen EDV-Station mit rund 230 W/Arbeitsplatz bis zur zeitgemäßen EDV-Station mit Flachbildschirm und rund 140 W/Arbeitsplatz)
- Definition von Verschattungsgraden
- Regelungskriterien für alle haustechnischen Systeme

Die erste vollständige Simulation des ChristophorusHauses (Berechnungsvariante E) zeigte eine hohe Überhitzungssensibilität des Gebäudes mit Spitzentemperaturen über 50°C in exponierten Zonen des Gebäudes (Galerie 2.OG, Besprechungsräume im 1. und 2. OG, etc.) bei gleichzeitig relativ geringem spezifischen Heizwärmebedarf (ca. 30 kWh/m<sup>2</sup>a). Zugrundegelegt wurden dieser Berechnung der Klimadatensatz 1994 (Kühlextrem) sowie die definierten Maxima der internen und externen Lasten.

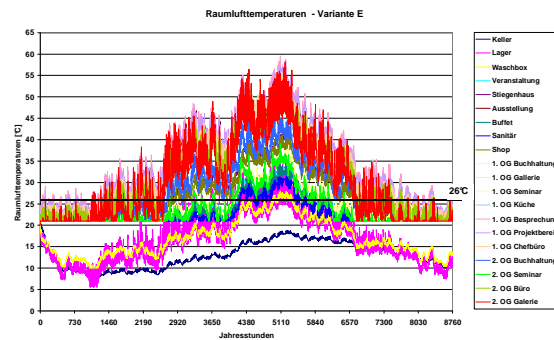


Abb. 10: Ausgangssituation - Zonentemperaturen im ChristophorusHaus zu Beginn des integralen Planungsprozesses

In der Folge war es die Aufgabe des Energie-Planungsteams, in Kooperation mit den anderen beteiligten Fachplanern durch gezielte Einflussnahme auf Architektur, Bauphysik, Speichermassen und Ausstattung, die geforderte Behaglichkeit sowohl im Winter als auch im Sommer bei geringstem Energieverbrauch sicherzustellen.

Innerhalb von mehr als 20 Variationsrechnungen wurde das Gebäude hinsichtlich Behaglichkeit und Energiebedarf mittels dynamischer Gebäudesimulation optimiert. Der gesamte Optimierungsprozess bzw. die Auswirkungen einzelner Veränderungen sind in Abb. 11 dargestellt. Dabei wurden folgende Optimierungen in den Variationsrechnungen berücksichtigt:

- Gezielte U-Wert Verbesserungen an opaken Bauteilen (Ausführungsvariante:  $U_{AW}$  und  $U_{Dach} < 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Aufgrund der Ausführung als Holzkonstruktion mussten gezielt nutzbare Speichermassen eingebracht werden (über Estriche, massive Innenwände und Stiegenhaus etwa 100 Tonnen)
- Gezielte Reduktion des Glasflächenanteils der Atriumverglasung (Reduktion um etwa 50 %) sowie Änderung der Orientierung
- Gezielter Einsatz von Sonnenschutzverglasungen vs. Wärmeschutzverglasungen (Bandbreite der g-Werte zwischen 0,3 und 0,6)
- Gezielte Reduktion von Verglasungsanteilen (öffnbar und fix verglast, Ausführungsvariante:  $U_{W, eingebaut} \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Maßnahmen zur Reduktion des Fugenluftwechsels (Infiltration)
- Optimierte Beleuchtungsstrategien (Tageslichtnutzung über Oberlichten und energiesparende Beleuchtungskörper – Einbaudownlights; Konstantregelung der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz durch Lichtsensor)
- Optimierte Beschattungsstrategien (Kombination aus Gebäudeanforderung und vorherrschender Einstrahlung)
- Integration einer hochwertigen Wärmerückgewinnung in der mechanischen Lüftungsanlage (Wärmerückgewinnungsgrade zwischen 0,78 und 0,86)
- Berücksichtigung eines freien Nachtlüftungskonzeptes
- Optimierung der Regelungsstrategie sämtlicher haustechnischer Anlagen

Wie in Abb. 11 dargestellt, konnte durch die Variationsrechnungen eine stetige Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfes erreicht werden.

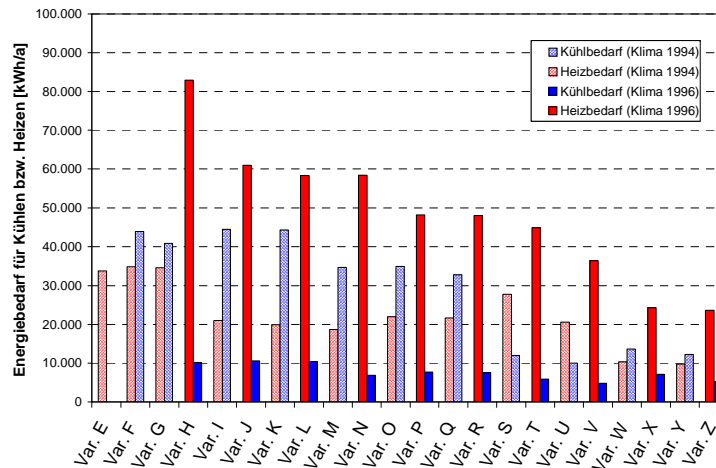


Abb. 11: Jährlicher Heiz- und Kühlenergiebedarf - Darstellung des Optimierungsprozesses (Varianten E und F basieren auf dem Klimadatensatz 1994 - Extrem „Heizen“, ab Variante G jeweils Klimadatensatz 1994 und Klimadatensatz 1996 abwechselnd)

### 2.4.4 Theoretischer Heiz- und Kühlenergiebedarf in der Ausführungsvariante

Die Varianten „Y“ (Sommerextrem – Klimadatensatz 1994) und „Z“ (Winterextrem – Klimadatensatz 1996) stellen das Endergebnis des Optimierungsprozesses für das ChristophorusHaus dar. Der Lastenverlauf für Heizung und Kühlung für diese beiden Klimaextreme der letzten zehn Jahre ist in Abb. 12 dargestellt.

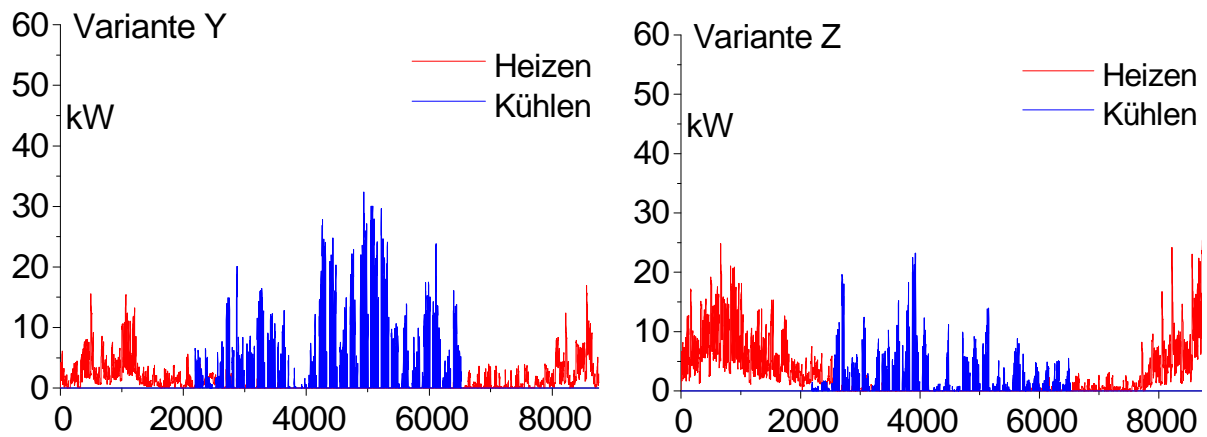


Abb. 12: Überblick über den Jahresverlauf der Heiz- bzw. Kühllasten der Ausführungsvariante bei den extremen Klimadatensätzen (Y-Extrem „Kühlen“ und Z-Extrem „Heizen“)

Die Nettogeschossflächen betragen für den Bürotrakt etwa 1.215 m<sup>2</sup> (Raumtemperatur: 20°C), für den Lagerbereich etwa 255 m<sup>2</sup> (Raumtemperatur: 10°C), für die Fahrzeug-Waschbox etwa 70 m<sup>2</sup> (Raumtemperatur: 5°C) und für den unbeheizten Keller etwa 550 m<sup>2</sup>. Die Kühlgranztemperatur wurde entsprechend der Vorgaben des Auftraggebers mit 26°C definiert. Für die zwei unterschiedlichen Klimate liegt der spezifische Heizenergiebedarf zwischen 8 und 19 kWh/m<sup>2</sup>a und der Kühlenergiebedarf zwischen 4,5 und 10 kWh/m<sup>2</sup> (Tabelle 1).

Tabelle 1: Theoretischer Heiz- und Kühlenergiebedarf für die gewählten Klimaextreme der Jahre 1994 und 1996

	<b>Klimadatensatz 1996 (Heizextrem)</b>	<b>Klimadatensatz 1994 (Kühlextrem)</b>
<b>Heizenergiebedarf</b>	23.640 kWh/a	9.740 kWh/a
<b>Spezifischer Heizenergiebedarf</b>	19,5 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a	8,0 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a
<b>Kühlenergiebedarf</b>	5.140 kWh/a	12.150 kWh/a
<b>Spezifischer Kühlenergiebedarf</b>	4,5 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a	10,0 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a

### 2.4.5 Energie- und Frischwasserversorgung

Die schrittweise Reduktion des Energiebedarfes für Heizen und Kühlen war die Voraussetzung für die Definition eines nachhaltigen und gleichzeitig kostengünstigen Systems zur Energieversorgung. Aufgrund des doch erheblichen Kühlenergiebedarfes spielte hier vor allem die Kälteversorgung eine entscheidende Rolle. Neben den Vorgaben einer Energieversorgung aus erneuerbaren Energieträgern bzw. Umweltenergien, galt es auch den betriebswirtschaftlichen Vorgaben zu entsprechen. Um diese Vorgaben zu erfüllen, wurde vom Energie-Planungsteam ein monovalentes System ausgearbeitet, das sowohl Wärme- als auch Kälteversorgung in einem ermöglicht. Das Blockschaltbild hierzu ist in Abb. 13 dargestellt.

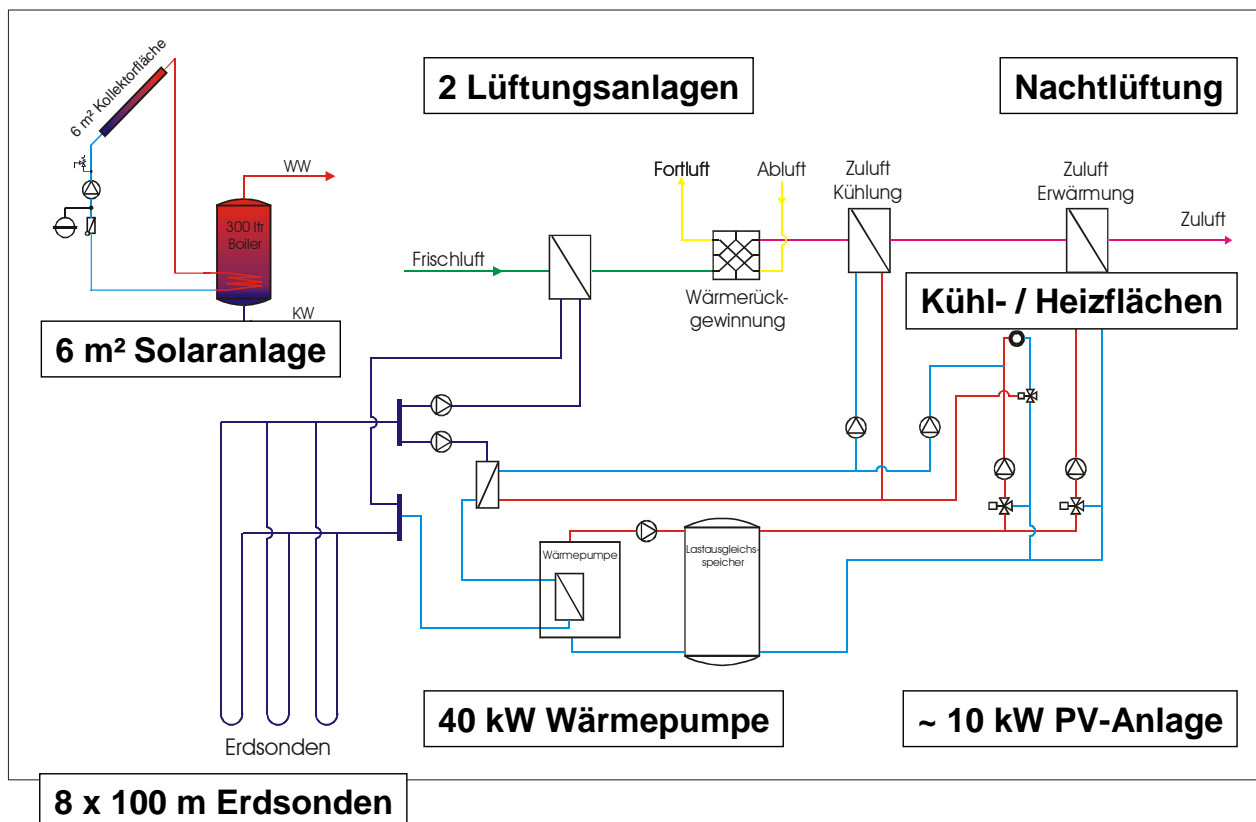


Abb. 13: Blockschaltbild zur Wärme-, Kälte- und Frischluftversorgung des Christophorus-Hauses

Tabelle 2: Komponenten zur Energieversorgung bzw. Energieabgabe, deren Aufgaben und technische Eckdaten

Energieversorgung		
	Anwendung	Technische Daten
Erdsonden	Heizen (Wärmepumpe) und Kühlen („direct cooling“)	8 x 100 m Duplex – Erdsonden, (Doppel-U-Rohre DN 32)
Wärmepumpe	Heizen	Nennleistung 43 kW thermisch bei COP 4,03
PV – Anlage	Deckung des überwiegenden Jahresstrombedarfs der Wärmepumpe	10 kW <sub>peak</sub>
Thermische Solaranlage	Brauchwassererwärmung	6 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
Energieabgabe		
	Anwendung	Technische Daten
Lüftungsanlage für die Büroräume	Frischluftversorgung, Heizen, Kühlen	Nennvolumenstrom 2.800 m <sup>3</sup> /h, Wärmerückgewinnungsgrad 78%
Lüftungsanlage für die Seminar- und Veranstaltungsräume	Frischluftversorgung, Heizen, Kühlen	Nennvolumenstrom 1.000 m <sup>3</sup> /h, Wärmerückgewinnungsgrad 86%
Heiz- und Kühlflächen	Heizen, Kühlen	„direct cooling“ ~ 25 W/m <sup>2</sup>

**2.4.6 Wärmequelle, Wärmesenke und Bereitstellung der nötigen Antriebsenergie**

**Heizen**

Als Wärmequelle (Heizbetrieb) und als Wärmesenke (Kühlbetrieb) dient das Erdreich, das über 8x100 m lange Duplex-Erdsonden (Doppel-U-Rohre, DN 32) aktiviert wird. Im Heizbetrieb dienen die Tiefensonden als Wärmequelle für eine Wärmepumpe (Produkt IDM, Nennleistung 43 kW bei einem COP von 4,03). Dabei wird dem Erdreich Wärme entzogen und somit ein günstiges Temperaturprofil im Erdreich für den sommerlichen Kühlfall hergestellt.

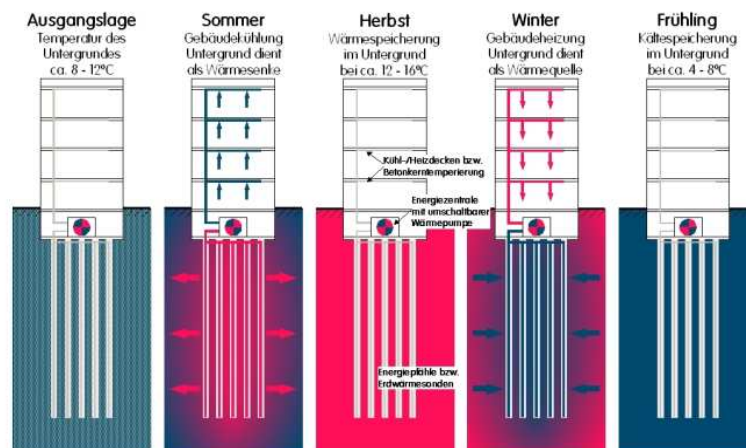


Abb. 14: Funktionsprinzip der saisonal bedingten Wärme- und Kälteversorgung des ChristophorusHauses

## Kühlen

Im Sommer wird dann zu Kühlzwecken das Erdreich über das selbe System als Wärmesenke genutzt. Dabei wurden die Tiefensonden so dimensioniert, dass die Austrittstemperaturen aus dem Erdreich im Kühlfall ein sogenanntes „direct cooling“ ermöglichen und somit ein passives Kühlsystem ohne Einsatz von Energie zum Betrieb des Kompressors erreicht wird. Falls nötig, könnte die Wärmepumpe aber auch reversibel betrieben werden.

Unterstützt wird das auf der Nutzung von Erdkälte basierende Kühlsystem durch eine natürliche Massentwärmung des Atriums während der Nachtstunden. Diese Massentwärmung erfolgt ausgelöst durch eine freie Luftströmung hervorgerufen durch Dichteunterschiede zwischen warmer und kalter Luft sowie dementsprechend geöffnete Strömungsquerschnitte.



Abb. 15: Einbringen der Tiefensonden - vier Rohre je Sonde, über das fünfte Rohr (rote Markierungsstreifen) wird das Bohrloch hinterfüllt. Beim ChristophorusHaus wurde das spezielle Hinterfüllmaterial „Stüwatherm“ verwendet, das die Wärmeleitfähigkeit durch Zugabe von Quarzkorn im Vergleich zu konventionellen Bentonit-Zement-Gemischen um bis zu zehn Prozent erhöht.

## Brauchwasser

Der Brauchwasseranteil ist in Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich gering. Im ChristophorusHaus wurde zur Deckung des Brauchwasserbedarfes eine 6 m<sup>2</sup> große thermische Solaranlage mit einem solaren Deckungsanteil von über 70% installiert. Die Nachheizung an sonnenarmen Tagen erfolgt mittels elektrischem Strom.

### 2.4.7 Elektrischer Strom

Um den Strombedarf für die Wärmepumpe bzw. für die Antriebsenergie von Pumpen und Ventilatoren im Jahresschnitt größtenteils CO<sub>2</sub>-neutral bereitzustellen, wurde eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 9,8 kW<sub>peak</sub> installiert. Dabei wurden etwa 3,6 kW<sub>peak</sub> in der Fassade (Abb. 16) und etwa 6,2 kW<sub>peak</sub> um 40° geneigt am Dach der Lagerhalle angebracht.





Abb. 16: 90° geneigtes Sonnensegel ( $3,6 \text{ kW}_{\text{peak}}$ ), bzw. ( $6,2 \text{ kW}_{\text{peak}}$ ) um 40° geneigt

## 2.4.8 Wärme- und Kälteabgabe sowie Frischluftversorgung

### Frischluftversorgung

Die Frischluftversorgung der Büro- und Verwaltungsräumlichkeiten des Christophorus-Hauses erfolgt mit zwei getrennten, kontrollierten Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung über Rotationswärmetauscher. Dabei ist eine Lüftungszentrale für die Büroräumlichkeiten (Nennvolumenstrom von  $2.800 \text{ m}^3/\text{h}$ , Wärmerückgewinnungsgrad 78 %) und eine Lüftungszentrale für die Seminar- und Veranstaltungsräumlichkeiten ( $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , Wärmerückgewinnungsgrad 86%) konzipiert. Die gemeinsame Außenluftansaugung erfolgt über einen Erdkollektor aus Polyethylen, DN 500 und einer Länge von 25 m. Zusätzlich zu dieser Vorkonditionierung, existiert eine Erdsondenauskopplung zur Vorwärmung der Frischluft im Winter. Nach dem Austritt aus der Lüftungszentrale ist je nach Erfordernis ein Heiz- bzw. Kühlregister in Verbindung mit dem Erdsondenkreislauf vorgesehen, sodass die Frischluftzufuhr sowohl im Winter als auch im Sommer keine zusätzlichen Lasten (Heizen bzw. Kühlen) für die Flächenabgabesysteme mit sich bringt. Die Abluftführung aus den Toiletten erfolgt über dezentrale Abluftventilatoren.



### Heiz- und Kühlflächen

Aufgrund des erreichten Passivhausstandards (spezifische Heizleistungen im Bereich von  $10 \text{ W/m}^2$ ) wäre für die Wärmeversorgung eine ausreichende und behagliche Beheizung des Gebäudes über die Lüftungsanlage möglich gewesen. Da für den Kühlfall einerseits aus Behaglichkeitsgründen die Absenkung der Zulufttemperaturen begrenzt ist und andererseits das „direct-cooling“ auch bei Sondenvorlauftemperaturen knapp unter den maximalen Raumtemperaturen ( $26^\circ\text{C}$ ) möglich ist, wurden als Wärmesenke des Raums wasserdurchströmte Kühlflächen vorgesehen. Diese sind je nach Zonenbelastung und konstruktiven Rahmenbedingungen als Deckenpaneele (siehe Abb. 17) bzw. als Fußbodenelemente (Aktivierung der Estrichmassen) ausgeführt. Die durchschnittliche erzielbare Kühlleistung liegt beim „direct-cooling“ in Kombination mit Kühldecken etwa bei  $25 \text{ W/m}^2$ .

Um die Behaglichkeit in den Büroräumen im Heizbetrieb zu steigern, erfolgt nun selbstverständlich auch teilweise die Wärmeversorgung – in Abstimmung mit dem zentralen Lüftungssystem – über die Flächenelemente. Sowohl die Regelung des Heiz- als auch des Kühlbetriebs erfolgt getrennt für zwei thermische Zonen. So bilden bei der Ermittlung der nötigen Vorlauftemperaturen beispielsweise die südorientierten und die nordorientierten Räumlichkeiten jeweils eine eigene thermische Zone.



Abb. 17: Heiz- und Kühldecken (Produkt „RCS“) im ChristophorusHaus

### Kosten

Das ChristophorusHaus wurde im Oktober 2003 von den rund 40 Mitarbeitern der MIVA und dem BBM bezogen. Die Gesamtkosten für das Gebäude beliefen sich auf rund 2,4 Millionen EURO, die haustechnischen Anlagen auf etwa 0,31 Millionen Euro. Bezogen auf eine Nutzfläche von etwa  $1.550 \text{ m}^2$  (ohne Kellergeschoß) ergeben sich spezifische Gesamtbaukosten von rund  $1.548 \text{ EURO/m}^2_{\text{NGF}}$ .

## 3 Messtechnik

### 3.1 Messtechnisches Konzept

Das Ziel der Messungen ist die Erfassung und Überprüfung folgender Parameter:

- Gesamtendenergieverbrauch des Gebäudes
- Gesamtheizenergiebedarf des Gebäudes
- Einhaltung der Grenzwerte für die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte in ausgewählten Gebäudezonen (sowie CO<sub>2</sub>-Konzentration über einen Teil der Messperiode)

Zur Erstellung geschlossener Energiebilanzen werden folgende thermische und elektrische Energieströme gemessen:

- Heizenergiebedarf des Gebäudes
- Kühlenergiebedarf des Gebäudes
- Warmwasserbedarf des Gebäudes
- Solarertrag (thermische Solaranlage)
- Zirkulationsverluste der Warmwasserbereitung
- Solarertrag – Fotovoltaikanlage
- Zentrale Energiezufuhr durch die Zusatzheizung (Erdsonden, Wärmepumpe)

Eine getrennte Erfassung des elektrischen Energiebedarfes im Gebäude erfolgt für:

- Bürostrom aufgeteilt in die einzelnen Bereiche
- Strom für Wärmepumpe
- Allgemeiner Technikstrom

Systemparameter der Lüftungsanlagen:

- Sämtliche Temperaturverläufe
- Sämtliche Feuchteverläufe
- Sämtliche Volumsströme

Systemparameter am Wärme- und Kälteverteilnetz:

- Sämtliche Temperaturen im Verteilernetz

Weiteres werden folgende Klimadaten erfasst:

- Globalstrahlung auf die horizontale Ebene
- Außentemperatur
- Außenfeuchte
- Windgeschwindigkeit

Diese Daten sind nicht nur zur Beurteilung des Raumklimas und der Raumfeuchte von Relevanz, sie werden in weiterer Folge auch für eine klimabereinigte Beurteilung des Heiz- und Kühlbedarfs des Gebäudes herangezogen (z.B. Vergleich mit den Simulationsergebnissen aus der Planungsphase des Gebäudes)

In Abb. 18 sind die energie- und lüftungstechnischen Anlagen sowie die Messstellen dargestellt.

In den Tabellen 2 und 3 ist eine Aufstellung der eingesetzten Messgeräte und der erfassten Messgrößen zu finden.

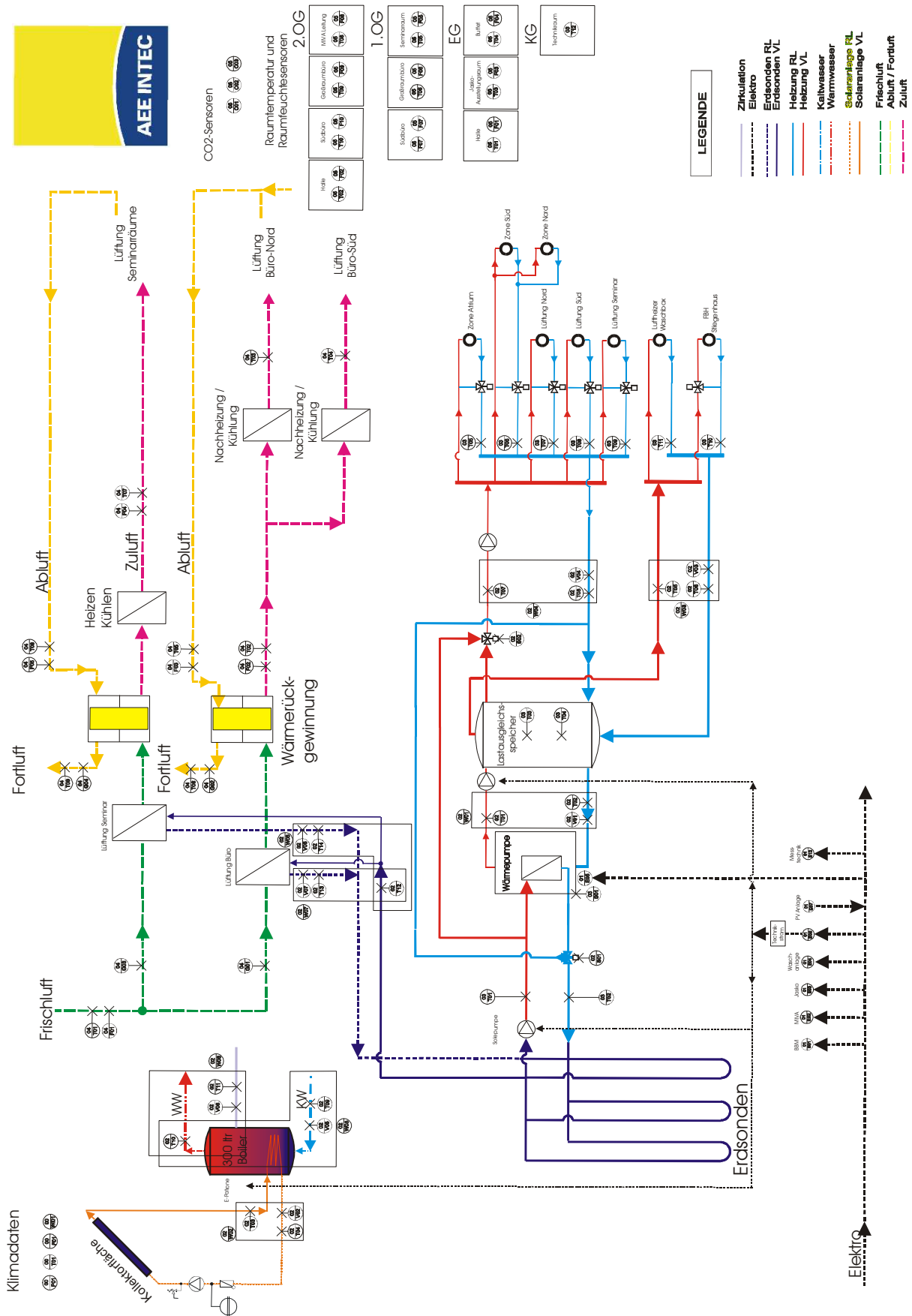


Abb. 18: Schema der energie- und lüftungstechnischen Anlagen und der Messstellen

Tabelle 3: Übersicht 1 - eingesetzte Messgeräte und Messgrößen

Messgerät	Messgröße	Ort/ Klassifizierung	Typ	Lieferant	Kurzbezeichnung	Ort	Typ	Nr
<b>Klimadaten</b>								
Pyranometer	Globalstr.	Klima	SSR 81	Tritec	Pyro	00	P	01
Temperaturfühler	Aussentemperatur	Klima	EE20	E+E	T_Aussen	00	T	01
Feuchtefühler	Aussenfeuchte	Klima	EE20	E+E	rH_Aussen	00	F	01
Wind	Windgeschwindigkeit	Klima	INT10	Kriwan	Wind	00	WI	01
<b>Elektrische Energie</b>								
E-Zähler	El. Energie	BBM	400V	Linz AG	E_BBM	01	E	01
E-Zähler	El. Energie	Miva	400V	Linz AG	E_MIVA	01	E	02
E-Zähler	El. Energie	Ausstellungsraum	400V	Linz AG	E_Ausstellungsraum	01	E	03
E-Zähler	El. Energie	Waschanlage	400V	Linz AG	E_Waschanl	01	E	04
E-Zähler	El. Energie	Wärmepumpe	400V	Linz AG				
E-Zähler	El. Energie	Technikstrom	400V	Linz AG	E_Technik	01	E	06
E-Zähler	El. Energie	PV Anlage	400V	Linz AG	E_PV	01	E	07
E-Zähler	El. Energie	Messtechnik	230V	Linz AG	E_SPS	01	E	12
<b>Endenergieinput-Systemgrenze Haus</b>								
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	WP Sekundärpumpe	DN40 15m³/h	Viterra	V_WP_Sek	02	V	01
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	WP VL Sekundärpumpe	Pt100 dl 5*50	Thermokon	T_VL_WP_Sek	02	T	01
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	WP RL Sekundärpumpe	Pt100 dl 5*50	Thermokon	T_RL_Sole_WP_Sek	02	T	02
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Solar (5m²)	1,5m³/h	Viterra	V_Solar	02	V	02
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Solar (5m²) VL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_VL_Solar	02	T	03
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Solar (5m²) RL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_Solar	02	T	04
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Kreis Waschbox FBH	1,5m³/h	Viterra	V_Verteiler_1	02	V	03
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Kreis Waschbox FBH VL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_VL_Verteiler_1	02	T	05
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Kreis Waschbox FBH RL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_Verteiler_1	02	T	06
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Decken und Zonenheizung	DN65 25m³/h	Viterra	V_Verteiler_2	02	V	04
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Decken und Zonenheizung VL	Pt100 dl 5*50	Thermokon	T_VL_Verteiler_2	02	T	07
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Decken und Zonenheizung RL	Pt100 dl 5*50	Thermokon	T_RL_Verteiler_2	02	T	08
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Brauchwasser	1,5m³/h	Viterra	V_BW	02	V	05
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Brauchwasser KW	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_VL_BW	02	T	09
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Brauchwasser WW	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_BW	02	T	10
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Zirkulation	1,5m³/h	Viterra	V_Zirk	02	V	06
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Zirkulation	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_Zirk	02	T	11
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Büro	2,5m³/h	Viterra	V_LU_Buero	02	V	07
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Büro VL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_VL_LU_Buero	02	T	12
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Büro RL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_LU_Buero	02	T	13
WMZ / Volumsstrom	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Seminar	1,5m³/h	Viterra	V_LU_Seminar	02	V	08
WMZ / Temperatur	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Seminar RL	Pt100 dl M10*3	Thermokon	T_RL_LU_Seminar	02	T	14
WMZ 1	Hydraul. Energie	WP Sekundärpumpe	Rechenwert		Q_Sole	02	W	01
WMZ 2	Hydraul. Energie	Solar	Rechenwert		Q_Solar	02	W	02
WMZ 3	Hydraul. Energie	Kreis Waschbox FBH	Rechenwert		Q_Verteiler_1	02	W	03
WMZ 4	Hydraul. Energie	Decken und Zonenheizung	Rechenwert		Q_Verteiler_2	02	W	04
WMZ 5	Hydraul. Energie	Brauchwasser	Rechenwert		Q_BW	02	W	05
WMZ 6	Hydraul. Energie	Zirkulation	Rechenwert		Q_Zirk	02	W	06
WMZ 7	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Büro	Rechenwert		Q_Buero	02	W	07
WMZ 8	Hydraul. Energie	Lüftungsanlage Seminar	Rechenwert		Q_Seminar	02	W	08

Tabelle 4: Übersicht 2 - eingesetzte Messgeräte und Messgrößen

Messgerät	Messgröße	Ort/ Klassifizierung	Typ	Lieferant	Kurzbezeichnung	Ort	Typ	Nr
Temperatur	Temperatur	Nach Wärmepumpe	Pt100 dl	Thermokon	T_VL_Sole	03	T	01
Temperatur	Temperatur	Nach Wärmepumpe	Pt100 dl	Thermokon	T_RL_Sole	03	T	02
Temperatur	Temperatur	Puffer oben	Pt100 dl	Thermokon	T_Puffer_O	03	T	03
Temperatur	Temperatur	Puffer unten	Pt100 dl	Thermokon	T_Puffer_U	03	T	04
Temperatur	Temperatur	Zone Atrium	Pt100 dl	Thermokon	T_R_Atrium	03	T	05
Temperatur	Temperatur	Zone Süd/Nord	Pt100 dl	Thermokon	T_R_Zone N/S	03	T	06
Temperatur	Temperatur	Lüftung Nord	Pt100 dl	Thermokon	T_R_L_Nord	03	T	07
Temperatur	Temperatur	Lüftung Süd	Pt100 dl	Thermokon	T_R_L_Sued	03	T	08
Temperatur	Temperatur	Lüftung Seminar	Pt100 dl	Thermokon	T_R_Seminar	03	T	09
Temperatur	Temperatur	FBH	Pt100 dl	Thermokon	T_R_FBH	03	T	10
Temperatur	Temperatur	Waschbox	Pt100 dl	Thermokon	T_R_Waschbox	03	T	11
<b>Lüftungsanlage</b>								
Temperaturfühler	Lufttemp.	Frischluf Eintritstemp	EE16	E+E	T_FriL_B	04	T	01
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	Frischluf Eintritstemp	EE16	E+E	rH_FriL_B	04	F	01
Temperaturfühler	Lufttemp.	Nach Lüftungsgerät Büro	EE16	E+E	T_ZuL_B	04	T	02
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	Nach Lüftungsgerät Büro	EE16	E+E	rH_ZuL_B	04	F	02
Anemometer	Luftgeschw.	Nach Lüftungsgerät Büro	EE65	E+E	G_ZuL_B	04	G	01
Temperaturfühler	Lufttemp.	Zuluft Zone Nord	Pt100 dl 7*62	Thermokon	T_ZuL_B_Nord	04	T	03
Temperaturfühler	Lufttemp.	Zuluft Zone Süd	Pt100 dl 7*62	Thermokon	T_ZuL_Sued	04	T	04
Temperaturfühler	Lufttemp.	Abluft Lüftungsgerät Büro	EE16	E+E	T_AL_B	04	T	05
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	Abluft Lüftungsgerät Büro	EE16	E+E	rH_AL_B	04	F	03
Temperaturfühler	Lufttemp.	Fortluft Lüftungsgerät Büro	Pt100 dl 7*62	Thermokon	T_FortL_B	04	T	06
Anemometer	Luftgeschw.	Fortluft Lüftungsgerät Büro	EE65	E+E	G_FortL_B	04	G	02
Temperaturfühler	Lufttemp.	Zuluft Seminarräume	EE16	E+E	T_ZuL_Sem	04	T	07
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	Zuluft Seminarräume	EE16	E+E	rH_ZuL_Sem	04	F	04
Anemometer	Luftgeschw.	Zuluft Seminarräume	EE65	E+E	G_ZuL_Sem	04	G	03
Temperaturfühler	Lufttemp.	Abluft Seminarräume	EE16	E+E	T_AL_Sem	04	T	08
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	Abluft Seminarräume	EE16	E+E	rH_AL_Sem	04	F	05
Temperaturfühler	Lufttemp.	Fortluft Seminarräume	Pt100 dl 7*62	Thermokon	T_FortL_Sem	04	T	09
Anemometer	Luftgeschw.	Fortluft Seminarräume	EE65	E+E	G_FortL_Sem	04	G	04
<b>Komfortparameter</b>								
Temp.fühler	Raumtemp.	EG Atrium	EE10	E+E	T_Atrium_u	05	T	01
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	EG Atrium	EE10	E+E	rH_Atrium_u	05	F	01
Temp.fühler	Raumtemp.	OG Atrium	EE10	E+E	T_Atrium_o	05	T	02
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	OG Atrium	EE10	E+E	rH_Atrium_o	05	F	02
Temp.fühler	Raumtemp.	EG Ausstellung	EE10	E+E	T_Josko	05	T	03
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	EG Ausstellung	EE10	E+E	rH_Josko	05	F	03
Temp.fühler	Raumtemp.	EG Buffet	EE10	E+E	T_Buffet	05	T	04
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	EG Buffet	EE10	E+E	rH_Buffet	05	F	04
Temp.fühler	Raumtemp.	1.OG Seminar	EE10	E+E	T_Seminar_1	05	T	05
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	1.OG Seminar	EE10	E+E	rH_Seminar_1	05	F	05
Temp.fühler	Raumtemp.	1.OG Großraumbüro	EE10	E+E	T_GB_1	05	T	06
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	1.OG Großraumbüro	EE10	E+E	rH_GB_1	05	F	06
Temp.fühler	Raumtemp.	1.OG Südbüro	EE10	E+E	T_SB_1	05	T	07
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	1.OG Südbüro	EE10	E+E	rH_SB_1	05	F	07
Temp.fühler	Raumtemp.	2.OG Miva Leitung	EE10	E+E	T_Leitung_2	05	T	08
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	2.OG Miva Leitung	EE10	E+E	rH_Leitung_2	05	F	08
Temp.fühler	Raumtemp.	2.OG Großraumbüro	EE10	E+E	T_GB_2	05	T	09
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	2.OG Großraumbüro	EE10	E+E	rH_GB_2	05	F	09
Temp.fühler	Raumtemp.	2.OG Südbüro	EE10	E+E	T_SB_2	05	T	10
Feuchtefühler	rel. Luftfeuchte	2.OG Südbüro	EE10	E+E	rH_SB_2	05	F	10
CO2	CO2	EG Geschäft		E-Tech	CO2_Geschäft	05	C	01
CO2	CO2	1.OG Seminar		E-Tech	CO2_Seminar1	05	C	02
CO2	CO2	2.OG Seminar		E-Tech	CO2_Seminar2	05	C	03

### 3.2 Messdatenerfassung und -verarbeitung

Zur Erfassung der Messdaten wird ein SPS Datenloggersystem verwendet (siehe Abb. 19). Grundsätzlich werden die analogen Sensoren im Sekundenrhythmus abgefragt und als 15 Minuten Mittelwert im Datenlogger gespeichert. Sollte ein einzelner Messwert durch technische Probleme (kurzzeitiger Fühlerbruch, elektro-magnetische Rückkopplung usw.) außerhalb eines vorher definierten Wertebereichs liegen und so die Mittelwertbildung verfälschen, so wird dieser Wert in einem eigenen Fehlerprotokoll abgespeichert.

Die Speicherkapazität des Datenloggers ist so konzipiert, dass eine durchgehende Datenaufzeichnung von mindestens einem Monat möglich ist.

Die Daten werden trotzdem täglich ausgelesen und in eine SQL-Datenbank übertragen bzw. gesichert. Der Datenfluss wird wie in Abb. 20 dargestellt von zahlreichen Kontroll- und Sicherungsroutinen begleitet.

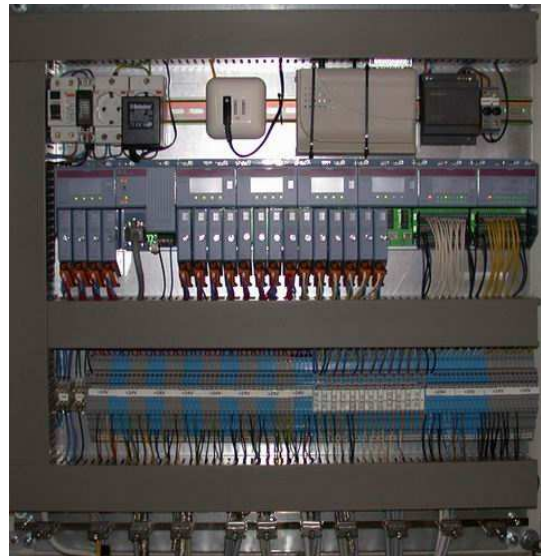


Abb. 19: Datenlogger

Die Daten werden dann sowohl als 15 Minutenwerte als auch als Stunden- und Tageswerte aus der Datenbank ausgelesen und in Diagrammen anschaulich dargestellt.

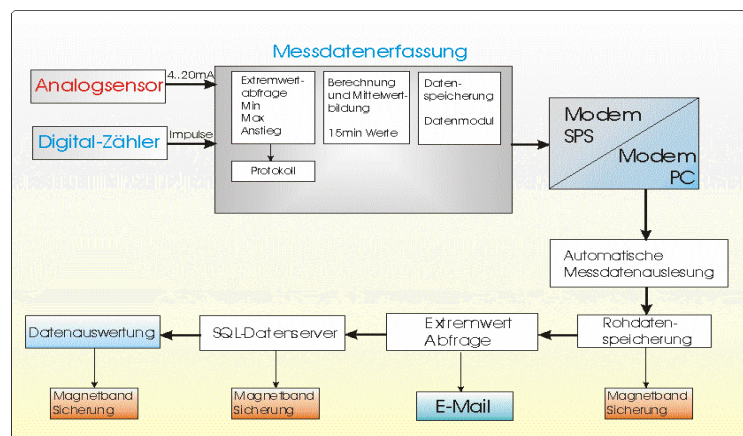


Abb. 20: Schema der Datenaufzeichnung und Weiterverarbeitung

Abb. 20 zeigt schematisch den Datenfluss vom Sensor über die Messdatenerfassung, die Datenübertragung, -speicherung, -analyse und schließlich bis zur Auswertung.

Das Monitoringsystem sowie die Sensorik wurden am 23.04.2004 in Betrieb genommen. Die vollständige Liste der Messstellen ist in Abschnitt 4.1 aufgeführt.

Seit der Inbetriebnahme des Monitoringsystems wurden die Messdaten regelmäßig detailliert überprüft und hinsichtlich ihrer Plausibilität analysiert.

## 4 Analyse der Messdaten

### 4.1 Einleitung

Im Folgenden werden die Messergebnisse anhand von Grafiken und Tabellen dargestellt. Die Auswertung ist in zwei Messjahre unterteilt. Zunächst werden die Daten des ersten Messjahres dargestellt und im Anschluss das zweite Messjahr im Vergleich dazu.

Nach der Inbetriebnahme der Messtechnik am 23.4.2004 wurden ab Mai 2004 Energiebilanzen erstellt. Die beiden analysierten Messjahre beziehen sich daher auf die folgenden Zeiträume:

1. Messjahr: Mai 2004 – April 2005
2. Messjahr: Mai 2005 – April 2006

### 4.2 Erstes Messjahr

#### 4.2.1 Komfortparameter

Abb. 21 zeigt den Verlauf der Minimal-, Maximal- und Mitteltemperaturen und relativen Feuchten in den vermessenen Büroräumen als Tagesmittelwerte über den Messzeitraum von Mai 2004 bis April 2005. Die Außentemperatur und die globale Solareinstrahlung sind ebenfalls im Diagramm dargestellt und dienen der besseren Bewertung der äußeren Einflüsse. Es ist ersichtlich, dass der Verlauf der Maximaltemperatur sehr eng am Verlauf der Mitteltemperatur liegt, was die Ausgeglichenheit der Behaglichkeitsparameter wieder spiegelt. Der Verlauf der relativen Luftfeuchte liegt größtenteils zwischen 30 und 60%. Dies zeigt, dass im Gebäude ein komfortables Raumklima herrscht. Lediglich im Februar bzw. im März 2005 gibt es einen Einbruch der relativen Luftfeuchte zu Zeiten, in denen die Außentemperatur sehr niedrig lag.

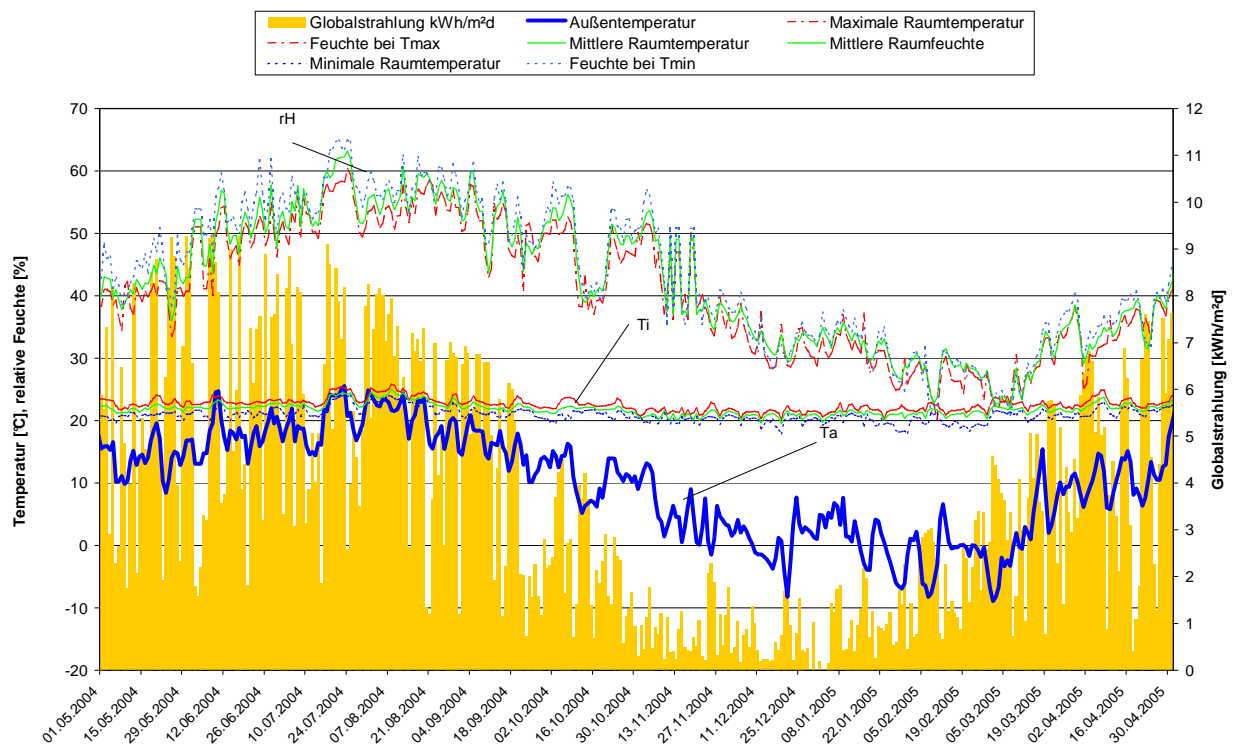


Abb. 21: Übersichtsdiagramm zum Raumklima mit Raumtemperatur und Raumfeuchte für das erste Messjahr Mai 2004 – April 2005



Abb. 22 zeigt die Raumtemperaturen im Behaglichkeitsbereich nach DIN1946 (gelb hinterlegte Fläche) für die Monate Juli und August 2004 als Stundenmittelwerte, wobei nur die Stunden berücksichtigt sind, wenn die Lüftungsanlage eingeschaltet – also das Gebäude in Betrieb war. Auf der X-Achse ist die Außentemperatur als Stundenmittelwert aufgetragen. Die relativ enge Streuung der Raumtemperaturen lässt erkennen, dass das Zusammenspiel von Gebäudemassen, Dämmung, Glasflächen und Klimatechnik sehr gut funktioniert.

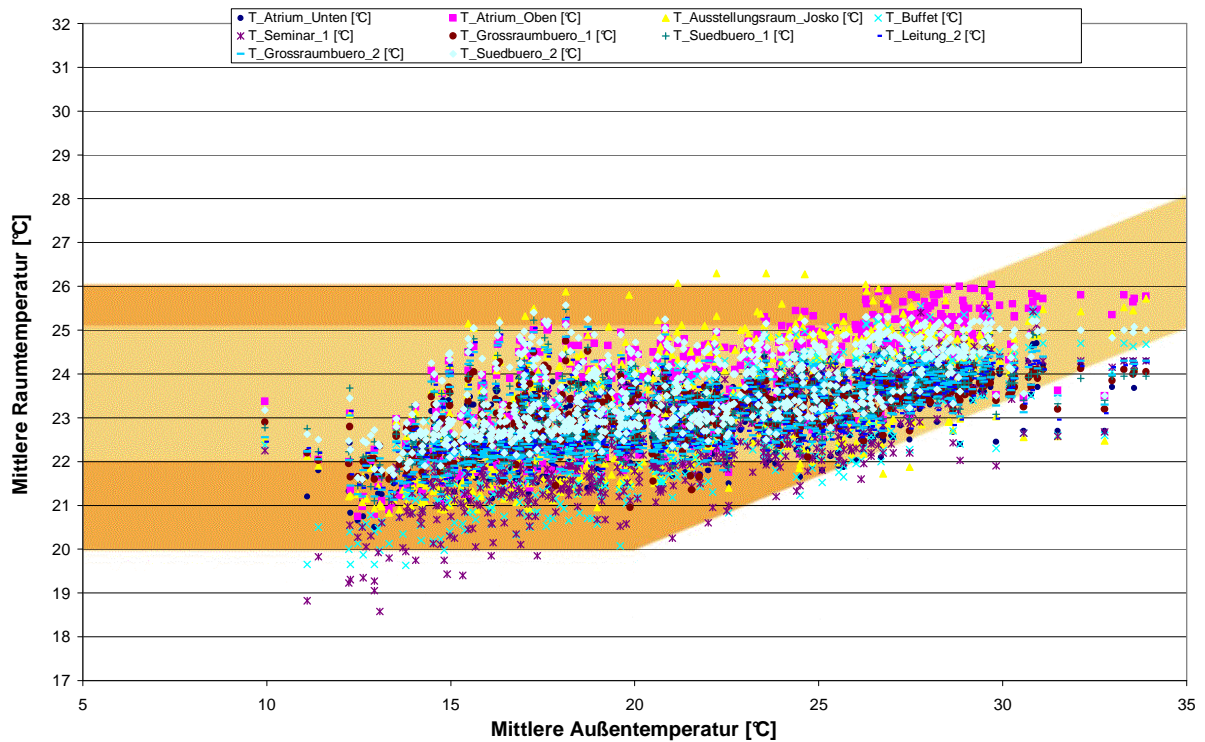


Abb. 22: Raumtemperaturen in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Abb. 23 zeigt die Raumtemperaturen am kältesten und am wärmsten Tag für das erste Messjahr. Am wärmsten Tag mit einer Außentemperatur von über 35°C lag die über alle Räume gemittelte Raumtemperatur bei knapp über 24°C. Am kältesten Tag lag die minimale Außentemperatur bei fast -15°C und die mittlere Raumtemperatur bei knapp 22°C. Wenn man nur den Zeitraum während der Bürozeiten bzw. der Betriebszeiten der Lüftungsanlage (Montag bis Freitag 6 bis 19h und Samstag 6 bis 12h) im ersten Messjahr betrachtet, so ist die Raumtemperatur pro Büro im Schnitt nur 27 Stunden unter 20°C bzw. nur 19 Stunden über 25°C.



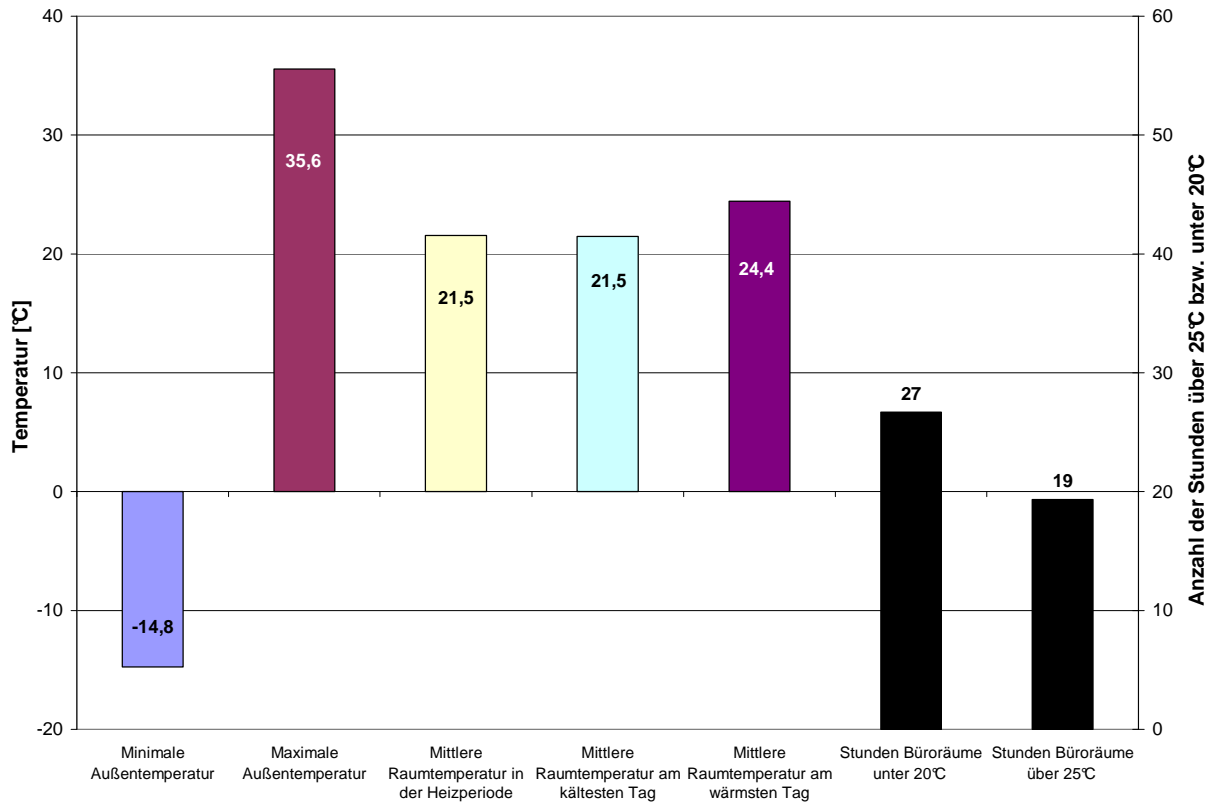


Abb. 23: Auswertung der Raumtemperaturen für das erste Messjahr (Stundenmittelwerte)

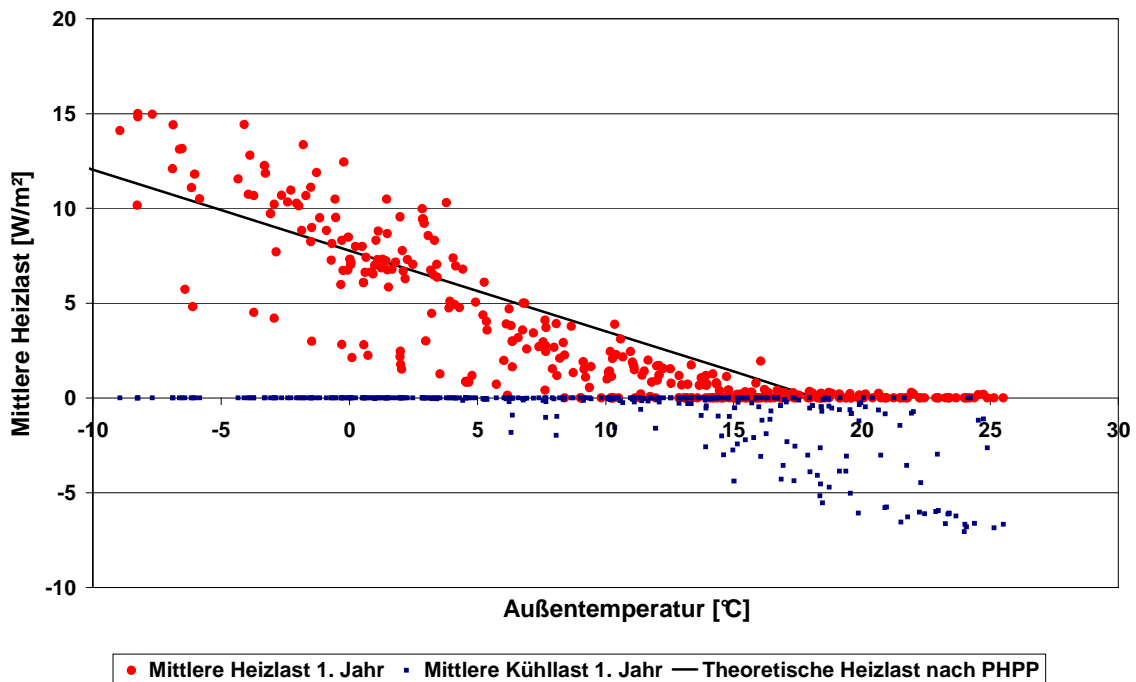


Abb. 24: Auswertung der mittleren Heiz- und Kühllast für das erste Messjahr, Tageswerte

Abb. 24 zeigt die gemessene Heiz- bzw. Kühllast als Punktwolke der Mittelwerte. Man kann sehr gut den Verlauf erkennen, der etwas steiler abfällt als die theoretische Heizlast, die mit dem Passivhaus – Projektierungspaket berechnet wurde (durchgezogene Linie). Die Gründe hierfür sind eine geringere Belegungsdichte der Büros als bei der Auslegung angenommen. Die tatsächlich gemessenen Raumtemperaturen lagen mit 21,5°C

auch über der Standardannahme der PHPP Berechnung, welcher eine Raumtemperatur von 20°C zugrunde liegt.

### 4.2.2 Lüftungsanlage

In Abb. 25 sind die Zulufttemperaturen zu den beiden Bürobereichen Nord und Süd dargestellt. In der Heizsaison sind diese Temperaturen sehr konstant bei 19°C bzw. knapp über 20°C. In der Kühltisaison liegen sie bei sehr angenehmen 17 – 18°C.

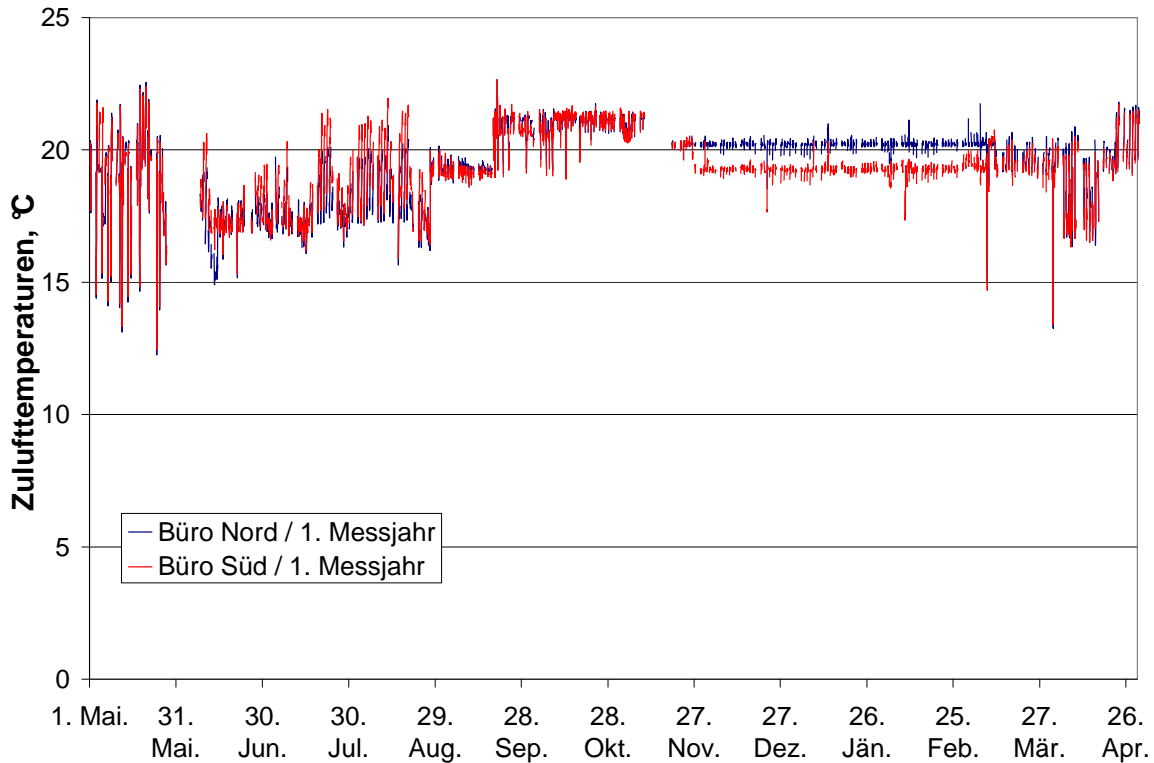


Abb. 25: Zulufttemperaturen zum Büro Nord und Süd

#### 4.2.2.1 Sommerbetrieb

Der Betrieb der Lüftungsanlage für das Büro ist zeitgesteuert mit den Betriebszeiten: Montag von 4 Uhr bis 19 Uhr, Dienstag bis Freitag von 5 Uhr bis 19 Uhr und Samstag von 5 Uhr bis 12 Uhr. Während der Nacht bzw. am Sonntag ist die Lüftungsanlage bis auf wenige Ausnahmen außer Betrieb. (Abb. 26)

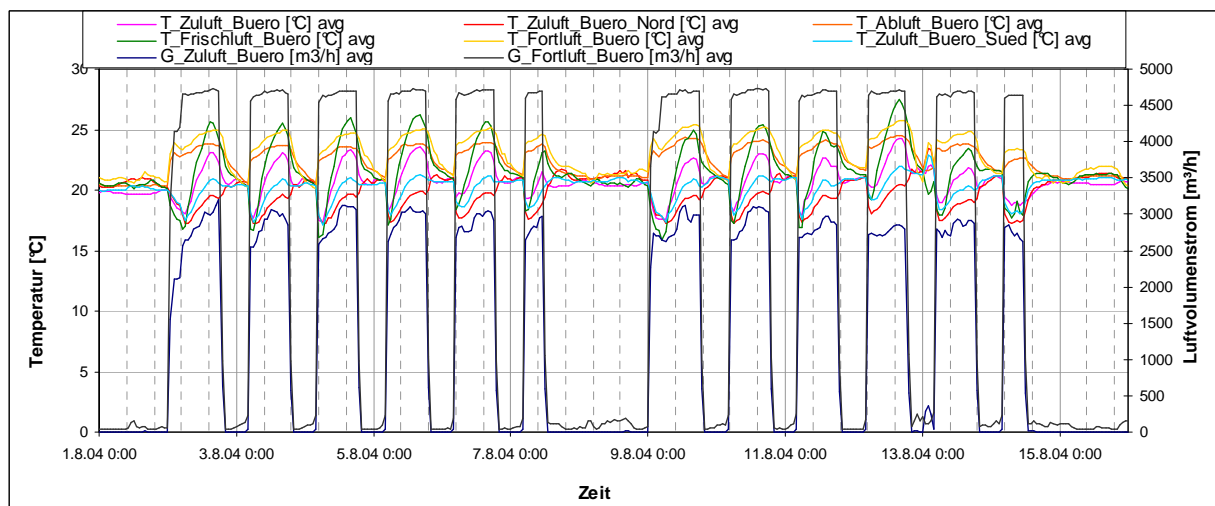


Abb. 26: Temperatur- und Luftvolumenstromverlauf der „Lüftungsanlage Büro“

Die Zulufttemperaturen direkt nach der Wärmerückgewinnung haben Maximalwerte von etwa 23°C. Danach wird dann noch aufgeteilt auf Büro Nord und Süd gekühlt, so dass die Maximalzulufttemperaturen in den Raum bei sehr angenehmen 20°C bzw. 21°C liegen.

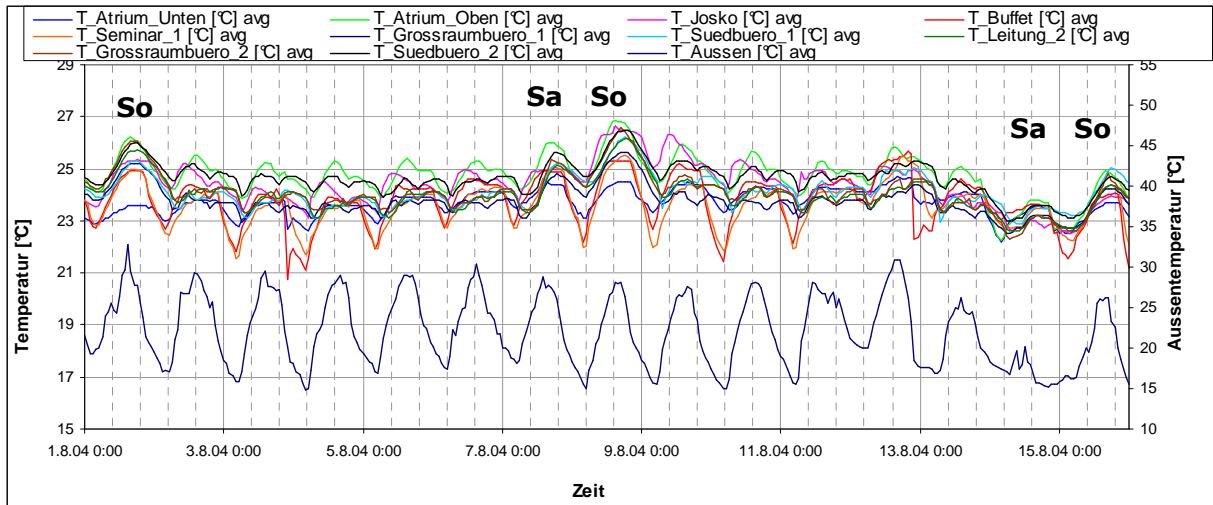


Abb. 27: Temperaturverlauf der Büroräume

In Abb. 27 ist der Temperaturverlauf aller Raumfühler dargestellt. Die Temperaturspitzen nach unten zeigen die Auswirkungen der automatischen Fensterlüftung in den kühleren Nachtstunden. Am Wochenende sind die um Spitzenwerte 1 – 2 Grad höher, da die Lüftungsanlage ab Samstag Mittag außer Betrieb ist.

#### 4.2.2.2 Winterbetrieb

Die Detailauswertung in Abb. 28 zeigt, dass einige Zeit vor dem Start der Lüftungsanlage die Wärmepumpe mit der Heizenergiebereitstellung beginnt. Da ein Teil der Heizenergie über die Deckenheiz- bzw. -kühlflächen eingebracht wird, kommt es auch am Wochenende nur zu einer geringen Absenkung der Raumtemperaturen.

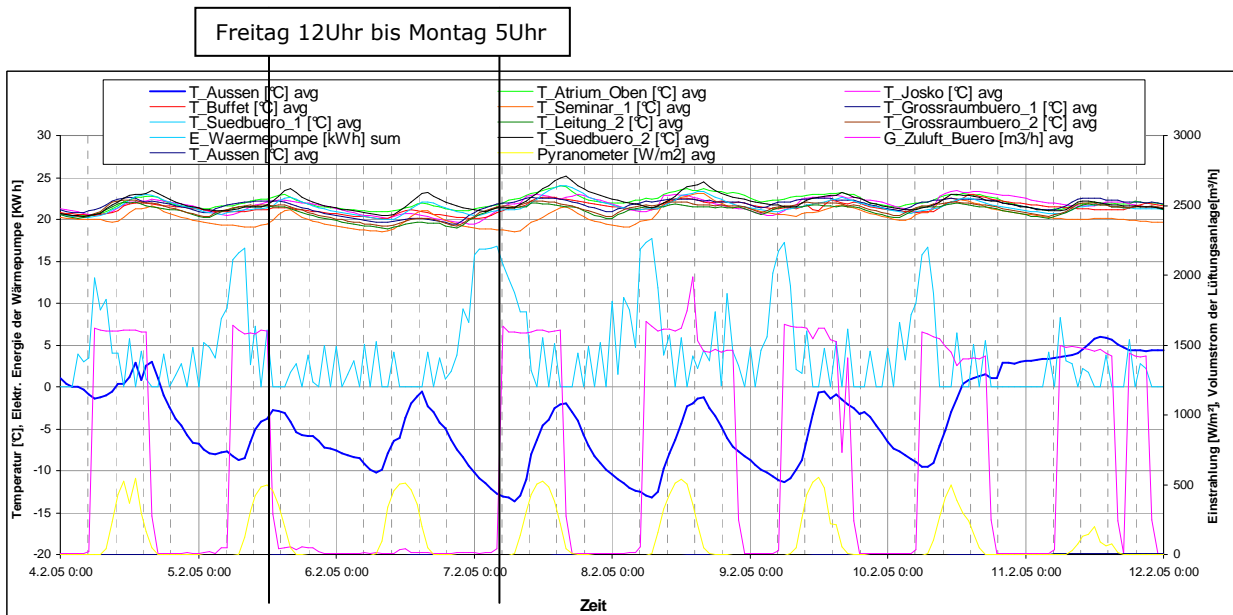


Abb. 28: Temperaturverlauf der Büroräume im Winter

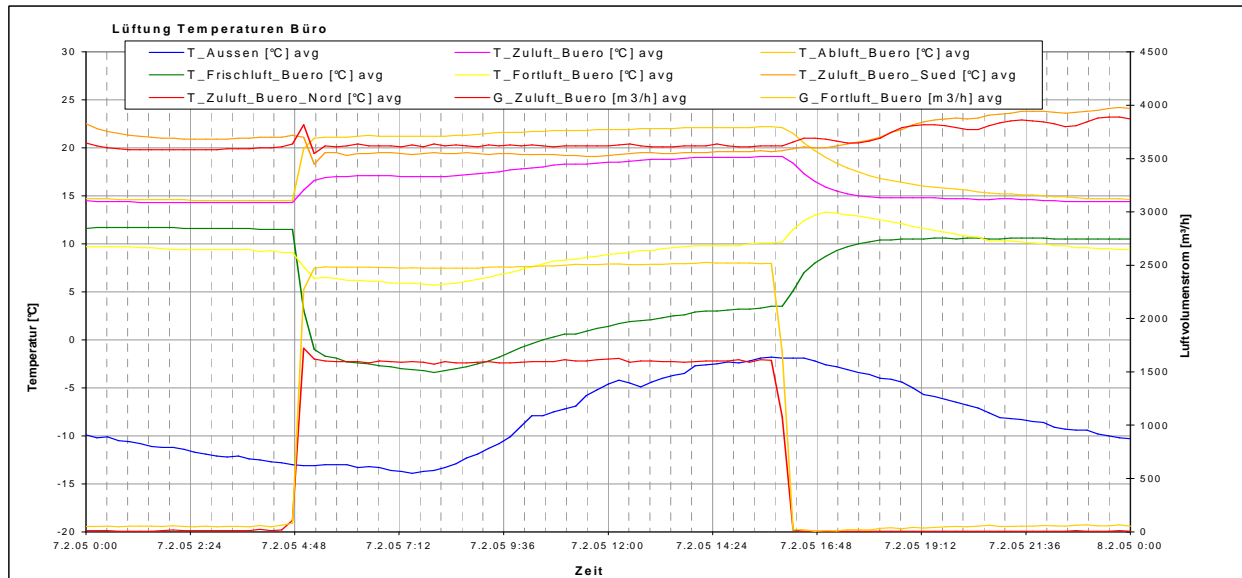


Abb. 29: Beispielhafter Temperaturverlauf im Lüftungssystem im Winter

Im Detail betrachtet ergibt sich im Winter folgender Temperaturverlauf (Abb. 29). Bei einer Außentemperatur von  $-14$  bis  $-2^{\circ}\text{C}$  (blaue Kurve) ist die Temperatur im Frischluftkanal nach dem Erdreichwärmetauscher kurz vor dem Lüftungsgerät auf ca.  $-3$  bis  $+3^{\circ}\text{C}$  angestiegen (grüne Kurve). Nach der Wärmerückgewinnung (Wärmerad) beträgt die Zulufttemperatur im Tagesverlauf zwischen  $17$  und  $19^{\circ}\text{C}$  (rosarote Kurve).

Nach der Nachheizung wird die Zuluft (rote Kurve) mit fast konstanten  $20^{\circ}\text{C}$  in die Räume eingeblasen.

### 4.2.3 Energiebilanz

In Tabelle 5 ist die Gesamtenergiebilanz für das erste Messjahr von Mai 2004 bis April 2005 zusammengefasst. Da der Brauchwarmwasserverbrauch nur 2% des Gesamtheizwärmeverbrauchs ausmacht, wird er in dieser Tabelle nicht angeführt. Der Heizkreis 1 dient zur Beheizung der Waschboxen für die Fahrzeugreinigung bzw. des Stiegenhausbereiches. Dieser Teil liegt nicht im Passivhausbereich, deshalb wurde dieser Teil vom Heizwärmeverbrauch abgezogen. Somit ergibt sich ein Gesamtheizwärmeverbrauch im Passivhausbereich von 25.197 kWh/a inkl. Verteilverluste zwischen Verteiler und Wärmeinbringung in den Raum. Die Speicherverluste sind aber nicht enthalten, sondern sind gesondert ausgewiesen. Bei einer Nettogeschosßfläche (NGF) von 1215 m<sup>2</sup> liegt der gemessene Heizenergieverbrauch im ersten Messjahr bei 20,7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a).

Tabelle 5: Energiebilanz des ersten Messjahres

	Gesamt		nur Passivhausbereich		
	kWh/a		kWh/a	kWh/ (m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a)	
<b>Gesamtwärmeverbrauch</b>	<b>33.921</b>	<b>100%</b>	<b>26.440</b>	<b>21,8</b>	<b>100%</b>
Davon: Heizung gesamt	32.311	95,3%	25.197	20,7	91,4%
- Luftvorwärmung	1.029	3%	1.029	0,8	3,9%
- über Heizkreis1	7.114	21%	<i>nicht im Passivhausbereich</i>		
- über Heizkreis2	24.168	71,3%	24.168	19,9	95,9%
Speicherverluste	1.610	4,7%	1.242	1,0	4,7%
<b>Gesamtkälteverbrauch</b>	<b>8.259</b>	<b>100%</b>	<b>8.259</b>	<b>6,8</b>	<b>100%</b>
- Luftvorkühlung	1.514	18,3%	1.514	1,25	18,3%
- über Heizkreis2	6.745	81,7%	6.745	5,55	81,7%
<b>Gesamtheizwärmeeintrag</b>	<b>33.921</b>	<b>100%</b>	<b>26.440</b>	<b>21,8</b>	<b>100%</b>
Wärmepumpe	32.892	97%	25.412	20,9	96,1%
Luftvorwärmung	1.029	3%	1.028	0,8	3,9%
<b>Gesamtkälteeintrag</b>	<b>8.259</b>	<b>100%</b>	<b>8.259</b>	<b>6,8</b>	<b>100%</b>
Wärmepumpe	96	1,2%	96	0,08	1,2%
Erdsonden direkt	8.163	98,8%	8.163	6,72	98,8%
<b>Stromverbrauch gesamt</b>	<b>61.755</b>	<b>100%</b>	<b>59.719</b>	<b>49,2</b>	<b>100%</b>
Davon: Gebäudeteilteil BBM (Büro, Cafeteria, Küche, Logistik- und Tagungsräume), 1568,4 m <sup>2</sup>	35.646	57,7%	35.646		59,7%
Büroteil MIVA, 264,7 m <sup>2</sup>	1.850	3,0%	1.850		3,1%
Ausstellungsfläche, 190,1 m <sup>2</sup>	7.808	12,6%	7.808		13,1%
Wärmepumpe	8.951	14,5%	6.915	5,7	11,6%
Technikstrom (hochgerechnet aus Momentanmessung)	7500	12,1%	7500	6,2	12,6%
PV-Anlage	-4.764	-7,7%	-4.764	3,9	8,0%
<b>Stromverbrauch netto</b>	<b>56.991</b>	<b>92,3%</b>	<b>54.956</b>	<b>45,2</b>	<b>92,0%</b>

#### 4.2.3.1 Heiz- und Kühlenergie

In Abb. 30 sind die Vorlauftemperaturen der Verteilerkreise dargestellt. Verteilerkreis 1 bedient die Beheizung des Stiegenhauses sowie die externe Waschbox zur Fahrzeugwäsche und wird nicht zum Kühlen verwendet. Verteilerkreis 2 ist der Hauptkreis, mit dem die Büros und sämtliche andere im Passivhausbereich gelegenen Räume beheizt und gekühlt werden.

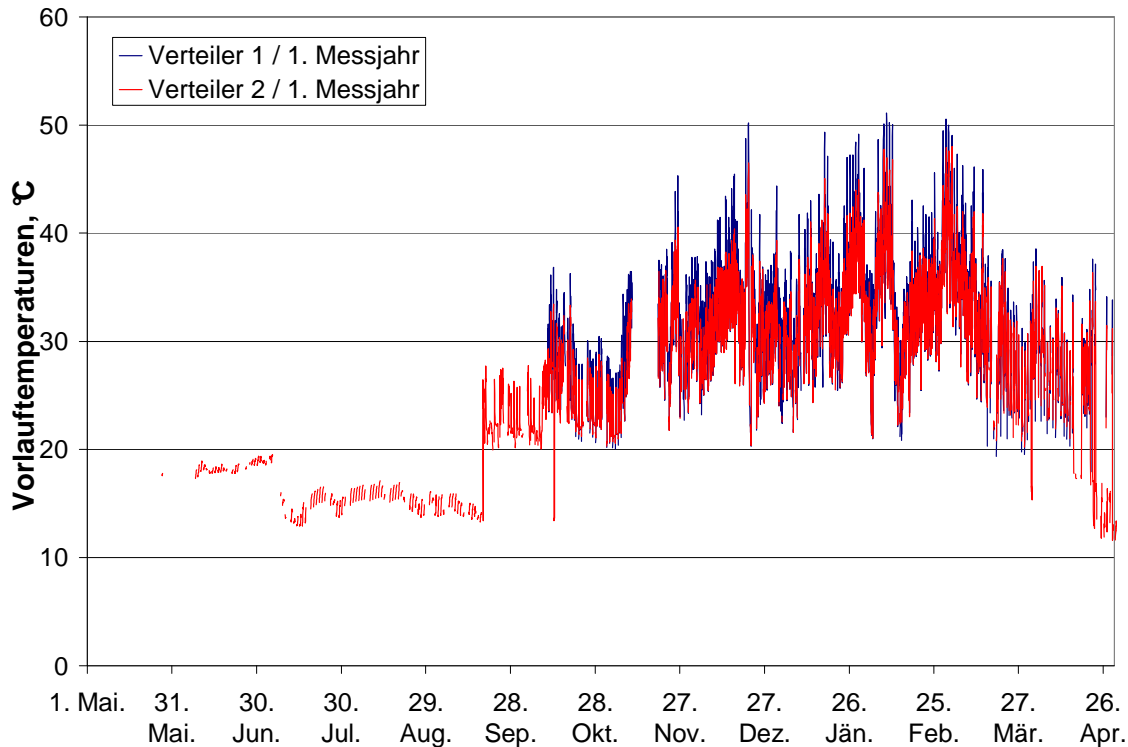


Abb. 30: Vorlauftemperaturen der Verteilerkreise 1 und 2

Man sieht, dass in der Kùhlsaison die Vorlauftemperaturen zunàchst bei etwa 18°C und in der wàrmsten Jahreszeit bei etwa 15°C liegen. Diese Temperatur wurde allein durch die Erdsonden erreicht. In der Heizsaison steigen die Vorlauftemperaturen dann auf im Schnitt 35°C an.

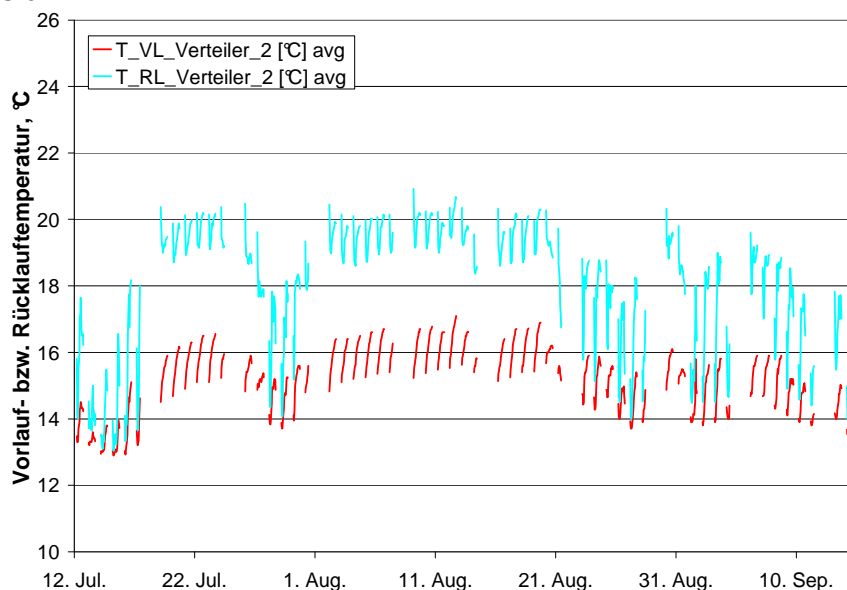


Abb. 31: Vor- und Rücklauftemperaturen im Kùhlnetz im Sommer 2004

In der Hauptkühlperiode liegen die Vorlauftemperaturen im Kühlnetz im Schnitt bei 15°C, die Rücklauftemperaturen bei etwa 19°C (siehe Abb. 31).

Abb. 32 zeigt dazu die monatliche Energiebilanz für die ersten 12 Monate der Monitoringphase. Neben der zum Heizen verwendeten Energie ist die zum Kühlen verwendete Energie mit negativen Werten dargestellt. Addiert man die Kühlenergie im betrachteten Zeitraum, so liegt der Kühlenergiebedarf bei 6,4 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>). Diese Kühlenergie wird fast ausschließlich im „direct cooling Betrieb“ bereitgestellt. Das heißt, die Erdsonden liefern die erforderliche Kühlenergie direkt aus dem Erdreich. Die Messdaten entsprechen somit den Planungsdaten, die je nach berücksichtigtem Klimadatenatz 4,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) (gemäßigter Sommer) und 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) (heißer Sommer) betragen.

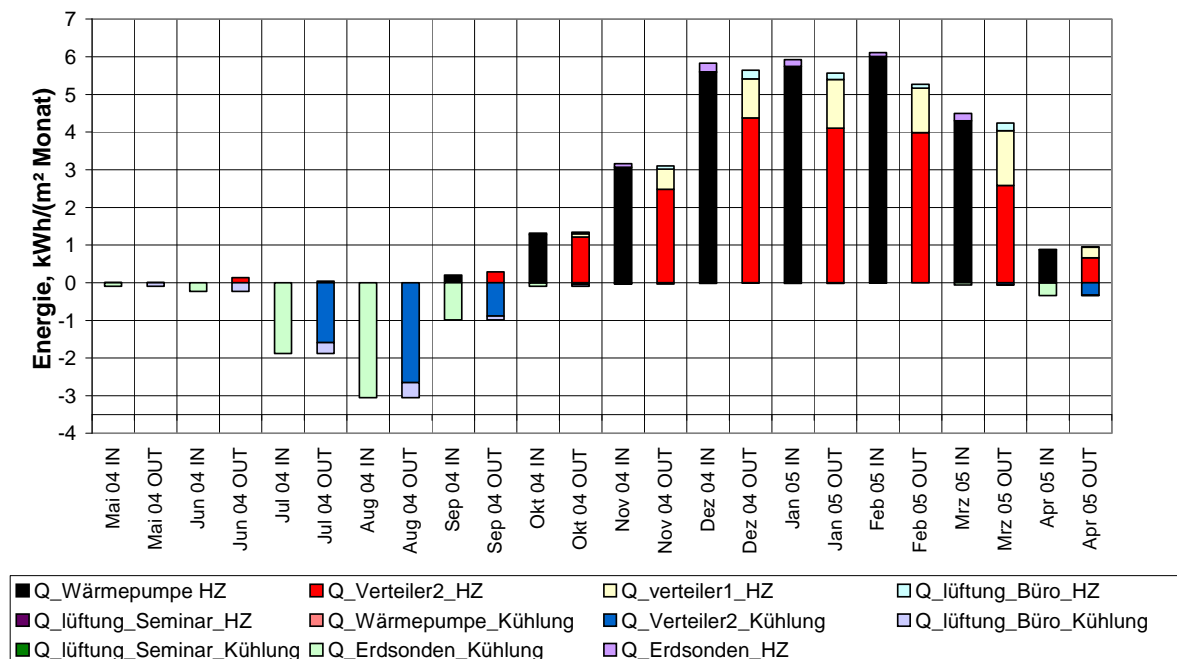


Abb. 32: Energiebilanz für das erste Messjahr

Der Heizenergiebedarf (einschließlich Verteilverluste nach dem Wärmemengenzähler im Keller) liegt bei 20,7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>). Vergleicht man diesen mit den Ergebnissen aus der Planungsphase 8 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) für einen sehr milden Winter und 19 kWh/m<sup>2</sup>a für einen sehr kalten Winter), so liegen die Monitoringergebnisse auf den ersten Blick zwar geringfügig höher als die Planungsdaten, was jedoch bei detaillierter Betrachtung sehr einfach zu erklären ist. Der Grund für diese Abweichung liegt bei einer geringeren Belegung des Gebäudes als in der Planungsphase angenommen (weniger Leute, weniger PC).

In dem gemessenen Heizenergiebedarf sind noch Verteilverluste zwischen dem Wärmemengenzähler im Keller und der Wärmeübergabe in den Wohnungen enthalten. Diese wurden mithilfe der gemessenen Netz- und Kellertemperaturen sowie den Laufzeiten des Systems abgeschätzt. Sie betragen 1,3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>).

Zieht man diese Verluste noch vom normierten Heizenergiebedarf ab, erreicht man einen Heizwärmebedarf von

$$19,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}).$$

## Umrechnung der Messdaten auf Standardbedingungen

Bei der Bewertung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert bei den in diesem Messjahr vorliegenden Wetterbedingungen und Raumtemperaturen zustande kam. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde, analog zur Vorgangsweise im CEPHEUS-Projekt, der Heizwärmebedarf auf 20°C Raumtemperatur umgerechnet. In dieser Messperiode lag die durchschnittliche Raumtemperatur während der Heiztage bei 21,5 °C. Mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) wurde der Heizwärmebedarf bei 20°C und bei 21,5 °C Raumtemperatur und mit gemessenen Wetterdaten berechnet. Das Verhältnis dieser beiden Werte wurde dann zur Umrechnung des gemessenen Heizwärmebedarfs nach der folgenden Formel verwendet:

$$HWB_{20^{\circ}C} = HWB_{gemessen} \cdot \frac{HWB_{PHPP,20^{\circ}C}}{HWB_{PHPP,T,gemessen}}$$

Der Heizwärmebedarf (normiert auf 20°C Raumtemperatur) lag danach im ersten Messjahr bei

$$15,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}).$$

In einem weiteren Schritt wurde analog zur Raumtemperaturnormierung der Heizwärmebedarf zusätzlich auf Standardklimadaten normiert.

Im Rahmen des EU-Projektes „Promotion of European Passive Houses (PEP)“ wurde ein Standardwetterdatensatz für Österreich mit Standort Wien definiert. Der Grund dafür war, dass die im Passivhausprojektierungspaket vorhandenen Wetterdaten für Österreich unrealistische Annahmen für die Gleichzeitigkeit von klarem Wetter und tiefen Außentemperaturen enthielten. Der nun neu definierte Datensatz für Wien eliminiert diese Probleme. Da bislang nur dieser eine Datensatz für Österreich verfügbar ist, wird er hier als Standarddatensatz verwendet. Damit werden Messdaten aus unterschiedlichen Jahren und an unterschiedlichen Standorten miteinander vergleichbar.

Abb. 33 zeigt den Standardwetterdatensatz für Wien im Vergleich mit den gemessenen Wetterdaten in Stadl Paura im ersten bzw. im zweiten Messjahr.



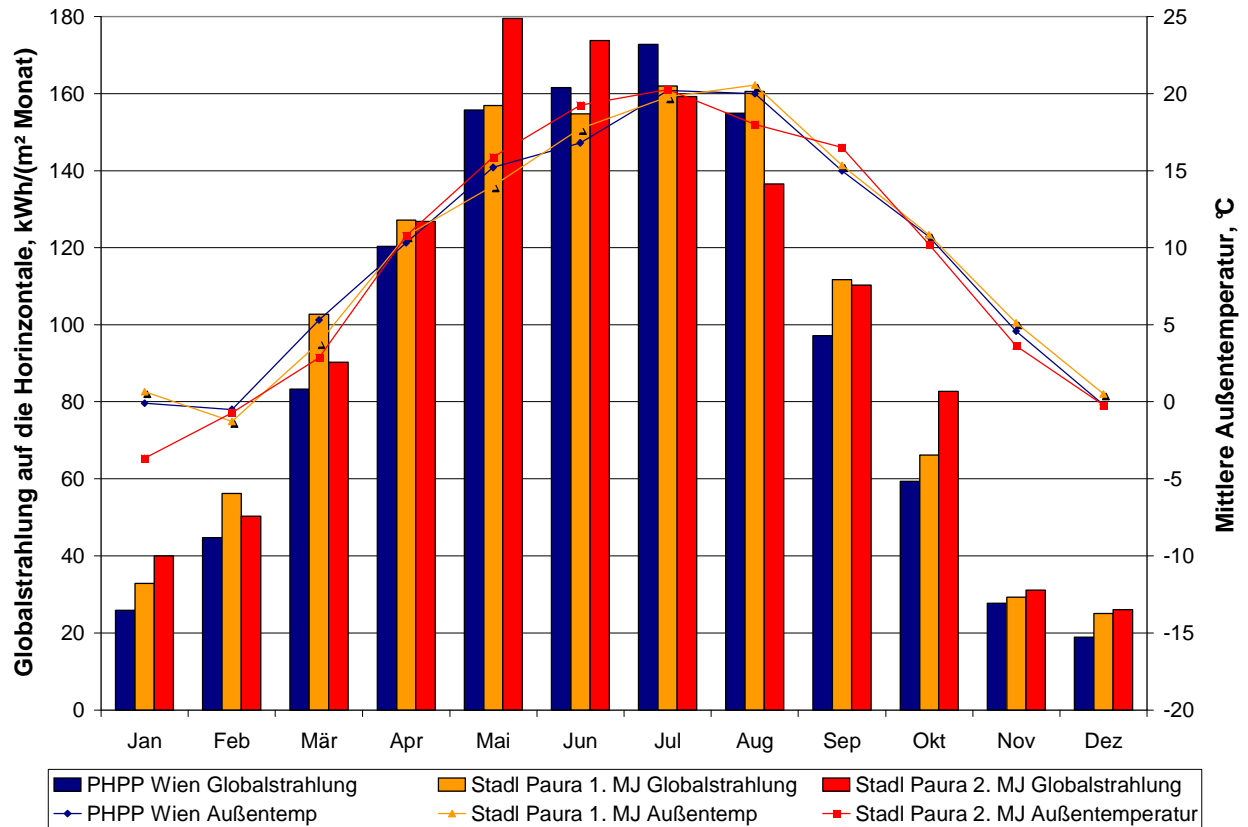


Abb. 33: Vergleich des Standardwetterdatensatzes in Wien mit den gemessenen Daten in Stadl Paura

Die großen Abweichungen ergeben sich bei der sehr kalten Außentemperatur im Januar 2006 sowie bei der Globalstrahlung in den Sommermonaten. Die folgende Tabelle zeigt noch einmal die Jahreswerte im Überblick. Das zweite Messjahr war im Schnitt etwas kälter aber sonniger.

Tabelle 6: Wetterdaten im Vergleich

	Globalstrahlung kWh/(m <sup>2</sup> a)	Mittlere Außentem- peratur °C
PHPP PEP Wien	1144,6	9,3
Stadl Paura 1. Messjahr	1185,4	9,8
Stadl Paura 2. Messjahr	1206,7	9,4

Mithilfe der folgenden Formel wurde der bereits auf Raumtemperatur normierte Werte zusätzlich noch auf den Standardwetterdatensatz normiert.

$$HWB_{20^{\circ}\text{C},\text{Standard\_Wien}} = HWB_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{HWB_{PHPP,20^{\circ}\text{C},\text{Standard\_Wien}}}{HWB_{PHPP,20^{\circ}\text{C},\text{Klima\_gemessen}}}$$

Damit ergibt sich für das erste Messjahr ein Heizwärmebedarf normiert auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima Wien von

$$17,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}).$$

Insgesamt kommt man mit  $17,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\text{a})$  genormtem Heizenergiebedarf recht nahe an den geforderten Grenzwert von  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\text{a})$  heran.

Da die Normierung der Daten mithilfe des Passivhausprojektierungspaket nur für den Heizwärmebedarf erfolgen kann, nicht aber für den Stromverbrauch oder den Kältebedarf, werden in allen folgenden Grafiken jeweils die gemessenen Energien und nicht normierte Werte dargestellt.

#### 4.2.3.2 Warmwasserbereitung

Der Warmwasserverbrauch betrug für den gesamten Messzeitraum des ersten Messjahres 72,3 kWh. Die Zirkulationsverluste betragen im selben Zeitraum 398,3 kWh. Der solare Eintrag in den Warmwasserspeicher betrug 1.646 kWh.

Verglichen mit dem äußerst geringen Warmwasserverbrauch, sind die Speicherverluste des Warmwasserboilers und die Zirkulationsverluste extrem hoch. Sowohl Warmwasserverbrauch als auch Zirkulationsverluste werden allerdings überwiegend solar gedeckt.

#### 4.2.3.3 Stromverbrauch

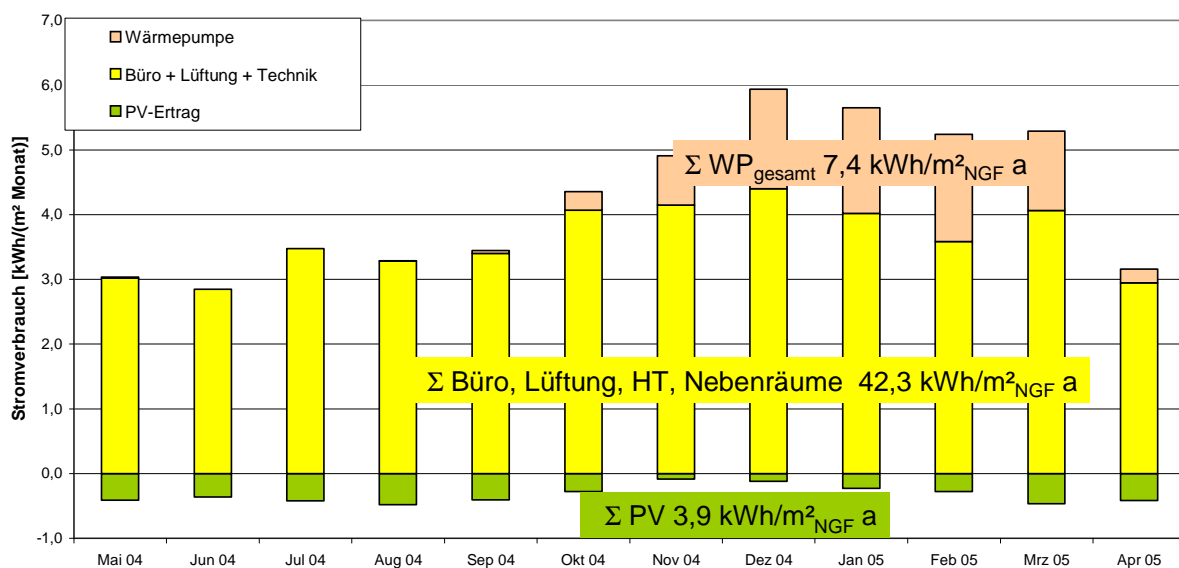


Abb. 34: Strombilanz für das erste Messjahr

Die Strombilanz beinhaltet den gesamten Stromverbrauch aller Büros sowie auch aller Nebenräume wie Lager, Abstellraum, Kapelle und Technikräume. Als Bezugsfläche wurde trotzdem nur die Nettogeschoßfläche von 1215 m<sup>2</sup> herangezogen. Der Grund dafür ist, dass der Stromverbrauch für die Teilbereiche nicht einzeln gemessen wurde. Eine Installation von zusätzlichen Zählern und zusätzlicher Verkabelung wäre zu aufwändig und teuer gewesen. Die Verbräuche von den Logistikbereichen und Veranstaltungsräumen sind zudem pro Quadratmeter relativ gering. Bei der Beurteilung des Stromverbrauchs pro Quadratmeter reiner Passivhausfläche muss man diese zusätzlichen Verbraucher aber im Hinterkopf behalten.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe betrug 7,4 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) wobei nur ein Anteil von 5,7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) dem Passivhausbereich zugeordnet werden kann.

Die PV Anlage lieferte im ersten Messjahr 4746 kWh Strom, das sind 484 kWh/kW<sub>peak</sub>. Die Ausrichtung der PV Anlage ist bei einem Feld nicht ideal nach Süden und beim anderen Feld senkrecht. Trotzdem hätte man einen um etwa 30 – 40% höheren Ertrag erwarten können. Mit den Ertrag konnten aber immerhin 53% des Stromverbrauchs der Wärmepumpe gedeckt werden.

Die durchschnittliche gemessene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe betrug für das erste Messjahr 3,7 und liegt damit etwas niedriger als der Nennwert von 4,03.

### 4.2.3.4 Gesamtenergieverbrauch

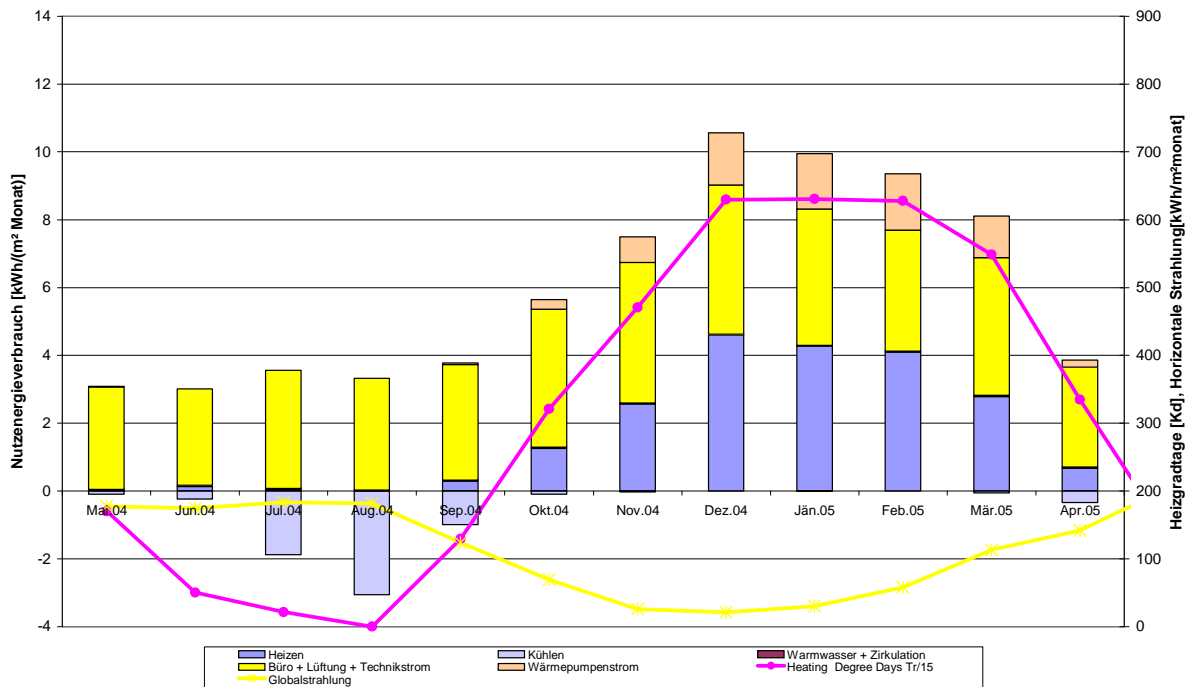


Abb. 35: Gesamter Energieverbrauch für das erste Messjahr

Abb. 35 zeigt einen Überblick über den gesamten Energieverbrauch (Wärme und Strom). Der Energieverbrauch wird hier den Wetterdaten gegenübergestellt. Die Kühlsaison 2004 reichte von Juli bis in den September. Signifikanten Heizbedarf gab es von Oktober 2004 bis März 2005.

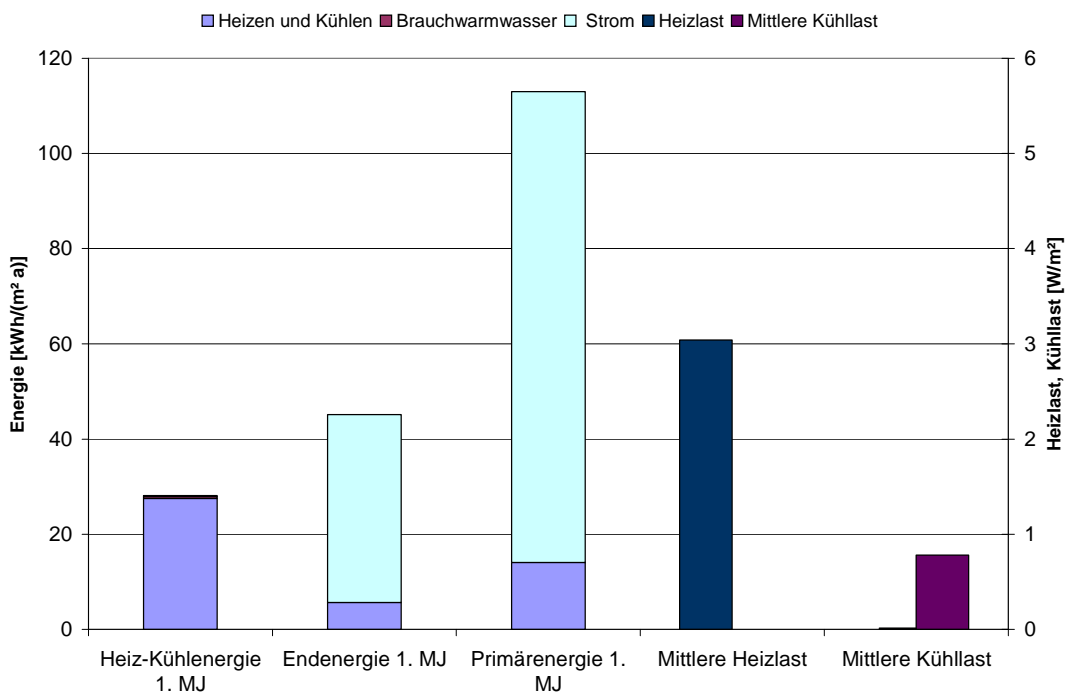


Abb. 36: End- und Primärenergieverbrauch

Abb. 36 zeigt den End- und Primärenergieverbrauch. Die Summe aus Heiz- und Kühlenergiebedarf beträgt  $27,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  wobei  $20,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  für den Heizenergiebedarf und  $6,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  für den Kühlenergiebedarf aufgewendet werden muss.

Die Endenergie beträgt  $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  für den kompletten Strombedarf (EDV, Licht, Bürostrom, Lüftungsanlage, Haustechnik, Buffet, und dem Anteil des Stroms für die Wärmepumpe im Passivhausbereich von  $5,65 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$ ). Der Energieeintrag von  $3,92 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$ , der durch die PV-Anlage erzeugt wurde, wurde in der Bilanz schon abgezogen. Mit der Definition des Primärenergiefaktors der für Strom mit 2,5 als europäischer Energiemix festgelegt, und auch schon im CEPHEUS Projekt angewendet wurde, ergibt sich ein Verbrauch an Primärenergie von  $113,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$ .

Von diesen  $113,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  wurden nur  $14 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$ , also 12 % für das Heizen und Kühlen mit der Wärmepumpe aufgewendet. Die restlichen  $99 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$  wurden für den allgemeinen Stromverbrauch sowie die Haustechnik aufgewendet. In einem solchen Passivhausbürogebäude wird die Energiebilanz deutlich vom Stromverbrauch dominiert.

Die mittlere Heizlast beträgt  $3,04 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  über das komplette Messjahr und erreicht an kalten Wintertagen eine maximale Heizlast von  $15 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  (als Tagesmittelwert). Die mittlere Kühllast beträgt  $0,78 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  über das komplette Messjahr und erreicht an heißen Sommertagen eine maximale Kühllast von  $7,08 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  (als Tagesmittelwert).

## 4.3 Zweites Messjahr

### 4.3.1 Komfortparameter

Im zweiten Messjahr lagen sowohl die Raumtemperaturen als auch die Raumfeuchten im gleichen Bereich wie im ersten Messjahr (siehe Abb. 37). Teilweise liegt die minimale Raumtemperatur deutlich unter 20°C. Das liegt daran, dass der häufig nicht genutzte Seminarraum im zweiten Messjahr in diesen Perioden auch nicht geheizt wurde.

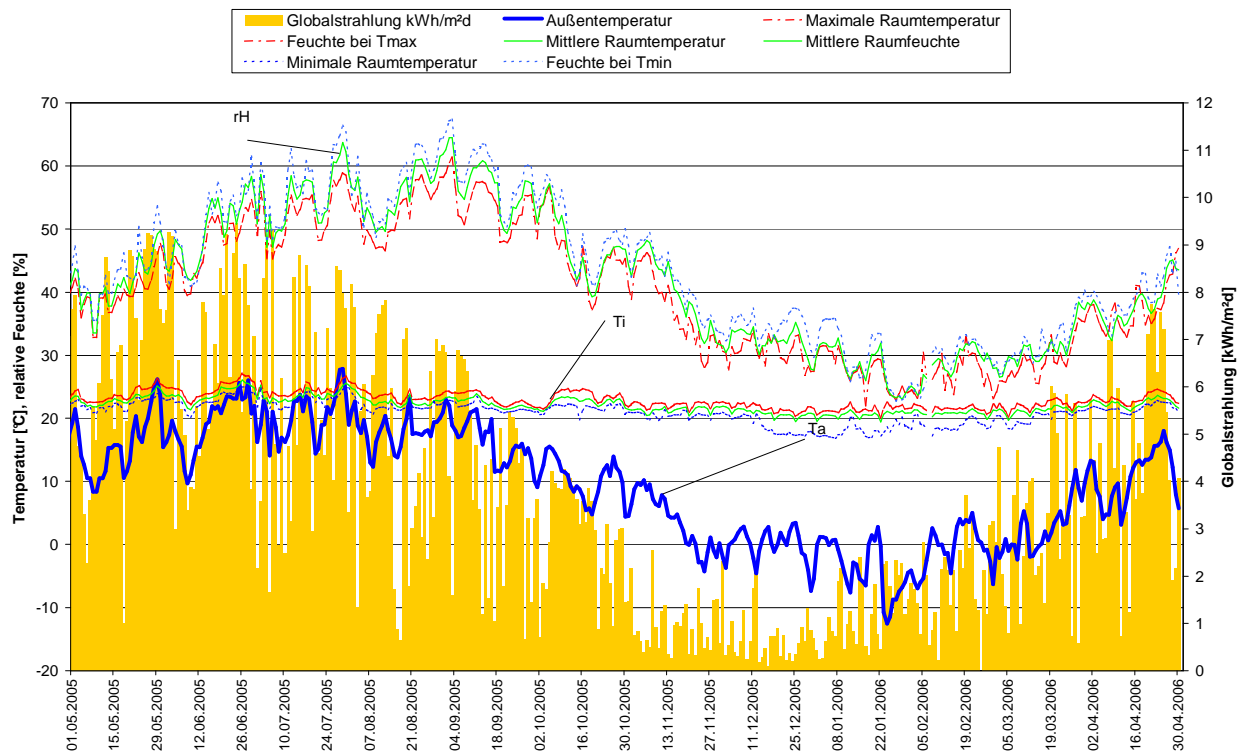


Abb. 37: Überblicksdiagramm zum Raumklima für das zweite Messjahr Mai 2005 – April 2006

Ende Januar / Anfang Februar treten sehr niedrige Feuchtwerte auf. Dies ist wie schon im ersten Messjahr in einer Periode mit extrem niedrigen Außentemperaturen der Fall. Im übrigen Jahr liegt die Luftfeuchtigkeit nur selten unter 30%. Diese sehr niedrigen Feuchtwerte unterhalb des Behaglichkeitsbereichs von 30 – 60% traten nur in den vergleichsweise kurzen sehr kalten Perioden auf. Bisher hat es keine Beschwerden der Benutzerinnen und Benutzer gegeben. Falls die Feuchtwerte die Behaglichkeit beeinträchtigen, könnte mit einer Reduktion des Luftwechsels in diesen Perioden oder mit dezentralen Luftbefeuchtern Abhilfe geschaffen werden.

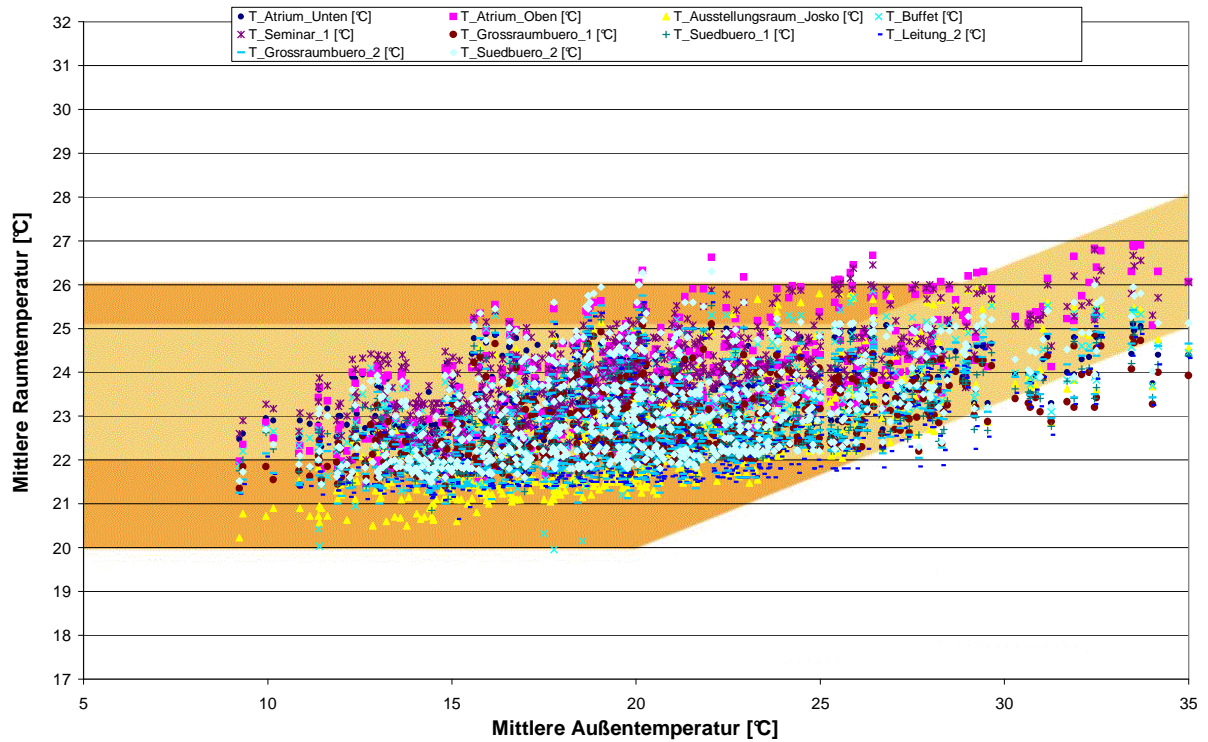


Abb. 38: Raumtemperaturen in Abhängigkeit von der Außentemperatur im Juli/August 2005 (Stundenwerte)

Auch die Punktwolke der Raumtemperaturen als Funktion der Außentemperatur zeigt, dass die Raumtemperaturen wie schon im ersten Messjahr durchwegs in einem sehr angenehmen Bereich liegen. Für diese Darstellung sind nur Stunden während der Betriebszeiten des Gebäudes berücksichtigt.

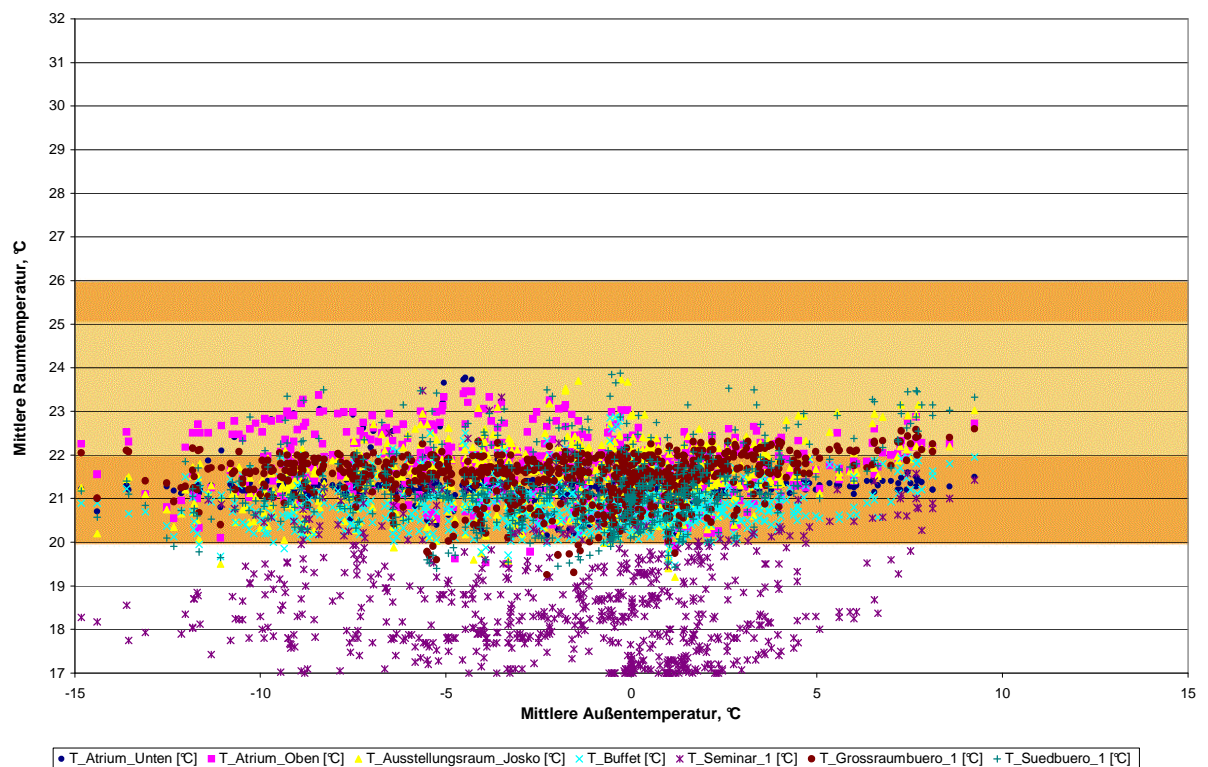


Abb. 39: Raumtemperaturen über Außentemperatur im Januar/Februar 2006 (Stundenmittelwerte)

Abb. 39 zeigt die gleiche Darstellung für den Zeitraum Januar/Februar 2006. Hier sieht man, dass die Raumtemperaturen großteils zwischen 21 und 23°C liegen. Nur wenige Stunden liegen unter 20°C. Eine Ausnahme ist der Seminarraum, der meist nur geheizt wurde, wenn er auch genutzt wurde.

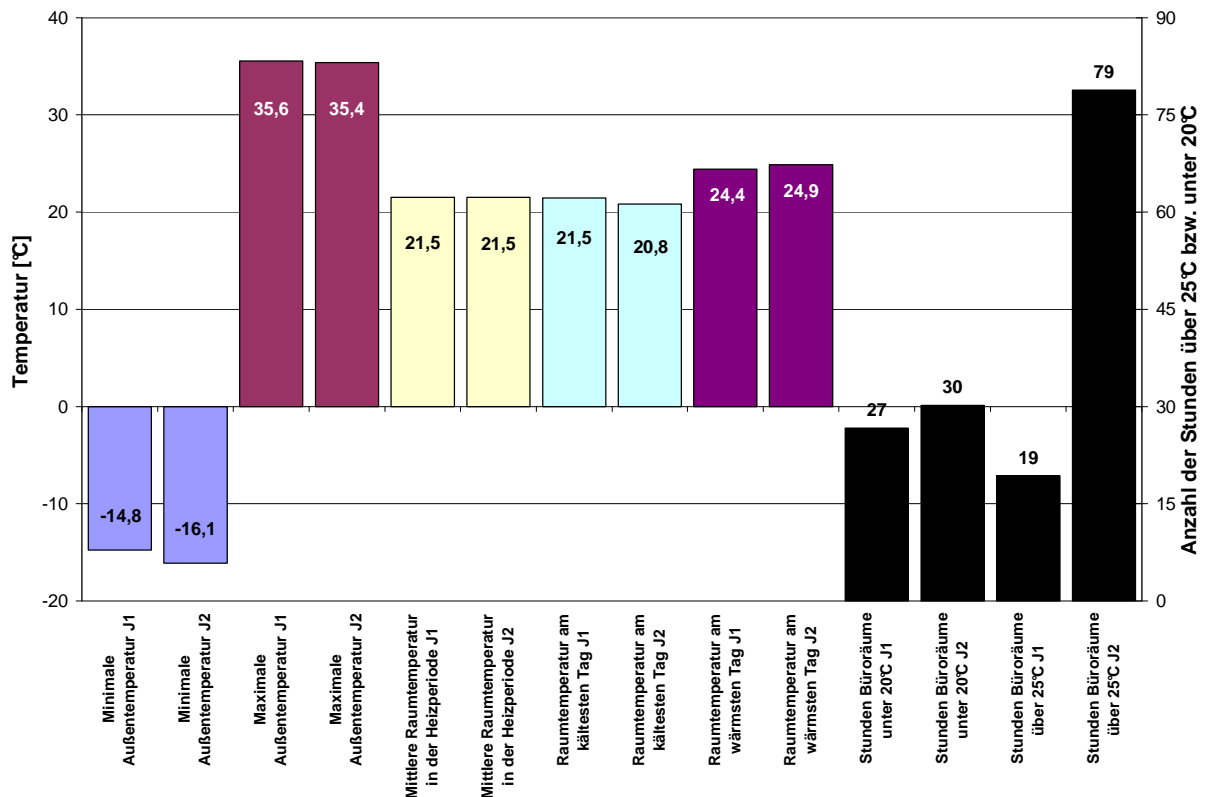


Abb. 40: Auswertung der Raumtemperaturen für beide Messjahre im Vergleich

Der Vergleich der Raumtemperaturen der beiden Messjahre in Abb. 40 zeigt, dass die mittlere Raumtemperatur in der Heizperiode in beiden Messjahren fast identisch war. Auch die Raumtemperatur am kältesten bzw. wärmsten Tag unterscheiden sich nur minimal. Die Zahl der Stunden über 25°C ist leicht gestiegen, liegt aber immer noch sehr niedrig. An den vorherigen Grafiken konnte man erkennen, dass es keine Perioden mit extrem hohen Raumtemperaturen gibt. Der zweite Sommer war etwas wärmer, was man am höheren Kühlbedarf (siehe Energiebilanz weiter unten) erkennt. Dies ist auch ein Grund für die etwas höhere Zahl von Stunden über 25°C.

Die folgende Abbildung zeigt die gemessenen Heiz- und Kühllasten als Tagesmittelwerte in Abhängigkeit von der Außentemperatur für die beiden Messjahre im Vergleich (Abb. 41). Insgesamt liegen die Werte für beide Messjahre im gleichen Bereich. Wegen der niedrigen Außentemperaturen im Januar/Februar 2006 liegen die Heizlasten zum Teil etwas höher.



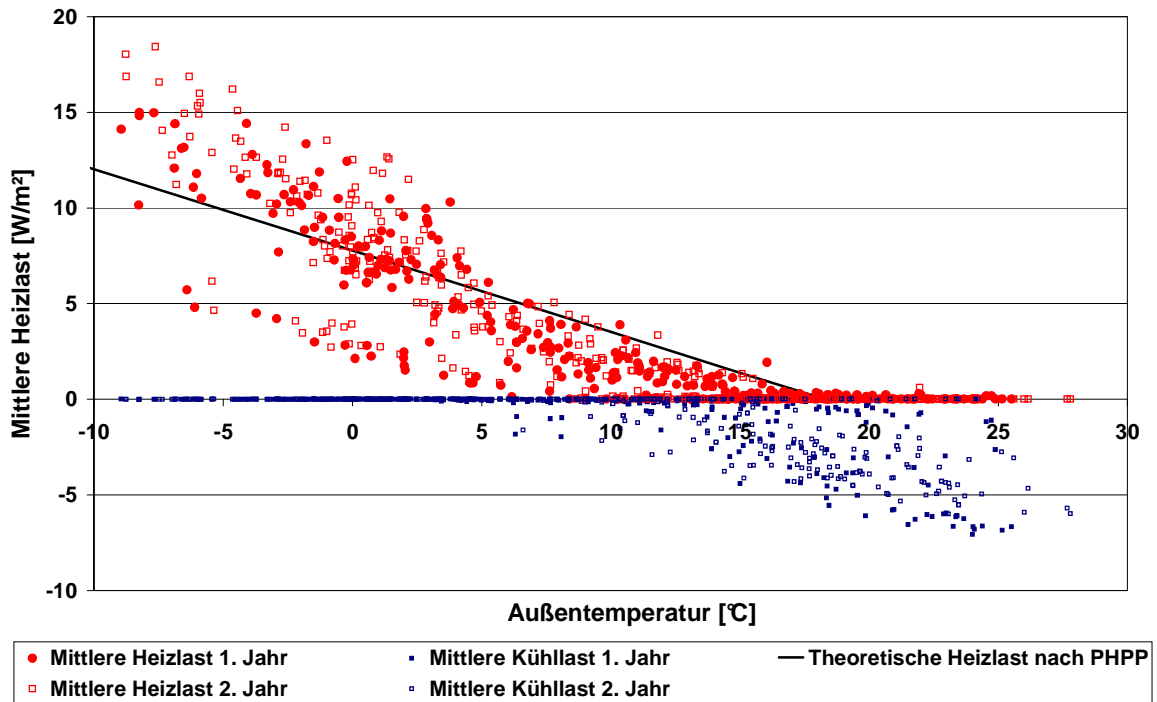


Abb. 41: Auswertung der mittleren Heiz- und Kühllast der beiden Messjahre im Vergleich, Tageswerte

Ab Mitte Oktober 2005 wurden auch die Kohlendioxidkonzentrationen in den beiden Seminarräumen gemessen. Generell kann man sagen, dass die Kohlendioxidkonzentration generell sehr niedrig liegt. Abb. 42 zeigt drei Tage, an denen die Seminarräume in Betrieb waren. Zu erkennen ist dies an der eingeschalteten Lüftungsanlage. An den ersten beiden Tagen steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration kaum über 800 ppm. CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 1000 ppm zeigt eine sehr gute Luftqualität, aber auch bis 1500 ppm ist die Luftqualität immer noch als gut zu bezeichnen. Möglicherweise war der Raum hier nur schwach belegt. Am dritten Tag läuft am Nachmittag die Lüftungsanlage auf hoher Stufe und auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt rasch an. Offenbar waren hier viele Menschen im Raum. Der Maximalwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration liegt allerdings mit 1400 ppm immer noch in einem angenehmen Bereich.

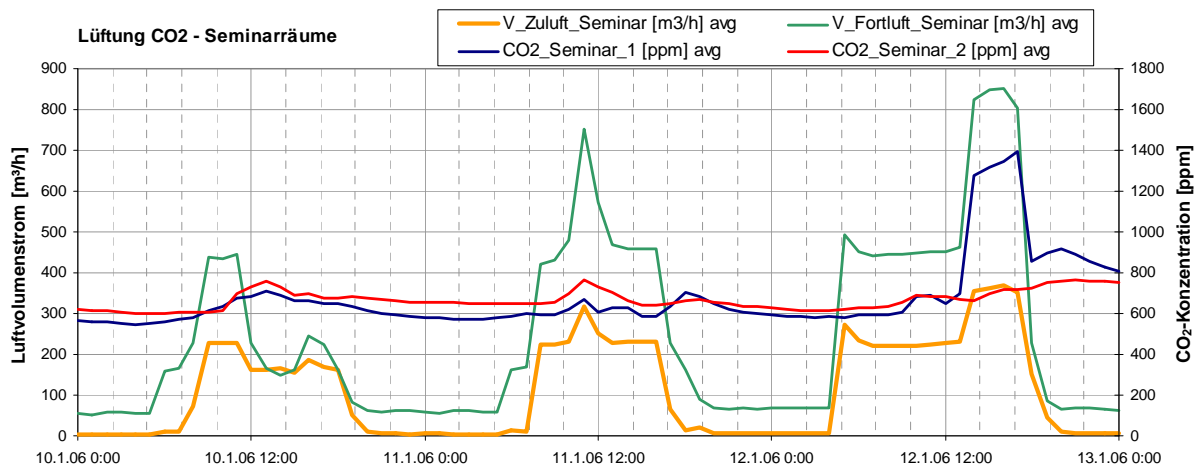


Abb. 42: CO<sub>2</sub>-Konzentration in den beiden Seminarräumen

### 4.3.2 Lüftungsanlage

Abb. 43 zeigt, dass die Zulufttemperaturen für die beiden Messjahre sehr ähnlich waren. Insgesamt waren die Zulufttemperaturen in der Kühleisaison im zweiten Messjahr etwas höher als im ersten.

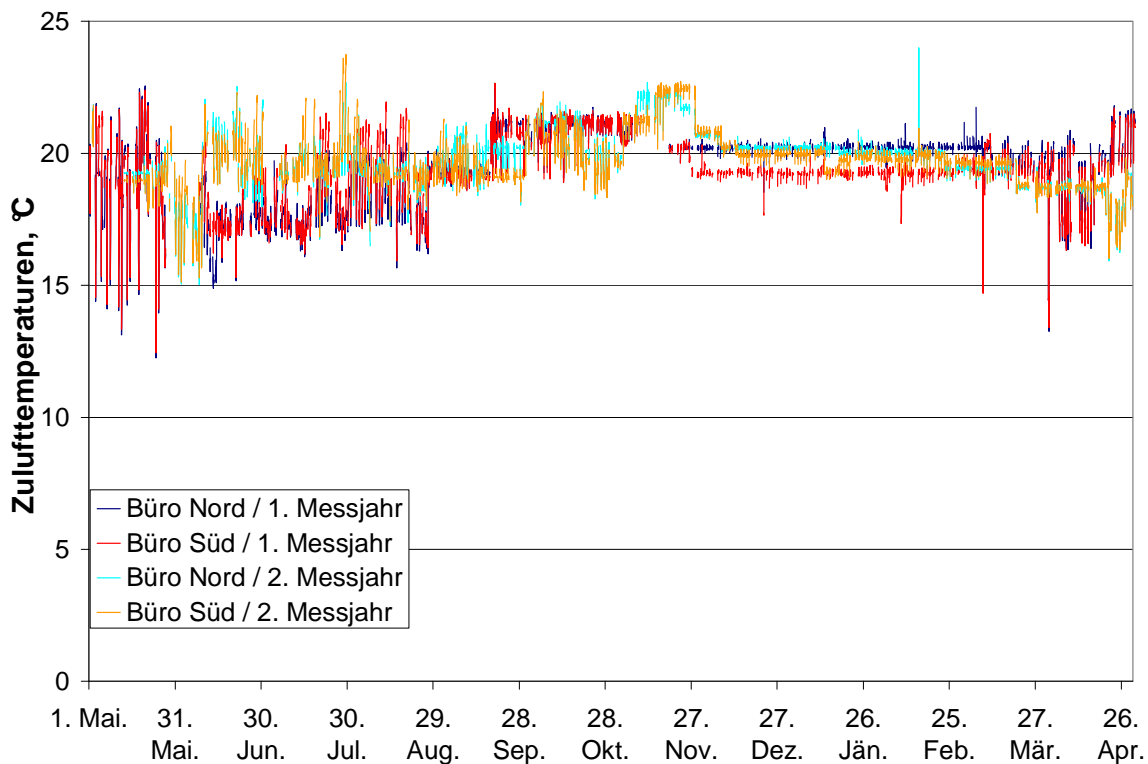


Abb. 43: Zulufttemperaturen zu Büro Nord und Süd für beide Messjahre im Vergleich

### 4.3.3 Energiebilanz

In Tabelle 7 ist die Energiebilanz für das erste und zweite Messjahr im Vergleich dargestellt. Man erkennt, dass sich im zweiten Messjahr nichts Grundlegendes verändert hat. Der Gesamtwärmeverbrauch liegt etwas höher. Dies ist einfach erklärbar, da besonders die Monate Januar und Februar 2006 kälter waren als im Vorjahr. Die Heizenergie wurde wie schon im Vorjahr zur Großteile durch die Wärmepumpe bereitgestellt.

Auch der Gesamtkälteverbrauch liegt etwas höher. Der höhere Kälteverbrauch konnte aber zu beinahe 100% im „direct cooling“-Modus gedeckt werden.

Der Stromverbrauch lag insgesamt etwas niedriger als im Vorjahr. Dies ist auf eine Reduktion des Stromverbrauchs im Büroteil BBM zurückzuführen. Der höhere Stromverbrauch durch die Wärmepumpe wird dadurch überkompensiert. Die PV-Anlage hat annähernd den gleichen, relativ niedrigen Ertrag wie im Vorjahr. Möglicherweise ist ein Teil der Anlage nicht in Betrieb.

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe lag, wie schon im Vorjahr, bei 3,7.

Tabelle 7: Energiebilanz erstes (obere Zahl) und zweites Messjahr (**untere Zahl**)

	Gesamt		nur Passivhausbereich		
	kWh/a		kWh/a	kWh/ (m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a)	
<b>Gesamtwärmeverbrauch</b>	<b>33.921</b> <b>(38.513)</b>	<b>100%</b>	<b>26.440</b> <b>(30.334)</b>	<b>21,8</b> <b>(25,0)</b>	<b>100%</b>
Davon: Heizung gesamt	32.311 (36.975)	95,3% (94,5%)	25.197 (29.138)	20,7 (24,3)	91,4% (97,5%)
- Luftvorwärmung	1.029 (1.502)	3,0% (3,9%)	1.029 (1.502)	0,8 (1,2)	3,9% (5,0%)
- über Heizkreis1	7.114 (7.836)	21,0% (20,4%)	<i>nicht im Passivhausbereich</i>		
- über Heizkreis2	24.168 (27.636)	71,3% (71,8%)	24.168 (27.636)	19,9 (22,7)	95,9% (91,1%)
Verluste	1.610 (1.539)	4,7% (4,0%)	1.242 (1.196)	1,0 (1,0)	4,7% (2,5%)
<b>Gesamtkälteverbrauch</b>	<b>8.259</b> <b>(11.713)</b>	<b>100%</b>	<b>8.259</b> <b>(11.713)</b>	<b>6,8</b> <b>(9,6)</b>	<b>100%</b>
- Luftvorkühlung	1.514 (1.448)	18,3% (12,4%)	1.514 (1.448)	1,25 (1,19)	18,3% (12,4%)
- über Heizkreis2	6.745 (10.265)	81,7% (87,6%)	6.745 (10.265)	5,55 (8,45)	81,7% (87,6%)
<b>Gesamtheizwärmeeintrag</b>	<b>33.921</b> <b>(38.513)</b>	<b>100%</b>	<b>26.440</b> <b>(30.334)</b>	<b>21,8</b> <b>(25,0)</b>	<b>100%</b>
Wärmepumpe	32.892 (37.011)	97% (96,1%)	25.412 (28.832)	20,9 (23,7)	96,1% (95,0%)
Luftvorwärmung	1.029 (1.502)	3% (3,9%)	1.028 (1.502)	0,8 (1,2)	3,9% (5,0%)
<b>Gesamtkälteeintrag</b>	<b>8.259</b> <b>(11.713)</b>	<b>100%</b>	<b>8.259</b> <b>(11.713)</b>	<b>6,8</b> <b>(9,64)</b>	<b>100%</b>
Wärmepumpe	96 (16)	1,2% (0,14%)	96 (16)	0,08 (0,01)	1,2% (0,14%)
Erdsonden direkt	8.163 (11.697)	98,8% (99,86%)	8.163 (11.697)	6,72 (9,63)	98,8% (99,86%)

	Gesamt		nur Passivhausbereich		
	kWh/a		kWh/a	kWh/ (m <sup>2</sup> NGF a)	
<b>Stromverbrauch gesamt</b>	<b>61.755</b> <b>(58.868)</b>	<b>100%</b>	<b>59.719</b> <b>(56.680)</b>	<b>49,2</b> <b>(46,7)</b>	<b>100%</b>
Davon: Gebäudeteilteil BBM (Büro, Cafeteria, Küche, Logistik- und Tagungs- räume), 1568,4 m <sup>2</sup>	35.646 <b>(31.737)</b>	57,7% <b>(53,9%)</b>	35.646 <b>(31.737)</b>		59,7% <b>(56,0%)</b>
Büroteil MIVA, 264,7 m <sup>2</sup>	1.850 <b>(1.925)</b>	3,0% <b>(3,3%)</b>	1.850 <b>(1.925)</b>		3,1% <b>(3,4%)</b>
Ausstellungsfläche, 190,1 m <sup>2</sup>	7.808 <b>(7.804)</b>	12,6% <b>(13,3%)</b>	7.808 <b>(7.804)</b>		13,1% <b>(13,8%)</b>
Wärmepumpe	8.951 <b>(9.902)</b>	14,5% <b>(16,8%)</b>	6.915 <b>(7.714)</b>	5,7 <b>(6,3)</b>	11,6% <b>(13,6%)</b>
Technikstrom (hochge- rechnet aus Momen- tanmessung)	7500 <b>(7500)</b>	12,1% <b>(12,7%)</b>	7500 <b>(7500)</b>	6,2 <b>(6,2)</b>	12,6% <b>(13,2%)</b>
PV-Anlage	-4.764 <b>(-4.727)</b>	-7,7% <b>(-8,0%)</b>	-4.764 <b>(-4.727)</b>	3,9 <b>(3,9)</b>	8,0% <b>(8,3%)</b>
<b>Stromverbrauch netto</b>	<b>56.991</b> <b>(54.426)</b>	<b>92,3%</b> <b>(92,0%)</b>	<b>54.956</b> <b>(51.956)</b>	<b>45,2</b> <b>(42,8)</b>	<b>92,0%</b> <b>(91,7%)</b>

#### 4.3.3.1 Heiz- und Kühlenergie

Wie in Abb. 44 zu sehen ist, war die Vorlauftemperatur in der KÜHLSAISON auch im zweiten Messjahr sehr niedrig (etwa 15°C). Die Temperaturen in der Heizsaison bewegen sich meist wieder zwischen 25 und 40°C.

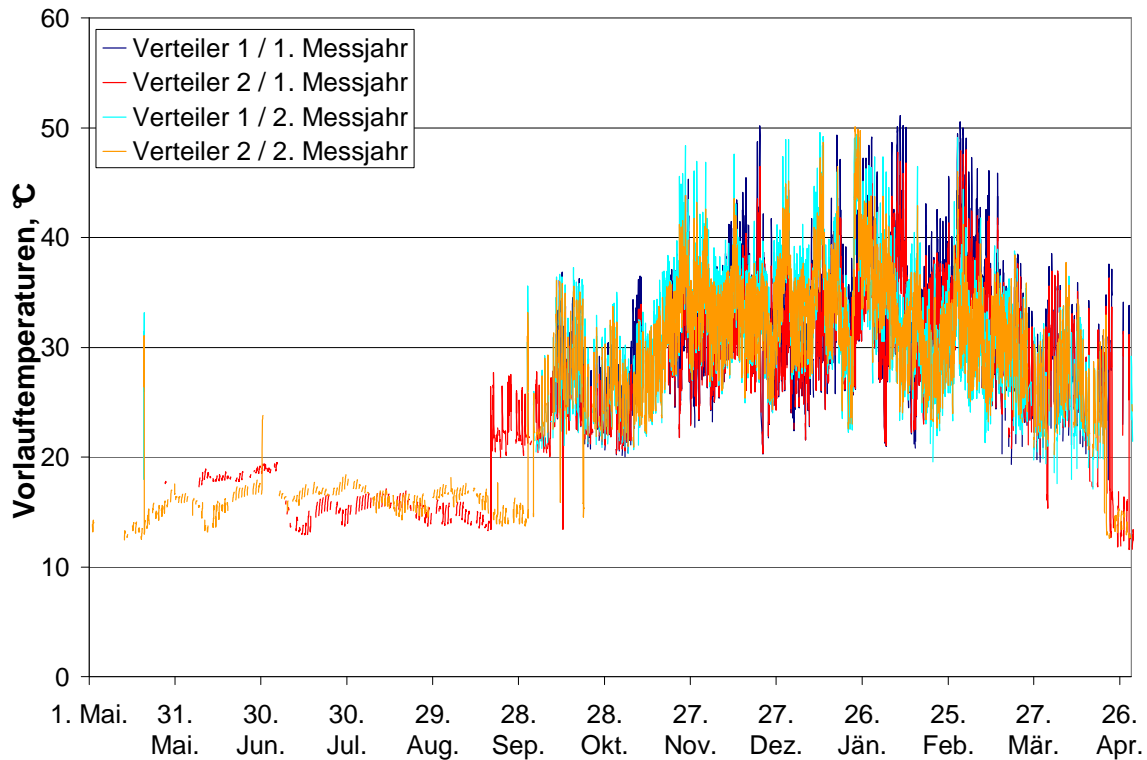


Abb. 44: Vorlauftemperaturen der Verteilerkreise 1 und 2 für beide Messjahre im Vergleich

Der Heizenergiebedarf (einschließlich Verteilverluste nach Wärmemengenzähler im Keller) liegt mit 24,3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) etwas höher als im Vorjahr. In Abb. 45 fällt besonders der hohe Energiebedarf im teilweise sehr kalten Januar auf.

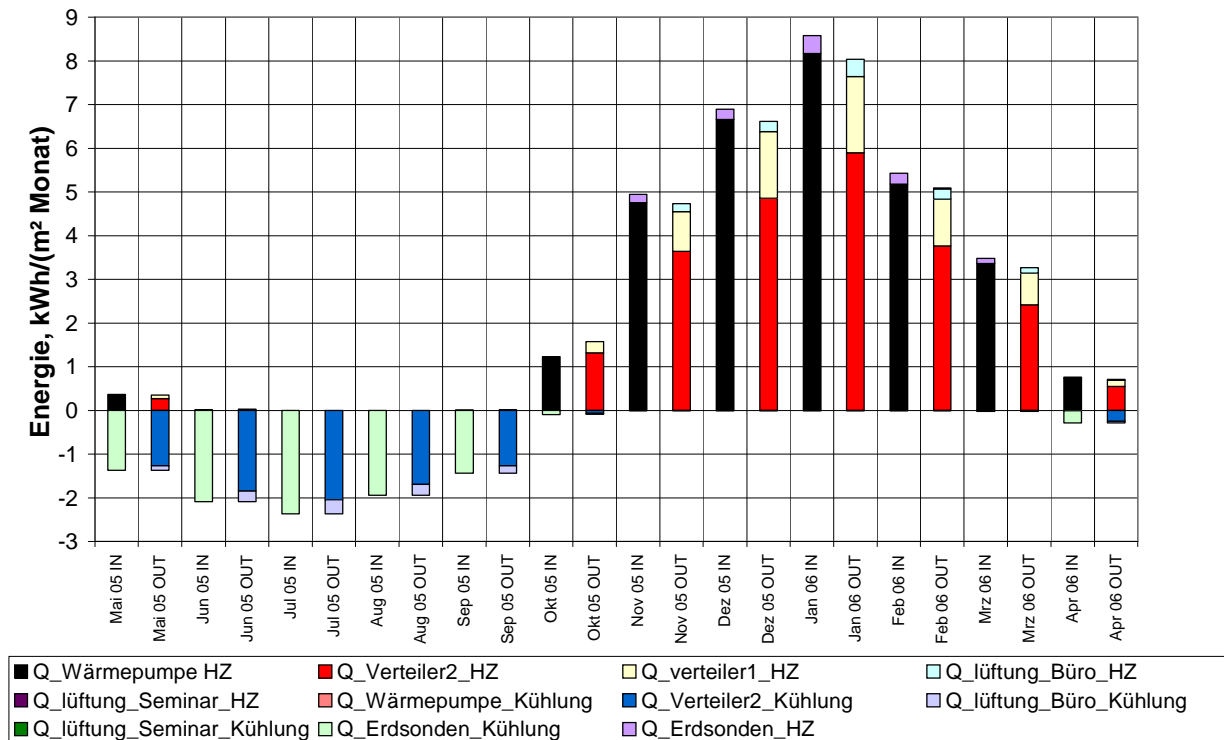


Abb. 45: Energiebilanz für das zweite Messjahr

Nach Abzug der schon für das erste Messjahr beschriebenen Verteilverluste von 1,3 kWh/(m²<sub>NGFa</sub>) ergibt sich ein Heizwärmebedarf von

$$23,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$$

### Umrechnung der Messdaten auf Standardbedingungen

Wie schon im ersten Messjahr wurde der Heizenergiebedarf auf 20°C Raumtemperatur normiert. Hier kommt man auf einen Wert von

$$19,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}}).$$

Normierung auf die Standardklimadaten Wien ergibt

$$17,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}})$$

und damit fast den gleichen Wert wie im Vorjahr.

### 4.3.3.2 Gesamtenergieverbrauch

Abb. 46 zeigt einen Überblick über den gesamten Energieverbrauch (Wärme und Strom). Der Energieverbrauch wird hier den Wetterdaten gegenübergestellt. Die Kühlsaison 2005 war durch das sehr sonnige Frühjahr etwas länger und reichte von Mai bis in den September. Signifikanten Heizbedarf gab es wie im Vorjahr von Oktober 2004 bis März 2005.

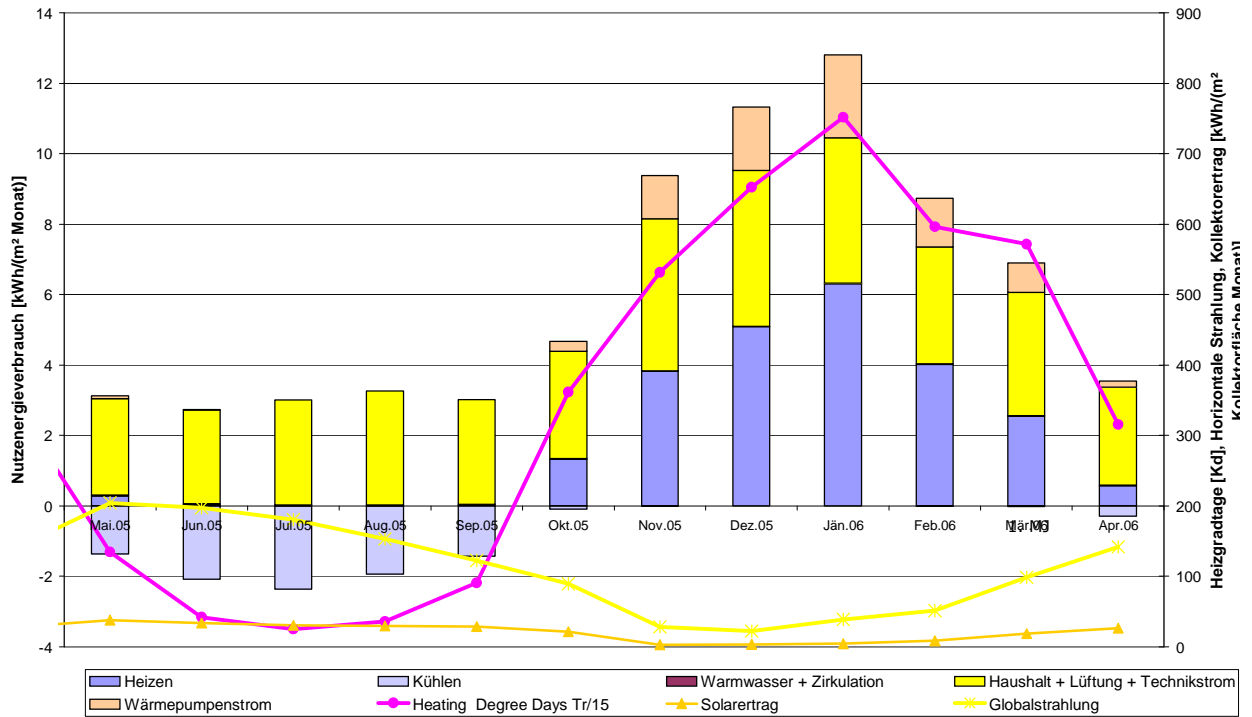


Abb. 46: Gesamter Energieverbrauch für das zweite Messjahr

In Abb. 47 ist der End- und Primärenergieverbrauch der beiden Messjahre im Vergleich dargestellt. Obwohl mehr Energie zum Heizen und Kühlen benötigt worden ist, ist der Primärenergieverbrauch niedriger. Der Primärenergieverbrauch der Wärmepumpe ist zwar leicht gestiegen, dies wird aber durch den niedrigeren allgemeinen Stromverbrauch kompensiert. Dadurch sinkt der Gesamtprimärenergieeinsatz von 113,0 kWh/(m²<sub>NGFA</sub>) auf 106,9 kWh/(m²<sub>NGFA</sub>).

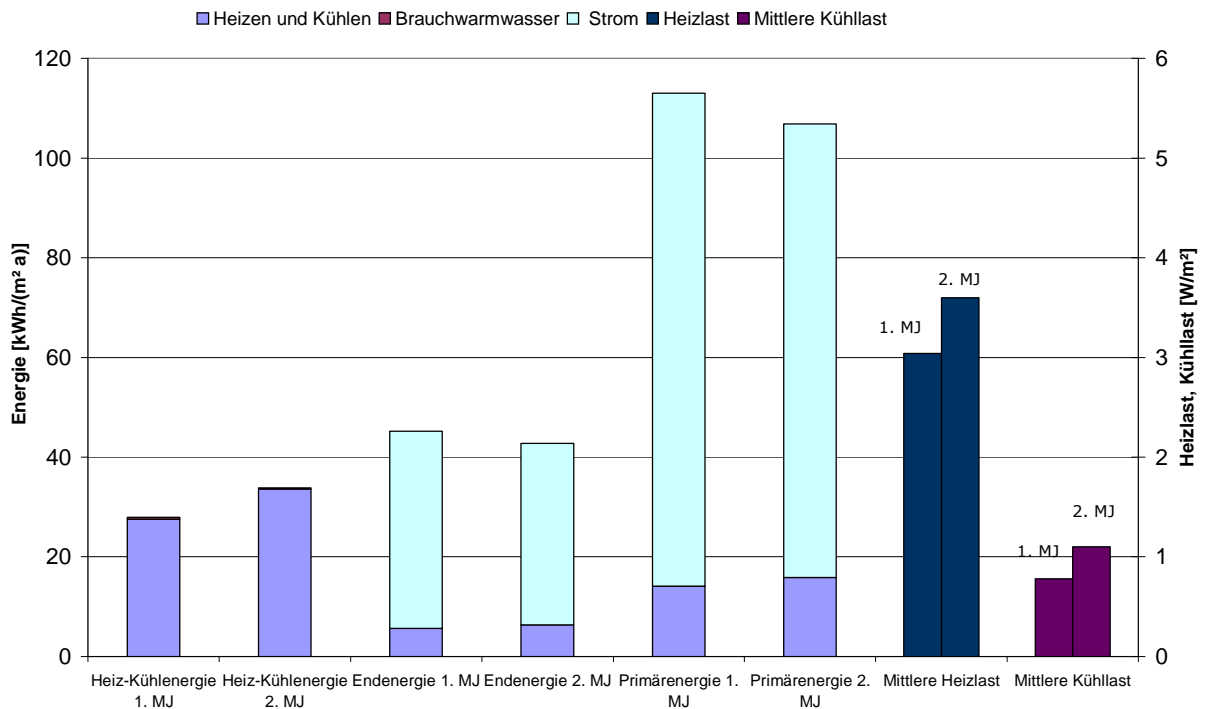


Abb. 47: End- und Primärenergieverbrauch im Vergleich für das erste und zweite Messjahr

Trotzdem bleibe der allgemeine Stromverbrauch der dominierende Faktor in der Energiebilanz.

### 4.4 Beispielwochen Komfortparameter

Betrachtet man die Raumtemperaturverläufe für den Sommer- und Winterbetrieb etwas detaillierter für jeweils zwei Wochen (in Form von Stundenmittelwerten), so ergeben sich die in den folgenden Abbildungen dargestellten Verläufe. Beim Sommerbetrieb in Abb. 48 ist zu erkennen, dass trotz Außentemperaturen von über 30°C die Raumtemperatur sehr konstant verläuft. Spitzen treten hierbei nur im oberen Bereich des Atriums auf. Die Temperaturabfälle in der Nacht (Seminarraum, Buffet) sind mit der Nachtlüftung erklärbar.

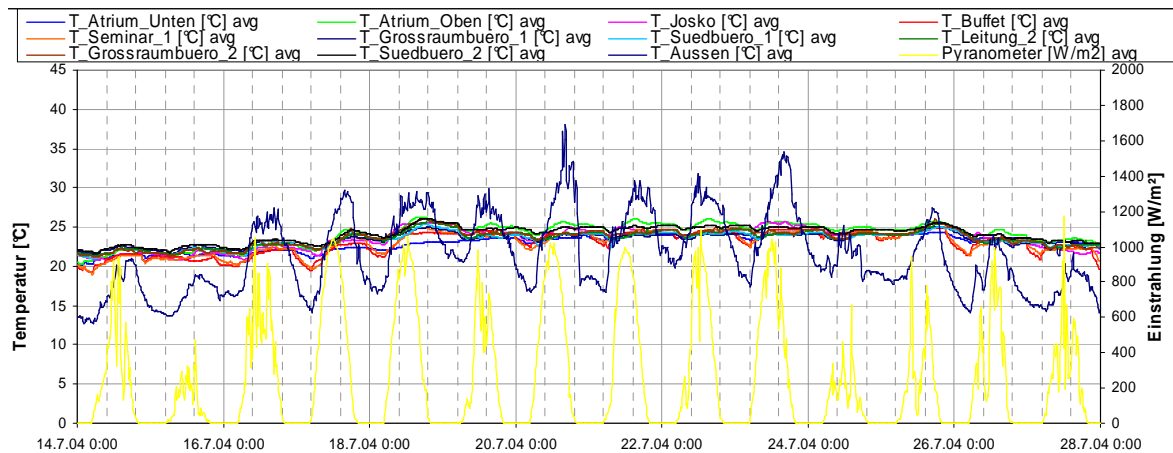


Abb. 48: Raumtemperaturverlauf in zwei heißen Sommerwochen

Auch im Winterbetrieb (Abb. 49) kann man erkennen, dass bei niedrigen Außentemperaturen über einen längeren Zeitraum die Raumtemperaturen konstant im Behaglichkeitsbereich liegen. Weiters ist eine bewusste Temperaturabsenkung des kaum genutzten Seminarraums sowie aller Räume in der Nacht ersichtlich. Die höchsten Heizlasten treten immer in den Morgenstunden auf, so dass die Räume zu den Bürozeiten auf der gewünschten Temperatur sind. Am Sonntag wird gar nicht geheizt, nur am späten Abend beginnt das Heizen für den Montag. Die hier dargestellte Heizlast ist die gesamte Heizlast, also nicht nur die Bereiche im Passivhausbereich. Sie liegt maximal bei 8,5 W/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>.

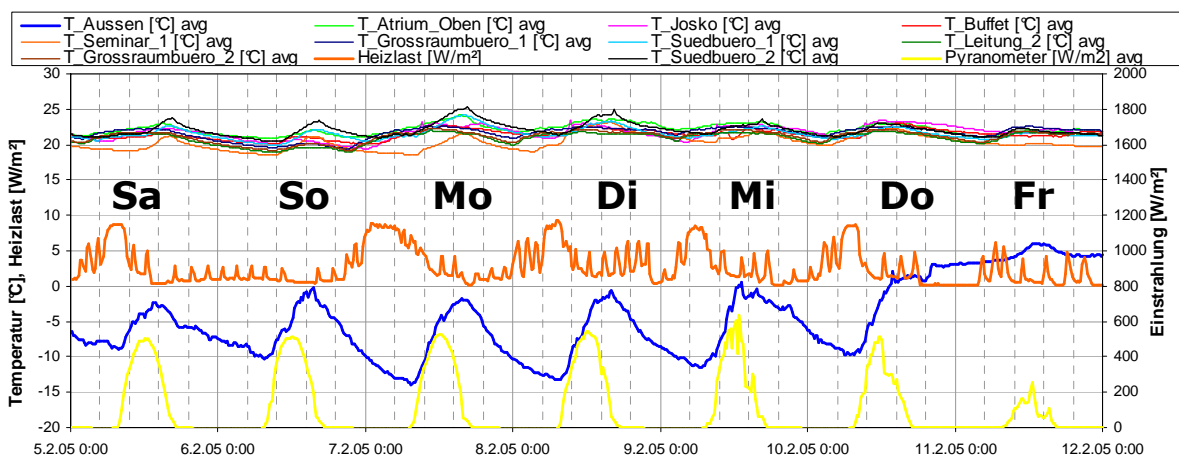


Abb. 49: Raumtemperaturverlauf in einer kalten, aber strahlungsreichen Winterwoche

Zum Vergleich ist in Abb. 50 eine mäßig kalte, aber dafür strahlungsarme Winterwochedargestellt. Wieder wird hauptsächlich in den Morgenstunden geheizt, allerdings mit einer niedrigeren Heizleistung.



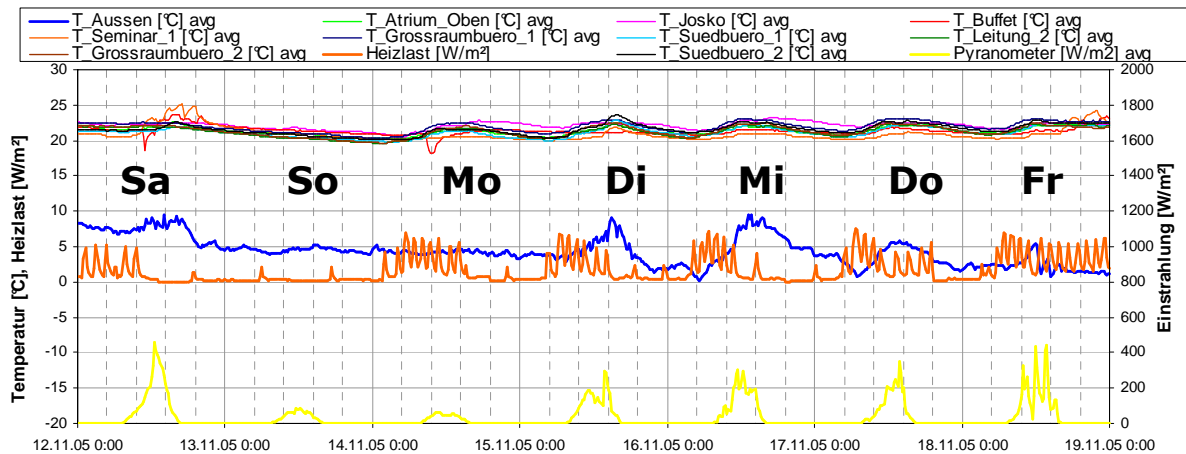


Abb. 50: Raumtemperaturverlauf in einer strahlungsarmen Winterwoche

#### 4.5 Zusammenfassung der Messergebnisse und Fazit

Trotz der schwierigen Ausgangsbedingungen, die ein Bürohaus in der Planungsphase mit sich bringt (hoher Glasanteil, hoher Anteil an Leichtbauweise, hohe innere Lasten, unterschiedlichste individuelle Bedürfnisse, ständiger Besucherstrom und unterschiedlichste Belegungen), ist es beim ChristophorusHaus in ausgezeichneter Art und Weise gelungen, mit sehr geringem Energieaufwand ein äußerst behagliches Raumklima zu schaffen.

Raumtemperaturen und Raumfeuchten sind durchwegs in einem angenehmen Bereich, wobei die Kühlung fast ausschließlich passiv über die Erdsonden durchgeführt werden kann. Die Raumfeuchte erreicht nur bei extrem kalten Temperaturen im Winter etwas zu niedrige Werte. Wenn die Feuchte als zu niedrig empfunden wird, kann dies mit dezentralen Luftbefeuchtern oder einer Reduktion des Luftwechsels in diesen Perioden verbessert werden.

Der gemessene Heiz- und Kühlenergiebedarf wird in Tabelle 8 noch einmal den Planungsdaten gegenübergestellt.

Die Verteilverluste zwischen dem Verteiler im Keller und der Wärme- bzw. Kälteabgabe, die in den gemessenen Werten noch drinstecken, wurden mithilfe der gemessenen Netz- und Kellertemperaturen sowie den Laufzeiten des Systems abgeschätzt. Sie betragen rund  $1,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ . Diese Verluste wurden von den gemessenen Werten abgezogen. Der gemessene Heizenergiebedarf ist bei  $21,5^\circ\text{C}$  Raumtemperatur zustande gekommen. Darum wurden die Werte anschließend auf  $20^\circ\text{C}$  normiert.

Sowohl der Heizenergiebedarf als auch der Kühlenergiebedarf liegen innerhalb der Planungsbandbreite für unterschiedliche Klimabedingungen. Das zweite Messjahr hatte sowohl einen kalten Winter als auch einen sehr warmen Sommer. Daher liegt es in beiden Kategorien am oberen Ende der Planungswerte.

Tabelle 8: Vergleich von Planungsdaten und Messwerten

	Planung		Messwerte	
	Klimadatensatz 1996 (Heizextrem)	Klimadatensatz 1994 (Kühlextrem)	Messwerte 2004/2005	Messwerte 2005/2006
Heizenergiebedarf, kWh/a	23.640	9.740	19.197	23.450
Spez. Heizenergie- bedarf, kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> )	19,5	8,0	15,8	19,3
Kühlenergiebedarf, kWh/a	5.140	12.150	8.259	11.713
Spez. Kühlenergie- bedarf, kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> )	4,2	10,0	6,8	9,6

Die Wärme- und Kälteverbräuche liegen bei diesem Passivhausbürogebäude extrem niedrig. In der Gesamtenergiebilanz verschwinden sie fast gegenüber dem allgemeinen Stromverbrauch, der Strom für Beleuchtung, Bürogeräte, die Cafeteria sowie die Haustechnik einschließt. Die Fotovoltaikanlage kann etwa die Hälfte des Stromverbrauchs der Wärmepumpe decken.

Zu den Stromverbräuchen die in einem reinen Bürogebäude auftreten, kommen hier noch „externe“ Stromverbräuche im Logistikbereich hinzu. Trotzdem liegen die gemessenen Werte mit 45 – 50 kWh/(m<sup>2</sup>NGF a) für den Stromverbrauch ohne Wärmepumpe nicht extrem hoch. In Bürogebäuden im Bestand sind Stromverbräuche von 100 – 140 kWh/(m<sup>2</sup>NGF a) durchaus üblich.

Die sehr guten Messergebnisse bestätigen einmal mehr den Erfolg und die Notwendigkeit einer dreistufigen Qualitätssicherung, welche aus einem integrierten Planungsprozess, hochwertige Bauüberwachung bzw. -ausführung und einem Mindestmonitoring besteht. Das ChristophorusHaus ist nicht nur im Bereich der Energieeffizienz ein leuchtendes Beispiel für die Umsetzung eines multifunktionalen Bürogebäudes, sondern geht weit über die Passivhauseanforderungen hinaus.

Es wurde auch besonderer Wert auf den Einsatz von ökologisch vertretbaren Baustoffen bzw. auf nachwachsende Rohstoffe gelegt.

Durch eine optimierte Tageslichtnutzung bzw. eine geregelte künstliche Beleuchtung konnte auch in diesem Bereich ein wertvoller Beitrag für ein wegweisendes Gesamtkonzept geleistet werden.

Schlussendlich spiegelt auch ein nachhaltiges Konzept der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung das hohe Bewusstsein des Bauherrn und seines Teams für den Klimaschutz und den sensiblen Umgang mit Ressourcen wieder.

## 5 Literaturhinweise

### **Schniders et al., 2001**

Schniders J., Feist W., Pfluger R., Kah O.: CEPHEUS- Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Projekt im THERMIE-Programm der EU, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Juli 2001.

### **Wagner et al., 2005**

Wagner W., Jähmig D., Lechner R., Suschek-Berger J.: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchungen der Bauprojekte im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, diverse Zwischenberichte, 2005.