

**Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH)**  
**Fachbereich Maschinen- und Energietechnik**  
Studiengang Energietechnik  
Studienrichtung Energie- und Versorgungstechnik

**Energiebilanz des „Nullenergie“ - Dienstleistungsgebäudes**  
**Forum Chriesbach, Eawag Dübendorf**

von

Martin Bauer

geb. am 09.04.1985

in Sangerhausen

37376

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Rainer Agsten

Dübendorf, September 2006 - Februar 2007

**Energiebilanz des „Nullenergie“ -  
Dienstleistungsgebäudes  
Forum Chriesbach, Eawag Dübendorf**

## **Erklärung**

Ich, Martin Bauer, versichere wahrheitsgemäß, die Praktikumsarbeit selbstständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde.

Dübendorf, 13.12.2006

Martin Bauer

---

| <b><u>Inhaltsverzeichnis</u></b>                                   | <b>Seite</b> |
|--|--------------|
| <b>Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen</b>                    | <b>5</b>     |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>6</b>     |
| <b>2 Aufgabenstellung</b>  | <b>6</b>     |
| <b>3 Kurzbeschreibung des Gebäudes</b>                             | <b>6</b>     |
| <b>4 Effektive Nutzung (Ist-Situation)</b>                         | <b>8</b>     |
| 4.1 Technik  | 9            |
| 4.1.1 Betriebszeiten der Lüftungs- und Klimaanlage,<br>Erdregister | 9            |
| 4.1.2 Betriebszeiten der gewerblichen Kälteanlage                  | 11           |
| 4.1.3 Betriebszeiten des Warmwassersystems                         | 12           |
| 4.1.4 Stellung der Thermostatventile im EG/UG                      | 13           |
| 4.1.5 Temperaturhalteparameter                                     | 13           |
| 4.2 Interne Lasten (Personen, Geräte, Beleuchtung)                 | 14           |
| 4.3 Auswertung Frühwinterperiode Oktober bis Dezember 2006         | 20           |
| 4.3.1 Wetterdaten Oktober bis Dezember 2006                        | 21           |
| 4.3.2 Wärmebilanz  | 23           |
| 4.3.3 Elektrobilanz  | 24           |
| 4.3.4 Gasbilanz  | 24           |
| 4.3.5 Wasserbilanz   | 25           |
| 4.3.6 Kältebilanz  | 25           |
| <b>5 Vergleich mit Modellrechnung (Soll-Ist-Vergleich)</b>         | <b>26</b>    |
| 5.1 Wärmebilanz des Kombispeichers                                 | 26           |
| 5.2 Temperaturverläufe   | 30           |
| 5.3 Ergebnisse   | 33           |
| <b>6 Komfortmessung von Büros mit Beanstandungen</b>               | <b>33</b>    |
| 6.1 Grundlagen   | 33           |
| 6.2 Temperatur- und Feuchtemessung                                 | 34           |
| 6.3 Raumlufthgeschwindigkeiten und Kaltluftabfall                  | 37           |
| 6.4 Beurteilung thermische Behaglichkeit Winterfall                | 38           |
| 6.5 Schlussfolgerung und Empfehlung                                | 39           |
| <b>7 Zusammenfassung</b>   |              |
| <b>8 Literatur</b>   |              |
| <b>Anhang</b>  |              |

---

### Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen

|                  |  |
|------------------|--|
| Eawag            | Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs                                       |
| Empa             | Forschungsinstitution für Materialwissenschaften und<br>Technologie des ETH-Bereichs |
| FC               | Forum Chriesbach   |
| ETH              | Eidgenössische Technische Hochschulen  |
| WRG              | Wärmerückgewinnung   |
| MSRL             | Mess-Steuer-Regel-Leit-System  |
| TRNSYS           | dynamisches Simulationsprogramm  |
| Ta 24h           | Außentemperatur gemittelt über 24 Stunden  |
| Q <sub>los</sub> | Wärmeverlust des Kombispeichers  |
| Q <sub>ww</sub>  | Wärme für Warmwasseraufbereitung   |
| Q <sub>hea</sub> | Wärme für statische Heizung  |
| Q <sub>sol</sub> | Wärme von der Solaranlage  |
| Q <sub>wn</sub>  | Wärme aus dem Wärmenetz  |
| Q <sub>wrg</sub> | Wärme von der WRG der gewerblichen Kälteanlagen                                      |

---

## **1 Einleitung**

Keine Energie benötigen, um ein Gebäude zu nutzen? Dies ist die Vorstellung der Zukunft. Bereits heute versuchen Viele, diese Vision zu realisieren. So unter anderem auch die Eawag in Dübendorf, Schweiz. Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs hat mit dem „Nullenergie“ - Dienstleistungsgebäude Forum Chriesbach (FC) das heute Machbare auszureizen versucht. Minimale Restenergie wird trotzdem noch benötigt, jedoch im Vergleich mit anderen Dienstleistungsgebäuden nur sehr wenig. Das neue Hauptgebäude der Eawag steht auch im Umgang mit Wasser im Zeichen der nachhaltigen Entwicklung: offene Wasserführung, Regenwassernutzung, Urinseparierung (NoMix-Toiletten), Versickerung des Überflusswassers.

Im Rahmen einer 2-jährigen Betriebsoptimierungsphase soll für das FC eine Bilanzierung der gesamten Energieflüsse erfolgen. Die vorliegende Praxisarbeit steht in diesem Kontext.

## **2 Aufgabenstellung**

Um die Energiebilanz des FC's aufstellen zu können, sind folgende Schritte nötig:

- Zunächst müssen die effektiven Technik- und Nutzungsdaten als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich ermittelt werden.
- Anschließend erfolgt eine Messdatenauswertung (Frühwinterperiode Oktober bis Dezember 2006).
- Diese zusammengetragenen Ist-Werte werden mit der Soll-Modellrechnung verglichen, die durch die 3-Plan-Haustechnik AG durchgeführt wurde.
- Als Beispiel für die Probleme, die im Gebäude auftreten können, dient die Komfortmessung und Beurteilung von Räumen mit Beanstandungen.

---

### **3 Kurzbeschreibung des Gebäudes**

Im Rahmen des Projektes „Eawag-Bauten 2010“ hat die Eawag das FC im Juni 2006 in Betrieb nehmen können. Zeitgleich wurde für die Kinder der Eawag- und Empa-Mitarbeiter ein Hort eröffnet. Weitere bauliche Maßnahmen, Sanierung und Umbau des Bürogebäudes und Sanierung des Laborgebäudes folgen noch.

Im FC befindet sich die neue Eawag-Empa-Bibliothek und das Personalrestaurant „aQa“. 150 Arbeitsplätze stehen zur Verfügung. Zusätzlich sind Schulungs- und Sitzungszimmer vorhanden, von denen man einen direkten Blick in das Atrium hat. Das Atrium schließt den Empfangs- und Ausstellungsbereich nach oben hin bis unter das Glasdach ein; in ihm „schwebt“ das Modell eines Wassermoleküls von der Decke.

Zu den weiteren Merkmalen des FC gehören unter anderem die blauen Glaslamellen, welche der Fassade einen prägenden Charakter verleihen und mit ihrer Funktionalität im Sommer die Sonneneinstrahlung abschirmen und im Winter durchlassen.

Durch die gut gedämmte Gebäudehülle, die Variabilität der Glaslamellen, den Recyclingbeton als Speichermasse und dem Lüftungssystem ist eine aktive Heizung oder Kühlung der Bürogeschosse nicht notwendig. Zur Nachtauskühlung im Sommer, öffnen sich Kippfenster in den Büros durch gleichzeitiges Öffnen der Klappen im Dach, wird ein natürlicher Luftzug durch das Gebäude erzeugt und somit kann die warme Luft aus Atrium und Büroräumen entweichen. Während der Nachtauskühlung kühlt sich der Beton ab und kann tagsüber zur Niedrighaltung der Temperatur beitragen.

Durch die große Speichermasse wird die Wärme im Winter gespeichert und das Gebäude auf konstanter Temperatur gehalten. Weitere wichtige Beiträge um das Gebäude zu „heizen“ sind interne Lasten, welche sich aus dem Menschen selber, mit seiner Wärmeabgabe, der Beleuchtung und den Geräten im Gebäude zusammensetzen.

Die Photovoltaikanlage auf dem Dach, deckt ein Drittel des gesamten Strombedarfs ab. Eine Solaranlage, bestehend aus Vakuumröhrenkollektoren, speist Wärme in den Kombispeicher, wo auch ein Teil der Abwärme der gewerblichen Kälte eingespeist wird.

---

Das Erdregister nutzt eine weitere Speichermasse, das Erdreich. Dessen konstante Temperatur steht zur Verfügung um die Außenluft im Sommer abzukühlen und im Winter aufzuwärmen. Im Winter kann zusätzlich durch anfallende Wärme vom Serverraum die Lufttemperatur erhöht werden. Im Sommer wird die kühle Luft, aus dem Erdregister, zur Kühlung des Servers genutzt. Diesen Prozess nennt man Free Cooling-Betrieb, wobei keine Kälteenergie erforderlich ist.

Neben der Luft, der Wärme und der Elektrizität steht das Wasser in besonderer Betrachtung des Wasserforschungsinstituts. Um wertvolles Trinkwasser zu sparen, wird das Regenwasser vom Dach in einem offenen Speicherbecken gesammelt und für die Toilettenspülung gebraucht. Durch wasserfreie Urinale wird ein großer Teil an Wasser eingespart. Der Urin wird, wegen seiner hohen Nährstoffanteile /1/ getrennt gesammelt und dient zu Forschungszwecken.

Der Einsatz schadstoffarmer Baumaterialien sowie Sorgfalt und Verantwortungsbewusstsein beim Umgang mit Bauland und bei der Umgestaltung der näheren Umgebung sind wichtige Aspekte, die zu berücksichtigen sind. So will die Eawag z. B. den Fluss Chriesbach zusammen mit dem Kanton Zürich revitalisieren.

Dass der Weg, den die Eawag mit diesem Bau eingeschlagen hat, erfolgsversprechend ist, zeigen die 4 Preise, die sie bisher für das Gebäude erhalten hat, sowie das große öffentliche Interesse am FC.

Dieses Projekt war nur zu realisieren in Zusammenarbeit mit Bob Gysin + Partner BGP Architekten, der Implenia Generalunternehmung AG und der Bauten und Forschungsanstalten BaFA sowie vielen anderen Ausführungs- oder Planungsfirmen. Die 3-Plan Haustechnik AG war maßgebend bei der Konzeption und Planung involviert und hat nun die Koordination der 2-jährigen Betriebsoptimierungsphase.

Mit diesem Gebäude hat die Eawag einen richtungweisenden Pionierbau erstellt, und das FC hat eine starke Vorbildfunktion für die Bauten von morgen.



---

## **4 Effektive Nutzung (Ist-Situation)**

All diese Maßnahmen (s. Kap. 3) bewirken nichts, wenn sich der Nutzer nicht angemessen verhält. Was nützen die best isolierten Fenster, wenn sie stets offen sind?

In den folgenden Abschnitten werden die relevanten Ist-Werte für die Soll-Ist-Analyse zusammengetragen. Dabei wurden die aktuellen Einstellungen der Technikanlagen, die internen Lasten durch Personen, Geräte und der Beleuchtung im FC ermittelt. Darüber hinaus sind auch die aktuellen Energieverbrauchswerte und die Wetterdaten von Bedeutung.

### 4.1 Technik

Die Einstellungen der Technikanlagen werden entweder vor Ort aufgenommen oder mit dem Gebäudeleitsystem MSRL ausgelesen. Das MSRL ist eine digitale Plattform, mit der Einstellungen vorgenommen oder abgelesen werden. Es werden jegliche Messdaten und Einstellungen aufgezeichnet, die im FC notwendig und vorherrschend sind.

#### 4.1.1 Betriebszeiten der Lüftungs- und Klimaanlage, Erdregister

Die Tabellen 4.1 - 4.6 geben einen Überblick von den Lüftungs- und Klimaanlage und deren Betriebszeiten und Einstellungen. Folgende 3 Einstellungen sind charakteristisch für das Gebäude:

- Einstellung „Tag“: 20°C warme Luft wird in die Büroräume eingebracht.
- Einstellung „Aus“: Die Anlage ist nicht in Betrieb.
- Einstellung „Nacht“: Weist auf die Nachtheizung hin, die unter Abschn. 4.1.5 Temperaturhalteparameter erläutert wird.



Die Lüftungsanlagen WC, Nebenräume und Urintankraum sind 24 Stunden in Betrieb. Bei der Planung wurde nur von 12 Stunden der Einschaltzeiten der Lüftungsanlage WC, Nebenräume ausgegangen.

Bei dieser Anlage kommt ein Kreuzplattentaucher zum Tragen, da es durch direkten Kontakt der stickigen Abluft mit der Frischluft ein Geruchsproblem geben könnte. Somit wird der Abluft die Wärme entzogen und der Frischluft zugeführt, anschließend wird die kalte Abluft übers Dach nach außen geleitet.

Beim Urintankraum gibt es nur ein Abluftsystem, da der Volumenstrom des Lüfters sehr gering ( $\dot{V} = 300m^3/h$ ) ist. Die Abluft wird ohne WRG nach außen geleitet.

Tabelle 4.5. Betriebszeiten Lüftungsanlage LUE 04

| <b>LUE 04</b>           |               | <b>Mensa</b>   |                |              |                 |              |
|-------------------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|
| <b>Einschaltzeiten:</b> | <b>Mo- Fr</b> |                | <b>Sa + So</b> |              | <b>Feiertag</b> |              |
|                         | <b>07-19</b>  | <b>Stufe I</b> | <b>07-22</b>   | <b>Aus</b>   | <b>07-22</b>    | <b>Aus</b>   |
|                         | <b>19-22</b>  | <b>Aus</b>     | <b>22-07</b>   | <b>Nacht</b> | <b>22-07</b>    | <b>Nacht</b> |
|                         | <b>22-07</b>  | <b>Nacht</b>   |                |              |                 |              |

Tabelle 4.6. Betriebszeiten Lüftungsanlage LUE 05

| <b>LUE 05</b>           |               | <b>Küche</b>   |                |            |
|-------------------------|---------------|----------------|----------------|------------|
| <b>Einschaltzeiten:</b> | <b>Mo- Fr</b> |                | <b>Sa + So</b> |            |
|                         | <b>06-19</b>  | <b>Stufe I</b> | <b>07-07</b>   | <b>Aus</b> |
|                         | <b>19-06</b>  | <b>Aus</b>     |                |            |

Bei den Lüftungsanlagen 04 und 05 (Küche und Mensa) gibt es eine Stufenregelung. Die Stufe I läuft jeweils automatisch nach den Einschaltzeiten.

In der Küche ist ein Schalter vorhanden, den das Küchenpersonal manuell auf Stufe II (70% des möglichen Volumenstroms) oder Stufe III (100% des möglichen Volumenstroms) stellen kann.

Die Lüftungsanlage der Mensa ist vollautomatisiert und wird anhand von gemessenen CO<sub>2</sub>-Werten (abhängig von der Zahl der Personen in der Mensa) gesteuert.

Die Wärme aus dem Serverraum wird in die Mischkammer zwischen Erdregister und Monobloc eingebracht. Diese Vorgehensweise

ermöglicht es, die Lufttemperatur zu erhöhen, bevor sie im Monobloc durch zusätzlich bezogene Wärme auf die geforderte Temperatur erhöht wird. Durch die Zufuhr von Frischluft wird weiterhin die Qualität der Zuluft garantiert. Die WRG der KLI 01 und LUE01/03/04 erfolgt mit hochwertigen Rotationswärmetauschern. Für die Küche wird ein Kreislaufverbund eingesetzt.

#### 4.1.2 Betriebszeiten der gewerblichen Kälteanlage

Das Personalrestaurant „aQa“, inklusive Küche, benötigt gewerbliche Kälte, so z.B. für die Kühlschränke oder die Kühlzelle. Im Technikraum befinden sich die dazugehörigen Verdichter und Kälteanlagen. Deren Abwärme wird auch über ein WRG-System genutzt und bei Bedarf in den Kombispeicher eingespeist oder direkt in das Rückkühlnetz geleitet. Zum jetzigen Zeitpunkt kann nur eine Aussage über die Rückkühlung ins Wärmenetz gemacht werden.

Mit diesen Angaben und den Angaben des Herstellers der Kälteanlagen wurde die Abwärme bestimmt. Bei einer Annahme von  $t = 8 \text{ h/d} / 3 /$

(Betriebsstunden pro Tag) und einer Abwärmeleistung von  $\dot{Q}_K = 12,1 \text{ kW}$

/6/ ergibt dies eine Abwärmeenergie  $Q_{\text{gew.K.}} = \dot{Q}_K \cdot t = 96,8 \text{ kWh/d}$ . Von dieser Wärme wird die ins Rückkühlnetz eingespeiste Wärme abgezogen, um die Wärme, die in den Kombispeicher eingespeist wird, zu erhalten.  $Q_{\text{wrg}} = Q_{\text{gew.K.}} - Q_{\text{RK}}$

Eine schematische Übersicht ist durch Abb. 5.01. dargestellt und die genauen Werte sind in Abb. 5.02.-5.04. wiedergegeben.

#### 4.1.3 Betriebszeiten des Warmwassersystems

Die Zirkulationspumpe des Warmwasserkreislaufs läuft jeden Tag. Dadurch zirkuliert das Warmwasser ständig im Warmwasserkreislauf, auch wenn kein Warmwasser benötigt wird. Somit gibt das Wasser, während es den Kreislauf durchläuft, immer Wärme ab (Abb. 4.01.), da die Wasserrohre nicht wärmeverlustrfrei sind. Deshalb kühlt sich das

Warmwasser kontinuierlich ab und unnötige Wärmeenergie wird bezogen, um das Warmwasser auf dem Temperaturlevel von  $\vartheta_{\text{WW}} = 55^\circ\text{C}$  zu halten.

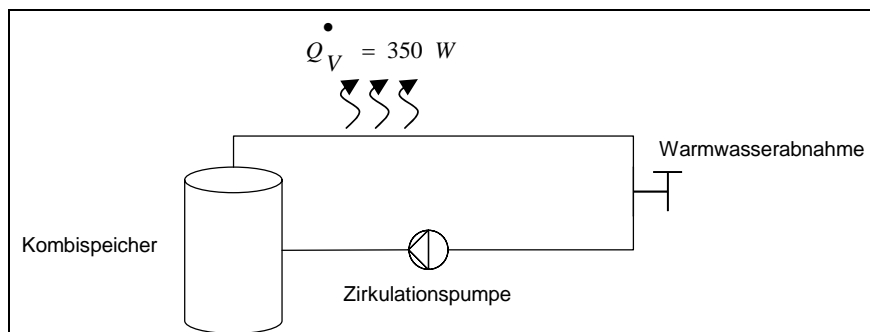


Abb. 4.01. - Vereinfachter schematischer Aufbau des Warmwasserkreislaufs

Mit einer Verlustleistung über das ganze Rohrleitungssystem von  $\dot{Q}_V = 350\text{W}$  (Quelle: 3-Plan Haustechnik AG) ergibt sich ein jährlicher Wärmeverlust von  $Q_V = 3.066\text{MWh/a}$ . Dies ist doppelt so viel, wie in der Planung angenommen wurde!

Jeden Abend, von Montag bis Freitag, werden 50l Warmwasser zur Reinigung des gesamten Gebäudes verwendet. Dieser Wert wurde hinterfragt, da in Tabelle 4.10. - Wasserbilanz der „Rest“ des Gebäudes einen sehr hohen Warmwasserverbrauch aufweist. Dafür wurde bisher noch keine vernünftige und logische Erklärung gefunden.

#### 4.1.4 Stellung der Thermostatventile im EG/UG

Im Erdgeschoss und im Untergeschoss sind Heizkörper vorhanden; diese sind mit Thermostatventilen ausgestattet. Dadurch reguliert sich die Temperatur selbst.

Geplant war, dass die Thermostatventile die Temperatur auf  $20^\circ\text{C}$  regeln bei der Stellung 3. Bei der Kontrolle am 16.01.07 mit Herrn Mauz vom technischen Dienst der Eawag, wurde festgestellt, dass alle Ventile voll aufgedreht sind (Stellung 5). Die Heizkörper strahlen also immer maximale Wärme ab. Im Copycenter ist aufgefallen, dass

---

die Thermostatventile voll aufgedreht, aber die Heizkörper nicht warm waren.

#### 4.1.5 Temperaturhalteparameter

Die auf dem Dach installierte Wetterstation misst verschiedene Wetterwerte, unter anderem die Außentemperatur. Daraus wird eine Außentemperatur über 24 Stunden gemittelt. Letztere ist ausschlaggebend für die Betriebszeiten der Nachtheizung.

Bei 0-5°C 24h-Außentemperatur erfolgt eine Nachtheizung nur an den Wochenenden. Wenn die Temperatur unter 0°C über 24 Stunden lang fällt, wird jede Nacht geheizt. Falls dies erforderlich ist, geschieht dies im Zeitraum von 22 bis 7 Uhr. Bei der Nachtheizung wird das Lüftungssystem genutzt, um 36°C heiße Luft, welche in den Monoblocs dafür aufbereitet wird, in die Büroräume durch hochinduktive Luftauslässe einzuspeisen.

Dieser Vorgang kann nur über die Luftzufuhr reguliert werden. Das heißt, wenn die Temperatur, gemessen von Temperaturfühlern in jedem Büroraum, 22°C erreicht hat, wird die Luftzufuhr unterbrochen. Die Nachtheizung kann nicht durch verschieden warme Luft realisiert werden.

#### 4.2 Interne Lasten (Personen, Geräte, Beleuchtung)

Die folgenden Tagesprofile zeigen die Aufsummierung der internen Lasten (Personen, Geräte, Beleuchtung jeweils in  $W/m^2$ ) bei der jetzigen Auslastung des FC und dessen verschiedenen Zonen an. Bei den Profilen der Büros Süd, West, Nord und des Empfangs wurden die Geräte- und Beleuchtungsleistungen abhängig von der Personenauslastung ermittelt. Bei den anderen Zonen ist die Beleuchtungs- und Gerätenutzung immer gleich, egal ob 10 oder 20 Leute einen Raum nutzen. Die Stunde 1 verläuft von 0 Uhr bis 1 Uhr. Ein bedeutender Wert zum Vergleichen oder Bestimmen der internen Lasten ist die Wärmeenergiemenge [ $Wh/m^2d$ ]. Diese wird pro Zone betrachtet und anhand der SWKI verglichen.

Bei der Küche (Abb. 4.02.) sind die Geräte relevant, da diese (z.B. Gas-Kombisteamer) viel Wärme abgeben. Die Beleuchtung und die Personen haben praktisch keinen Einfluss auf die Lasten. Mit  $1341,0 \text{ Wh/m}^2\text{d}$  im Vergleich zum vereinbarten Profil nach SWKI /2; S.40/ spricht man hier von hohen Lasten.

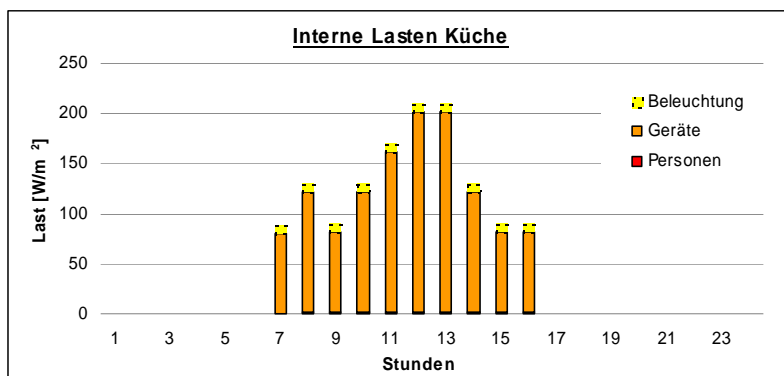


Abb. 4.02. - Interne Lasten Küche

Bei der Mensa (Abb. 4.03.) sind kaum Lasten durch Geräte vorhanden. Die Ansammlung der Personen ist hier die wichtigste Wärmequelle. Die Beleuchtung wird bedarfsmäßig geregelt. Mit  $347,7 \text{ Wh/m}^2\text{d}$  ist man im Bereich von hohen Lasten /2; S.36/.

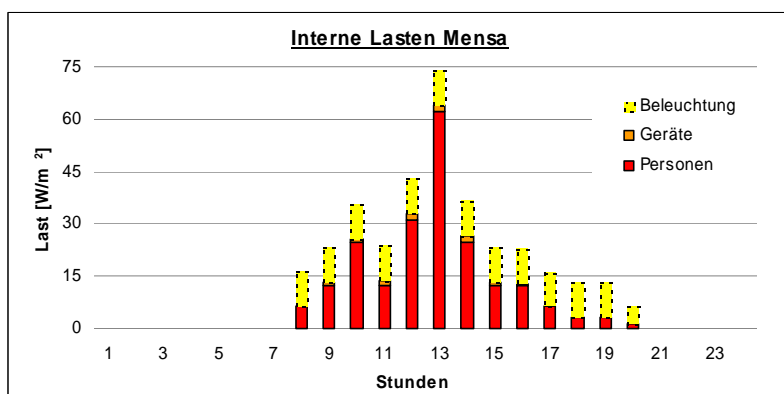


Abb. 4.03. - Interne Lasten Mensa

In der grossflächigen Bibliothek (Abb. 4.04.) hat die Beleuchtung den absoluten Einfluss, da überall in der Bibliothek immer das Licht brennt. Die Personen und die Geräte haben auf die Fläche verteilt kaum oder nur geringen Einfluss. Somit kommt man auf eine tiefe Wärmelast /2; S.28/ von  $125,9 \text{ Wh/m}^2\text{d}$ .

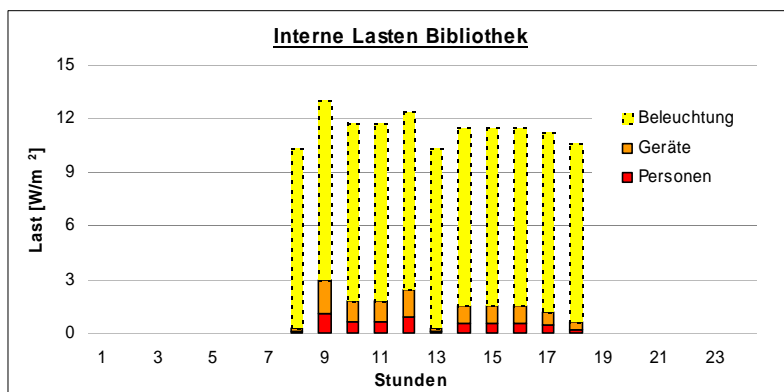


Abb. 4.04. - Interne Lasten Bibliothek

Beim Copycenter (Abb. 4.05) ist die Aufteilung der Lasten zwischen Geräten und Beleuchtung gleich. Hier sind die Personen fast vernachlässigbar. Mit 196,2 Wh/m<sup>2</sup>d spricht man von guten mittleren Wärmelasten /2; S.12/.

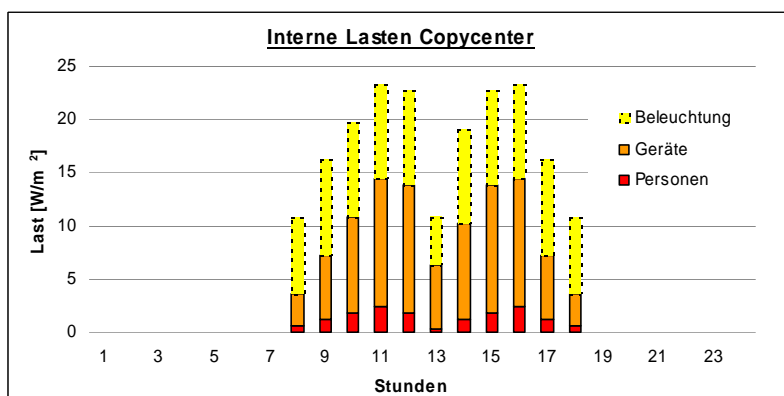


Abb. 4.05. - Interne Lasten Copycenter

Der Multimediarraum (Abb. 4.06.), ein kleiner Büroraum, aber mit vielen Geräten, wird nicht oft genutzt, erzeugt trotzdem viel Wärme. Er ist mit 199,7 Wh/m<sup>2</sup>d, im Vergleich mit einer Büronutzung zwischen mittleren und hohen Wärmelasten /2; S.16/ zu finden.



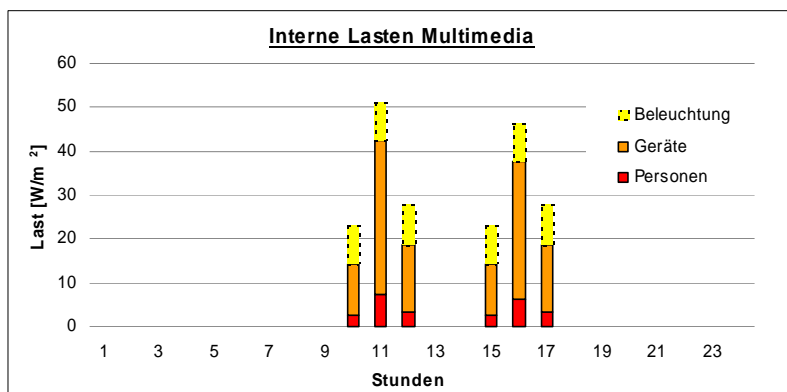


Abb. 4.06. - Interne Lasten Multimedia

Der Hörsaal (Abb. 4.07) hat keine gute Auslastung. Bei dem Großen Volumen spielt die wenigen Geräte keine Rolle und somit ist die Auslegung mit Personen entscheidend. Der Hörsaal ist bei jetziger Nutzung mit 162.9 Wh/m<sup>2</sup>d sehr tief als Wärmelasten /2; S.30/.

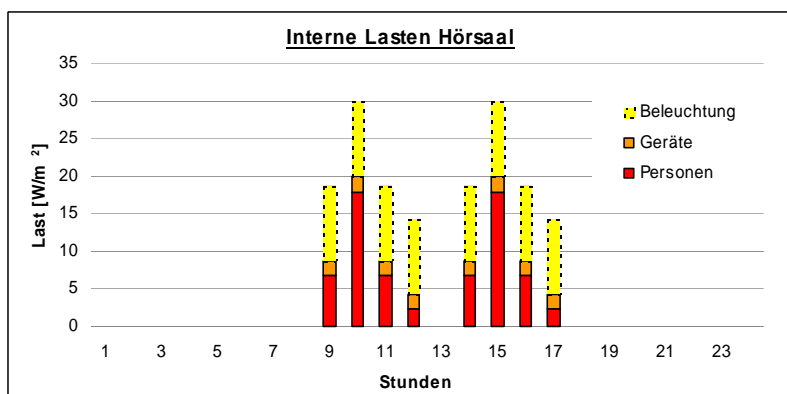


Abb. 4.07. - Interne Lasten Hörsaal

Die Seminarräume (Abb. 4.08.) werden am Vormittag stärker genutzt als am Nachmittag. Trotzdem ist die Auslastung nicht optimal und mit 107,8 Wh/m<sup>2</sup>d als tiefe interne Last /2; S.30/ zu sehen.

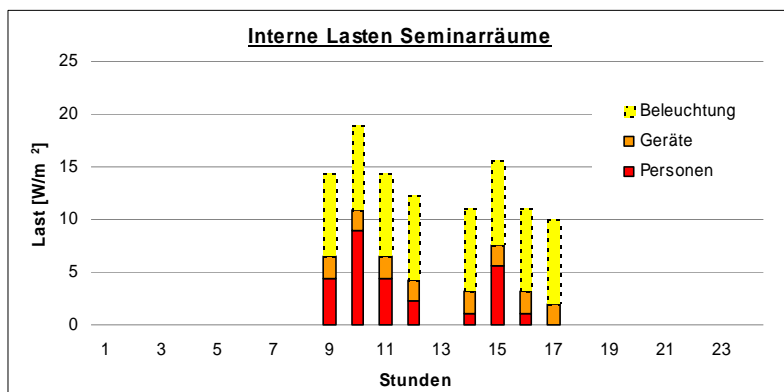


Abb. 4.08. - Interne Lasten Seminarräume

Die Besprechungszimmer (Abb. 4.09.) werden noch weniger genutzt als die Seminarräume und haben mit 88,8 Wh/m²d sehr tiefe Lasten /2; S.16/ pro Tagesprofil.

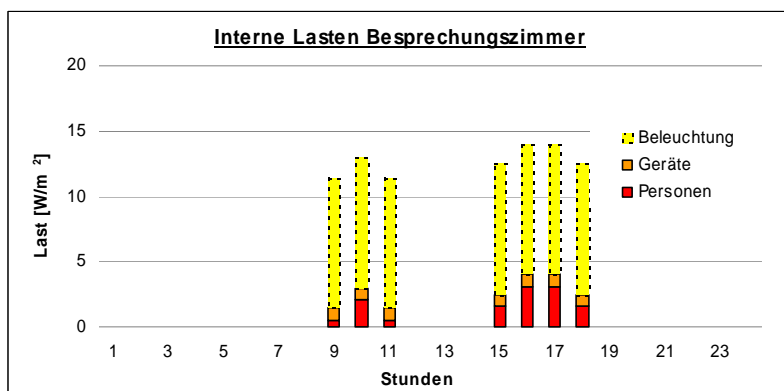


Abb. 4.09. - Interne Lasten Besprechungszimmer

Die Sitzungsboxen (Abb. 4.10.) werden dagegen häufiger und effektiver genutzt. Diese liegen mit 136,5 Wh/m²d zwischen tiefen und mittleren Wärmelasten /2; S.16/.

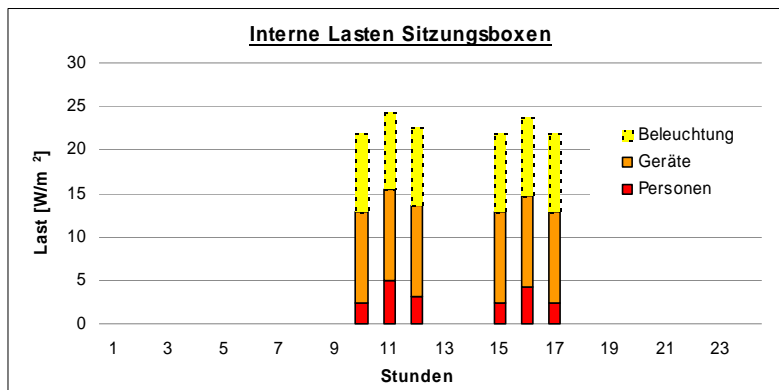


Abb. 4.10. - Interne Lasten Sitzungsboxen

Bei den Büros Ost (Abb. 4.11.) und West (Abb. 4.12.) mit 143,6 bzw. 146,4 Wh/m<sup>2</sup>d, kann man von tiefen Wärmelasten sprechen. Die Büros Nord (Abb. 4.13.) sind mit 104,4 Wh/m<sup>2</sup>d, hinsichtlich Winterfall, noch tiefer und als kritisch anzusehen /2; S.12/.

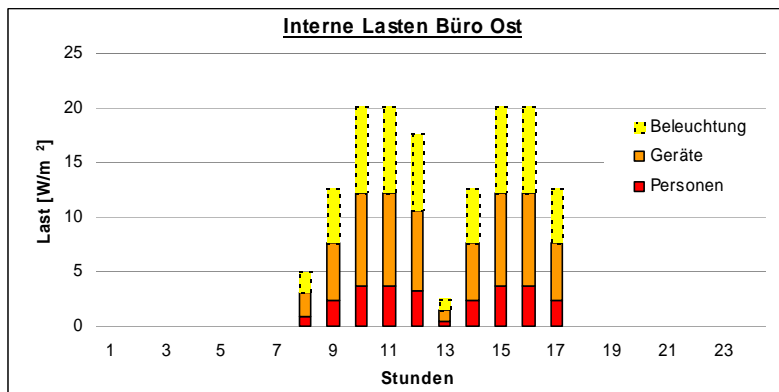


Abb. 4.11. - Interne Lasten Büro Ost

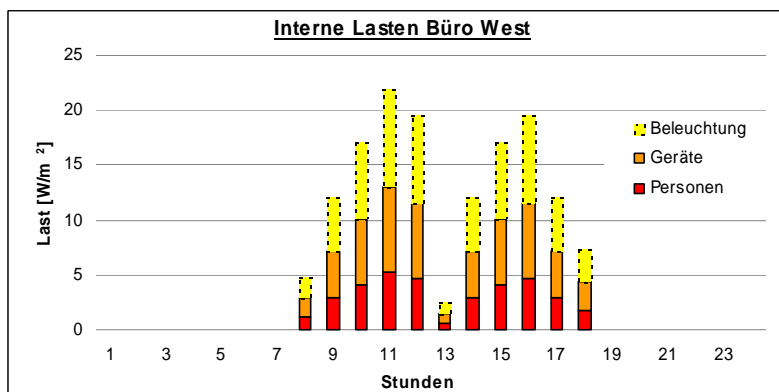


Abb. 4.12. - Interne Lasten Büro West

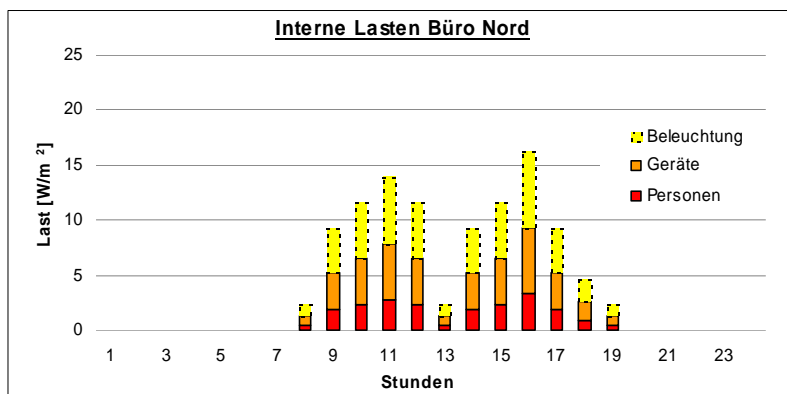


Abb. 4.13. - Interne Lasten Büro Nord

Beim Atrium (Abb. 4.14.) ist das Licht als Wärmequelle sehr dominant, da fast überall das Licht meistens brennt. Insgesamt zählt es mit einer Wärmeenergiemenge von 199,9 Wh/m<sup>2</sup>d zu den hohen Wärmelasten /2; S.18/.

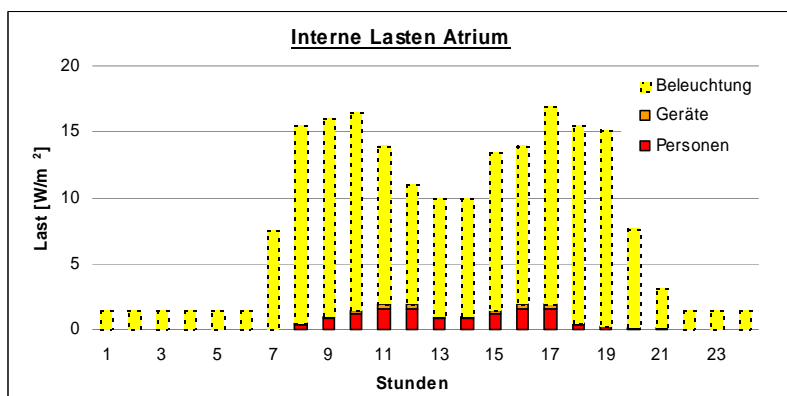


Abb. 4.14. - Interne Lasten Atrium

Beim Empfang (Abb. 4.15) sind die Beleuchtung und die Nutzung der Geräte bedeutend. Bei einer Wärmeenergiemenge von 145,2 Wh/m<sup>2</sup>d spricht man hier von tiefen Lasten /2; S.12/.

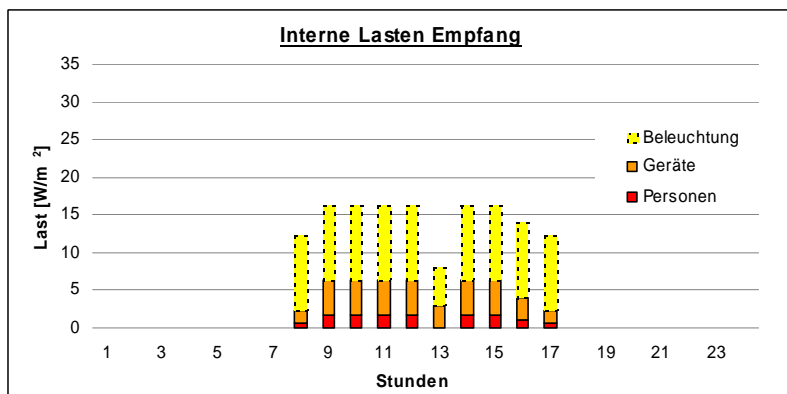


Abb. 4.15. - Interne Lasten Empfang

---

Die Technikräume und weitere Zonen sind vernachlässigbar, da sie auf die Gesamtbilanz keinen Einfluss haben. Wie man anhand der Tagesprofile erkennen kann, sind die meisten Zonen zu wenig genutzt, d.h. die internen Lasten fehlen. Die Auswirkungen und Folgen werden im Abschnitt 5.2. am Beispiel eines Büros Ost dargestellt.

#### 4.3 Auswertung Frühwinterperiode Oktober bis Dezember 2006

Die Auswertung der Frühwinterperiode geschieht anhand der dazugehörigen Wetterdaten und der Energiebilanzen (Tabellen 4.7-4.11). Die darin angegebenen Monatsmittelwerte setzen sich aus den gemessenen Verbrauchswerten zusammen. Die Bilanzierung erfolgt durch Subtraktion der gesamten „Inputs“ von den gesamten „Outputs“ eines Mediums pro Profitcenter. Die Anhänge 1-5 geben die einzelnen Bilanzen, der Messdatenerfassung, grafisch wieder.

##### 4.3.1 Wetterdaten Oktober bis Dezember 2006

Zur Nachsimulation der effektiven Werte mit Hilfe vom TRNSYS (dynamisches Simulationsprogramm) werden die folgenden Wetterdaten von der Empa- und Eawagwetterstation betrachtet und verglichen.

Abbildung 4.16. stellt die 24h-Außentemperaturen von der Empa und der Eawag gegenüber. Die Verläufe der Grafen sind sehr ähnlich. Bei den Werten der Eawag-Wetterstation gab es Unregelmäßigkeiten bei der Aufzeichnung der Werte im MSRL; somit entsteht eine Verzerrung der Eawag-Werte. Für die Simulation im TRNSYS werden daher die Daten von der Empa-Wetterstation genommen.

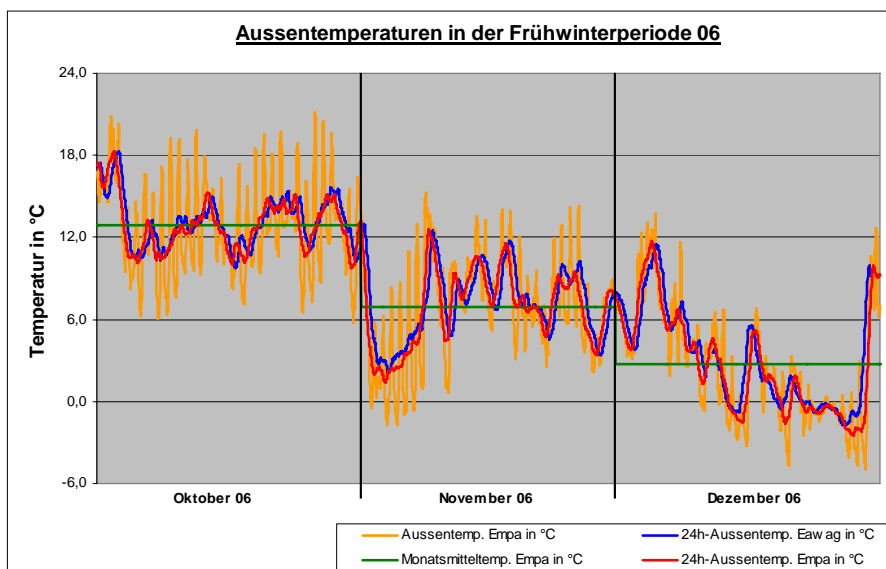


Abb. 4.16. - Außentemperaturverläufe der Frühwinterperiode 2006

Die Werte in Abb. 4.16. zeigen, dass die Außentemperatur für diese Monate zu hoch ist. Die Monatsmitteltemperaturen der Station Zürich SMA betragen im Oktober 9,9°C, für November 4,1°C und für Dezember 1,6°C /5/. Die vorherrschenden Monatsmitteltemperaturen von 12,9°C für den Oktober 2006, von 6,9°C für November 2006 und 2,7°C für den Dezember 2006 sind alle höher. Somit war das FC noch keinen tiefen und somit kritischen Temperaturen ausgesetzt.

Um weitere Aussagen treffen zu können, wurden die Lichtstrahlungen und die Globalstrahlungen miteinander verglichen. Bei der Globalstrahlung (Abb. 4.17.) zeichnet sich das gleiche wie oben bei der Temperatur ab. Die Werte korrelieren und sind somit aussagekräftig und verzerren die Simulation nicht.

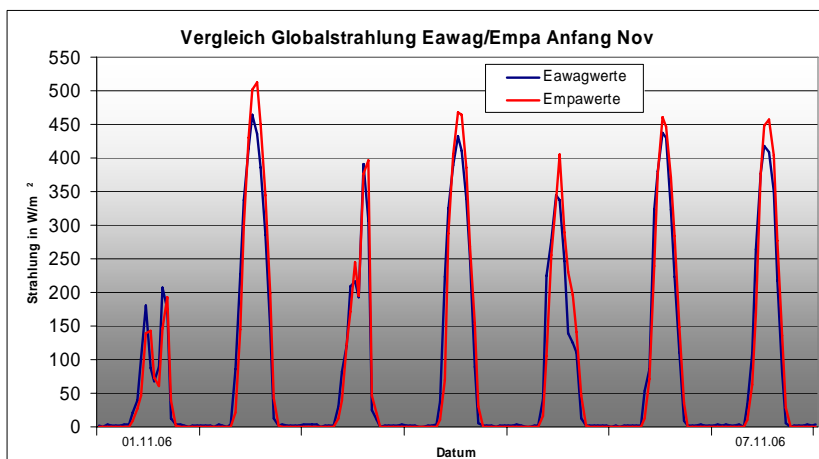


Abb. 4.17. - Globalstrahlungsvergleich Anfang November 2006

Bei den Lichtstrahlungswerten (Abb. 4.17.) allerdings zeichnen sich große Unterschiede ab. Die Werte der Eawag sind bis zu doppelt so hoch wie die von der Empa. Zurzeit wird geprüft, ob die beiden Wetterstationen bei der Lichtstrahlung überhaupt miteinander verglichen werden können, da diese andere Einstellungen haben und andere Anlagentypen sind. Es könnte aber auch an einer Verunreinigung der Empa-Wetterstation oder einer sonstigen Beeinträchtigung der Messfühler liegen.

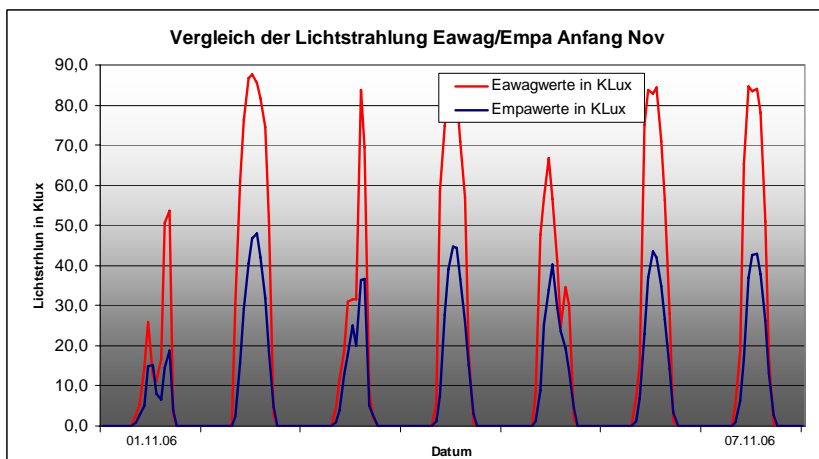


Abb. 4.18. - Lichtstrahlungsvergleich Anfang November 2006

Für die Simulation in TRNSYS wurden die Werte der Empa-Wetterstation genommen.

#### 4.3.2 Wärmebilanz

Es lassen sich noch keine genauen Aussagen über die Bilanz machen, da gewisse Input- oder Verbraucherwerte fehlen. Diese Probleme werden im Rahmen der Betriebsoptimierung aufgenommen und gelöst.

Man kann erkennen, dass zum Ende des Jahres mehr Wärme gebraucht wurde. Deutlich zu erkennen ist auch wie die Leistung der Solaranlage sinkt. Die Wärme der WRG - gew. Kälte wurde aus Annahmen ermittelt und ist im Abschnitt 4.1.2. erläutert und wird bei der Wärmebilanz des Kombispeichers (Abschnitt 5.1) erst eine Bedeutung finden. Da die die Wärme der WRG noch nicht messtechnisch erfasst wird, ist sie für die Wärmebilanz nicht relevant.

Tabelle 4.7. Wärmebilanz Heizung + Warmwasser

| Wärmebilanz Heizung + WW |   |               | Medium in kWh                      | Okt 06 | Nov 06 | Dez 06 |
|--------------------------|---|---------------|------------------------------------|--------|--------|--------|
| Verbraucher              | + | Küche / Mensa | Warmwasser Küche/Mensa*            | 326    | 360    | 343    |
|                          | + | Server        | Heizwärme Küche/Mensa              | 123    | 2816   | 2241   |
|                          | + | Rest          | Warmwasser Rest*                   | 2326   | 2343   | 2320   |
|                          |   |               | Heizwärme Rest                     | 2099   | 4724   | 13844  |
|                          | + | Verluste      | Speicherverluste                   | ?      | ?      | ?      |
| Input                    |   |               | Leitungsverluste Lüftung/Differenz | ?      | ?      | ?      |
|                          |   |               | Wärme Arealheizung                 | 3222   | 12443  | 20681  |
|                          | - | Total         | Wärme Solar                        | 2109   | 1184   | 480    |
|                          |   |               | Wärme WRG - gew. Kälte             | ?      | ?      | ?      |

\* - gerechnet anhand von Monatsmittelwerten von Wasserbilanz,  $Q=m \cdot c \cdot \Delta T(50K)$

Die Werte der Rückkühlung sind für die Abschnitte 4.1.2 und 5.1 relevant.

Tabelle 4.8. Wärmebilanz Rückkühlnetz

| Wärmebilanz Rückkühlung |   |               | Medium in kWh     | Okt 06 | Nov 06 | Dez 06 |
|-------------------------|---|---------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Verbraucher             | + | Küche / Mensa | Rückkühlung Küche | 1448   | 1415   | 1033   |
|                         | + | Server        |                   | -      | -      | -      |
|                         | + | Rest          |                   | -      | -      | -      |
| Input                   | - | Total         | Rückkühlung Total | 1448   | 1415   | 1033   |



#### 4.3.1 Elektrobilanz

Der Stromverbrauch des Servers ist sehr konstant, da die Server auch während der Urlaubstage im Dezember in Betrieb sind. Bei der Küche/Mensa und Rest sind die Urlaubstage deutlich am Rückgang des verbrauchten Stromes zu erkennen.

Tabelle 4.9. Elektrobilanz

| Elektrobilanz |   |               | Medium in kWh         | Okt 06  | Nov 06 | Dez 06 |
|---------------|---|---------------|-----------------------|---------|--------|--------|
| Verbraucher   | + | Küche / Mensa | Elektro Küche/Mensa * | **10141 | 10183  | 8624   |
|               | + | Server        | Elektro Server        | 11442   | 10797  | 11067  |
|               | + | Rest          | Elektro Rest          | **16220 | 16206  | 8352   |
| Input         | - | Total         | Total Elektro ab Netz | 33860   | 34710  | 26515  |
|               |   |               | PV-Anlage             | 4209    | 2460   | 1550   |

\* - zur Zeit inkl. gewerblicher Kälte

\*\* - 2 Sprünge in Elektro Rest übrige Verbraucher am 9.10. 11Uhr und 11.10. 10Uhr sowie in Küche/Mensa, Periode wurde ausgelassen

#### 4.3.4 Gasbilanz

Gas wird nur von der Küche bezogen um damit die Kombisteamer zu betreiben. Der Verbrauch ist konstant.

Tabelle 4.10. Gasbilanz

| Gasbilanz   |   |               | Medium in m <sup>3</sup> | Okt 06 | Nov 06 | Dez 06 |
|-------------|---|---------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| Verbraucher | + | Küche / Mensa | Gas Küche                | 121    | 112    | 124    |
|             | + | Server        | -                        | -      | -      | -      |
|             | + | Rest          | -                        | -      | -      | -      |
| Input       | - | Total         | Gas Total                | 121    | 112    | 124    |

#### 4.3.5 Wasserbilanz

Der Wasserverbrauch ist konstant über die drei Monate. Ausser im November wurde von der Küche/Mensa mehr Kaltwasser bezogen.

Wichtig auch für die Wärmebilanz ist warum der Rest genauso viel Warmwasser wie Kaltwasser verbraucht. Dieser Wert ist sogar höher als der Verbrauchswert an Warmwasser von der Küche/Mensa.

Tabelle 4.11. Wasserbilanz

| Trinkwasserbilanz |      |                  | Medium in m <sup>3</sup> | Okt 06 | Nov 06 | Dez 06 |
|-------------------|------|------------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| Verbraucher       | +    | Küche /<br>Mensa | Warmwasser               | 5.6    | 6.2    | 5.9    |
|                   |      |                  | Kaltwasser               | 19.8   | 27.9   | 19.2   |
|                   |      |                  | Kaltwasser enthärtet     | 7.8    | 6.2    | 7.4    |
|                   | +    | Server           | -                        | -      | -      |        |
| +                 | Rest | Warmwasser       | 40.0                     | 40.3   | 39.9   |        |
|                   |      | Kaltwasser*      | 42.1                     | 43.4   | 41.3   |        |
| Input             | -    | Total            | Kaltwasser Roh*          | 115.3  | 124.0  | 113.7  |

\* - im Moment noch inkl. Nachspeisung Regenwasser

#### 4.3.6 Kältebilanz

Wie zu erkennen wird im November und Dezember Kälte bezogen um den Serverraum zu kühlen obwohl eigentlich genügend kalte Luft über die Außenluft (siehe Abb. 4.16.) realisiert werden konnte. Der Klimaanlage aber zeigte eine Störung über lange Zeit an und somit wurde eine Überhitzung verhindert.

Tabelle 4.12. Kältebilanz

| Kältebilanz |   |                  | Medium in kWh | Okt 06 | Nov 06 | Dez 06 |
|-------------|---|------------------|---------------|--------|--------|--------|
| Verbraucher | + | Küche /<br>Mensa | -             | -      | -      | -      |
|             | + | Server           | Kälte Server  | 2.2    | 4840.0 | 5091.4 |
|             | + | Rest             | Kälte Rest    | *0.0   | 0.0    | 29.1   |
| Input       | - | Total            | Kälte         | 2.2    | 4840.0 | 5120.5 |

\* zw. 9.10. und 16.10. springt totaler Zählerwert von 900 auf 133 kWh, aber dQ=0

## 5 Vergleich mit Modellrechnung (Soll-Ist-Vergleich)

Um die gemessenen Daten (s. Kap. 4) mit den gerechneten Daten vergleichen zu können, wurde die Modellrechnung mit Hilfe von TRNSYS

mit den effektiven Wetterdaten, Warmwasserverbrauchsdaten, Technikeinstellungen und den effektiven Nutzungsdaten durchgeführt. Die Wärmebilanz wurde am Kombispeicher monatsweise erstellt. Weiter wurde der Temperaturverlauf eines typischen Büros /3/ errechnet und mit dem gemessenen Werten verglichen.

### 5.1 Wärmebilanz des Kombispeichers

Das Prinzip des Kombispeichers basiert darauf, dass erst die nutzbare Abwärme der gewerblichen Kälteanlagen ( $Q_{wrg}$ ) und dann die Wärme der Solaranlage ( $Q_{sol}$ ) eingespeist wird, um ein höheres Temperaturniveau zu erreichen. Das Arealwärmenetz ( $Q_{wn}$ ) stellt den Restbedarf an Wärme für die Warmwasseraufbereitung ( $Q_{ww}$ ) und für die statische Heizung ( $Q_{hea}$ ) sicher.

Ein weiterer Output neben den beiden letztgenannten ist der Wärmeverlust des Kombispeichers ( $Q_{los}$ ).

Die Bilanzierung des Kombispeichers beruht auf dem Vergleich der effektiven Werte und den Werten der TRNSYS-Simulation pro Monat.

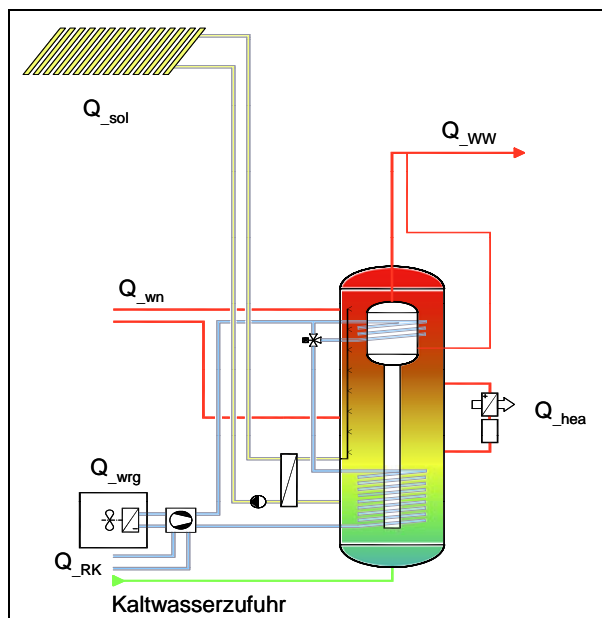


Abb. 5.01. - Schema Kombispeicherbilanz (Quelle: Bob Gysin + Partner, BGP Architekten, 2006, verändert: Bauer, 2007)

Wie man sieht, unterscheiden sich die Bilanzen sehr. Die Solarerträge im Oktober und die Wärmeverluste sind fast gleich. Die Werte der Wärmeverluste der ersten Simulation vom 15.03.06 wurden für die effektiven In- und Outputs übertragen. Der effektive Warmwasserverbrauch und der von TRNSYS gleichen sich sehr.

Den allgemein höheren Wärmeverbrauch für die statische Heizung kann man auf folgende Punkte zurückführen: auf die neuen Temperaturhalteparameter (Abschnitt 4.1.1.), darauf dass im TRNSYS die Nachheizung noch nicht funktioniert und dass bei den effektiven Werten die Nachheizung öfter manuell geschaltet wurde, obwohl dies nicht notwendig war. Die max. Stellung der Thermostatventile ist ein weiteres Kriterium für den höheren Verbrauch.

Im TRNSYS wurden keine Wärmebrücken berücksichtigt, wodurch der Wärmeverbrauch nach oben getrieben wird. Somit muss man die TRNSYS-Berechnung nochmals überprüfen.

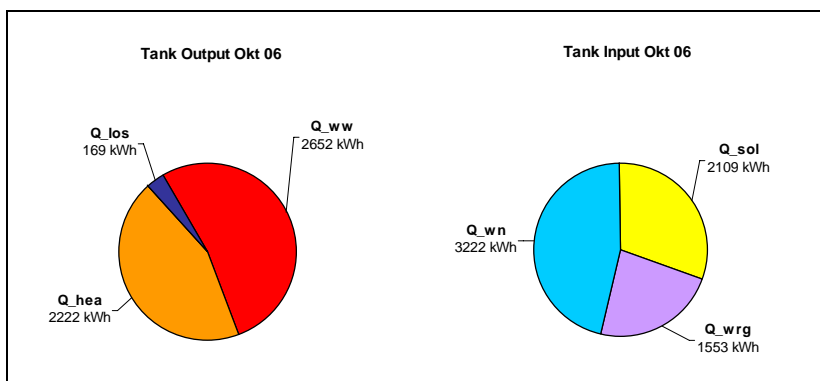


Abb. 5.02. - Effektive Wärmebilanz Kombispeicher Oktober 06

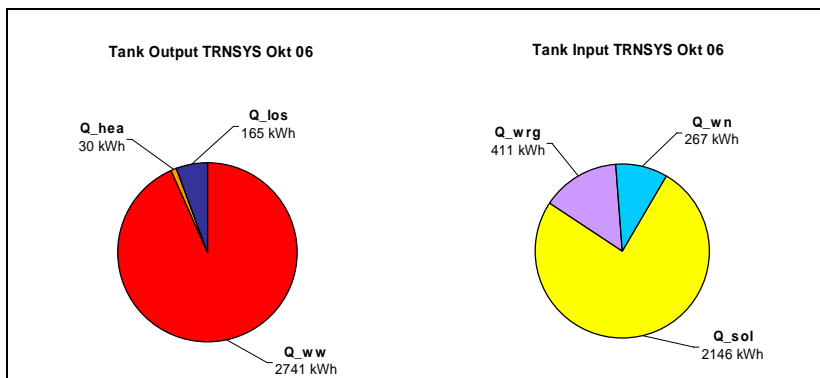


Abb. 5.03. - TRNSYS-Wärmebilanz Kombispeicher Oktober 06

Die effektiven und berechneten Werte der Wärme für die statische Heizung weichen sehr stark voneinander ab.

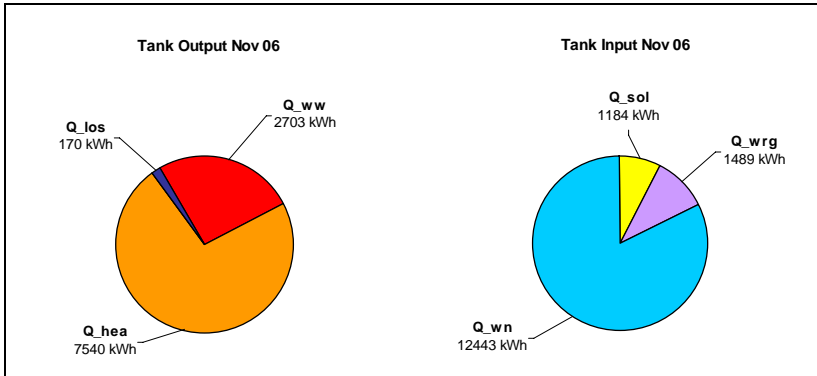


Abb. 5.04. - Effektive Wärmebilanz Kombispeicher November 06

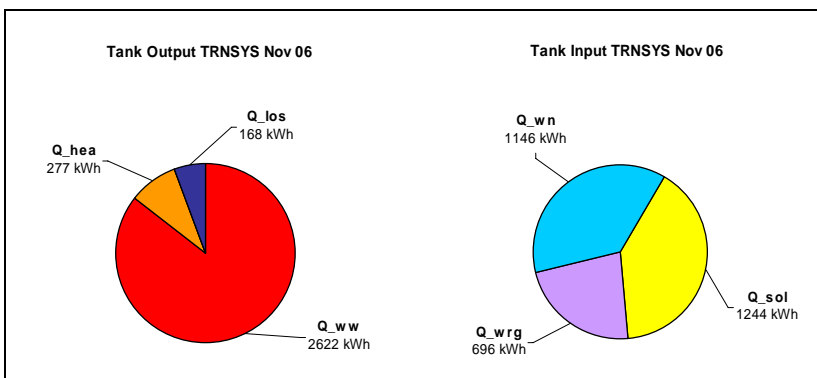


Abb. 5.05. - TRNSYS-Wärmebilanz Kombispeicher Oktober 06

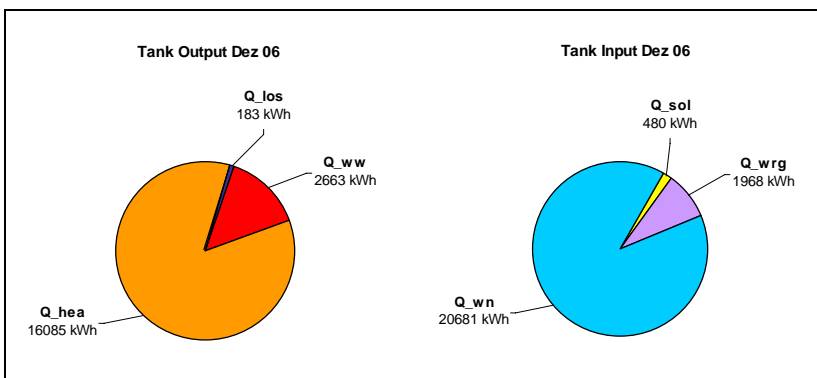


Abb. 5.06. - effektive Wärmebilanz Kombispeicher Dezember 06

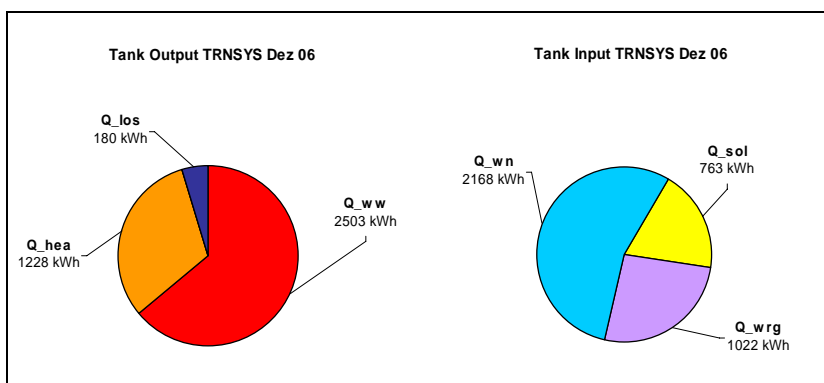


Abb. 5.07. - TRNSYS-Wärmebilanz Kombispeicher Dezember 06

Die Werte der  $Q_{wrg}$  weisen große Unterschiede auf, da die effektiven Werte der  $Q_{wrg}$  nur auf Schätzungen und Vermutungen beruhen (s. Abschn. 4.1.2). Es sind noch keine direkten Zählerwerte vorhanden und somit ist keine konkrete Aussage möglich.

Allgemein muss man sagen, dass die Simulation geprüft und dann neu berechnet werden muss.

## 5.2 Temperaturverläufe

Am Beispiel eines Ostbüros (3 Mitarbeiter) wird nun auch ein Vergleich zwischen Simulation und tatsächlicher Nutzung durchgeführt. In Abb. 5.08. sind die Außentemperaturen und die Raumtemperaturen im Zeitraum vom 8.12. bis 15.12.06 dargestellt. Diese Periode wurde gewählt, weil hier die Nachtheizung am Wochenende und in der Woche läuft aufgrund der vorherrschenden Außentemperaturen.

Die Abb. soll die zeitliche Nutzung des Raumes veranschaulichen und auf den typischen Tagesverlauf verweisen. Es ist zu erkennen, dass immer um 7 Uhr Personen in den Raum kommen (Anstieg blauer Graph) und ihn meistens 18 Uhr wieder verlassen (Abfall blauer Graph). Die Charakteristik der Raumtemperaturen von der Simulation und der effektiven Nutzung sind sehr ähnlich.

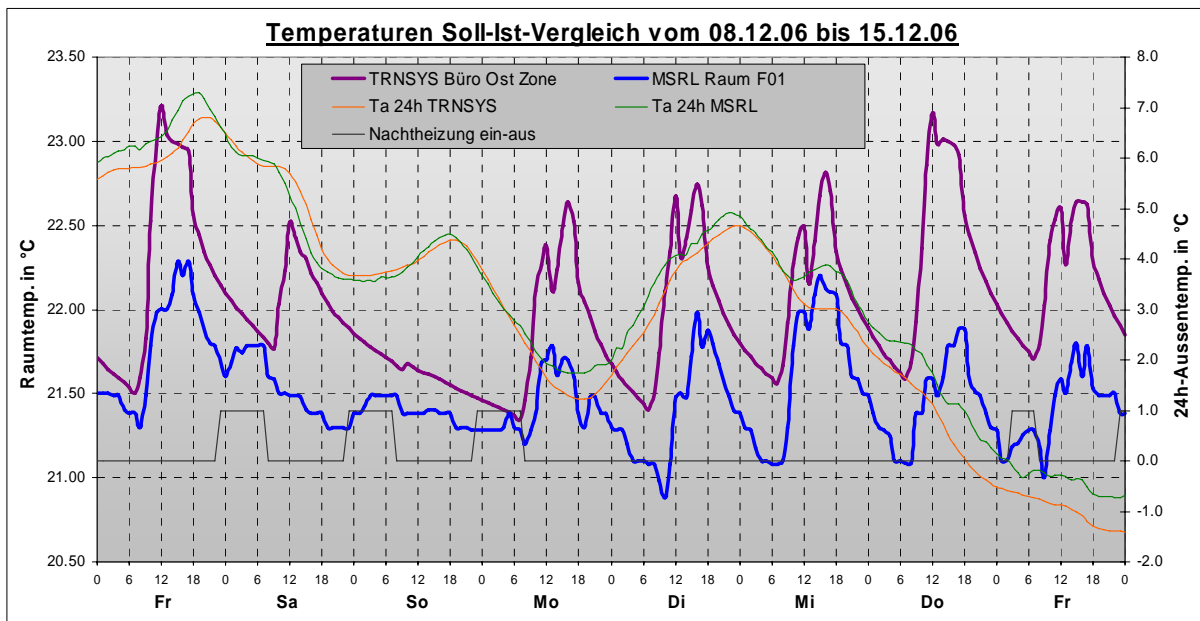


Abb. 5.08. - Temperaturvergleich Eawag/Empa Büro Ost Zone

Abbildung 5.09. stellt verschiedene Ereignisse aufgezeigt und deren Zusammenhänge mit dem Temperaturverläufen dar.

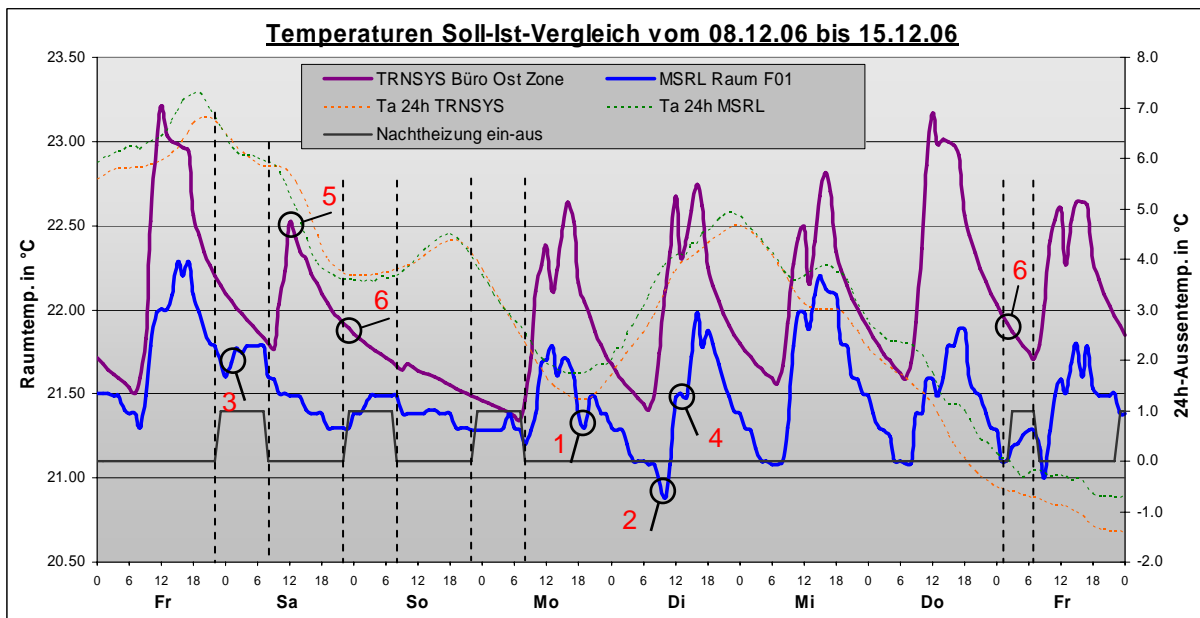


Abb. 5.09. - Charakteristik der Temperaturverläufe

1 Putzpersonal (interne Last)

Der Anstieg der Raumtemperatur kann vom Putzpersonal ausgehen, da gegen 19 Uhr immer geputzt wird und sich das Putzpersonal im FC aufhält. Es könnte aber auch ein Mitarbeiter sein, der nochmals im

---

Büro für eine Stunde arbeitet. Dieses Ereignis ist bei der Simulation nicht betrachtet, somit kein Anstieg des Graphen.

## 2 Manuelle Fensterlüftung

Hier sieht man deutlich, dass die Temperatur in den vorigen Stunden konstant war und gegen 7 Uhr, Arbeitsbeginn, kurzzeitig absinkt. Dies kann auf die manuelle Fensterlüftung zurückzuführen sein (s. auch Kap. 6). Eine manuelle Fensterlüftung kann, falls regelmäßig ausgeführt, zum konstanten Absinken der Raumtemperatur führen. Bei der Simulation wurde solch eine Maßnahme nicht einkalkuliert.

## 3 Manuelle Temperaturhaltung

In dieser Nacht wurde die Nachtheizung manuell gestartet um eine Funktionsüberprüfung vorzunehmen. Bei den vorherrschenden 6,5°C 24h-Außentemperatur war dies aber nicht notwendig, da die Nachtheizung erst ab 5°C einsetzen sollte. Somit ist kein Anstieg des Graphen von der Simulation sichtbar. Beim Verlauf vom Raum F01 sackt die Temperatur kurzzeitig ab, was auf ein Umwälzen der kühleren Luft in den Rohrleitungen zurückzuführen wäre. Dann sieht man aber gut die Erwärmung des Raumes.

## 4 Mitarbeiter (interne Last)

Hier sieht man sehr deutlich, dass ein oder mehrere Arbeiter den Raum kurzfristig verlassen haben. Es könnte jemand zum Mittagessen gegangen sein. Bei Graphen von TRNSYS ist dies deutlicher erkennbar.

## 5 Sonnenstrahlung

Bei der TRNSYS-Simulation steigt hier die Kurve von etwa 8 Uhr bis 12 Uhr an. Man könnte annehmen, dass dies durch starke Sonnenstrahlung verursacht wurde. Im realen Verlauf heizte sich der Raum F01 aber nicht auf. Dies könnte man auf die Lamellensteuerung zurückführen, die nicht optimal dem Sonnenstand folgen kann und der Raum seitlich durch die Nottreppe fix beschattet bleibt.

## 6 - Fehler TRNSYS

Anhand der 24h-Außentemperatur müsste die Nachtheizung im TRNSYS laufen und den Raum erwärmen. Dies geschieht aber nicht in der Nacht



---

von Sonntag zu Montag, in der die Außentemperatur unter 5°C fiel, und auch nicht in der Nacht von Donnerstag zu Freitag wo die Außentemperatur unter 0°C lag. Hier liegt ein Fehler bei der Simulation. Bei den Graphen der Nachtheizung sieht man, dass diese zu heizen begann, als die 24h-Außentemperatur unter 0°C fiel. Somit ist die Nachtheizungsfunktion überprüft und als in Ordnung eingestuft.

Allgemein ist noch festzustellen, dass die Nachtheizung die Räume nicht stark erhitzt und nur eine max. Temperaturänderung von  $dT= 0,3K$  erreicht.

Die simulierte Raumtemperatur hat einen ähnlichen Verlauf wie die vom MSRL aufgezeichnete Temperatur, ist aber um bis zu 0,7°C konstant höher. Man kann auch erkennen, dass die Graphenausschläge beim TRNSYS sehr stark sind und dies auf noch zu hohe interne Lasten schließen lässt.

### 5.3 Ergebnisse

Die Werte der Raumtemperaturen sind ähnlich, aber die absoluten Werte der Speicherbilanzen zeigen Probleme auf. Ob nun genaue Messdaten fehlen oder die Simulation nicht richtig eingestellt ist. Hier ist keine Nachtheizung in Betrieb, die den Wärmeverbrauch beeinträchtigt, oder Monatsprofile, wie im Dezember, in dem es offiziell Urlaubstage gibt, wodurch die internen Lasten fehlen und die Simulation verfälscht wird.

Weiterhin sind bei der Simulation keine Wärmebrücken berücksichtigt, welche einen höheren Wärmeverbrauch bedingen würden. Die Infiltration ist sehr schlecht abschätzbar und entspricht vielleicht nicht dem effektiven Wert.

Wenn man diese Änderungen bei der Simulation vornehmen und dann neu berechnen würde, sollten die Raumtemperaturen gleich sein und auch die Verbrauchswerte übereinstimmen. Dies erweist sich aber als schwierig, da man nicht alle Kleinigkeiten einstellen und auch nicht so ins Detail gehen kann wie in der Praxis.

---

## **6 Komfortmessung von Büros mit Beanstandungen**

### 6.1 Grundlagen

Im Folgenden wird die Komfortsituation in den Büros des FC während der ersten Frühwinterperiode untersucht. Die Luft wird mit induktiven Luftauslässen in die Räume eingebracht. Als erster Indikator wurde die Temperatur vor Ort aufgezeichnet; danach wurde mittels Rauchtest die Luftströmung untersucht. Die Feuchte wurde als Zusatzkriterium punktuell mitgemessen.

Grundlagen in Stichworten:

- Begehungen vor Ort, 10.11.06 und 21.11.06
- Untersuchte Büros F01, F04, F07, F10, F11, F13, F30, E30, D41
- Raumtemperaturaufzeichnung mit 2 Loggern vom 10.11.06  
(SN: 7204-674)
- Wetterdaten vom 10.11.06 bis 24.11.06, gem. Meteostation Eawag Dübendorf
- SIA Norm 180 Ausgabe 1999
- Handmessgerät: Testotherm testo 451 (SN: 0430 0945 210, 0635 9540 303)

Nach der langen und warmen Sommerphase 2006 sind wegen der vorherrschenden Temperaturverhältnisse Beschwerden (1.11.06) aufgekommen.

Mittels Raumfühler werden raumweise die Temperaturen gemessen und mit dem Leitsystem aufgezeichnet.

Zum Weiteren kamen Beschwerden auf, welche sich auf die Lüftung beziehen. Es wurde über „eiskalte“ Luftströme geklagt.

Es gilt, die Komfortsituation „Frühwinterfall“ in den Büros mit Beanstandungen zu untersuchen und anhand von punktuellen Vorortmessungen die Ist-Situation zu beurteilen. Diese Momentanmessungen, sowie in zwei ausgewählten Büros der Temperaturverlauf über zwei Wochen, sollen mit der vom Leitsystem

gemessenen Temperatur verglichen werden, um sicherzustellen, dass die eingebauten Raumfühler plausible Werte anzeigen.

## 6.2 Temperatur- und Feuchtemessung

In allen zu untersuchenden Büros wurde ein Momentanwert gemessen von der Temperatur am Fußboden, am Arbeitsplatz und am Luftauslass. Zusätzlich wurde aus dem Leitsystem vom Gebäude die Temperatur zu den besagten Zeiten ausgelesen und miteinander verglichen.

In 2 Büros wurden zusätzlich jeweils ein Datenlogger (Temperaturmessgeräte) platziert um eine genauere Aussage treffen zu können.

|                    |                          |             |
|--------------------|--------------------------|-------------|
| Standort Büro F 13 | Temperatur auf Tischhöhe | SN 0046-284 |
| Standort Büro E 30 | Temperatur am Fußboden   | SN 0120-677 |

Diese Datenlogger zeichneten die Innentemperaturen während 2 Wochen (10.11.06 bis 24.11.06) in 15-Minutenabständen auf.

Die Außentemperatur wurde nicht speziell messtechnisch erfasst. Zur Beurteilung wurden die Daten der Meteostation Eawag Dübendorf verwendet.

Die 24h-Außentemperatur vom 10.11.06 betrug 9.2°C und die Temperatur von 13-15 Uhr war 9.3°C. Die 24h-Außentemperatur vom 21.11.06 lag bei 6.9°C.

Die Tabellen 6.01. und 6.02. geben einen Überblick der gemessenen Werte in den einzelnen Büros an:

Tabelle 6.01. Temperaturmessungen am 10.11.06

| Raum | Uhrzeit | RT in °C | FB in °C | LA in °C | Raumfühler-temp. in °C | Kommentare            |
|------|---------|----------|----------|----------|------------------------|-----------------------|
| F01  | 13.04   | 21.8     | 21.8     | 22.1     | 22.2                   | Luft eher aufsteigend |
| F04  | 13.19   | 22.9     | -        | 21.6     | 23.2                   | Luft eher aufsteigend |
| F07  | 13.25   | 22.1     | -        | 21.2     | 22.7                   | Luft eher aufsteigend |
| F11  | 13.35   | 22.4     | 22.2     | 21.3     | 22.4                   | Luft eher aufsteigend |
| F10  | 13.50   | 21.5     | -        | 21.3     | 21.6                   | Büro unbesetzt        |
| F13  | 13.53   | 22       | 21.9     | 21.3     | 22.3                   | zusätzlich escort     |
| E30  | 14.28   | 22.3     | 22.1     | 21.8     | 22.6                   | zusätzlich escort     |

Tabelle 6.02. Temperaturmessungen am 21.11.06

| Raum | Uhrzeit | RT in °C | FB in °C | LA in °C | AT in °C | Raumfühler-temp. in °C | Kommentare            |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|------------------------|-----------------------|
| F30  | 11.04   | 20.8     | 20.7     | 20.0     | 6.5      | 21.4                   | Büro unbesetzt        |
| D41  | 14.30   | 20.9     | 20.7     | 20.5     | 9.4      | 21.5                   | Luft eher aufsteigend |

RT = gemessene Temperatur am Arbeitsplatz

FB = Messung am Fußboden

LA = Messung am Luftauslass

AT = Außentemperatur nach Leitsystem

Raumfühler = Ablesung vom Leitsystem zur genannten Zeit

Die großen Plotts der Innentemperaturverläufe je Logger sind als Anhang 6 und 7 zu finden.

Die Tabellen 6.01. und 6.02. zeigen, dass die Raumfeuchte im Durchschnitt bei 48% rel. Feuchte lag, +/- 10% rel. Feuchte. Somit liegt die Raumfeuchte im optimalen Bereich von 30-70% rel. Feuchte.

Man kann erkennen, dass die Raumtemperaturen immer deutlich über den geforderten 20°C lagen. Im Büro E30 war das nicht der Fall, da es, morgendlich gelüftet wurde. Die daraus resultierende Auskühlung des Raumes beeinflusst die Innentemperatur negativ, und der Raum bewegt sich ganztags auf einem tiefen Niveau.

Weiterhin ist zu erkennen, dass die Raumfühler bei einigen Räumen eine höhere Temperatur angeben (bis zu max. 0,6°C), als zu diesem Zeitpunkt die tatsächlich gemessenen Werte anzeigen, die mit kalibrierten Messgeräten in den Räumen aufgenommen wurden. Trotz dieser Differenz werden die Temperaturen gemäß den Anforderungen erfüllt. Wenn man die Temperaturen am Fußboden mit der Raumtemperatur vergleicht, sieht man, dass keine starke Schichtung der Temperatur vorhanden ist und die Temperatur im Raum verteilt sehr konstant ist. Die Momentanwerte, die an den Luftauslässen gemessen wurden, zeigen, dass die Temperaturen bei den gewünschten Sollwerten liegen. Man kann also ausschließen, dass die Lüftung „eiskalte“ Luft in die Räume einspeist. Mit den Rauchversuchen wurden Luftbewegungen sichtbar gemacht. Es konnte gezeigt werden, dass die Luft zugfrei in die Räume eingebracht wird.

Anhand der Temperaturen kann man erkennen, dass sie nah beieinander liegen, dass es keine großen Unterschiede gibt und die Anforderungen und Sollwerte erreicht werden. Die Messungen vom

---

21.11.06 zeigen, dass die Temperaturen tiefer liegen. Man muss hier jedoch berücksichtigen, dass die Räume zum Zeitpunkt der Messung nicht stark ausgelastet oder sogar wie im Büro F30 leer waren. Man sollte die Räume vielleicht, möglichst effektiv ausnutzen, um so die internen Lasten für die entsprechenden Volumina zu erhalten. Wichtig ist, dass die Räume nicht (wie im Büro E30) durch manuelles Fensterlüften ausgekühlt werden.

### 6.3 Raumlufthgeschwindigkeiten und Kaltluftabfall

Die Raumlufthgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade wurden nur punktuell mittels Rauchstäbchentest abgeschätzt. Es sind nur sehr geringe Luftströmungen ( $<0,15\text{m/s}$ ) erkennbar. Die Anforderung gemäß SIA ist somit erfüllt.

Durch falsches Nutzerverhalten sind Durchzugerscheinungen in den Büros unter gewissen Umständen nicht auszuschließen. Werden z.B. die Fenster geöffnet, kann es zu erhöhten Luftgeschwindigkeiten kommen. Bei geschlossenen Fenstern entsteht kein Durchzug.

Ein Kaltluftabfall, bedingt durch tiefe Glasoberflächentemperaturen, ist nicht vorhanden.

### 6.4 Beurteilung thermische Behaglichkeit Winterfall

Folgende Größen bestimmen neben diversen psychologischen Faktoren maßgeblich die thermische Behaglichkeit im Winterfall:

- Lufttemperatur und ihre Verteilung
- Temperatur der umgebenden Flächen inkl. eventueller Heizflächen
- Strömung (Turbulenzgrad)
- relative Luftfeuchtigkeit
- Wärmeableitung der Flächen in direktem Kontakt mit dem Menschen (qualitativ)
- Tätigkeitsgrad der Personen
- Art der Bekleidung

Eine Beurteilung unter Berücksichtigung der Nutzer gemäß Fanger zeigt, dass 100% Zufriedene nie erreicht werden. Beim besten Klima resultieren immer 5% Unzufriedene. Wenn es einer Person zu warm ist, ist einer anderen bereits zu heiß. Frauen sind hinsichtlich Kälte zudem oft empfindlicher als Männer. Oft entspricht aber die Bekleidung nicht 1,0clo (Schuhe, Hosen, langärmeliges Hemd), entsprechend wären höhere Temperaturen oder eine Anpassung der Bekleidung notwendig.

In den Anlagen 8, 9, 10 wurde der Komfort anhand der Messungen gem. Fanger für folgende drei Fälle beurteilt:

1. optimal nach Fanger (23°C, 45% rel. Feuchte)
2. Ist-Situation (22°C, 48% rel. Feuchte)
3. mit 20°C(20.5°C, 48% rel. Feuchte).

#### 6.5 Schlussfolgerung und Empfehlung

Die Innentemperatur der untersuchten Räume liegt zwischen 20,8°C und 22,9°C. Diese Werte sind als Momentanwerte zu betrachten und schwanken in diesem Bereich, da die untersuchten Büros verschiedene Auslastungen (1-4 Personen) und Volumina haben. Die Raumluftfeuchte liegt im Mittel bei ca. 48% rel. Feuchte.

Es ist mittels Rauchstäbchen kein Luftzug über dem Arbeitsplatz zu erkennen. Die Anforderung gemäß SIA ist somit erfüllt.

Ein Kaltluftabfall, bedingt durch tiefe Glasoberflächentemperaturen, ist nicht vorhanden.

Die Raumluftfeuchte hat einen geringen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit (je trockener die Luft, desto kühler wird sie empfunden).

Die gemessenen Temperaturen entsprechen in etwa den empfundenen Temperaturen, da die Temperaturen der Umschliessungsflächen nahezu den Raumlufttemperaturen entsprechen, die Feuchte im normalen Bereich liegt und keine Zugluft vorhanden ist.

Die gemessenen ca. 22°C entsprechen somit, bei gegebener Situation, in etwa der „optimalen Raumtemperatur“.

Es wurde festgestellt, dass die installierten Fühler um ca. 0,3-0,6°C höhere Werte anzeigen als tatsächlich gemessen. Dies liegt im

Toleranzbereich und ist auf die Montageart (angeschraubt an der Klimawand), bedingt durch die teilweise höhere Atriumstemperatur, zurück zu führen.

Die Lüftung erreicht die vorgegebenen Sollwerte und es ist kein Kaltluftabfall oder ein störender Luftzug erkennbar.

Die empfundene Raumtemperatur zum Zeitpunkt der punktuellen Messungen entspricht der optimalen Raumtemperatur von 22°C. Trotzdem ist es zu Beanstandungen gekommen. Diese konnten zumindest teilweise, durch das Einbeziehen der Nutzer beseitigt werden. Es muss jedoch betont werden, dass auch die Außentemperaturen während dieser Zeit sehr moderat waren und sich lediglich im Bereich von 3-16°C bewegten. Mit sinkenden Außentemperaturen wird sich, bei gleich bleibendem Verhalten, die empfundene Raumtemperatur reduzieren. Bei 20°C wird die Zahl der Unzufriedenen steigen, da dies bei mittlerer Bekleidung und leichter Tätigkeit bereits als etwas kühl eingestuft werden kann.

Fällt die mittlere Außentemperatur unter 4°C, wird an den Wochenenden während der Nacht mittels Lüftung zusätzliche Wärme in die Büros gebracht. Bei Außentemperaturen unter 0°C erfolgt dies jede Nacht. Es wird sich zeigen, wie sich das Gebäude in diesem Betriebszustand verhält.

Für die Büros mit bekannten Beanstandungen könnte die Heizbegrenztemperatur von 21°C auf 23°C erhöht werden, um der Nachfrage nach mehr Komfort auf Kosten des Energieverbrauchs entgegenzukommen.

## **7 Zusammenfassung**

Das Forum Chriesbach spiegelt einen Trend wider um zukünftig Gebäude energiesparend zu betreiben. Wie festgestellt wurde, ist die Technik aber noch nicht voll ausgereift. Es ist viel Einsatz und Bereitschaft erforderlich um solch ein Projekt zu optimieren.

Diese Untersuchung entdeckte viele kleine Fehler was bereits einige Änderungen zur Folge hatte. So wurde erreicht, dass das MSRL-System überschaubarer und funktionaler wurde. Durch Temperaturmessungen wurden Schwachstellen, z.B. Anbringung der

---

Raumfühler, und Fehler, z.B. Stellung der Thermostatventile, ausfindig gemacht.

Die Betriebsoptimierung ist noch nicht abgeschlossen. Es werden weitere Einstellungen oder Parameter geändert werden müssen. Die hier 2-jährige Betriebsoptimierung erweist sich als erforderlich und sehr sinnvoll.

## **8      Literatur**

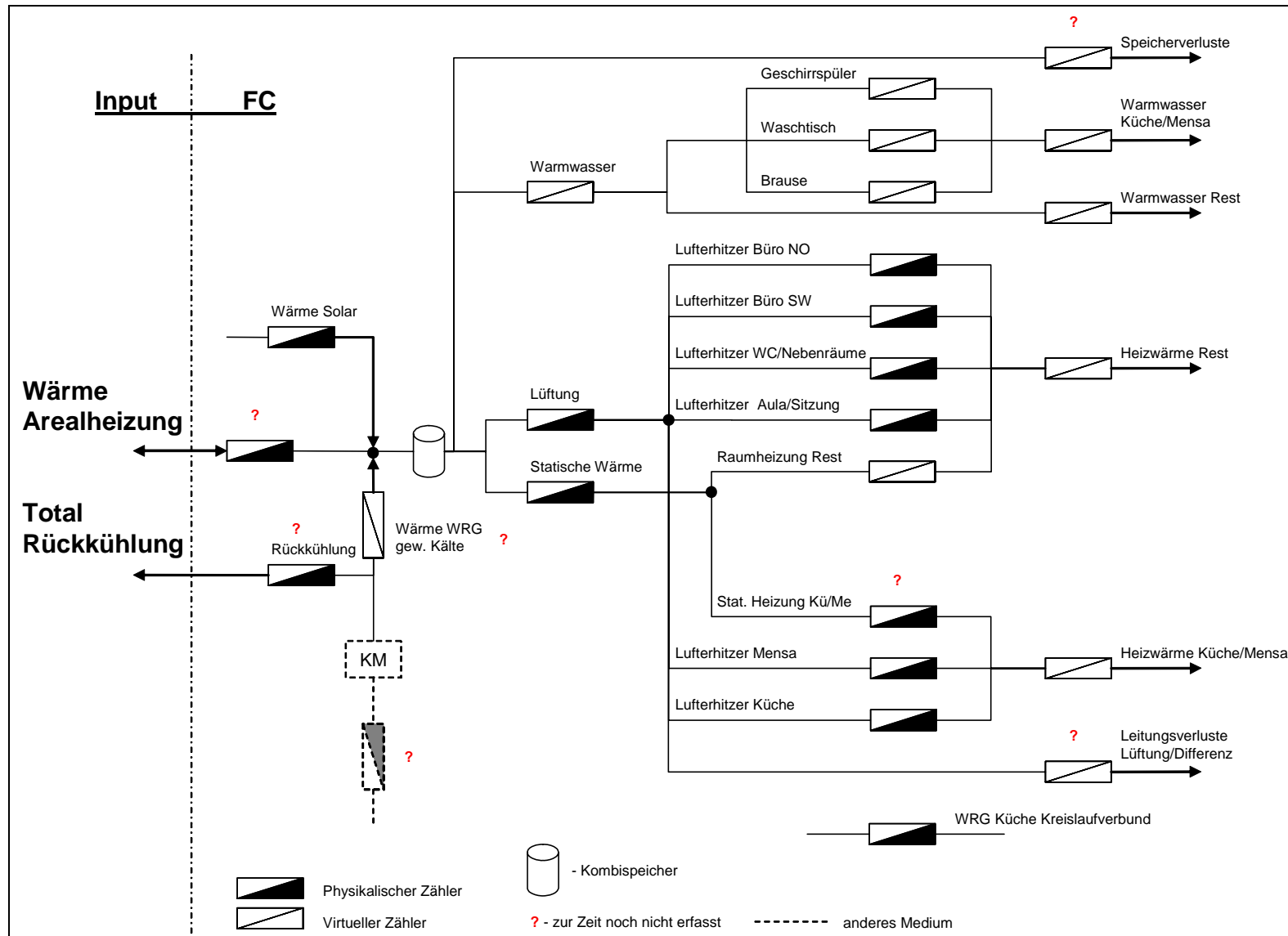
- /1/      Making the first step towards a more sustainable urban water management system - with the NoMix toilet. European Water Day, 84th ASTEE congress, Paris, France. 02.06.2005, Lienert, J., Larsen, T.A. (2005)
- /2/      SWKI, Schweizer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren, Paper Richtlinie 95-3, Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen, 11/2001
- /3/      Forum Chriesbach - Eawag, Thermische Simulationen, 3-Plan Haustechnik AG, 5.12.2006
- /4/      Eawag Forum Chriesbach, <Ein nachhaltiger Neubau>, Bob Gysin + Partner BGP Architekten, 2006
- /5/      SIA 180, Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, 18.6.2000, Seite 46, Station Zürich SMA
- /6/      Revisionsordner FC Eawag/Empa Dübendorf, Gewerbliche Kälte, Punkt 2. Anlagenübersicht, Blatt „Leistungszusammenstellung“, Quelle: Baumgartner Kühlanlagen AG, 10.07.2006



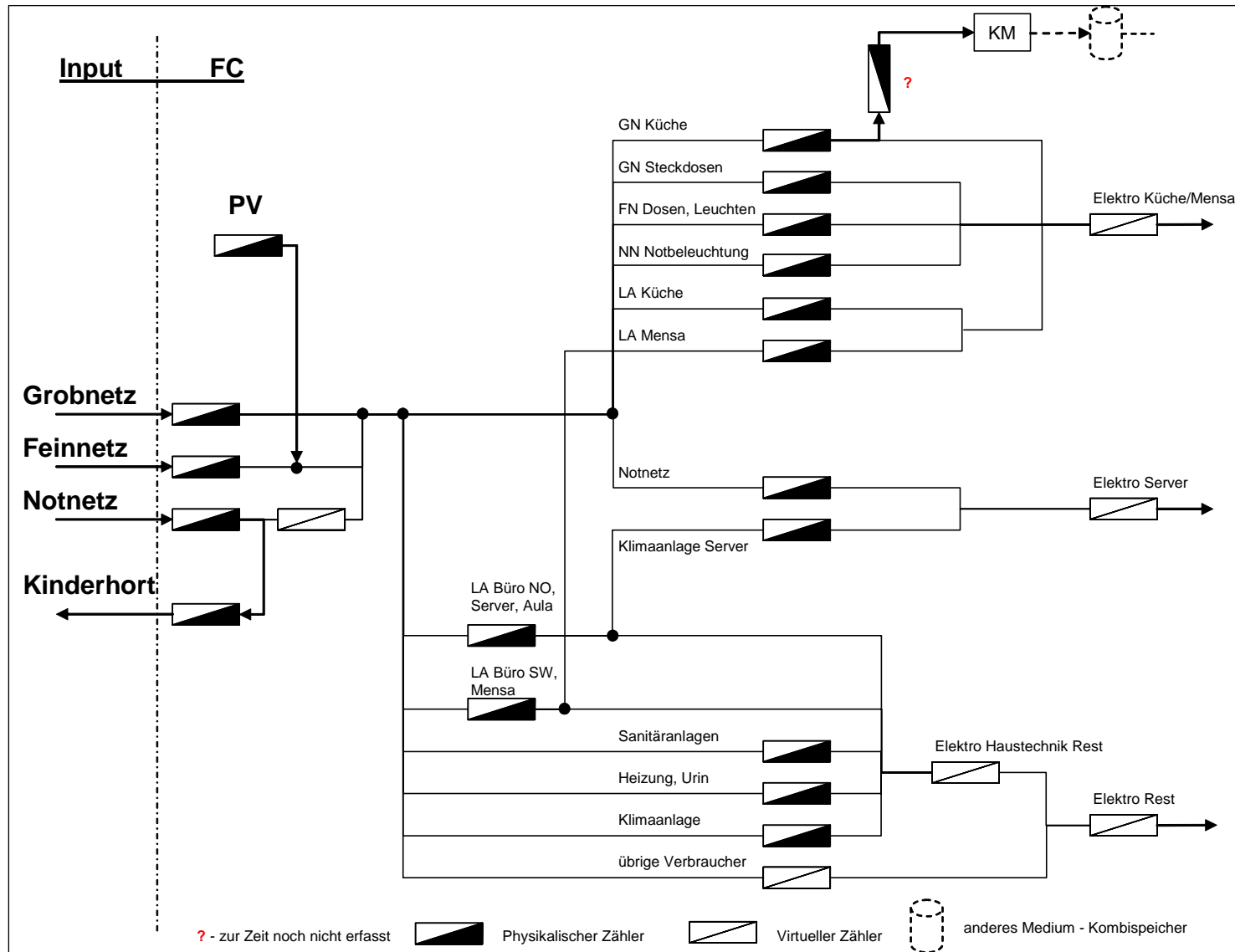
## Anhang

- Anhang 1 - Schematische Darstellung der Wärmebilanz (Stand 04.01.07)
- Anhang 2 - Schematische Darstellung der Elektrobilanz (Stand 04.01.07)
- Anhang 3 - Schematische Darstellung der Gasbilanz (Stand 04.01.07)
- Anhang 4 - Schematische Darstellung der Wasserbilanz (Stand 04.01.07)
- Anhang 5 - Schematische Darstellung der Kältebilanz (Stand 04.01.07)
- Anhang 6 - Temperaturenvergleich Datenlogger/MSRL Raum E30
- Anhang 7 - Temperaturenvergleich Datenlogger/MSRL Raum F13
- Anhang 8 - Komfortbeurteilung nach Fanger „Optimal“
- Anhang 9 - Komfortbeurteilung nach Fanger „Ist“
- Anhang 10 - Komfortbeurteilung nach Fanger „20°C“

Anhang 1 - Schematische Darstellung der Wärmebilanz (Stand 04.01.07)



Anhang 2 - Schematische Darstellung der Elektrobilanz (Stand 04.01.07)



Legende:

- KM - Kältemaschine
- GN - Grobnetz
- NN - Notnetz
- LA - Lüftungsanlage
- PV - Photovoltaikanlage

? - zur Zeit noch nicht erfasst



Physikalischer Zähler

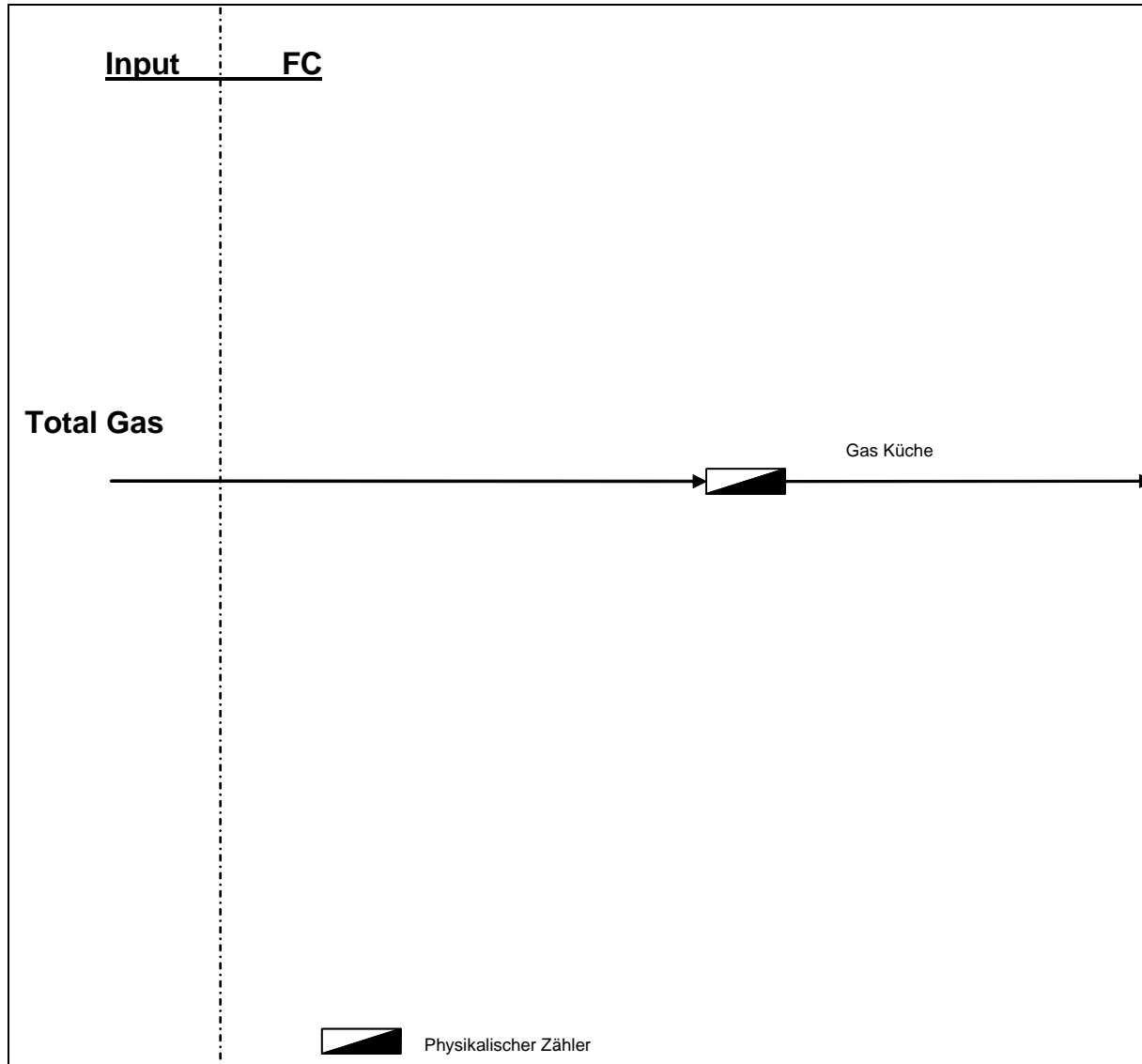


Virtueller Zähler

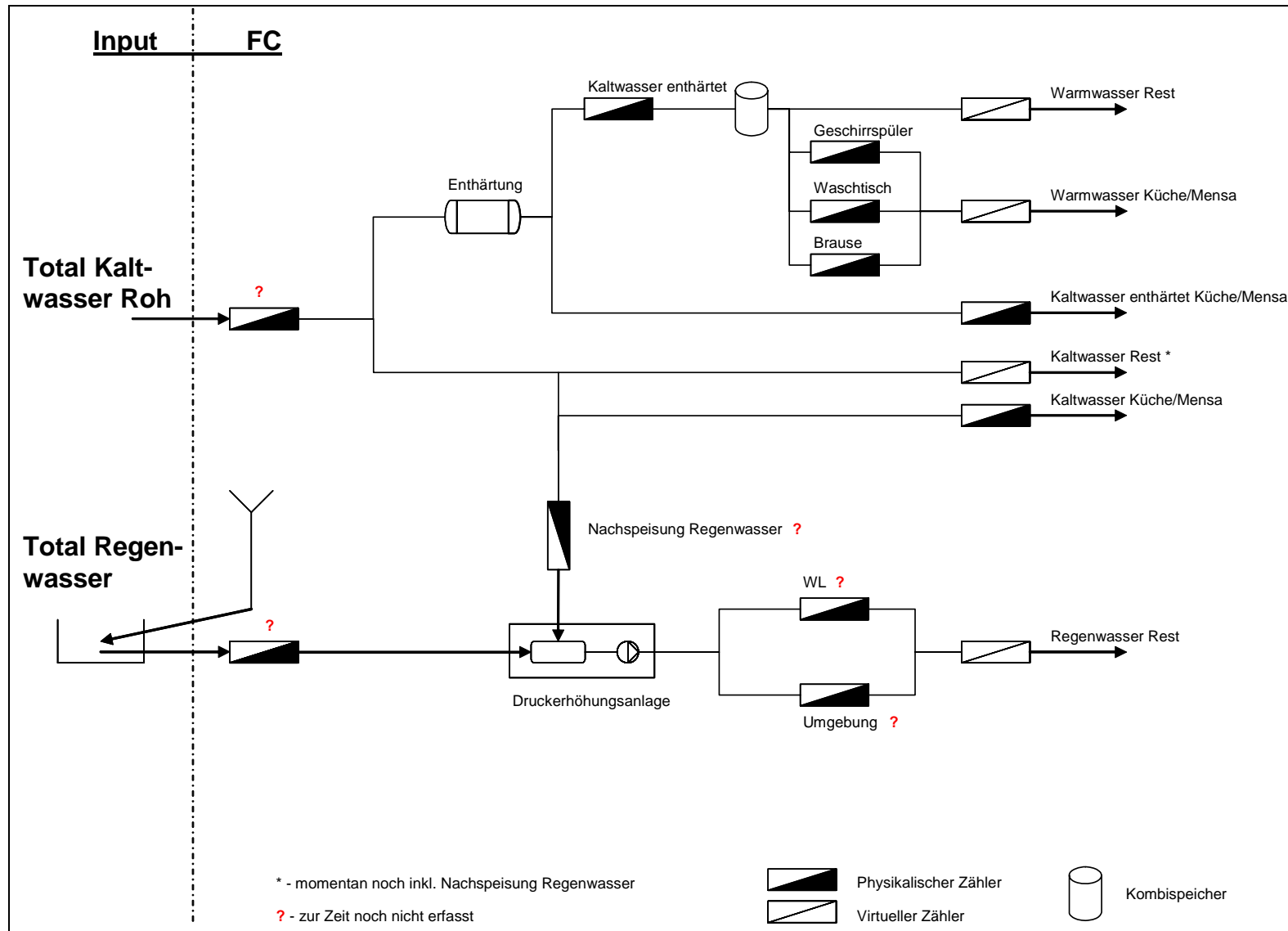


anderes Medium - Kombispeicher

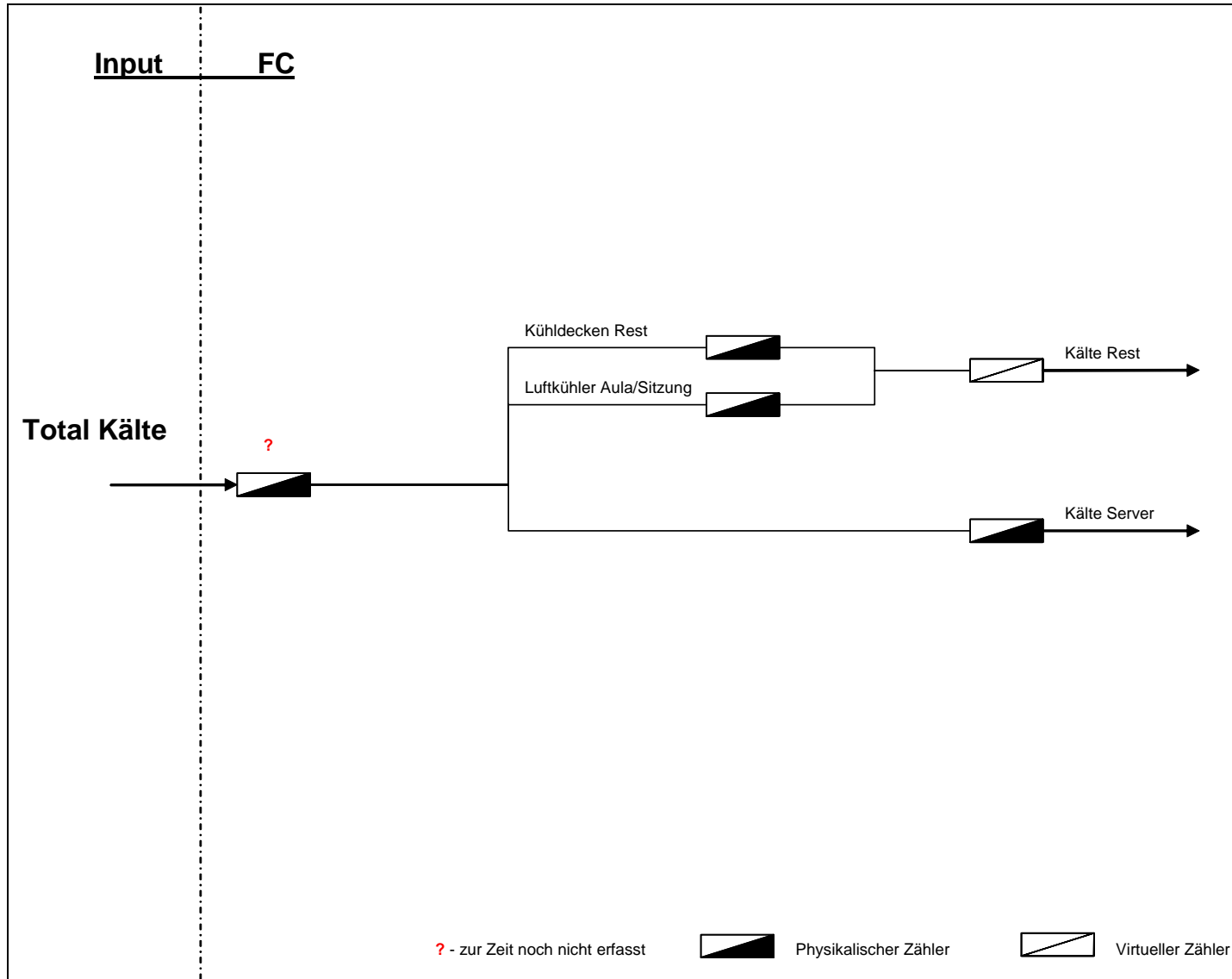
Anhang 3 - Schematische Darstellung der Gasbilanz (Stand 04.01.07)



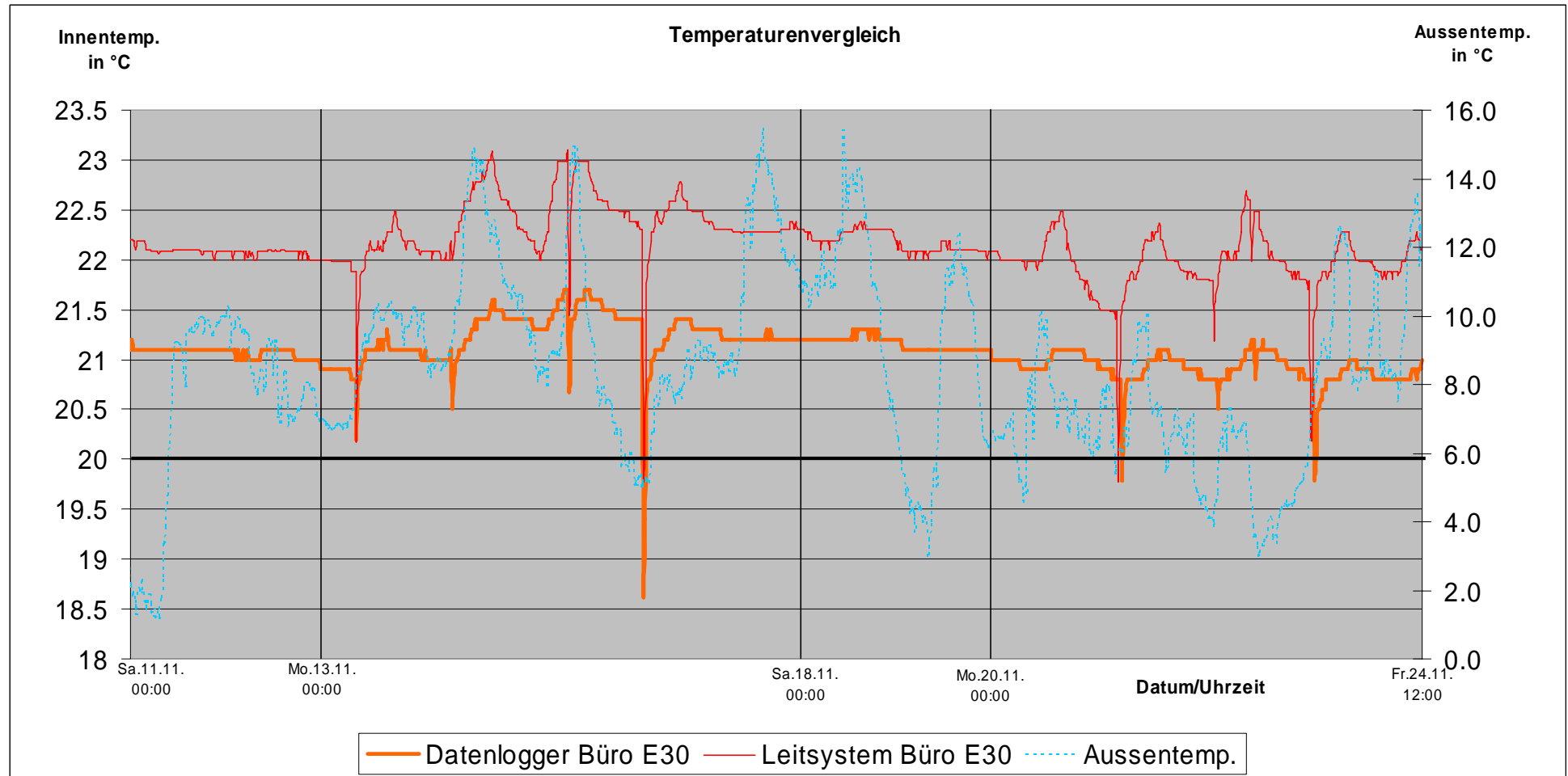
Anhang 4 - Schematische Darstellung der Wasserbilanz (Stand 04.01.07)



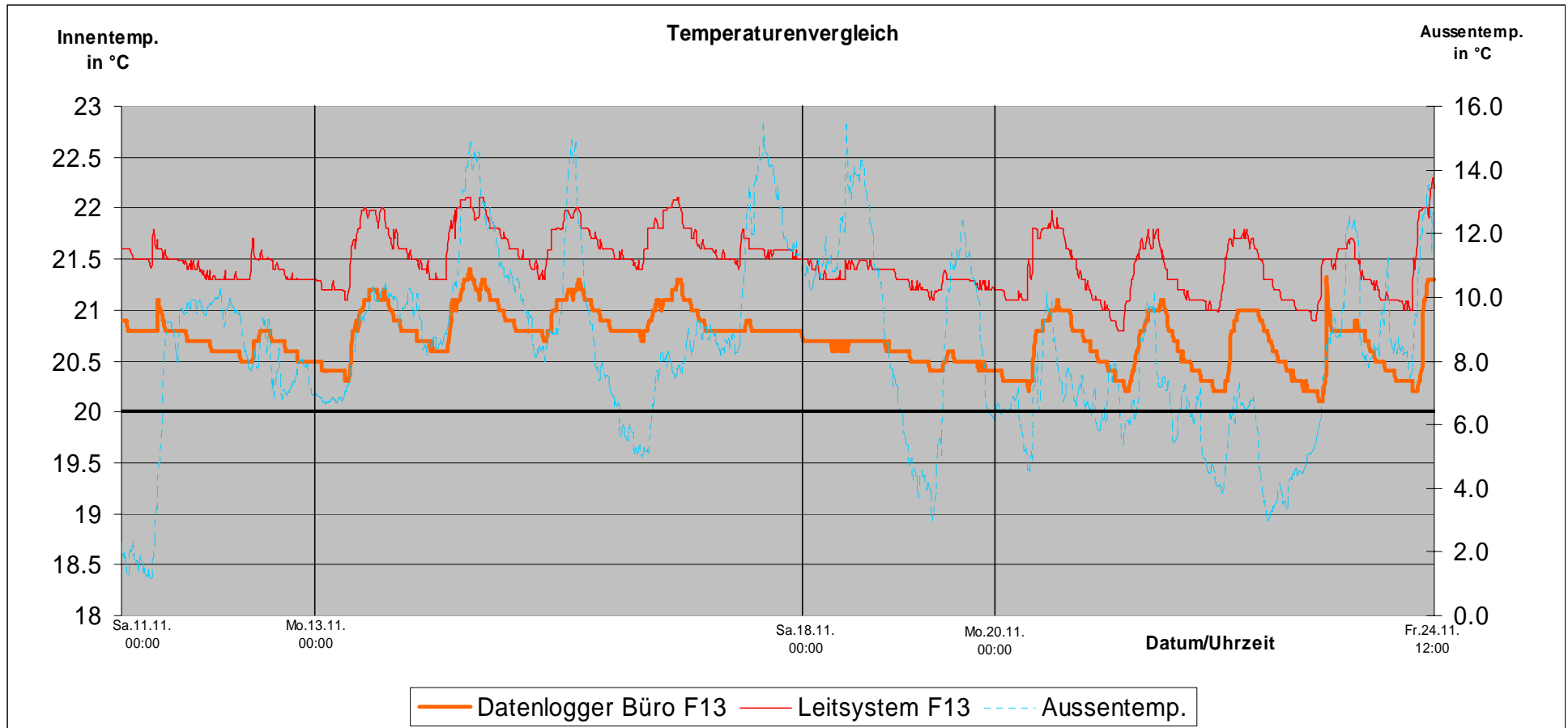
Anhang 5 - Schematische Darstellung der Kältebilanz (Stand 04.01.07)



Anhang 6 - Temperaturenvergleich Datenlogger/MSRL Raum E30



Anhang 7 - Temperaturenvergleich Datenlogger/MSRL Raum F13





Anhang 8 - Komfortbeurteilung nach Fanger „Optimal“

**Komfortbeurteilung nach Fanger "Optimal"**



**Eingaben:**

| Parameter | Input |
|-----------|-------|
| Clo value | 1.00  |
| Met Value | 1.20  |
| Tair      | 23    |
| Tmrt      | 22    |
| v         | 0.05  |
| RH        | 0.45  |

Beschrieb:  
 clo- Wert der Kleidung  
 Tätigkeitsgrad in met, vorwiegend sitzend  
 Lufttemperatur in C  
 Mittl. Strahlungstemp. in C  
 Windgeschwindigkeit in m/s  
 % relative Feuchte

**Resultate:**

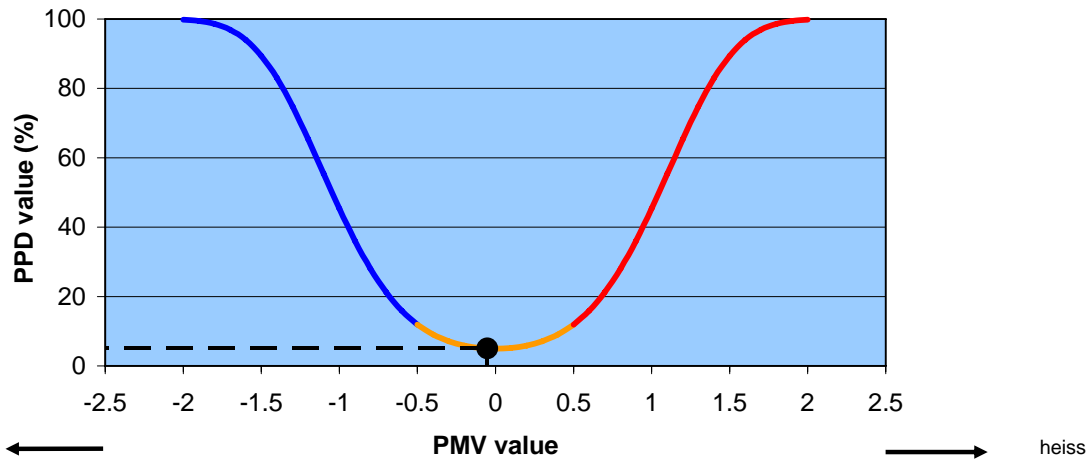
|       |      |
|-------|------|
| vpa   | 13   |
| difhc | nein |

Dampfdruck in Pa =f(Tair, RH)  
 v in Rechnung berücksichtigt (v >= 0.1m/s)

|     |       |
|-----|-------|
| PMV | -0.05 |
| PPD | 5     |

Predicted Mean Vote, thermisches Empfinden --> **neutral (komfortabel)**  
 Proz. Anzeil Unzufriedener

**Grafische Darstellung:**



Anhang 9 - Komfortbeurteilung nach Fanger „Ist“

### Komfortbeurteilung nach Fanger "Ist"



**Eingaben:**

| Parameter | Input |
|-----------|-------|
| Clo value | 1.00  |
| Met Value | 1.20  |
| Tair      | 22    |
| Tmrt      | 21    |
| v         | 0.05  |
| RH        | 0.48  |

**Beschrieb:**

clo- Wert der Kleidung  
 Tätigkeitsgrad in met, vorwiegend sitzend  
 Lufttemperatur in C  
 Mittl. Strahlungstemp. in C  
 Windgeschwindigkeit in m/s  
 % relative Feuchte

**Resultate:**

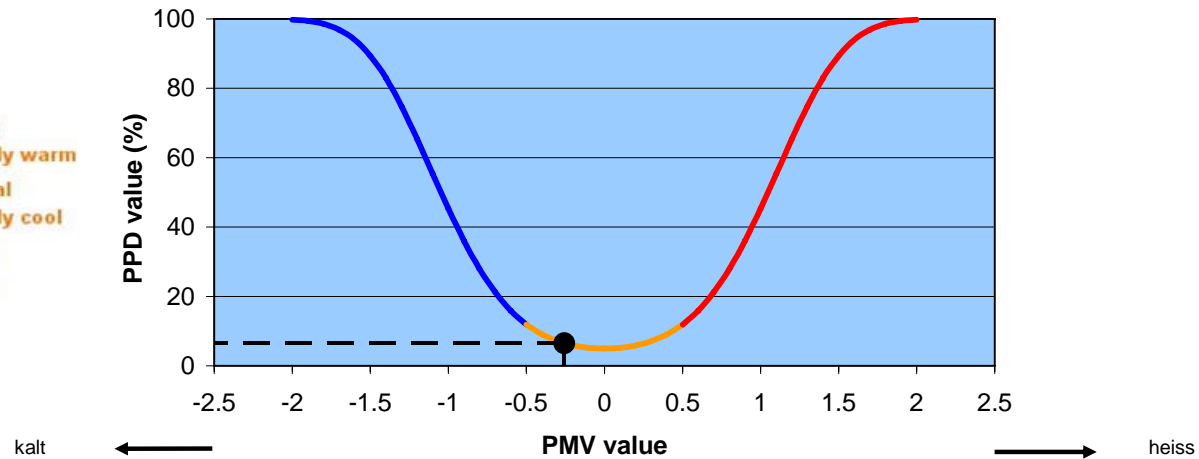
|       |       |
|-------|-------|
| vpa   | 13    |
| difhc | nein  |
| PMV   | -0.26 |
| PPD   | 6     |

Dampfdruck in Pa =f(Tair, RH)  
 v in Rechnung berücksichtigt (v >= 0.1m/s)

Predicted Mean Vote, thermisches Empfinden -->  
 Proz. Anzeil Unzufriedener

**neutral (komfortabel)**

**Grafische Darstellung:**



Anhang 10 - Komfortbeurteilung nach Fanger „20°C“

### Komfortbeurteilung nach Fanger "20°C"



**Eingaben:**

| Parameter | Input |
|-----------|-------|
| Clo value | 1.00  |
| Met Value | 1.20  |
| Tair      | 20.5  |
| Tmrt      | 19.5  |
| v         | 0.05  |
| RH        | 0.48  |

**Beschrieb:**

clo- Wert der Kleidung  
 Tätigkeitsgrad in met, vorwiegend sitzend  
 Lufttemperatur in C  
 Mittl. Strahlungstemp. in C  
 Windgeschwindigkeit in m/s  
 % relative Feuchte

**Resultate:**

|       |      |
|-------|------|
| vpa   | 12   |
| difhc | nein |

Dampfdruck in Pa =f(Tair, RH)  
 v in Rechnung berücksichtigt (v >= 0.1m/s)

|     |       |
|-----|-------|
| PMV | -0.57 |
| PPD | 14    |

Predicted Mean Vote, thermisches Empfinden -->  
 Proz. Anteil Unzufriedener

**etwas kühl**

**Grafische Darstellung:**

