

---

BFE Projekt  
**Energie-Detailbilanz des EAWAG Forum Chriesbach**

Bericht Phase 2  
**THERMISCHES GEBÄUDEMODELL / SIMULATION  
STAND EFFEKTIVE NUTZUNG**

18. Januar 2009

---



**Bauherrschaft:** Eawag / Empa  
8600 Dübendorf

**Architekt/GP:** Bob Gysin + Partner AG  
Ausstellungsstrasse 24  
8005 Zürich

**Gebäudetechnik:** 3-Plan Haustechnik AG  
Fröschenweidstrasse 10  
8404 Winterthur

3-PLAN HAUSTECHNIK AG  
Fröschenweidstrasse 10  
CH-8404 Winterthur  
Telefon 052 234 70 70  
Telefax 052 234 70 60  
winterthur@3-plan.ch  
www.3-plan.ch

3-PLAN HAUSTECHNIK AG  
CH-8280 Kreuzlingen  
kreuzlingen@3-plan.ch

3-PLAN HAUSTECHNIK GmbH  
D-78224 Singen  
drei-plan@t-online.de

# INHALT

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>                                        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>MODELLIERUNG .....</b>                                           | <b>3</b>  |
| 2.1      | RANDBEDINGUNGEN UND PARAMETER .....                                 | 4         |
| 2.2      | GEBÄUDEMODELLIERUNG .....                                           | 6         |
| 2.2.1    | ZONEN .....                                                         | 6         |
| 2.2.1.1  | AUSSENANSICHTEN .....                                               | 7         |
| 2.2.1.2  | GRUNDRISS .....                                                     | 8         |
| 2.2.1.3  | FLÄCHEN UND VOLUMINA .....                                          | 11        |
| 2.2.1.4  | BAUTEILE .....                                                      | 13        |
| 2.2.2    | WÄRMESTRÖME .....                                                   | 17        |
| 2.2.2.1  | INTERNE LASTEN .....                                                | 17        |
| 2.2.2.2  | HEIZUNG / KÜHLUNG .....                                             | 18        |
| 2.2.2.3  | LÜFTUNG .....                                                       | 19        |
| 2.2.2.4  | LUFTSRÖMUNGEN ZWISCHEN DEN ZONEN .....                              | 20        |
| 2.2.2.5  | INFILTRATION MIT AUSSENKLIMA .....                                  | 20        |
| 2.3      | BAU- UND TECHNIKELEMENTE .....                                      | 21        |
| 2.3.1    | LÜFTUNG .....                                                       | 21        |
| 2.3.1.1  | ERDREGISTER .....                                                   | 22        |
| 2.3.1.2  | SERVERABWÄRME .....                                                 | 23        |
| 2.3.1.3  | WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER LÜFTUNG .....                                | 24        |
| 2.3.1.4  | LUFTERHITZER .....                                                  | 25        |
| 2.3.1.5  | LUFTKÜHLER .....                                                    | 25        |
| 2.3.1.6  | NACHTHEIZUNG .....                                                  | 25        |
| 2.3.2    | NACHTAUSKÜHLUNG .....                                               | 26        |
| 2.3.3    | HEIZUNG .....                                                       | 27        |
| 2.3.3.1  | WÄRMESPEICHER .....                                                 | 27        |
| 2.3.3.2  | SOLARANLAGE .....                                                   | 30        |
| 2.3.3.3  | WÄRMENETZ .....                                                     | 30        |
| 2.3.3.4  | WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER GEWERBLICHEN KÄLTE .....                     | 30        |
| 2.3.3.5  | WARMWASSERBEDARF .....                                              | 31        |
| 2.3.4    | KÜHLUNG .....                                                       | 31        |
| 2.3.5    | BELEUCHTUNG .....                                                   | 32        |
| 2.3.6    | BEWEGLICHER SONNENSCHUTZ .....                                      | 32        |
| 2.3.7    | PUFFERRAUM .....                                                    | 32        |
| <b>3</b> | <b>RESULTATE .....</b>                                              | <b>33</b> |
| 3.1      | TEMPERATUREN .....                                                  | 33        |
| 3.1.1    | BÜRO .....                                                          | 33        |
| 3.1.2    | HÖRSAAL .....                                                       | 34        |
| 3.1.3    | BESPRECHUNGS- UND SITZUNGSZIMMER .....                              | 35        |
| 3.1.4    | BIBLIOTHEK UND MULTIMEDIA .....                                     | 36        |
| 3.1.5    | COPYCENTER UND BÜRO EAST B. ....                                    | 37        |
| 3.1.6    | KÜCHE UND MENSA .....                                               | 38        |
| 3.1.7    | ATRIUM .....                                                        | 39        |
| 3.1.8    | PUFFERRAUM .....                                                    | 40        |
| 3.2      | HEIZ- UND KÜHLBEDARF .....                                          | 41        |
| 3.2.1    | WÄRMEBILANZ .....                                                   | 42        |
| 3.2.1.1  | Wärmebilanz, effektive Nutzung, simuliert .....                     | 42        |
| 3.2.1.2  | Wärmebilanz, effektive Nutzung, Stand Betriebsoptimierung .....     | 43        |
| 3.2.1.3  | Wärmebilanz, effektive Nutzung, gemessen, bereinigt .....           | 44        |
| 3.2.1.4  | Vergleich Jahreswärmebilanz .....                                   | 45        |
| 3.2.1.5  | Nutzung Abwärme gew. Kälte .....                                    | 46        |
| 3.2.2    | KÄLTEBILANZ .....                                                   | 47        |
| 3.2.2.1  | Kältebilanz, effektive Nutzung, simuliert .....                     | 47        |
| 3.2.2.2  | Analyse Kältebilanz Freecooling, effektive Nutzung, simuliert ..... | 48        |
| 3.2.2.3  | Kältebilanz, Basis Messdaten .....                                  | 48        |
| 3.3      | SENSITIVITÄTSANALYSEN GESAMTSYSTEM .....                            | 49        |
| 3.3.1    | LUFT-ERDWÄRMEREGISTER .....                                         | 51        |
| 3.3.2    | SERVER .....                                                        | 52        |
| 3.3.3    | ABWÄRMENUTZUNG GEWERBLICHE KÄLTE .....                              | 54        |
| 3.3.4    | THERMISCHE SOLARANLAGE .....                                        | 55        |
| <b>4</b> | <b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>                                     | <b>56</b> |
| <b>5</b> | <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>                                  | <b>56</b> |
| <b>6</b> | <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>                                    | <b>57</b> |
| <b>7</b> | <b>ANHANG .....</b>                                                 | <b>57</b> |

# 1 Zusammenfassung

## Ziel der Arbeit

Im Rahmen des Projektes [6] Energie-Detailbilanz EAWAG Forum Chriesbach von Eawag, Empa, 3-Plan Haustechnik AG und Bundesamt für Energie BFE, wurde in einer ersten Phase ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell mit den relevanten Bau- und Technischelementen als Gesamtsystem erstellt. Es wurden Temperaturen und Energieflüsse basierend auf den Planungsvorgaben ermittelt. Als Simulationswerkzeug wurde TRNSYS [14] eingesetzt. In einer zweiten Phase wurde das Modell auf die effektive Nutzung angepasst. Dieser Bericht deckt die Phase 2 ab und beschreibt das Modell der effektiven Nutzung mit Temperaturen sowie Wärme- und Kälteflüssen.

## Interne / externe Lasten

Basierend auf einer Erhebung der internen Lasten [11], den gemessenen Elektroverbräuchen [16] sowie Angaben des Betreibers wurden die effektiven internen Lasten geschätzt. Als externe Lasten wurden auf dem Areal gemessene Wetterdaten verwendet.

## Bau- und Technischelemente

Das Gebäudemodell wurde mit den Kernelementen der Gebäudetechnik erweitert um als Gesamtsystem für jede Stunde im Jahr die Energieflüsse und Temperaturen der Bau- und Technischelemente abzubilden.

Als Bau- und Technischelemente wurden modelliert:

- Luft-Erdregister
- WRG-Serverabwärme
- Lüftungsanlagen
- Thermische Solaranlage
- Kombispeicher
- WRG Abwärme gew. Kälte
- Arealheiznetz
- Warmwassersystem
- Nachtauskühlsteuerung
- Taglüftung
- 3-Jahreszeitensteuerung
- Tageslichtsteuerung
- Heizbegrenzklappen
- Sonnenschutz
- Speichermasse
- Aktive Kühlung

Für die Modellierung der effektiven Nutzung wurden Ausführung und Einstellwerte der Bau- und Technischelemente überprüft und angepasst.

## Resultate Simulation

Die **Zonenmitteltemperaturen** verhalten sich im Modell effektive Nutzung ähnlich wie die Messwerte. Zwar bietet die grosse Vielzahl von Einflussgrössen, die nur mit begrenzter Genauigkeit modelliert oder erfasst werden konnten, enorme Möglichkeiten zur Manipulation, aber die komplexe Kopplung der Einflüsse im Modell verhindert weitgehend, dass die Übereinstimmung durch Veränderung der „falschen“ Parameter erreicht wird. So wird durch den hohen Detaillierungsgrad das Vertrauen in die Aussagen deutlich erhöht.

Der **Wärmebedarf** der effektiven Nutzung ist etwa doppelt so gross wie in der Planung, liegt aber zwischen den Planwerten und den Grenzwerten für Minergie-P auf einem nach wie vor sehr tiefen Niveau. Der Mehrverbrauch gegenüber dem Stand Planung entsteht primär durch den höher als angenommenen Warmwasserbedarf, höhere Einstellung der Thermostatventile der Heizkörper insbesondere im Windfang des Atriums, in der Mensa und im Empfang sowie durch Verluste des Speichers und der Heizleitungen im Boden des Atriums. Weiter führten Faktoren wie Zusatzabschattung der Lamellenkonstruktion sowie angenommene Fensterverunreinigungen zu erhöhtem Wärmebedarf. Der Einfluss der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen wirkt sich direkt auf den Verbrauch aus. Eine Verschlechterung des Temperaturrückgewinnungsgrades um 10% würde zu einem Mehrbezug ab Netz von ca. 10% führen. Verfeinerte Messwerte der einzelnen Verbraucher im Gebäude lagen zum Zeitpunkt der Simulationen noch nicht vor, was die Plausibilisierung der Wärmeverteilung im Gebäude erschwerte. Es kann davon ausgegangen werden, dass noch weiteres Potential für Optimierungen besteht.

Der Einfluss der **Server** und des **Lufterdwärmeregisters** konnten insbesondere durch die detaillierte Modellierung der Luftvolumenströme, sowie durch die aus Messwerten entwickelte Übertragungsfunktion des Luft-Erdregisters detailliert untersucht werden.

Der Einfluss der **Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte**, sowie der **Solaranlage** konnte inklusive ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten durch Sensitivitätsanalysen gut aufgezeigt werden.

## Sensitivitätsanalysen Technischelemente

Es wurde der Einfluss der einzelnen Technischelemente zur Bedarfsreduktion und rund um den Kombispeicher zur Wärmebereitstellung untersucht. Dabei gilt es zu beachten, dass die einzelnen Technischelemente als System fungieren und nebst Energieeinsparung Ihren Nutzen in mehreren Dimensionen bringen. Das Weglassen einzelner Teilsysteme zeigt folgendes Verhalten:

**Auswirkung *Verzicht Lüfterdärmeregister (LER)***

Das Lüfterdärmeregister wirkt sich minimal auf den Wärmebedarf aus. Entsprechend wird auch der Wärmebezug ab Netz wenig beeinflusst. Wäre die Serverabwärme nicht vorhanden oder die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen schlechter, wäre der Effekt für den Heizwärmebedarf deutlicher. Im Winterfall hat das LER keinen Komforteinfluss. Im Sommerfall ist der positive Einfluss vor allem in Zonen mit hohem Luftwechsel sichtbar. Auf den Kältebedarf des Servers hat das LER einen massiven Einfluss. Wird es weggelassen **steigt der Kältebezug ab Netz um ca. 70%**.

**Auswirkung *Verzicht Serverabwärme (SER)***

Ein grossteil der Serverabwärme fällt im Sommer oder nachts an und kann deshalb schlecht genutzt werden. Wird auch tagsüber die Serverwärme im Winterfall nicht genutzt, so wird der Effekt durch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen teilweise kompensiert. So erklärt sich, dass ohne Nutzung der Serverabwärme der Wärmebedarf und **Bezug ab Netz lediglich um etwa 10% steigt**. Interessant ist aber, dass die WRG länger „gebypasst“ werden kann, was sich wiederum positiv auf den Stromverbrauch auswirkt.

**Auswirkungen *Verzicht Abwärme der gewerblichen Kälte (KAE)***

Wird die Abwärme der gewerblichen Kälte nicht genutzt, beeinflusst dies die andern Teilsysteme wenig. Die fehlende Wärme muss vom Arealnetz bezogen werden. Der **Bezug ab Arealwärmenetz steigt um ca. 26%**. Dazu kommt, dass die nicht genutzte Abwärme zusätzlich Rückgekühlt werden muss.

**Auswirkungen *Verzicht Solaranlage (SOL)***

Ohne thermische Solaranlage steigt der Ertrag der Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte etwas an. Die restliche Solarwärme wird mit dem Arealwärmenetz kompensiert. **Der Bezug ab Netz steigt um ca. 40%**.

Es ist klar zu erkennen, dass die einzelnen Systeme zusammenspielen und einander gegenseitig beeinflussen. Das Weglassen eines Teilsystems wird nicht empfohlen.

***Das Zusammenspiel der Techniksysteme wirkt sich auf folgenden Ebenen aus:***

- Wärme/Kälte: Reduktion Wärmeenergie, Reduktion Kälteenergie  
Nutzung Wärmeüberschuss durch Arealheiznetz für umliegende Bauten
- Elektrizität: Reduktion Stromverbrauch durch diverse Effekte wie  
kürzere Laufzeit WRG der Lüftungsanlagen (Minderung Druckverlust),  
Möglichkeit geringerer Luftmengen (erhöhte Lüftungseffizienz durch Untertemperatur),  
Reduktion Rückkühlenergie zur Vernichtung der Abwärme
- Komfort: Komfortsteigerung im Raum (Sommerfall)
- Sicherheit: Erhöhung Redundanz und Systemsicherheit bei Ausfall eines Teilsystems  
Lösung Vereisungsproblem Lüfterhitzer im Winterfall
- Kosten: Reduktion Installationskosten „konventionelle“ Technik  
Beitrag zur Kühlung und Entfeuchtung Sommerfall und dadurch Verzicht auf Luftkühler,  
Entfeuchter, Kältemaschinen und Rückkühler
- PR: Visuelles Signal an die Öffentlichkeit zur Nutzung alternativer Energien

3-PLAN HAUSTECHNIK AG

Stefan van Velsen, Ing. NDS FH EN<sup>BAU</sup>Amadeus Thiemann, Dipl. Masch. Ing. ETH  
Nikolai Artmann, Dipl. Ing. TUM

## 2 MODELLIERUNG

Das Kapitel Modellierung beschreibt, wie die Realität in einem Computermodell abgebildet wurde. Die Art der Modellierung, die Annahmen, Rahmenbedingungen und der Komplexitätsgrad definieren die Aussagekraft der Resultate. Es soll hier nicht aufgezeigt werden warum das Gebäude so, oder so geplant wurde, sondern wie die Planung in das Modell übersetzt wurde.

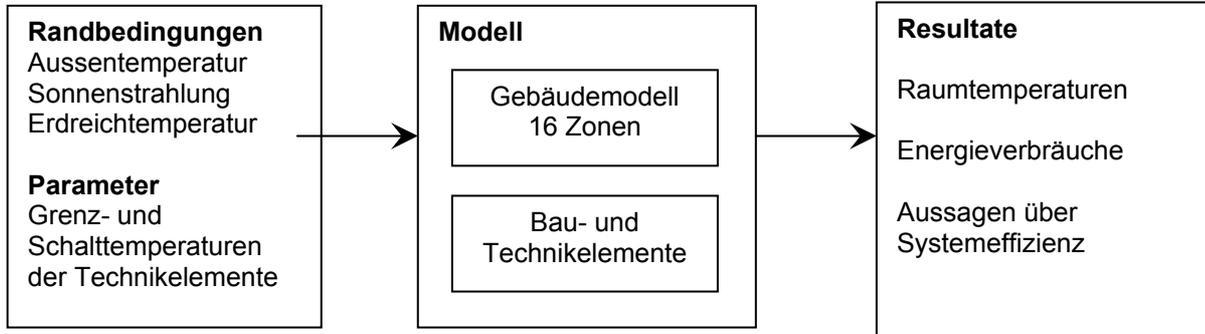


Abbildung 1 Übersicht Modellierung

Zu den **allgemeinen Randbedingungen** zählen alle, die nicht im Sinne einer Optimierung des Gebäudeperformanz variiert werden können. Dazu zählen insbesondere Aussentemperatur, solare Einstrahlung, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Erdreichtemperatur, etc.

**Parameter** dagegen repräsentieren eine hinterfragbare und optimierbare Entscheidung im Design des Gebäudes (z.B. Grenzwerte für Steuerungs- und Regelungsprozesse).

Die betrachtete **Systemgrenze** umfasst alle thermischen Energieflüsse in das, und aus dem Gebäude, die thermischen Energieflüsse zwischen den 16 Zonen des Gebäudes, sowie die modellhafte Repräsentation der physikalischen Umwandlungseffekte von thermischer Energie im Gebäude und den Bau und Technischelementen.

Über die Systemgrenze fließen also insbesondere die folgenden Energieflüsse:

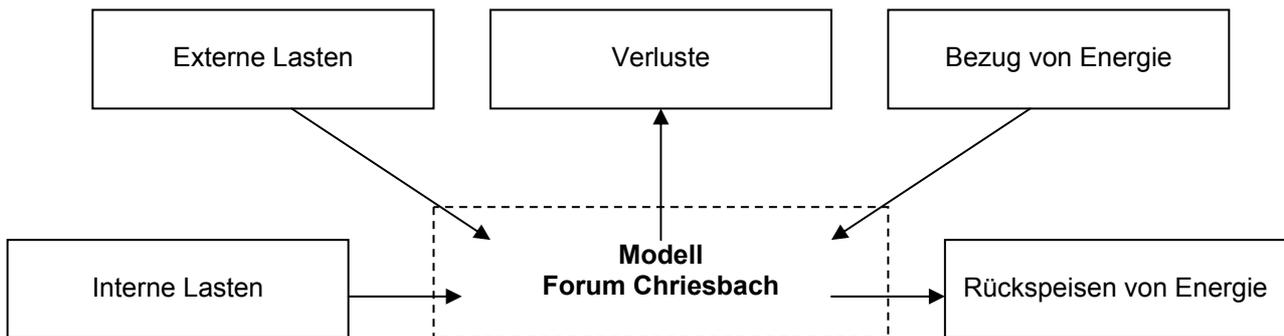


Abbildung 2 Systemgrenze

## 2.1 RANDBEDINGUNGEN UND PARAMETER

Die in diesem Bericht dargestellten Grenz- und Schalttemperaturen stellen eine Annäherung an die zum Teil im Laufe des Jahres 2007 geänderten Einstellungen dar.

### METEODATEN

Es wurden Meteodaten vom Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) verwendet. Diese Daten werden auf dem Empa-Areal unweit des Forum Chriesbach erfasst. Sie decken sich nicht vollständig mit den von lokalen Gegebenheiten beeinflussten Messungen auf dem Dach des Forum Chriesbach, weisen aber die bessere Datenqualität auf.

### AUSSENTEMPERATURVERLAUF

Im folgenden Diagramm sind die **Umgebungstemperatur (Ta)**, die fortlaufend über **24 Stunden gemittelte Umgebungstemperatur (Ta24)**, die **Erdreichtemperatur (Tgro)** sowie die Temperatur des **unbeheizten Kellervolumens (Tunh)** über das Jahr 2007 (Januar bis Dezember) dargestellt.

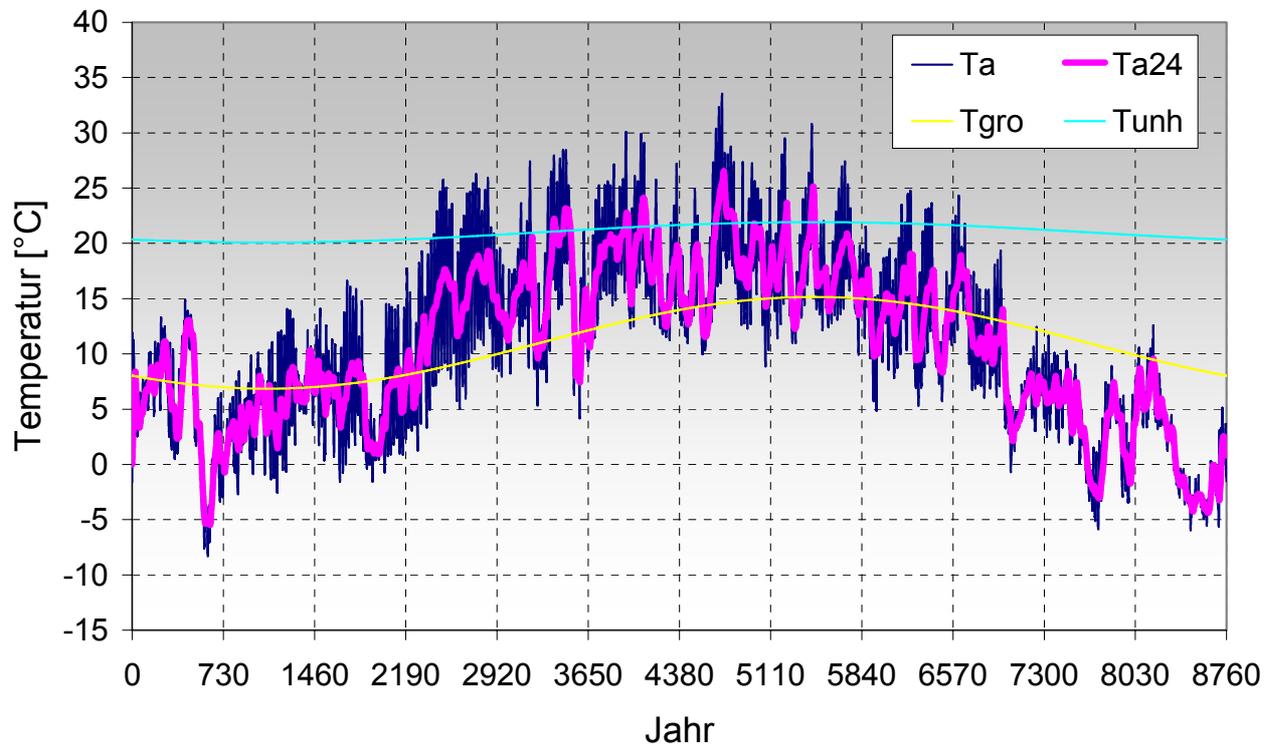


Abbildung 3 Aussentemperatur, Temperatur Erdreich und Keller, Januar bis Dezember 2007

**TEMPERATURVERLAUF ERDREICH**

In Abbildung 3 ist die vereinfachte Annahme des Jahresverlaufs der Erdreichtemperatur abgebildet [13]. Diese Temperatur dient als thermische Randbedingung für Zonen, die an das Erdreich angrenzen, wie Mensa, Küche und Bibliothek.

Die Temperatur des unbeheizten Bereiches des FC wurde ebenfalls mit einer einfachen Funktion modelliert. Diese Temperatur  $T_{unh}$  hängt grundsätzlich nicht nur von den Verlusten ins Erdreich und Gewinnen aus anderen Zonen ab, sondern vor allem von der Abwärme der technischen Einrichtungen. Der entsprechende Aufwand zur Modellierung ist hier nicht gerechtfertigt, da der unbeheizte Raum keine speziellen Temperaturanforderungen zu erfüllen hat.

$$g(z,t) = g_m + g_0 \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \pi - z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}}\right)$$

Mit

|                         |               | <b>Erdreich</b> |                            | <b>Unbeheizt</b> |      |
|-------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|------------------|------|
|                         |               | <b>Tgro</b>     |                            | <b>Tunh</b>      |      |
| Mitteltemperatur        | $\vartheta_m$ | Tmg             | 11°C                       | Tmu              | 21°C |
| Amplitude               | $\vartheta_0$ | Tog             | 4°C                        | Tou              | 1°C  |
| Tiefe im Erdreich       | z             |                 | 2m                         |                  |      |
| Temperaturleitfähigkeit | a             |                 | 0.002398 m <sup>2</sup> /h |                  |      |
| Periodendauer           | T             |                 | 8760 h                     |                  |      |

**STATISTISCHE AUSWERTUNG**

Die folgende Grafik zeigt die Anzahl Stunden im Jahr bei welcher die Temperatur oberhalb eines gewissen Niveaus liegt.

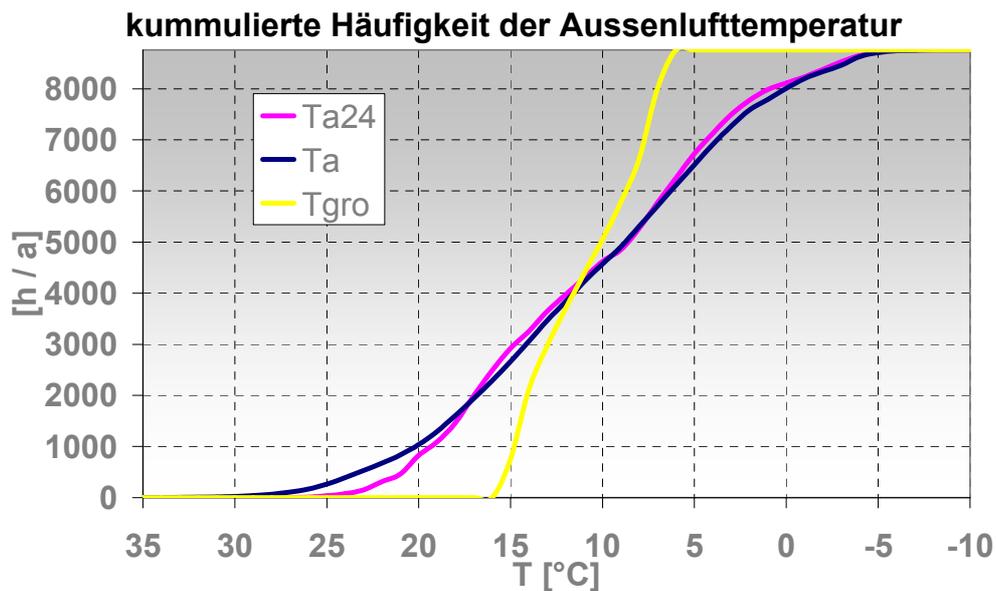


Abbildung 4 statistische Auswertung der Aussentemperaturen

## 2.2 GEBÄUDEMODELLIERUNG

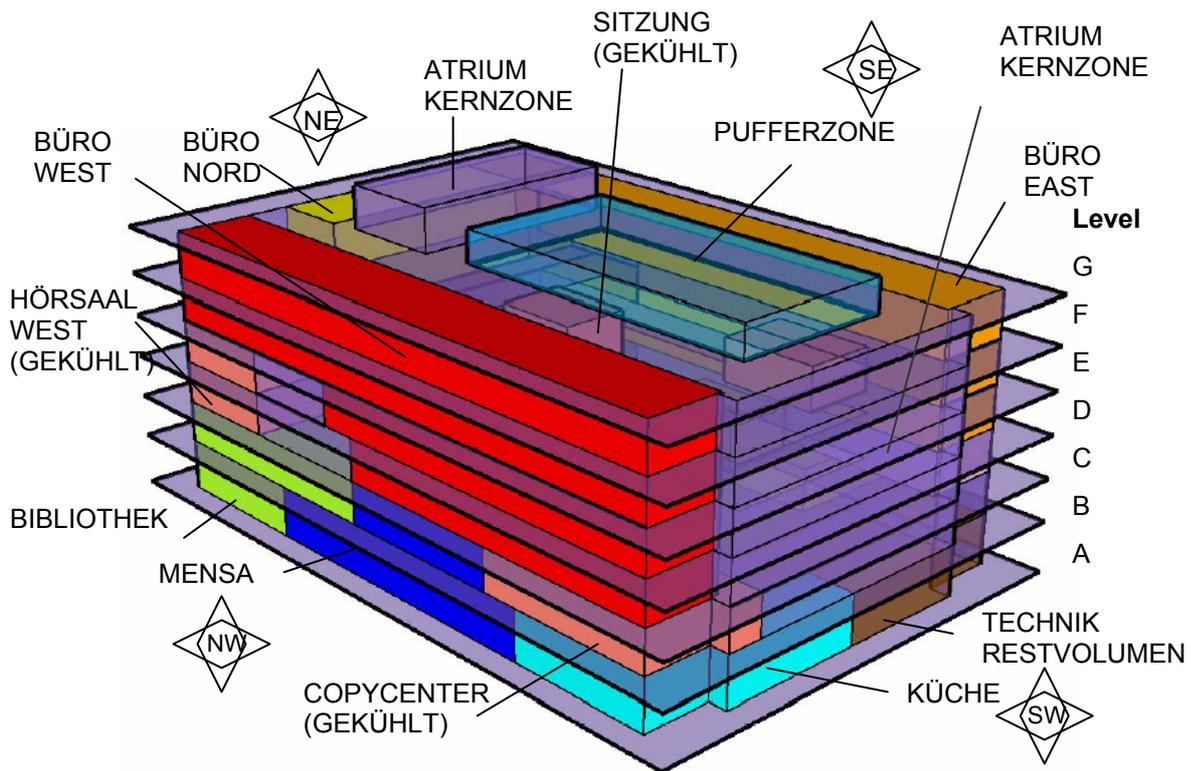
### 2.2.1 ZONEN

Bei der Zoneneinteilung wurden Bereiche zusammengefasst, die ähnliche interne und externe Lasten, ähnliche Benutzungsprofile, gleiche haustechnische Ausrüstung, sowie gleiche Komfortanforderungen haben. Zur Visualisierung und Kontrolle des Flächenauszugs wurde ein 3D-Modell mit SketchUp [8] erstellt.

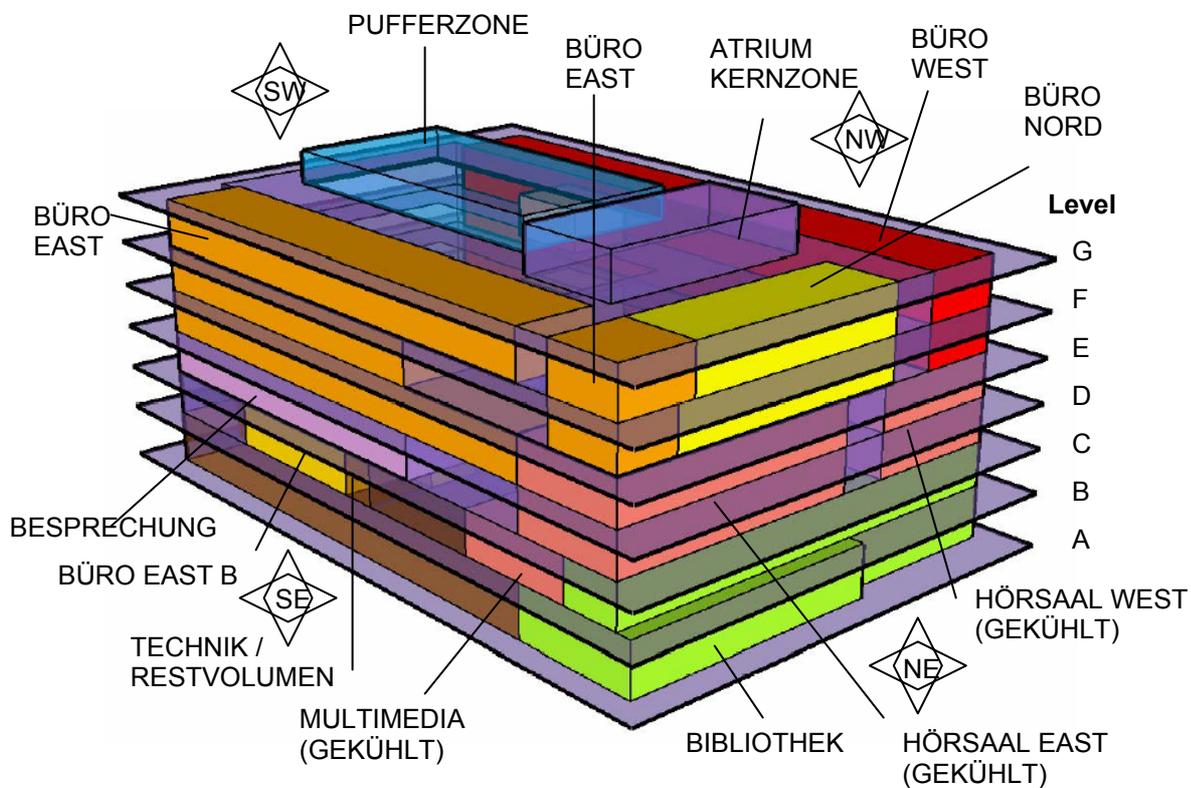
Das Gebäudemodell setzt sich aus Zonen zusammen. Jede Zone wird durch einen thermischen Luftknoten mit einer thermischen Kapazität sowie einer Hülle repräsentiert. Die Hülle der Zonen besteht aus Wänden. Die Wände wiederum bestehen aus opaken Teilen und Fenstern. Die opaken Teile sind aus Schichten aufgebaut, die als Widerstände und Kapazitäten abgebildet werden. Jede Wand erhält als von der Zone aus äussere Randbedingung eine andere Zone, Aussenklima oder Rechenwerte.

So wird das gesamte Modell Programmintern als Knotenmodell abgebildet. Die bei der Zonenbildung gemachten Vereinfachungen wie das Zusammenfassen grösserer Luftmassen zu einem Knoten und das Ersetzen der Wände durch U-Werte und Wärmebrücken sowie eventuell g-Werte reduzieren die Komplexität des Gesamtproblems enorm, ohne die Aussagefähigkeit des Modells entsprechend zu reduzieren, und ermöglichen so das numerisch-dynamische Modellieren des Gesamtsystems.

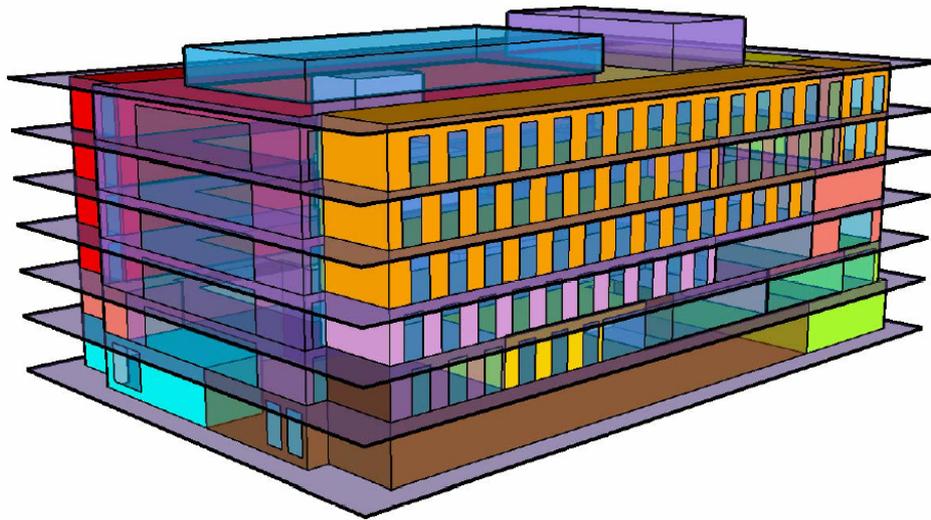
2.2.1.1 AUSSENANSICHTEN



Westansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung



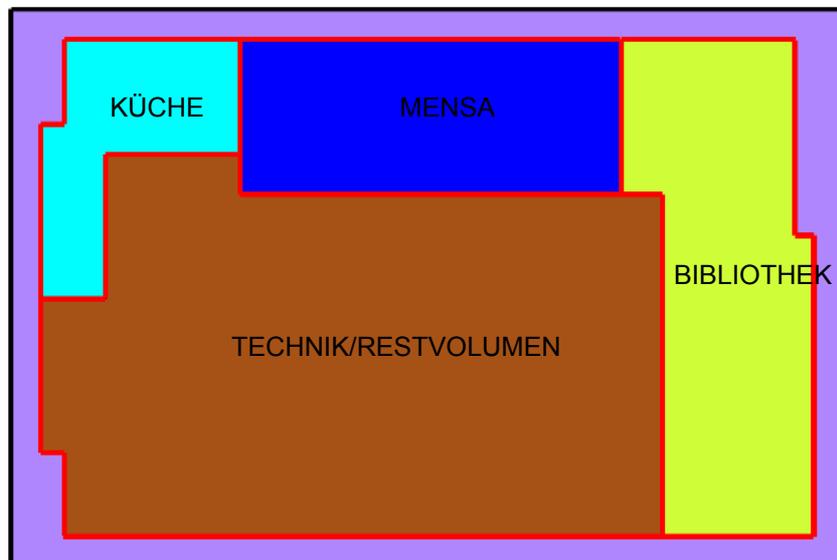
Ostansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung



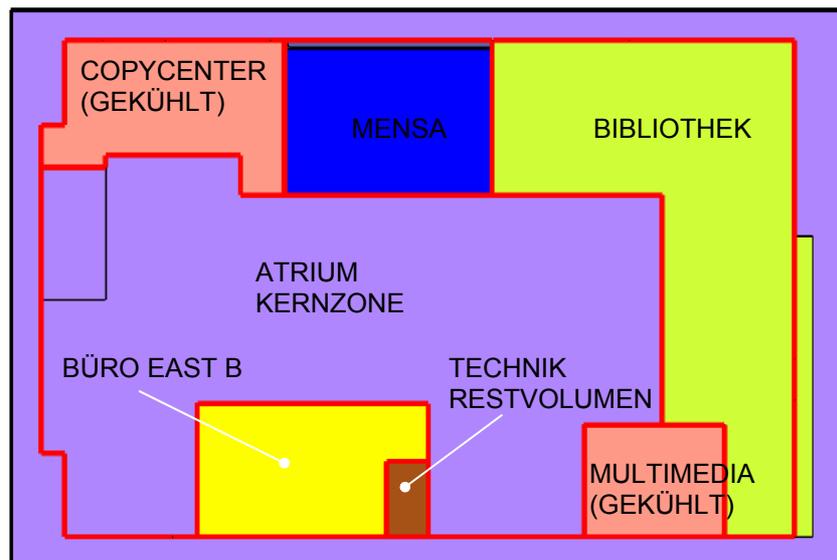
Süd-Ansicht mit Fenstern

2.2.1.2  
Level A

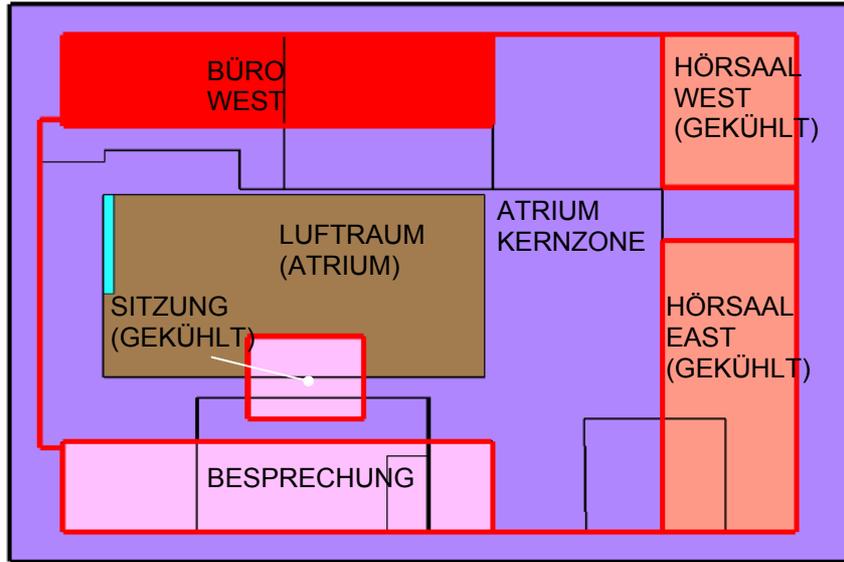
GRUNDRISSE



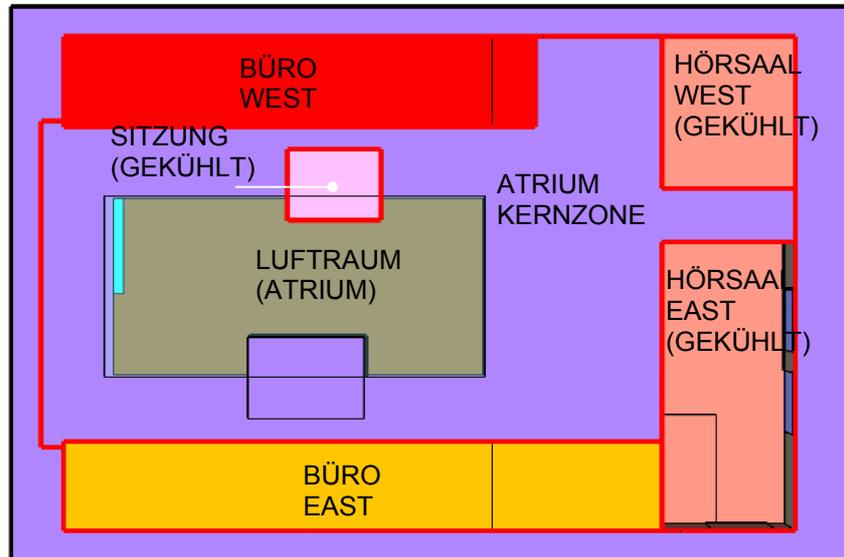
Level B



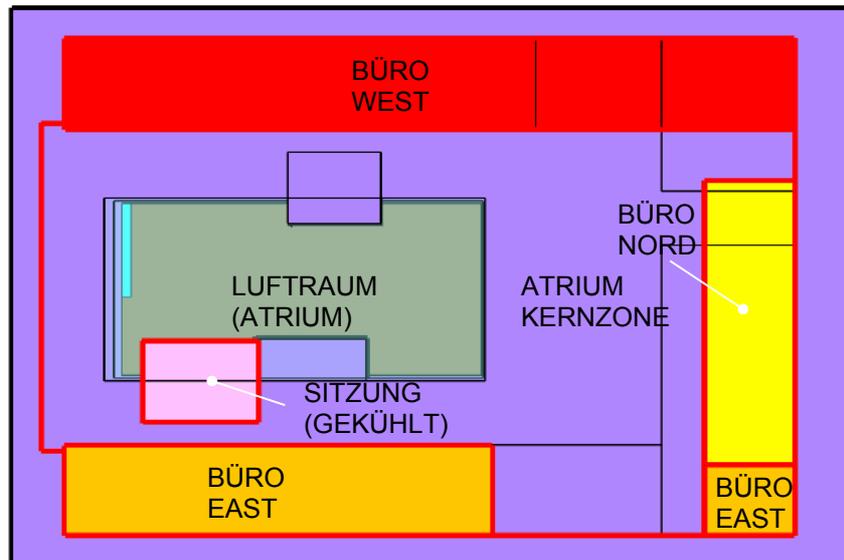
Level C



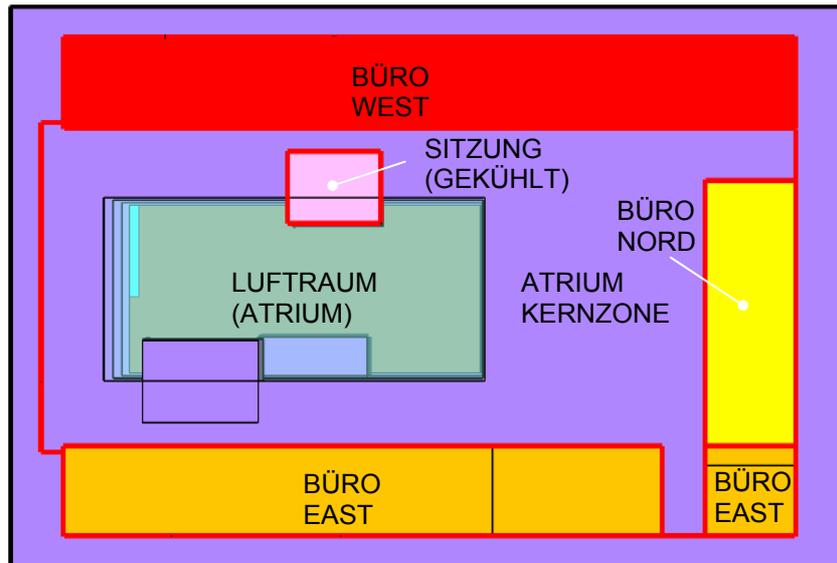
Level D



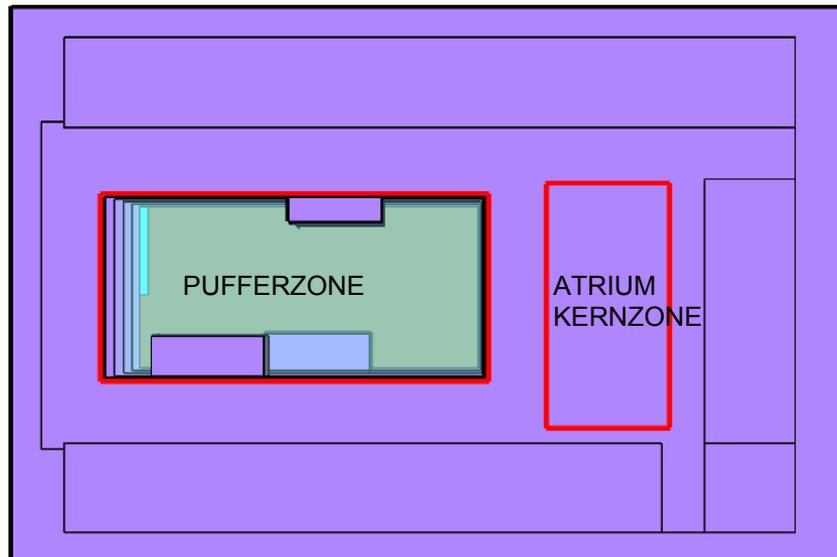
Level E



Level F



Level G



**2.2.1.3 FLÄCHEN UND VOLUMINA**

Im Folgenden ist der Volumenauszug des FC nach Zonen zusammengestellt. Die Energiebezugsfläche EBF<sub>0</sub> und EBF sind nach SIA380/1:2001 ermittelt.

In der Simulation wurden die Nettovolumina für den Luftaustausch verwendet und die Bruttoflächen für den Wärmefluss.

|                                 |                                      |                     |                                |                           |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <b>1 Küche (A)</b>              | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 129 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.28)                    | EBF = 165 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 116 m <sup>2</sup>  | (= 129 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 497 m <sup>3</sup>  | (= 129 x 3.85 m)               |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 313 m <sup>3</sup>  | (= 116 x 2.7 m)                |                           |
| <b>2 Mensa (A-B)</b>            | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 250 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.87)                    | EBF = 467 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 225 m <sup>2</sup>  | (= 250 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 1401 m <sup>3</sup> | (= 250 x 3.85 m + 137 x 3.2 m) |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 1046 m <sup>3</sup> | (= 225 x 2.7 m + 137 x 3.2 m)  |                           |
| <b>3 Bibliothek (A-B)</b>       | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 700 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.17)                    | EBF = 819 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 630 m <sup>2</sup>  | (= 700 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 2458 m <sup>3</sup> | (= 335 x 3.85 m + 365 x 3.2 m) |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 1701 m <sup>3</sup> | (= 630 x 2.7 m)                |                           |
| <b>4 Technik/Restvol. (A-B)</b> | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 911 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.28)                    | EBF = 1163 m <sup>2</sup> |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 820 m <sup>2</sup>  | (= 911 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 3498 m <sup>3</sup> | (= 897 x 3.85 m + 14 x 3.2 m)  |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 2214 m <sup>3</sup> | (= 820 x 2.7 m)                |                           |
| <b>5 Copycenter (B)</b>         | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 122 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.07)                    | EBF = 130 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 110 m <sup>2</sup>  | (= 122 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 390 m <sup>3</sup>  | (= 122 x 3.2 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 297 m <sup>3</sup>  | (= 110 x 2.7 m)                |                           |
| <b>6 Büro East B (B)</b>        | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 119 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.07)                    | EBF = 127 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 107 m <sup>2</sup>  | (= 119 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 381 m <sup>3</sup>  | (= 119 x 3.2 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 289 m <sup>3</sup>  | (= 107 x 2.7 m)                |                           |
| <b>7 Multimedia (B)</b>         | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 68 m <sup>2</sup>   | (fh = 1.07)                    | EBF = 73 m <sup>2</sup>   |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 61 m <sup>2</sup>   | (= 68 x 0.9)                   |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 218 m <sup>3</sup>  | (= 68 x 3.2 m)                 |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 165 m <sup>3</sup>  | (= 61 x 2.7 m)                 |                           |
| <b>8 Besprechung (C)</b>        | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 165 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.07)                    | EBF = 177 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 149 m <sup>2</sup>  | (= 165 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 528 m <sup>3</sup>  | (= 165 x 3.2 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 402 m <sup>3</sup>  | (= 149 x 2.7 m)                |                           |
| <b>9 Hörsaal East (C-D)</b>     | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 166 m <sup>2</sup>  | (fh = 2.13)                    | EBF = 354 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 149 m <sup>2</sup>  | (= 166 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 1062 m <sup>3</sup> | (= 166 x 6.4 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 879 m <sup>3</sup>  | (= 149 x (2.7+3.2) m)          |                           |
| <b>10 Hörsaal West (C-D)</b>    | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 174 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.07)                    | EBF = 186 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 157 m <sup>2</sup>  | (= 174 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 557 m <sup>3</sup>  | (= 174 x 3.2 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 424 m <sup>3</sup>  | (= 157 x 2.7 m)                |                           |
| <b>11 Sitzung (C-F)</b>         | Energiebezugsfläche EBF <sub>0</sub> | 140 m <sup>2</sup>  | (fh = 1.07)                    | EBF = 150 m <sup>2</sup>  |
|                                 | Nettogeschossfläche NGF              | 126 m <sup>2</sup>  | (= 140 x 0.9)                  |                           |
|                                 | Brutto-Volumen                       | 448 m <sup>3</sup>  | (= 140 x 3.2 m)                |                           |
|                                 | Netto-Volumen                        | 340 m <sup>3</sup>  | (= 126 x 2.7 m)                |                           |

|                               |                           |                            |                                |                                   |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>12 Büro West (C-F)</b>     | Energiebezugsfläche EBFo  | 909 m <sup>2</sup>         | (fh = 1.10)                    | EBF = 1001 m <sup>2</sup>         |
|                               | Nettogeschossfläche NGF   | 818 m <sup>2</sup>         | (= 909 x 0.9)                  |                                   |
|                               | Brutto-Volumen            | 2999 m <sup>3</sup>        | (= 628 x 3.2 m + 281 x 3.52 m) |                                   |
|                               | Netto-Volumen             | 2209 m <sup>3</sup>        | (= 818 x 2.7 m)                |                                   |
| <b>13 Büro East (D-F)</b>     | Energiebezugsfläche EBFo  | 687 m <sup>2</sup>         | (fh = 1.11)                    | EBF = 762 m <sup>2</sup>          |
|                               | Nettogeschossfläche NGF   | 618 m <sup>2</sup>         | (= 687 x 0.9)                  |                                   |
|                               | Brutto-Volumen            | 2283 m <sup>3</sup>        | (= 422 x 3.2 m + 265 x 3.52 m) |                                   |
|                               | Netto-Volumen             | 1669 m <sup>3</sup>        | (= 618 x 2.7 m)                |                                   |
| <b>14 Büro North (E-F)</b>    | Energiebezugsfläche EBFo  | 213 m <sup>2</sup>         | (fh = 1.12)                    | EBF = 238 m <sup>2</sup>          |
|                               | Nettogeschossfläche NGF   | 192 m <sup>2</sup>         | (= 213 x 0.9)                  |                                   |
|                               | Brutto-Volumen            | 715 m <sup>3</sup>         | (= 110 x 3.2 m + 103 x 3.52 m) |                                   |
|                               | Netto-Volumen             | 518 m <sup>3</sup>         | (= 192 x 2.7 m)                |                                   |
| <b>15 Atrium/Kernz. (B-G)</b> | Energiebezugsfläche EBFo  | 3485 m <sup>2</sup>        | (fh = 1.53)                    | EBF = 5349 m <sup>2</sup>         |
|                               | Nettogeschossfläche NGF   | 3137 m <sup>2</sup>        | (= 3485 x 0.9)                 |                                   |
|                               | Brutto-Volumen            | 15'248 m <sup>3</sup>      |                                |                                   |
|                               | Netto-Volumen             | 12'665 m <sup>3</sup>      |                                |                                   |
| <b>16 Pufferzone (G)</b>      | (Energiebezugsfläche EBFo | 315 m <sup>2</sup> )       | (fh = 1.00)                    | EBF = 315 m <sup>2</sup>          |
|                               | (Nettogeschossfläche NGF  | 284 m <sup>2</sup> )       | (= 315 x 0.9)                  |                                   |
|                               | Brutto-Volumen            | 788 m <sup>3</sup>         | (= 315 x 2.5 m)                |                                   |
|                               | Netto-Volumen             | 625 m <sup>3</sup>         | (= 284 x 2.2 m)                |                                   |
| <b>Total</b>                  | Energiebezugsfläche EBFo  | <b>8'238 m<sup>2</sup></b> |                                | <b>EBF = 11'161 m<sup>2</sup></b> |

**GEBÄUDE - AUSSENFLÄCHEN**
**AUSSENFLÄCHEN**

| ZONE                        | AUSRICHTUNG                              |              |                         |              |                         |              |                         |              |                            |                           |            | BRUTTO<br>VOLUMEN<br>[m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------|------------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|------------|----------------------------------------|
|                             | NE<br>[m <sup>2</sup> ]                  |              | NW<br>[m <sup>2</sup> ] |              | SW<br>[m <sup>2</sup> ] |              | SE<br>[m <sup>2</sup> ] |              | UNTEN<br>[m <sup>2</sup> ] | OBEN<br>[m <sup>2</sup> ] |            |                                        |
|                             | Opak                                     | F&T          | Opak                    | F&T          | Opak                    | F&T          | Opak                    | F&T          | Opak                       | Opak                      | F&T        |                                        |
| KÜCHE                       | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 65.5                    | 8.7          | 0                       | 0            | 129.1                      | 0                         | 0          | 497                                    |
| MENSA                       | 0                                        | 0            | 139                     | 94.5         | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 250.5                      | 0                         | 0          | 1401                                   |
| BIBLIOTHEK                  | 76.2                                     | 0            | 111.6                   | 51.4         | 0                       | 0            | 52.8                    | 10.9         | 334.7                      | 23.8                      | 0          | 2458                                   |
|                             | 153.6                                    | 43.5         |                         |              |                         |              |                         |              |                            |                           |            |                                        |
| TECHNIK / RESTVOL.          | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 60.1                    | 7.4          | 164.6                   | 0            | 896.9                      | 0                         | 0          | 3498                                   |
| COPYCENTER                  | 0                                        | 0            | 50.9                    | 21           | 26.6                    | 0            | 0                       | 0            | 0                          | 0                         | 0          | 390                                    |
| BÜRO EAST B                 | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 39.7                    | 21.8         | 0                          | 0                         | 0          | 381                                    |
| MULTIMEDIA                  | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 29.4                    | 24.7         | 0                          | 0                         | 0          | 218                                    |
| BESPRECHUNG                 | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 17.6                    | 0            | 89.6                    | 37           | 0                          | 0                         | 0          | 528                                    |
| HÖRSAAL EAST                | 122.2                                    | 22.2         | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 55.7                    | 11.1         | 0                          | 0                         | 0          | 1062                                   |
| HÖRSAAL WEST                | 64                                       | 17.6         | 55.7                    | 22.2         | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 0                          | 0                         | 0          | 557                                    |
| SITZUNG                     | 0                                        | 0            | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 0                          | 0                         | 0          | 448                                    |
| BÜRO WEST                   | 39.6                                     | 0            | 508.7                   | 203.4        | 72.2                    | 0            | 0                       | 0            | 0                          | 281.4                     | 0          | 2999                                   |
| BÜRO EAST                   | 35.5                                     | 0            | 0                       | 0            | 54.6                    | 0            | 391.3                   | 155.3        | 0                          | 264.9                     | 0          | 2283                                   |
| BÜRO NORD                   | 121.1                                    | 44.4         | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 0                       | 0            | 0                          | 102.7                     | 0          | 715                                    |
| ATRIUM / KERNZONE           | 98.7                                     | 25           | 81.1                    | 36.1         | 414.6                   | 161.2        | 173.9                   | 101.9        | 0                          | 623.5                     | 0          | 15248                                  |
| &                           | 31                                       | 11.2         | 26.6                    |              | 31                      | 11.2         | 26.6                    |              |                            | 315                       | 315        |                                        |
| PUFFERZONE                  |                                          |              | 63.5                    | 22.9         |                         |              | 63.5                    | 22.9         |                            |                           |            | 788                                    |
| <b>Total</b>                | <b>741.9</b>                             | <b>163.9</b> | <b>1087.2</b>           | <b>466.3</b> | <b>742.2</b>            | <b>188.5</b> | <b>1087.1</b>           | <b>385.6</b> | <b>1611.2</b>              | <b>1611.3</b>             | <b>315</b> | <b>33471</b>                           |
| <b>Total Opake Elemente</b> | <b>6881</b>                              |              |                         |              |                         |              |                         |              |                            |                           |            |                                        |
| <b>Total Aw</b>             | <b>1519 (Fläche Fenster &amp; Türen)</b> |              |                         |              |                         |              |                         |              |                            |                           |            |                                        |

**Kennwerte**

|                     |                                                          |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| Gebäudehüllfläche A | 8078 (gewichtetes Total Opak und F&T)                    |
| EBF                 | 11161 (höhenkorrigiert nach SIA380/1:2001)               |
| Gebäudehüllzahl     | 0.72 (A/EBF nicht B-Wert-korrigiert nach SIA 380/1:2001) |
| Rel. Fensterfläche  | 0.14 (A <sub>w</sub> /EBF)                               |

**Tabelle 1 Aussenflächen und Kennwerte**

**2.2.1.4 BAUTEILE**

Als Grundlage wurden der Wärmedämmnachweis des Bauphysikers [5], diverse Ausführungsdetails der Architekten sowie die Haustechnik-Koordinationspläne [9] genommen.

**Legende:**

- WIN = Fenster (Window)
- WAL = Wand (Wall)
- FLO = Zwischenboden (Floor)
- GRO = Boden (Ground)
- CEI = Zwischendecke (Ceiling)
- ROO = Dach (Roof)
  
- E = Extern (External)
- I = Intern (Internal)
- A = Angrenzend (Adjacent)
- B = Rand Bedingung (Boundary)
  
- S = Erdreich (Soil)
- U = Unbeheizt (Unheated)
- W = Ohne Trittschall
- L = Lehm (Loam) bei Lehmwand
- C = Beton (Concrete) bei Betonwand
- K = Kühldecke (Cooling) an Decke befestigt
- P = Paneele der Pufferzone, Wände, Böden und Decken
- BS = Untergeschoss (Basement)
- G1 = Glas Typ 1 (GT1) bei Fenster in den Fassaden
- G2 = Glas Typ 2 (GT2) bei Fenster der Pufferzone oben
- G3 = Glas Typ 3 (GT3) bei Fenster der Pufferzone unten
- G4 = Glas Typ 4 (GT4) bei Fenster der Pufferzone Seitenwände

**Materialien:**

| Material                 | $\lambda$ [W/(K m)] | $c_p$ [J/(kg K)] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|
| Unterlagsboden           | 1.70                | 840              | 2'200                       |
| Trittschalldämmung       | 0.04                | 1'400            | 10                          |
| Stahlbeton               | 2.20                | 840              | 2'400                       |
| Styrofoam IB – X (0032)  | 0.03                | 1'190            | 30                          |
| Grobspanplatte           | 0.14                | 1'880            | 500                         |
| Mineralwollplatte (0034) | 0.03                | 1'470            | 35                          |
| Lehmplatte               | 0.23                | 840              | 800                         |
| Wärmedämmung inhomogen   | 0.03                | 1'470            | 35                          |
| Polyurethan (0034)       | 0.02                | 1'470            | 35                          |
| Rundkies                 | 2.00                | 1'000            | 1'800                       |
| XPS                      | 0.03                | 1'470            | 35                          |

**Boden zu Erdreich:** GRO\_B\_S Boden (Wärmedämmung zwischen Betonplatte und Erdreich)  
 6 cm Unterlagsboden  
 2 cm Trittschalldämmung  
 30 cm Stahlbeton  
 20 cm Styrofoam IB-X (0032)  
 $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Boden zu Unbeheizt:** FLO\_B\_U Boden zu unbeheizte Räume  
 6 cm Unterlagsboden  
 2 cm Trittschalldämmung  
 45 cm Stahlbeton  
 $U = 1.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

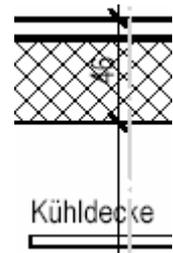


FLO\_B\_W Boden zu unbeheizte Räume  
 8 cm Unterlagsboden  
 45 cm Stahlbeton  
 $U = 2.37 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Boden zu Intern:** FLO\_I Boden zonenintern  
 6 cm Unterlagsboden  
 2 cm Trittschalldämmung  
 36 cm Stahlbeton  
 $U = 1.15 \text{ W/m}^2\text{K}$



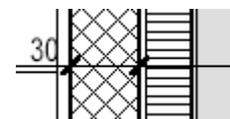
**Boden zu Angrenzend:** FLO\_A Boden zu angrenzende Zone  
 6 cm Unterlagsboden  
 2 cm Trittschalldämmung  
 36 cm Stahlbeton  
 $U = 1.15 \text{ W/m}^2\text{K}$



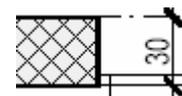
FLO\_A\_K Boden zu angrenzende Zone mit Kühldecke  
 6 cm Unterlagsboden  
 2 cm Trittschalldämmung  
 36 cm Stahlbeton  
 50 cm Luftraum (als 0.1 cm WD modelliert)  
 8 cm Kühldecke  
 $U = 1.12 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Boden zu Angrenzend:** FLO\_A\_P Boden zu angrenzende Zone aus Paneele  
 3 cm Grobspanplatte  
 8 cm Mineralwollplatte (0034)  
 3 cm Grobspanplatte  
 $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Wand zu Erdreich:** WAL\_B\_S Betonwand mit Aussendämmung  
 30 cm Stahlbeton  
 20 cm XPS (0034)  
 $U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$

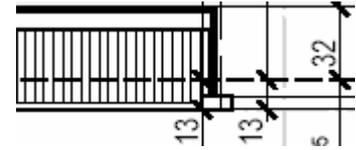


**Wand zu Unbeheizt:** WAL\_B\_U Betonwand zu unbeheizte Räume  
 30 cm Stahlbeton  
 $U = 3.26 \text{ W/m}^2\text{K}$



**Wand zu Extern:**

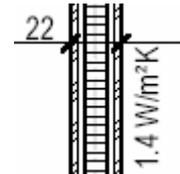
WAL\_E Leichtbauwand zu Aussenluft  
3 cm Grobspanplatte  
30 cm Mineralwollplatte (0034)  
6 cm Lattung  
U = 0.12 W/m<sup>2</sup>K



WAL\_E\_P Wand aus Paneele zu Aussenluft  
3 cm Grobspanplatte  
8 cm Mineralwollplatte (0034)  
3 cm Grobspanplatte  
U = 0.30 W/m<sup>2</sup>K

**Wand zu Intern:**

WAL\_I\_L Lehmwand zonenintern  
2.5 cm Lehmplatte  
14 cm Wärmedämmung (Inhomogen)  
2.5 cm Lehmplatte  
U = 0.19 W/m<sup>2</sup>K

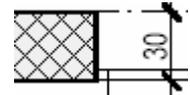


WAL\_I\_C Betonwand zonenintern  
30 cm Stahlbeton  
U = 3.26 W/m<sup>2</sup>K

**Wand zu Angrenzend:**

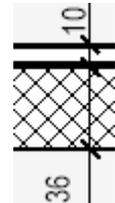
WAL\_A\_L Lehmwand zu angrenzende Zone  
2.5 cm Lehmplatte  
14 cm Wärmedämmung (Inhomogen)  
2.5 cm Lehmplatte  
U = 0.19 W/m<sup>2</sup>K

WAL\_A\_C Betonwand zu angrenzende Zone  
30 cm Stahlbeton  
U = 3.26 W/m<sup>2</sup>K



**Decke zu Intern:**

CEI\_I Decke zonenintern  
36 cm Stahlbeton  
2 cm Trittschalldämmung  
6 cm Unterlagsboden  
U = 1.15 W/m<sup>2</sup>K



**Decke zu Angrenzend:**

CEI\_A Decke zu angrenzende Zone  
36 cm Stahlbeton  
2 cm Trittschalldämmung  
6 cm Unterlagsboden  
U = 1.15 W/m<sup>2</sup>K

CEI\_A\_K Decke zu angrenzende Zone mit Kühldecke  
8 cm Kühldecke  
50 cm Luftraum (als 0.1 cm WD modelliert)  
36 cm Stahlbeton  
2 cm Trittschalldämmung  
6 cm Unterlagsboden  
U = 1.12 W/m<sup>2</sup>K



**Decke zu Angrenzend:**

CEI\_A\_P Decke zu angrenzende Zone aus Paneele  
3 cm Grobspanplatte  
8 cm Mineralwollplatte (0034)  
3 cm Grobspanplatte  
U = 0.30 W/m<sup>2</sup>K

**Dach zu Extern:**

ROO\_E Dach zu Aussenluft  
 36 cm Stahlbeton  
 32 cm Polyurethan (0034)  
 10 cm Rundkies (Schutzschicht)  
 $U = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

ROO\_E\_P Dach zu Aussenluft aus Paneele  
 3 cm Grobspanplatte  
 8 cm Mineralwollplatte (0034)  
 3 cm Grobspanplatte  
 $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$


**Fenster zu Extern:**

WIN\_E\_G1 3-Fach Verglasung zu Aussenluft  
 $U_g = 0.57 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $g = 0.43$ )  
 $U_f = 1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Spacer: 0.04,  $A_f/A_w = 0.36$ )  
 $U_w = 0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$

WIN\_E\_G2 2-Fach Verglasung zu Aussenluft  
 $U_g = 1.04 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $g = 0.48$ )  
 $U_f = 1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Spacer: 0.04,  $A_f/A_w = 0.25$ )  
 $U_w = 1.24 \text{ W/m}^2\text{K}$

WIN\_E\_G4 2-Fach Sonnenschutzverglasung zu Aussenluft  
 $U_g = 1.04 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $g = 0.36$ )  
 $U_f = 1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Spacer: 0.04,  $A_f/A_w = 0.25$ )  
 $U_w = 1.24 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Fenster zu Angrenzend:**

WIN\_A\_G3 3-Fach Verglasung zu angrenzende Zone  
 $U_g = 0.57 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $g = 0.43$ )  
 $U_f = 1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Spacer: 0.04,  $A_f/A_w = 0.36$ )  
 $U_w = 0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$

WIN\_A 2-Fach Verglasung zu angrenzende Zone  
 $U_g = 1.12 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $g = 0.59$ )  
 $U_f = 1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Spacer: 0.07,  $A_f/A_w = 0.25$ )  
 $U_w = 1.47 \text{ W/m}^2\text{K}$


**Baulicher Sonnenschutz**

Die balkonartigen Fluchtwege an der Fassade wirken sich als **baulicher Sonnenschutz** für die Fenster aus. Der Überhang des Sonnenschutzes ist 2 m bei den NW, SE und SW Fassaden. Bei der NE Fassade sind es 3.5 m.

**Wärmebrücken**

Die Wärmebrücken sind gemäss Bauphysiker [5] in den U-Werten der Konstruktionen bereits berücksichtigt. Es seien aufgrund der Konstruktionsaufbauten keine Wärmebrückenzuschläge zu machen.

## 2.2.2 WÄRMESTRÖME

Die in das Gebäudemodell eingetragenen Wärmeströme teilen sich auf in externe Lasten, interne Lasten, sowie Wärmeströme von aktiven Gebäudeelementen (Haustechnik).

### Externe Lasten

- Sonnenstrahlung durch Fenster (Strahlungswärme)
- Aussenluft (Lüftung, Infiltration)
- Transmission

### Interne Lasten

- Personen
- Geräte
- Beleuchtung

### Aktive Gebäudetechnikelemente

- Heizung (Heizkörper), Luftheizung(tagsüber), Nachtheizung(Umluftbetrieb)
- Kühlung(Kühldecken, Luftkühlung)

Die externen Lasten wurden in Kapitel 2.1 diskutiert

### 2.2.2.1 INTERNE LASTEN

Die internen Lasten effektive Nutzung basieren auf den Erhebungen von M. Bauer [11] und wurden durch Plausibilisierung mittels Messdaten aus der Betriebsoptimierung [16] sowie Angaben des Betreibers angepasst.

Die Verteilung der Volllaststunden [h/d] ist aus dem Anhang interne Lasten ersichtlich. Der Reduktionsfaktor Tageslicht bezeichnet den Anteil der Beleuchtungsenergie, der trotz Tageslichtnutzung nötig ist. Dieser Wert ist von den Wetterdaten abhängig. Im Modell fallen bei starker Sonneneinstrahlung in gewissen Zonen keine Beleuchtungslasten an. Ein Vergleich der internen Lasten Stand Planung und Stand effektive Nutzung kann dem Anhang „Modelländerungen effektive Nutzung“ entnommen werden.

### Interne Lasten effektive Nutzung

| ZONE <sup>2</sup>    | NGF<br>[m2] | Personen |        |          |                | Geräte |        |          |                | Beleuchtung |        |                  |                | TOTAL   |          |                |
|----------------------|-------------|----------|--------|----------|----------------|--------|--------|----------|----------------|-------------|--------|------------------|----------------|---------|----------|----------------|
|                      |             | [h/a]    | [W/m2] | [MJ/m2a] | [MJ/a]         | [h/a]  | [W/m2] | [MJ/m2a] | [MJ/a]         | [h/a]       | [W/m2] | [%] <sup>1</sup> | [MJ/m2a]       | [MJ/a]  | [MJ/m2a] | [MJ/a]         |
| 1 KÜCHE              | 116         | 1'820    | 4      | 26       | 3'040          | 1'820  | 240    | 1'572    | 182'408        | 2'912       | 8      | 100%             | 84             | 9'728   | 1'683    | 195'176        |
| 2 MENSA              | 225         | 650      | 70     | 164      | 36'855         | 1'300  | 2      | 9        | 2'106          | 3'120       | 10     | 46%              | 52             | 11'625  | 225      | 50'586         |
| 3 BIBLIOTHEK         | 630         | 780      | 3      | 8        | 5'307          | 1'300  | 2      | 9        | 5'897          | 2'028       | 10     | 100%             | 73             | 45'995  | 91       | 57'199         |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | 820         |          |        |          |                |        |        |          |                |             |        | 0%               |                |         |          |                |
| 5 COPYCENTER         | 110         | 520      | 2      | 4        | 412            | 104    | 10     | 4        | 412            | 1'144       | 9      | 100%             | 37             | 4'077   | 45       | 4'901          |
| 6 BÜRO EAST B        | 107         | 2'080    | 2      | 15       | 1'602          | 2'340  | 4      | 34       | 3'605          | 2'704       | 10     | 46%              | 45             | 4'791   | 93       | 9'999          |
| 7 MULTIMEDIA         | 61          | 520      | 11     | 21       | 1'256          | 988    | 14     | 50       | 3'038          | 1'560       | 9      | 40%              | 20             | 1'233   | 91       | 5'527          |
| 8 BESPRECHUNG        | 149         | 1'040    | 5      | 19       | 2'830          | 1'560  | 1      | 6        | 837            | 1'820       | 8      | 40%              | 22             | 3'302   | 47       | 6'969          |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 149         | 260      | 47     | 44       | 6'555          | 624    | 5      | 11       | 1'674          | 624         | 10     | 100%             | 22             | 3'347   | 78       | 11'576         |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 157         | 260      | 45     | 42       | 6'613          | 624    | 4      | 9        | 1'411          | 624         | 8      | 100%             | 18             | 2'821   | 69       | 10'845         |
| 11 SITZUNG           | 126         | 312      | 22     | 25       | 3'114          | 312    | 10     | 11       | 1'415          | 936         | 10     | 100%             | 34             | 4'246   | 70       | 8'774          |
| 12 BÜRO WEST         | 818         | 1'456    | 5      | 26       | 21'438         | 1'482  | 7      | 37       | 30'549         | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 42'616  | 116      | 94'603         |
| 13 BÜRO EAST         | 618         | 1'456    | 5      | 26       | 16'197         | 1'482  | 10     | 53       | 32'972         | 2'860       | 8      | 46%              | 38             | 23'416  | 117      | 72'584         |
| 14 BÜRO NORD         | 192         | 1'456    | 4      | 21       | 4'026          | 1'482  | 7      | 37       | 7'171          | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 10'003  | 110      | 21'199         |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 3'137       | 260      | 4      | 4        | 11'745         | 338    | 1      | 1        | 3'817          | 2'444       | 8      | 59%              | 42             | 130'275 | 46       | 145'837        |
| <b>FC GESAMT</b>     |             |          |        |          | <b>120'989</b> |        |        |          | <b>277'310</b> |             |        |                  | <b>297'476</b> |         |          | <b>695'775</b> |

|              | [m2]   | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] |
|--------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| bez auf NGF  | 7'415  | 16.3     | 37.4     | 40.1     | 93.8     |
| bez auf EBF0 | 8'238  | 14.7     | 33.7     | 36.1     | 84.5     |
| bez. auf EBF | 11'161 | 10.8     | 24.8     | 26.7     | 62.3     |

<sup>1</sup>Reduktionsfaktor Tageslichtnutzung

<sup>2</sup> alle Zonen 260 Arbeitstage pro Jahr.

Tabelle 2 Interne Lasten

**2.2.2.2 HEIZUNG / KÜHLUNG**

Folgende Tabelle fasst die Kennzahlen zu Heizung und Kühlung der verschiedenen Zonen zusammen. Die Wärme für Heizung und Warmwasser wird im Gebäudemodell direkt als ausgelegte Leistung modelliert. Die bezogenen Energiemengen werden dann dem Speichermodell entzogen (Modellierung siehe Speichermodell). Die Heizleistung im Atrium bezeichnet sowohl die Heizkörper im Windfang, als auch Verluste des Speichers und der Heizungsleitungen im Boden des Atriums.

**HEIZUNG / KÜHLUNG**

| ZONE                 | NGF<br>[m2]  | Heizung<br>(Heizkörper) |                        | Kühlung<br>(Kühldecken) |                        | Nachheiz.<br>(Lüftung) | Luftkühl.<br>(Lüftung) | Nachtkühl.<br>(Infiltration) |
|----------------------|--------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
|                      |              | [W]                     | spez. Leist.<br>[W/m2] | [W]                     | spez. Leist.<br>[W/m2] |                        |                        |                              |
| 1 KÜCHE              | 116          | 1'076                   | 9                      | 0                       | 0                      | Nein                   | Nein                   | Nein                         |
| 2 MENSA              | 225          | 3'132                   | 14                     | 0                       | 0                      | Nein                   | Nein                   | Ja                           |
| 3 BIBLIOTHEK         | 630          | 1'969                   | 3                      | 0                       | 0                      | Nein                   | Ja                     | Ja                           |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | 820          | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Nein                   | Nein                   | Nein                         |
| 5 COPYCENTER         | 110          | 784                     | 7                      | 3'668                   | 33                     | Nein                   | Nein                   | Ja                           |
| 6 BÜRO EAST B        | 107          | 975                     | 9                      | 0                       | 0                      | Nein                   | Nein                   | Ja                           |
| 7 MULTIMEDIA         | 61           | 460                     | 8                      | 5'004                   | 82                     | Nein                   | Ja                     | Nein                         |
| 8 BESPRECHUNG        | 149          | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Ja                     | Nein                   | Ja                           |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 149          | 0                       | 0                      | 8'886                   | 60                     | Ja                     | Ja                     | Nein                         |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 157          | 0                       | 0                      | 11'952                  | 76                     | Ja                     | Ja                     | Ja                           |
| 11 SITZUNG           | 126          | 0                       | 0                      | 7'416                   | 59                     | Ja                     | Ja                     | Nein                         |
| 12 BÜRO WEST         | 818          | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Ja                     | Nein                   | Ja                           |
| 13 BÜRO EAST         | 618          | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Ja                     | Nein                   | Ja                           |
| 14 BÜRO NORD         | 192          | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Ja                     | Nein                   | Ja                           |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 3'137        | 6'000                   | 2                      | 0                       | 0                      | Ja                     | Nein                   | Ja                           |
| 16 PUFFERZONE        | 0            | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | Nein                   | Nein                   | Nein                         |
| <b>TOT</b>           | <b>7'415</b> | <b>14'396</b>           | <b>2</b>               | <b>36'926</b>           | <b>5</b>               |                        |                        |                              |

**Tabelle 3 Heiz- und Kühlleistungen**

**2.2.2.3 LÜFTUNG**

Folgende Tabelle trägt sämtliche Luftvolumenströme der Lüftungsanlagen zu den verschiedenen Zonen zusammen. Im Modell wurde die Differenz zwischen Zuluft- und Abluftvolumenstrom vernachlässigt. Für die Lüftung wurde der Mittelwert verwendet. Im Vergleich zur Genauigkeit der Lüftungsfahrpläne und der Luftmengen, ist diese Vereinfachung vertretbar.

**VOLUMENSTRÖME**

| ZONE                       | EBFo              | Netto-                       | ZUL                 | ABL                 | V mittel            | V0                  | $\eta_v$ | $\beta$ | V'th <sub>mech_läuft</sub>         | V'th <sub>inf</sub>                | V'th                               |
|----------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|---------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                            | [m <sup>2</sup> ] | Volumen<br>[m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [1]      | [h/h]   | [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h] | [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h] | [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h] |
| KÜCHE                      | 129               | 313                          | 5'900               | 6'900               | 6'400               | 15.65               | 0.75     | 0.21    | 12.40                              | 0.12                               | 2.71                               |
| MENSA                      | 250               | 1'046                        | 3'750               | 2'750               | 3'250               | 52.30               | 0.75     | 0.13    | 3.25                               | 0.21                               | 0.63                               |
| BIBLIOTHEK                 | 700               | 1'701                        | 1'240               | 1'175               | 1'208               | 85.05               | 0.75     | 0.36    | 0.43                               | 0.12                               | 0.28                               |
| COPYCENTER                 | 122               | 297                          | 660                 | 560                 | 610                 | 14.85               | 0.75     | 0.36    | 1.25                               | 0.12                               | 0.57                               |
| BÜRO EAST B                | 119               | 289                          | 280                 | 250                 | 265                 | 14.45               | 0.75     | 0.36    | 0.56                               | 0.12                               | 0.32                               |
| MULTIMEDIA                 | 68                | 165                          | 400                 | 360                 | 380                 | 8.25                | 0.75     | 0.36    | 1.40                               | 0.12                               | 0.62                               |
| BESPRECHUNG                | 165               | 402                          | 1'100               | 1'000               | 1'050               | 20.10               | 0.75     | 0.12    | 1.59                               | 0.12                               | 0.31                               |
| HÖRSAAL EAST               | 166               | 879                          | 3'000               | 2'640               | 2'820               | 43.95               | 0.75     | 0.05    | 4.25                               | 0.26                               | 0.49                               |
| HÖRSAAL WEST               | 174               | 424                          | 2'000               | 1'760               | 1'880               | 21.20               | 0.75     | 0.10    | 2.70                               | 0.12                               | 0.38                               |
| SITZUNG                    | 140               | 340                          | 1'750               | 1'750               | 1'750               | 17.00               | 0.75     | 0.16    | 3.13                               | 0.12                               | 0.62                               |
| BÜRO WEST                  | 909               | 2'209                        | 1'985               | 1'725               | 1'855               | 110.45              | 0.75     | 0.36    | 0.51                               | 0.12                               | 0.30                               |
| BÜRO EAST                  | 687               | 1'669                        | 1'435               | 1'240               | 1'338               | 83.45               | 0.75     | 0.36    | 0.49                               | 0.12                               | 0.30                               |
| BÜRO NORD                  | 213               | 518                          | 480                 | 420                 | 450                 | 25.90               | 0.75     | 0.36    | 0.53                               | 0.12                               | 0.31                               |
| ATRIUM / KERNZONE          | 3485              | 13'290                       | 4'030               | 4'630               | 4'330               | 664.50              | 0.75     | 0.18    | 0.31                               | 0.19                               | 0.25                               |
| <b>TOT bez. Mittelwert</b> | <b>7'327</b>      | <b>23'542</b>                | <b>28'010</b>       | <b>27'160</b>       | <b>27'585</b>       | <b>1'177</b>        |          |         |                                    | <b>0.16</b>                        | <b>0.35</b>                        |

V mittel Mittelwert von ZUL und ABL

V0 Volumenstrom infolge Gebäudedurchlässigkeit bei ausgeschalteter Lüftung

$\eta_v$  ist der WRG Wirkungsgrad

$\beta$  Zeitanteil mit eingeschalteten Ventilatoren

V'th<sub>mech\_läuft</sub> thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom bei laufender Lüftung

V'th<sub>inf</sub> thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom infolge Infiltration

V'th thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom

| ANLAGE                          | EBFo              | Netto-                       | ZUL                 | ABL                 | V mittel            | V                   | V'th_LUE                           |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
|                                 | [m <sup>2</sup> ] | Volumen<br>[m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h] |
| LUE01 (BUB, BES, BUE, BUN)      | 1184              | 2'878                        | 3'295               | 2'910               | 3'103               | 215                 | 0.18                               |
| LUE02 (ATR)                     | 3485              | 13290                        | 4030                | 4630                | 4330                | 193                 | 0.06                               |
| LUE03 (COP, BUW)                | 1031              | 2506                         | 2645                | 2285                | 2465                | 220                 | 0.21                               |
| LUE04 (MEN)                     | 250               | 1046                         | 3750                | 2750                | 3250                | 104                 | 0.42                               |
| LUE05 (KUE)                     | 129               | 313                          | 5900                | 6900                | 6400                | 333                 | 2.58                               |
| KLI01 (BIB, MUL, HOE, HOW, SIT) | 1248              | 3509                         | 8390                | 7685                | 8037.5              | 295                 | 0.24                               |
| <b>TOT bez. Mittelwert</b>      | <b>7'327</b>      | <b>23'542</b>                | <b>28'010</b>       | <b>27'160</b>       | <b>27'585</b>       | <b>1360</b>         | <b>0.19</b>                        |

V thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom der Lüftungsanlagen

V'th\_LUE spezifischer thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom der Lüftungsanlagen

**Tabelle 4 Lüftungsanlagen**

**2.2.2.4 LUFTSTRÖMUNGEN ZWISCHEN DEN ZONEN**

Folgende Tabelle trägt sämtliche Massenströme (kg/h) der Luftwechsel zwischen den Zonen zusammen. Diese Strömungen wurden als coupling air flow modelliert und repräsentieren den **beidseitigen Luftaustausch** zwischen den Zonen durch öffnen von Türen etc.

Die Luftströmungen setzen sich aus einem konstanten Teil, durch Undichtigkeit der Innenwände und Türen sowie aus einem variablen Teil zusammen. Der variable Teil wird mit der Belegung der entsprechend eingefärbten Zone gewichtet (Der Austausch zwischen Mensa und Küche wird mit der Belegung der Mensa gewichtet, der Austausch des Atriums mit der Belegung der jeweils anderen Zone).

**CONSTANT**

(Grundundichte verursacht durch sporadisches Türen-öffnen, usw., 24 h, 7 Tage)

NACH

| ZONE | Vol    | KUE | MEN | BIB | TEC | COP | BUB | MUL | BES | HOE | HOW | SIT | BUW | BUE | BUN | ATR | PUF |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| KUE  | 313    |     | 30  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| MEN  | 1'046  | 30  |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 100 | 0   |
| BIB  | 1'701  | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 20  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 100 | 0   |
| TEC  | 0      | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| COP  | 297    | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30  | 0   |
| BUB  | 289    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30  | 0   |
| MUL  | 165    | 0   | 0   | 20  | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 20  | 0   |
| BES  | 402    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 20  | 0   |
| HOE  | 879    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 40  | 0   |
| HOW  | 424    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 20  | 0   |
| SIT  | 340    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 30  | 0   |
| BUW  | 2'209  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 100 | 0   |
| BUE  | 1'669  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 80  | 0   |
| BUN  | 518    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 25  | 0   |
| ATR  | 13'290 | 0   | 100 | 100 | 0   | 30  | 30  | 20  | 20  | 40  | 20  | 30  | 100 | 80  | 25  |     | 30  |
| PUF  | 625    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30  |     |

VON

**SCHEDULE**

(Bedingt durch Personenflüsse, usw., folgt der Personen-Tagesgleichzeitigkeit)

NACH

| ZONE | Vol    | KUE   | MEN  | BIB | TEC | COP | BUB | MUL | BES | HOE | HOW | SIT | BUW   | BUE   | BUN | ATR   | PUF |
|------|--------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-----|
| KUE  | 313    |       | 1500 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| MEN  | 1'046  | 1'500 |      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| BIB  | 1'701  | 0     | 0    |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 800   | 0   |
| TEC  | 0      | 0     | 0    | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| COP  | 297    | 0     | 0    | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 300   | 0   |
| BUB  | 289    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 300   | 0   |
| MUL  | 165    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| BES  | 402    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| HOE  | 879    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| HOW  | 424    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| SIT  | 340    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0   |
| BUW  | 2'209  | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |       | 0     | 0   | 2'000 | 0   |
| BUE  | 1'669  | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |       | 0   | 1'600 | 0   |
| BUN  | 518    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     |     | 500   | 0   |
| ATR  | 13'290 | 0     | 0    | 800 | 0   | 300 | 300 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2'000 | 1'600 | 500 |       | 0   |
| PUF  | 625    | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     |     |

VON

**Tabelle 5 Luftströmungen zwischen den Zonen**
**2.2.2.5 INFILTRATION MIT AUSSENKLIMA**

Zusätzlich zu den internen Luftaustauschen gibt es eine Infiltration von Aussenluft in das Gebäude bedingt durch Undichtigkeiten sowie Fenster- und Türenöffnen. Dieser Luftwechsel wird gemäss Minergie-P Standard auf 0.05-Fach pro Stunde gesetzt, was etwa einem Volumenstrom von ca. 0.15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (EBFo) entspricht.

## 2.3 BAU- UND TECHNIKELEMENTE

### 2.3.1 LÜFTUNG

Simulationstechnisch beinhaltet die Lüftung folgende Elemente:

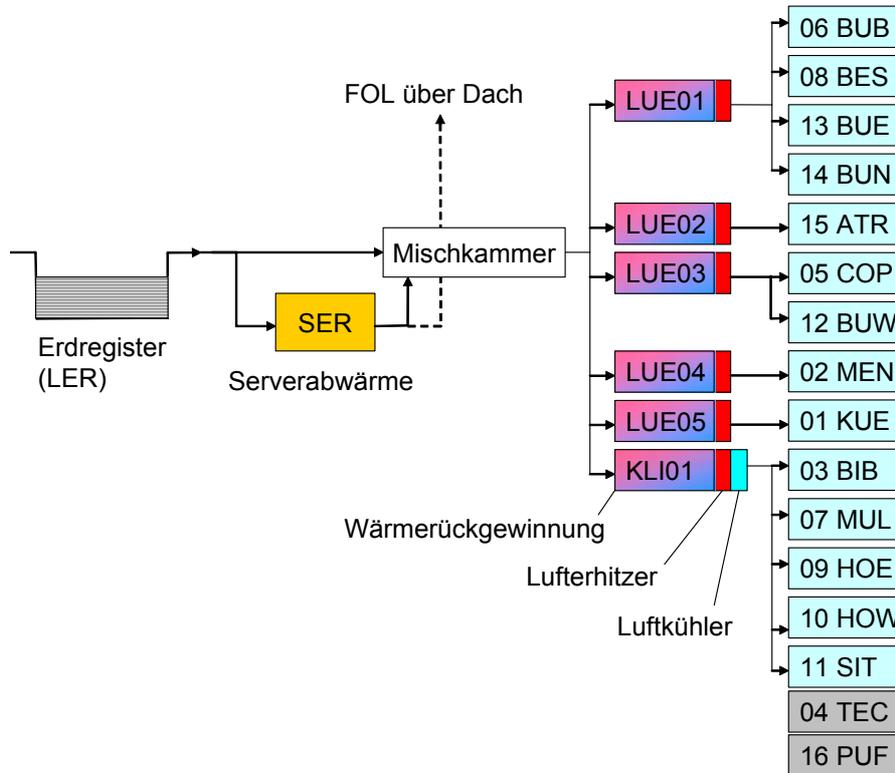


Abbildung 5 Schema Lüftungsanlagen

**2.3.1.1 ERDREGISTER**

Durch das Erdregister wird die Temperatur der Aussenluft im Winter erhöht und im Sommer abgesenkt. Anhand der bestehenden Messungen 07 (ausschliesslich Sommermessungen) wurde eine vereinfachte Polynomfunktion angepasst. Untenstehende Grafik zeigt Messwerte sowie Ausgabewerte der Polynomfunktion. Die Polynomfunktion wurde aus Parameterstudien mit der Software WKM [15] entwickelt.

$$T\_LER(Ta, Ta24, T\_gro) = Ta - F\_Eff [ Ta - (F\_Adi * Ta24 + (1 - F\_Adi) * Tgro) ]$$

Mit:

Aussentemperatur Ta

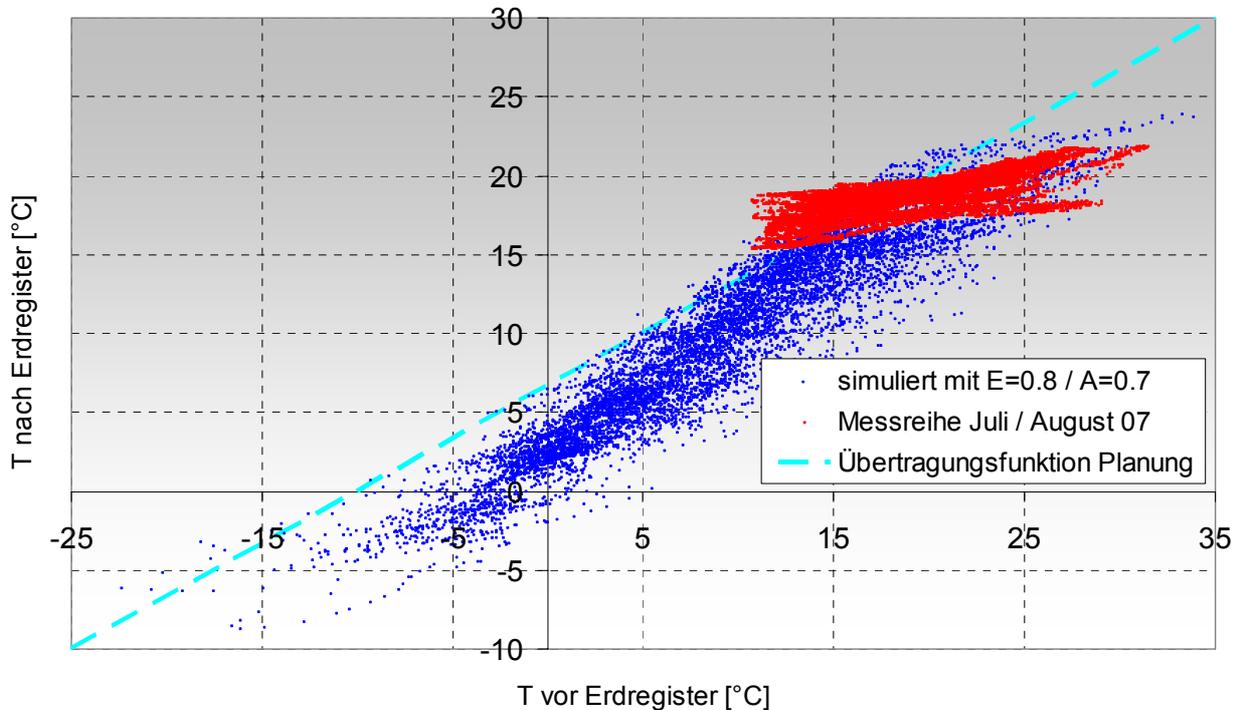
Mitteltemperatur Ta24

Erdreichtemperatur Tgro

Der Faktor F\_Eff (= 0.8) bestimmt wie stark tägliche Temperaturschwankungen gedämpft werden.

Der Faktor F\_Adi (= 0.7) gibt an wie viel der abgegebenen Wärme / Kälte gespeichert wird und nicht ins Erdreich abfliessen kann.

Die empirische Funktion kann nur so gut sein wie die zugrunde liegenden Messwerte (im Bild rot dargestellt). Da bisher nur eine sommerliche Messreihe von ca. zwei Monaten vorliegt ist insbesondere das winterliche Verhalten sehr unsicher.



**Abbildung 6 Übertragungsfunktion Erdregister**

**2.3.1.2 SERVERABWÄRME**

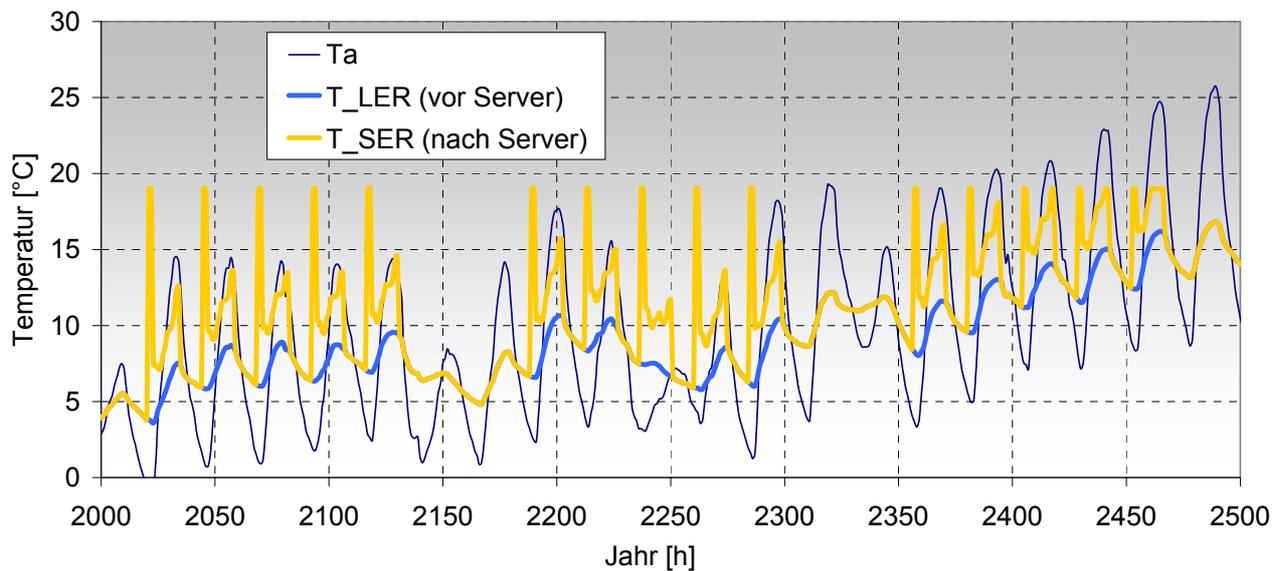
Die Abwärme des Serverraums kann in den kalten Monaten für die Vorwärmung der zugeführten Luft verwendet werden. Wird die Luft für das Gebäude nicht benötigt (nachts) oder ist eine Erwärmung unerwünscht (Sommer) so wird die erwärmte Luft über Dach abgelassen. Steigt die Lufttemperatur nach dem Erdregister über eine gewisse Grenze ist zur Sicherheit des Servers eine Umluftkühlung vorgesehen.

Leistung: 16kW (Bandlast wurde Messtechnisch validiert)  
 Freecooling-Grenze: Oberhalb dieser Grenze Umluftbetrieb:  
 Stand eff. Nutzung  $T_a > 18^\circ\text{C} \rightarrow$  Umluft

(Regeltechnisch gibt ein PI-Regler die Freecooling-Grenze Dynamisch so vor, dass die Raumtemperatur von  $25^\circ\text{C}$  nicht überschritten wird.)

Die Einstellung dieser Freecooling-Grenze bestimmt primär den Kälteverbrauch des Gebäudes. Sekundär haben die Qualität des Erdregisters und die Strömungsoptimierung im Serverraum einen Einfluss auf die Laufzeit des Umluftkühlungsbetriebs.

Die Leistung der Serverabwärme liegt bei 16 kW und darf die Luft in der Mischkammer auf maximal  $19^\circ\text{C}$  erwärmen. Ein Plot der Temperatur nach dem Server zeigt jedoch, dass im Winter und in der Übergangszeit diese Temperatur nur sehr kurz beim Anfahren der ersten Lüftungsanlage erreicht wird. Bei grösseren Luftmengen wird die Temperatur nicht mehr erreicht. Im Sommer dagegen ist die Erwärmung nicht gewünscht. Daher wurde im Modell ein Wert von  $19^\circ\text{C}$  eingestellt, so wird im Sommer keine Luft mit über  $20^\circ\text{C}$  in die Komfortzonen eingeblasen.



**Abbildung 7 Lufttemperatur vor und nach Server**

**2.3.1.3 WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER LÜFTUNG**

Durch die Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage wird die Überwärme der aus der Zone strömenden Luft der eintretenden Luft zugeführt. Auf diese Weise reduzieren sich die Lüftungswärmeverluste. Die Temperatur Zuluft (T\_ZUL) wurde durch die folgende Funktion modelliert:

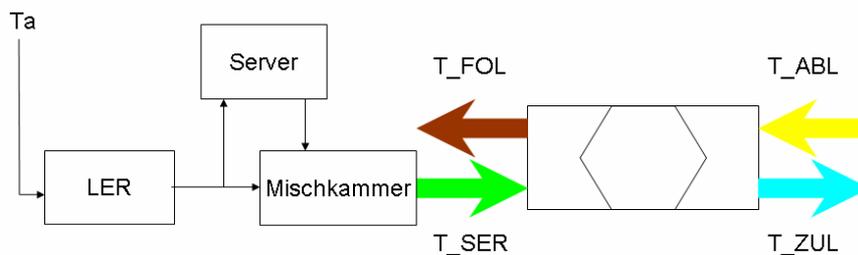
$$T_{ZUL} = \text{MIN}(\underbrace{\text{MAX}(\underbrace{\text{MIN}(T_{SER}, T_{WRG})}_{\text{Hochsommer}}, \underbrace{Top\_SET}_{\text{Winter}})}_{\text{Übergangszeit}}, T_{WRG})$$

mit:

$$T_{WRG} = T_{SER} + (T_{ABL} - T_{SER}) \times \text{Eta}_{WRG}$$

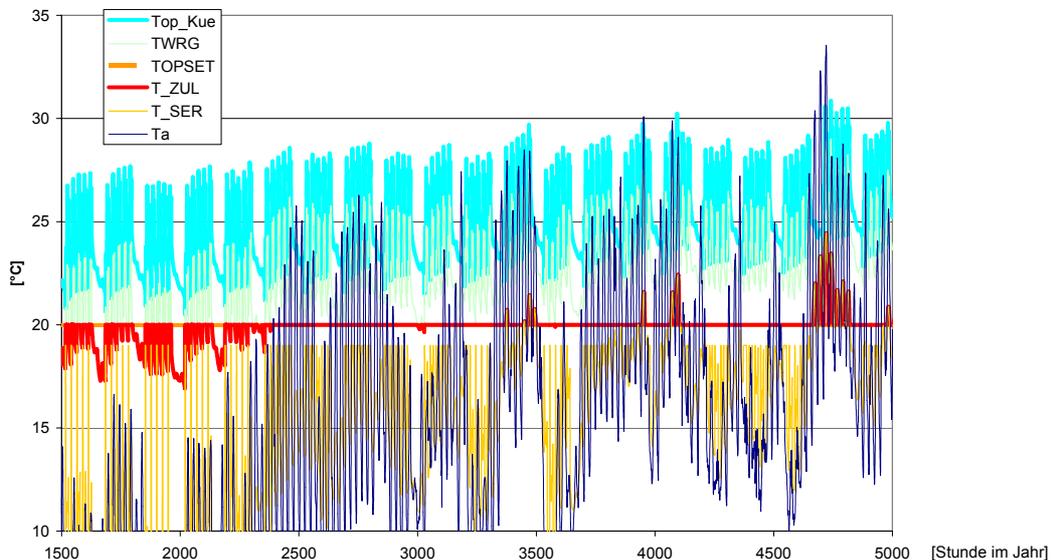
Eta\_WRG ist der Temperaturrückgewinnungsgrad der Wärmerückgewinnung (in der Praxis übliche Werte im Bereich 0.65 bis 0.85). Bei der effektiven Nutzung wurde dieser Wert (trotz besserer Ausschreibung) eher konservativ mit durchschnittlich 0.75 eingesetzt, bei der Anlage Küche bedingt durch den Kreislaufverbund mit 0.70. Die Variation dieser Grösse beeinflusst den Bezug ab Wärmenetz. Wird der Wert auf 0.65 reduziert, erhöht sich der Wärmebezug ab Netz um ca. 10% oder andersrum, wird der Wert um 10% verbessert, reduziert sich der Bezug ab Arealwärmenetz um 10%. Somit können Planer und insbesondere auch Monoblockhersteller durch den Einsatz gut ausgelegter Geräte den Energieverbrauch stark beeinflussen.

Mit obiger Formel wird erreicht, dass die Zuluft (T\_ZUL) sofern möglich der Top\_SET entspricht. Top\_SET ist die gewünschte Einblastemperatur der Zone. Die gleiche Temperatur wird für die Luftheritzer verwendet.



**Abbildung 8 Schema WRG Lüftung**

Nachfolgende Abbildung zeigt die Zulufttemperatur Top\_Kue der Zone Küche. Anfänglich ist T\_ZUL gleich der Temperatur mit maximaler Wärmerückgewinnung, dann durch Reduktion der WRG auf TopSET gehalten und schliesslich, wenn die Temperatur nach dem Lufterdwärmeregister über TopSET kommt, ist die Zulufttemperatur gleich der Temperatur nach dem Lufterdwärmeregister (Der Server wärmt in diesem Fall die Luft nicht mehr auf, sondern bläst seine Abluft direkt über Dach). Die Zuluft steigt im Maximum bis auf etwa 24°C. Würde im Sommer diese Temperatur über der Ablufttemperatur der Zone liegen so würde die WRG zur Kühlung der Zuluft eingesetzt. Dieser Fall würde deutlich häufiger auftreten, wenn kein Luft-Erdwärmeregister vorhanden wäre (Die Temperatur T\_SER wäre dann gleich der Aussenlufttemperatur Ta)



**Abbildung 9 Visualisierung der Zulufttemperaturregelung am Beispiel Küche**



### 2.3.2 NACHTAUSKÜHLUNG

Über Lüftungsklappen ist in folgenden Zonen eine Nachtauskühlung mit 2-fachem Aussenluftwechsel vorgesehen. Dieser wurde durch externe Simulationsrechnungen [12] ermittelt und stellt eine konservative Schätzung dar.

|             |             |              |
|-------------|-------------|--------------|
| Mensa       | Bibliothek  | Copycenter   |
| Büro East B | Besprechung | Hörsaal West |
| Büro West   | Büro East   | Büro Nord    |
| Atrium      |             |              |

Die Nachtauskühlung ist über die momentane Aussentemperatur ( $T_a$ ), die mittlere Aussentemperatur über 24 Stunden ( $T_{a24}$ ) sowie die Lufttemperatur der Zone ( $T_{air}$ ) und die empfundene Raumtemperatur ( $T_{op}$ ) gesteuert. Das Schema zeigt wann die Nachtauskühlung aktiviert wird. Nacht ist von 22:00 bis 07:00.

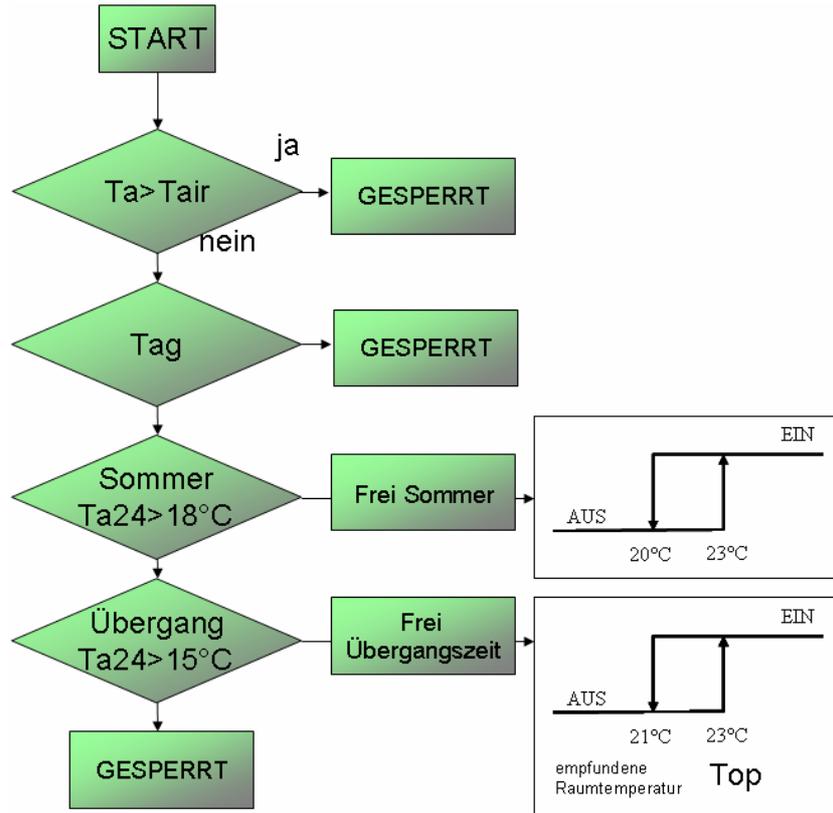


Abbildung 11 Steuerung Nachtauskühlung

### 2.3.3 HEIZUNG

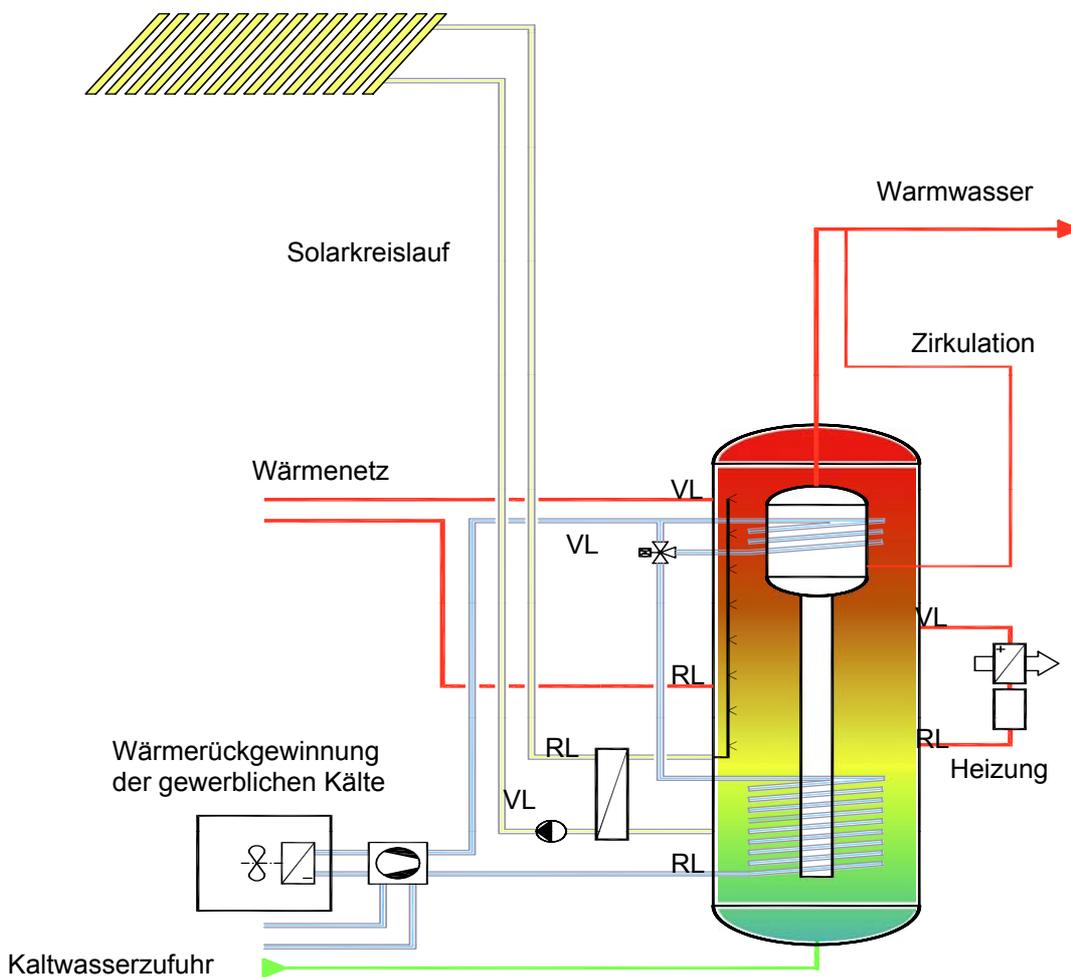
Einige Zonen im UG und EG sind mit Heizkörpern ausgestattet. Die Zonen und Leistungen sind in Tabelle 3 auf Seite 18 aufgelistet. Die Heizkörper sind mit Thermostatventilen ausgerüstet. Modelliert wurden die Heizkörper durch eine definierte Leistung [9], die ohne Zeitverzögerung abgegeben wird, sobald und solange die Raumtemperatur unter 20 °C fällt. Ist nur ein Teil der Leistung nötig um die Solltemperatur zu halten, wird nur diese Leistung beansprucht.

|                |        |                                               |
|----------------|--------|-----------------------------------------------|
| Heizkurve      | 40 °C  | Vorlauftemperatur bei Aussentemperatur -8 °C  |
|                | 30 °C  | Rücklauftemperatur bei Aussentemperatur -8 °C |
| Betriebszeiten | 24 h/d | Die Heizung ist den ganzen Tag betriebsbereit |

#### 2.3.3.1 WÄRMESPEICHER

##### Speicheraufbau Effektiv

Der Speicher mit seinen **Anschlüssen und Wärmetauschern** ist unten abgebildet. Auf der linken Seite sind die Wärmequellen (Angebot) angeschlossen, auf der rechten Seite die Wärmeverbraucher (Nachfrage).



**Abbildung 12 effektiver Speicheraufbau**

Wegen dem glykolhaltigen Wärmeträger im **Solarkreislauf** wurde ein externer Wärmetauscher für die Wärmeabgabe an den Speicher eingesetzt. Im Speicher wird die Solarwärme über eine Schichtlanze abgegeben.

Bei der **Wärmerückgewinnung** der gewerblichen Kälte wird die Wärme auf zwei Temperaturniveaus abgegeben. Eine kleinere Menge fällt durch die Enthitzer der Kühlaggregate an und wird auf einem hohen Temperaturniveau (ca. 80°C) im oberen Bereich des Speichers eingegeben. Der grösste Anteil der Wärme fällt bei tieferem Temperaturniveau (ca. 36°C) an und wird im untersten Bereich des Speichers eingegeben. Im Simulationsmodell wurde die gesamte Wärme als Niedertemperaturwärme modelliert und in die untere Schicht des Speichers abgegeben.

### Speicheraufbau modelliert

Im Folgenden wird beschrieben wie der Speicher simuliert wurde. Unterschiede zur realen Ausführung können dem Abschnitt Speicheraufbau effektiv entnommen werden. Die unterschiedliche Modellierung der Wärmetauscher ist aus numerischen Gründen notwendig.

Die Wärmeentnahme aus dem Speicher wird über die doubleports (relative Höhe 0.33 - 0.66 bzw. 0 - 1) modelliert und nachher auf 40°C bzw. 55°C gemischt.

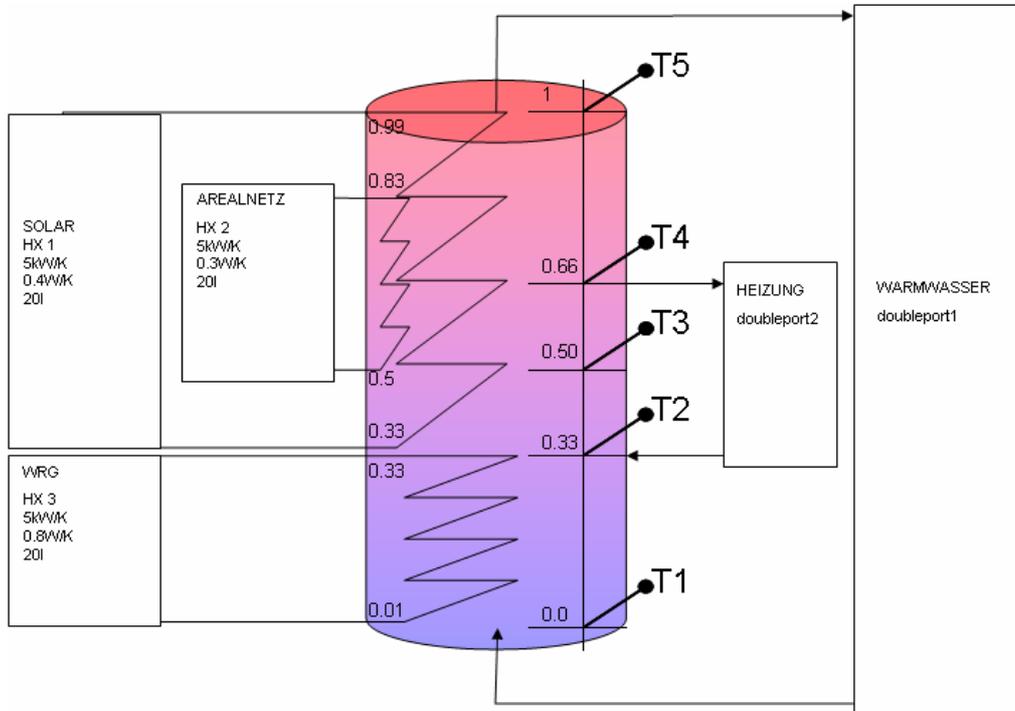


Abbildung 13 Speicher modelliert

#### Angebotseite

Auf der Angebotsseite muss dafür gesorgt werden, dass möglichst viel der zur Verfügung stehenden Abwärme aus der gewerblichen Kälte und Wärme der thermischen Solaranlage verwendet werden kann. Auf diese Weise wird die kleinstmögliche Menge an Zusatzwärme aus dem Wärmenetz bezogen.

Der unterste Bereich des Speichers steht der Wärmerückgewinnung der gewerblichen Kälte, die ein Temperaturniveau von 36 °C erreicht, zur Verfügung. Weiter oben im Speicher liegt eine Schicht die Wärme bei höheren Temperaturen von der Solaranlage einspeisen kann. Die Nutzung der WRG gew. Kälte hat damit vor der Solaranlage Priorität. Im obersten Teil des Speichers ist zusätzlich die Nachheizung durch das Wärmenetz möglich.

#### Nachfrageseite

Auf der Nachfrageseite wurden die Anschlüsse an den Speicher so gewählt, dass immer genügend Wärme auf dem erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung steht wobei gleichzeitig darauf geachtet werden muss, dass nicht mehr Speichervolumen als notwendig in Anspruch genommen wird, um hiermit das angebotsseitige Speichervolumen zu maximieren.

Die oberste Schicht des Speichers wird vom Warmwasser, das eine Temperatur von etwa 60 °C im Speicher erfordert, in Anspruch genommen. Unter dieser Schicht liegt der Bereich für das Heizungswasser, das eine Temperatur von ca. 45 °C im Speicher erfordert. Das restliche Speichervolumen dient der Vorwärmung durch die WRG gew. Kälte und die Solaranlage.

Nicht zu vermeiden sind die nicht aktiv genutzten Bereiche im Speicher ganz unten und ganz oben (Totbereiche).

**Speicherparameter**

Die Aufstellung zeigt die im Planungszustand verwendeten Parameter für die Speichermodellierung:

|                                     |                         |                                                 |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| Speicher Höhe                       | 4 m                     |                                                 |
| Speicher Volumen                    | 12 m <sup>3</sup>       |                                                 |
| Wärmekap. Speicherfluid             | 4.187 kJ/kgK            |                                                 |
| Dichte Speicherfluid                | 1'000 kg/m <sup>3</sup> |                                                 |
| Leitfähigkeit im Speicher           | 0.62 W/mK               |                                                 |
| Anfangstemp. Speicher               | 40 °C                   |                                                 |
| Verlustfaktor Speicherboden         | 0.8 W/K                 |                                                 |
| Verlustfaktor Speicherdeckel        | 0.8 W/K                 |                                                 |
| Verlustfaktor Mantel                | 1.2 W/K                 |                                                 |
| Rel. Höhe Eingang 1                 | 0.00                    | Höhe im Speicher des Kaltwassereingangs         |
| Rel. Höhe Ausgang 1                 | 1.00                    | Höhe im Speicher des Warmwasserausgangs         |
| Rel. Höhe Eingang 2                 | 0.33                    | Höhe im Speicher des Heizungswassereingangs     |
| Rel. Höhe Ausgang 2                 | 0.66                    | Höhe im Speicher des Heizungswasserausgangs     |
| Rel. Höhe Ein. WT 1                 | 0.99                    | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der Solaranlage |
| Rel. Höhe Aus. WT 1                 | 0.33                    | Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der Solaranlage |
| Volumen WT 1                        | 0.02 m <sup>3</sup>     | Inhalt des Wärmetauschers der Solaranlage       |
| Wärmekap. WT 1-Fluids               | 3.580 kJ/kgK            |                                                 |
| Dichte WT 1-Fluids                  | 1'044 kg/m <sup>3</sup> |                                                 |
| Verlustfakt. WT 1                   | 0.3 W/K                 | Verlust WT 1 an die Umgebung                    |
| Rel. Höhe Ein. WT 2                 | 0.83                    | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der Wärmenetzes |
| Rel. Höhe Aus. WT 2                 | 0.50                    | Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der Wärmenetzes |
| Volumen WT 2                        | 0.02 m <sup>3</sup>     | Inhalt des Wärmetauschers des Wärmenetzes       |
| Wärmekap. WT 2-Fluids               | 4.187 kJ/kgK            |                                                 |
| Dichte WT 2-Fluids                  | 1'000 kg/m <sup>3</sup> |                                                 |
| Verlustfakt. WT 2                   | 0.4 W/K                 | Verlust WT 2 an die Umgebung                    |
| Rel. Höhe Ein. WT 3                 | 0.33                    | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der WRG         |
| Rel. Höhe Aus. WT 3                 | 0.01                    | Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der WRG         |
| Volumen WT 3                        | 0.02 m <sup>3</sup>     | Inhalt des Wärmetauschers der WRG               |
| Wärmekap. WT 3-Fluids               | 4.187 kJ/kgK            |                                                 |
| Dichte WT 3-Fluids                  | 1'000 kg/m <sup>3</sup> |                                                 |
| Verlustfakt. WT 1                   | 0.8 W/K                 | Verlust WT 3 an die Umgebung                    |
| <b>Fühlerhöhen Temperaturfühler</b> |                         |                                                 |
| Rel. Höhe Temp. Fühler 1            | 0.00                    | Erster Temperaturfühler ganz unten im Speicher  |
| Rel. Höhe Temp. Fühler 2            | 0.33                    |                                                 |
| Rel. Höhe Temp. Fühler 3            | 0.50                    |                                                 |
| Rel. Höhe Temp. Fühler 4            | 0.66                    |                                                 |
| Rel. Höhe Temp. Fühler 5            | 1.00                    | Fünfter Temperaturfühler ganz oben im Speicher  |

**2.3.3.2 SOLARANLAGE**

Die Solaranlage weist folgende Charakteristik auf:

|                      |                                                    |                                                                                                                                                                        |
|----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kollektortyp         | Hoval Solkit Mazdon                                | Vakuumröhrenkollektor der Firma Hoval                                                                                                                                  |
| Absorberfläche       | 42 m <sup>2</sup>                                  | Grösse der absorbierenden Fläche des Kollektors                                                                                                                        |
| Anstellwinkel        | 40 °                                               | Von der horizontalen Ebene aus                                                                                                                                         |
| Orientierung         | Süd 0°                                             | Genau gegen Süden gerichtet                                                                                                                                            |
| Modul Ausrichtung    | Hochgestellt                                       | Die Kollektoren sind in der Länge aufgestellt                                                                                                                          |
| Horizont/Abschattung | Vernachlässigt                                     | Die Abschattung hat einen geringen Einfluss (< 1 %) auf den Energieertrag                                                                                              |
| Leitungen            | 20 m + 40 m<br>20 m + 40 m<br>54mm<br>1.5<br>50 mm | Vorlaufleitungen ausserhalb des bzw. im Gebäude<br>Rücklaufleitungen ausserhalb des bzw. im Gebäude<br>Rohraussendurchmesser<br>Rohrwandstärke<br>Wärmedämmstärke Rohr |
| Pumpe                | 21 l/hm <sup>2</sup><br>180 W<br>7 %               | Spez. Durchsatz in Liter pro Stunde und Absorberfläche<br>Pumpenleistung<br>Leistungsabgabe der Pumpe an Wärmeträger                                                   |
| Wärmeträger          | 40 %<br>1'045 kg/m <sup>3</sup><br>3.58 kJ/kgK     | Glykolanteil<br>Dichte<br>Spez. Wärmekapazität                                                                                                                         |

**Regelung**

|           |                                                                                 |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Pumpe EIN | Temperaturunterschied zw. Kollektorausstritt und Wärmetauscher-1-Austritt > 8 K |
| Pumpe AUS | Temperaturunterschied zw. Kollektorausstritt und Wärmetauscher-1-Austritt < 3 K |

**2.3.3.3 WÄRMENETZ**

Als Zusatzheizung für den Fall, dass die gewerbliche Kälte und die Solaranlage nicht ausreichen um den Bedarf für Warmwasser und Raumheizung zu decken, wird das Wärmenetz des Empa/Eawag Areals verwendet:

|           |        |                                |
|-----------|--------|--------------------------------|
| Wärmenetz | 130 kW | Wärmeleistung Netz             |
|           | 65 °C  | Netztemperatur                 |
|           | 24 h/d | Freigabezeiten des Wärmenetzes |

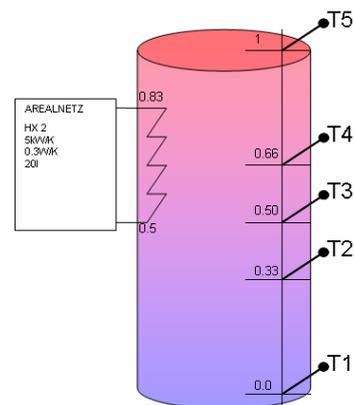
**Regelung  
Nachheizung**

Fühler 3 < 53°C → Ein  
Fühler 3 > 58°C → Aus

**Rückspeisung**

Fühler 2 10°C höher als Empa-Netz → Ein  
Fühler 4 10°C tiefer als Empa-Netz → Aus

Annahme: Temperatur Empa-Netz Sommer: 60°C  
Fühler 2 > 70°C → EIN  
Fühler 4 < 50°C → AUS



**2.3.3.4 WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER GEWERBLICHEN KÄLTE**

Die Wärmerückgewinnung wurde folgendermassen modelliert:

|             |                        |                                                                                                                                                           |
|-------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abwärme     | 12.1 kW<br>36 °C       | Leistung der Abwärme aus der gewerblichen Kälte<br>Vorlauftemperatur aus der gewerblichen Kälte<br>(Mischtemperatur aus Enthitzertemp. und Rückkühltemp.) |
| Tagesprofil | 0-4, 5-9, 10-14, 15-19 | Tageszeiten an denen Abwärme (bei Vollast) anfällt                                                                                                        |

**Regelung**

|               |                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Wärme WRG EIN | Temperatur Fühler 2 (rel. Höhe 0.33) < Temperatur Vorlauf WRG (36 °C) |
| Wärme WRG AUS | Temperatur Fühler 2 (rel. Höhe 0.33) > Temperatur Vorlauf WRG (36 °C) |

**2.3.3.5 WARMWASSERBEDARF**

Aus den Jahresmesswerten [16] wurde mit untenstehenden Annahmen ein Profil konstruiert.

|                      |                     |                                         |
|----------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| Warmwasserbedarf     | 2'100 l/d           | Liter pro Tag                           |
| Zeitliche Einteilung | 5 d/w               | Tage in der Woche                       |
|                      | Januar bis Dezember | Das ganze Jahr hindurch derselbe Bedarf |
| Tagesprofil          | Siehe Diagramm      |                                         |
| Temperatur           | 55 °C               | Warmwasser                              |
|                      | 10 °C               | Kaltwasser                              |
| Zirkulation          | 80 m x 5 W/m        | Zwischen 6 Uhr und 20 Uhr               |
| Totale Energiemenge  | 117 kWh/d           | Täglicher Energiebedarf für Warmwasser  |
|                      | 30'500 kWh/a        | Jährlicher Energiebedarf für Warmwasser |

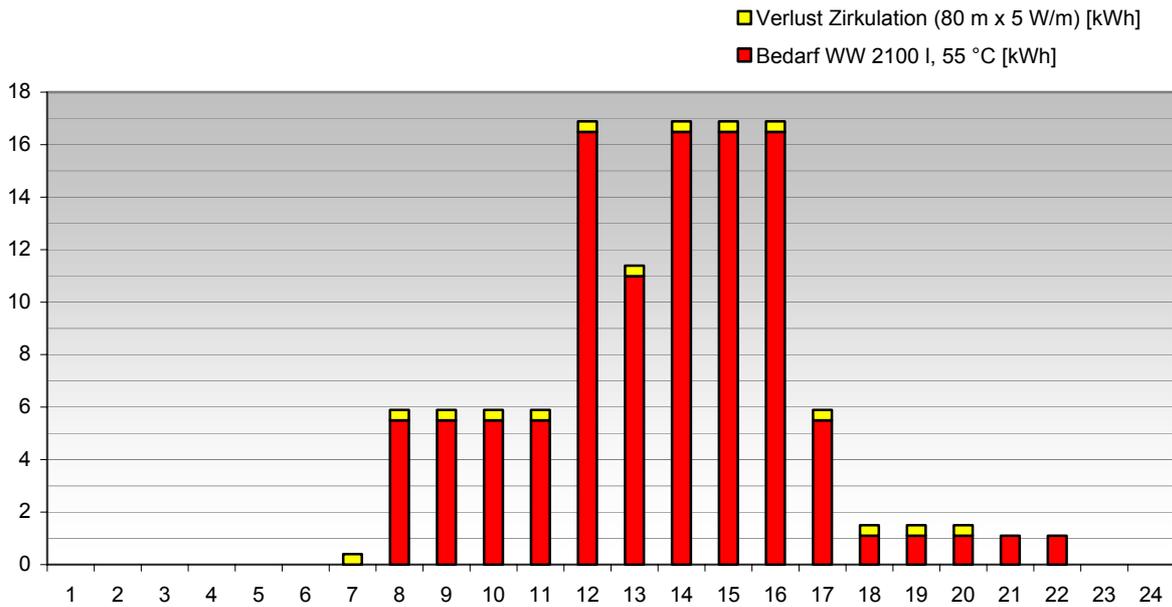


Abbildung 14 Warmwasserbedarf

**2.3.4 KÜHLUNG**

Folgende Zonen sind mit einer Kühldecke ausgestattet. Die Kühlleistungen sind aus Tabelle 3 (Seite 18) ersichtlich.

- Copycenter
- Multimedia
- Hörsaal East
- Hörsaal West
- Sitzung

**Regelung**

Diese Kühldecken werden, soweit nötig, mit voller Leistung aktiv, wenn die Raumtemperatur über 26.5 °C steigt.

Sowohl im Modell als auch nach den Messwerten ist der Kälteverbrauch für Luftkühler gleich null und für Kühldecken marginal. (im Bereich der Messunsicherheit)

### 2.3.5 BELEUCHTUNG

Die Beleuchtung schaltet nach Bedarf ein. Es sind Präsenzsensoren und Einstrahlungsmessgeräte auf dem Dach und an den Fassaden vorhanden.

Modelliert ist die Beleuchtung als interne Last (gain) mit den entsprechenden Leistungen je Zone, und gewichtet mit einem Beleuchtungsfahrplan je Zone (Siehe ausführliche Zusammenstellung interne Lasten im Anhang).

Dort wo Tagelichtnutzung vorgesehen und möglich ist, wird zusätzlich die interne Last nach der gemessenen Strahlungsintensität geschaltet:

Bei nicht ausreichender Einstrahlung in die Horizontalebene wird die Beleuchtung aktiviert.

Licht EIN bei  $I_{tot} < 110 \text{ W/m}^2$

Licht AUS bei  $I_{tot} > 170 \text{ W/m}^2$

### 2.3.6 BEWEGLICHER SONNENSCHUTZ

#### Lamellenfassade

Die innovative Lamellenfassade des Forum Chriesbach wird in der Simulation auf eine aussen liegende Beschattung mit Beschattungswert zwischen eins und null reduziert. Dadurch sind Effekte wie Reflexion an den Lamellen nicht erfasst, die Sonnenschutzfunktion kann aber hinreichend genau abgebildet werden.

Der aussen liegende bewegliche Sonnenschutz kennt, abhängig von der solaren Einstrahlung in die jeweilige Fassade, drei Modi. Im Winter (mittlere Aussentemperaturen über 24 Stunden ( $T_{a24}$ ) unter  $10 \text{ °C}$ ) ist der Sonnenschutz immer ausgeschaltet (max. Solargewinne). Während dieser Periode garantiert ein innen liegender Blendschutz ein ausgewogenes Lichtverhältnis im Gebäude.

#### Winter ( $T_{a24} < 10 \text{ °C}$ )

Sonnenschutz EIN bei  $I_{tot} > 9E9 \text{ W/m}^2$

Sonnenschutz AUS bei  $I_{tot} < 9E9 \text{ W/m}^2$  } = immer gesperrt

Während den Übergangsperioden ( $T_{a24}$  zw.  $10$  und  $15 \text{ °C}$ ) geht die Fassade nur bei starker Sonneneinstrahlung in den Modus „Sonnenschutz“:

#### Übergang ( $T_{a24}$ zw. $10 \text{ °C}$ und $15 \text{ °C}$ )

Sonnenschutz EIN bei  $I_{tot} > 300 \text{ W/m}^2$

Sonnenschutz AUS bei  $I_{tot} < 120 \text{ W/m}^2$

Während der Sommerperiode ( $T_{a24}$  über  $15 \text{ °C}$ ) muss als Überhitzungsschutz schon bei tieferen Strahlungswerten in den Sonnenschutz-Modus geschaltet werden. :

#### Sommer ( $T_{a24} > 15 \text{ °C}$ )

Sonnenschutz EIN bei  $I_{tot} > 140 \text{ W/m}^2$

Sonnenschutz AUS bei  $I_{tot} < 120 \text{ W/m}^2$

### 2.3.7 PUFFERRAUM

Der verglaste **Pufferraum** auf dem Dach ist ebenfalls mit einem Sonnenschutz ausgestattet. Dieser Sonnenschutz liegt unter der externen 2-fach Verglasung (WIN\_E\_G2) und folgt den unten erwähnten Regelkriterien. Zusätzlich gehen beim Überschreiten einer kritischen Raumlufttemperatur **Klappen** in den Seitenwänden des Pufferraumes auf um so einen 10-fachen Luftwechsel zu erlauben. Das Regelkriterium zur Betätigung der Klappen sieht folgendes vor:

Klappen AUF bei  $T_{air} > 45 \text{ °C}$

Klappen ZU bei  $T_{air} < 40 \text{ °C}$

### 3 RESULTATE

#### 3.1 TEMPERATUREN

Im Folgenden sind die **empfundenen Raumtemperaturen** als Resultat der Simulation effektive Nutzung dargestellt. Die effektive Nutzung stellt eine Annäherung an die gemessenen Raumtemperaturen, sowie an die gemessenen Energieverbräuche dar. Es bestehen jedoch insbesondere bei den gemessenen Raumtemperaturen grössere Messunsicherheiten.

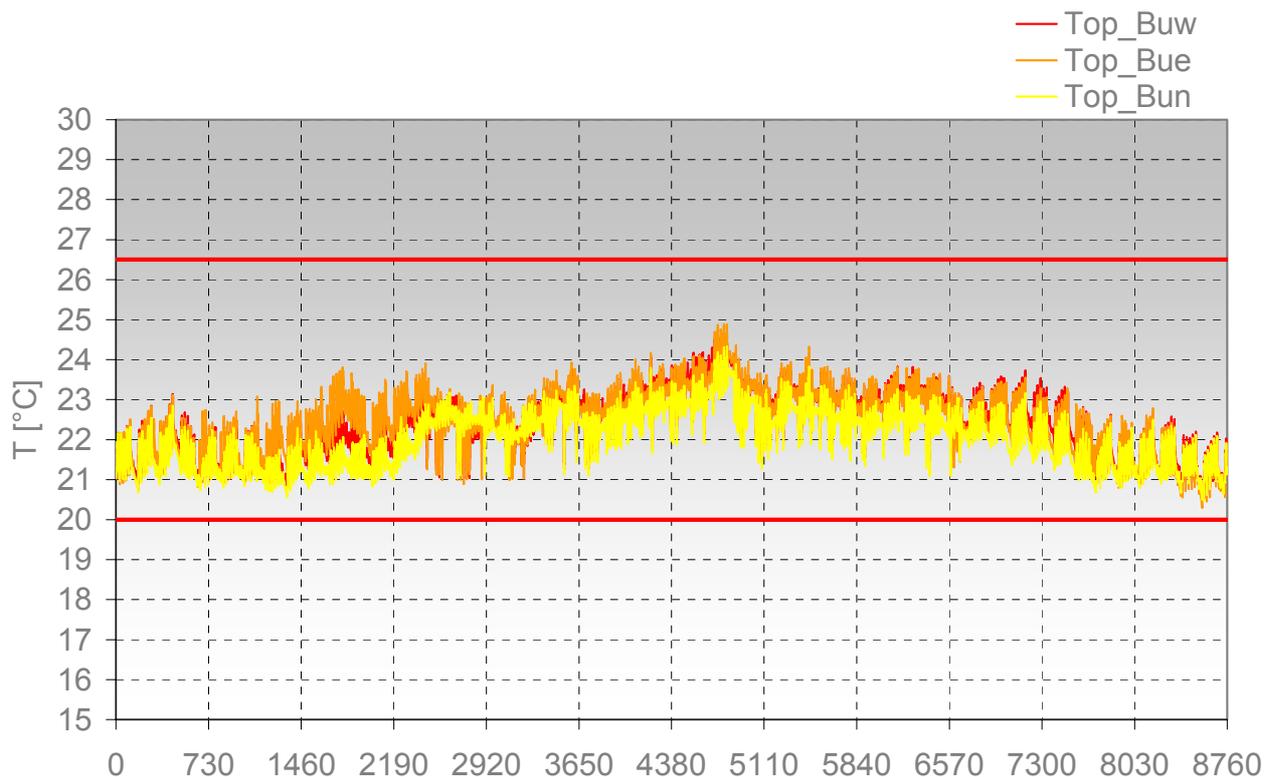
Die Anforderungen für die Zonen **Büro, Hörsaal, Besprechung und Sitzungszimmer** waren während der Planung im Winter **nicht unter 20 °C** zu fallen, was besonders bei den Büroräumen kritisch ist, da diese über keine Heizkörper verfügen und lediglich mittels Lüftungsanlage beheizt werden können.

Die empfundenen Raumtemperaturen in diesen Zonen dürfen ebenfalls die ganzjährig für das Gebäude FC definierte obere Komfortgrenze von **26.5 °C nicht überschreiten**.

Die **Farben der Temperaturkurven** wurden so gewählt, dass sie soweit möglich den Farben der Zonen im Modell entsprechen.

##### 3.1.1 BÜRO

Die Simulation ergibt für die Bürozonen mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Buw = Büro West, Bue = Büro East, Bun = Büro Nord).

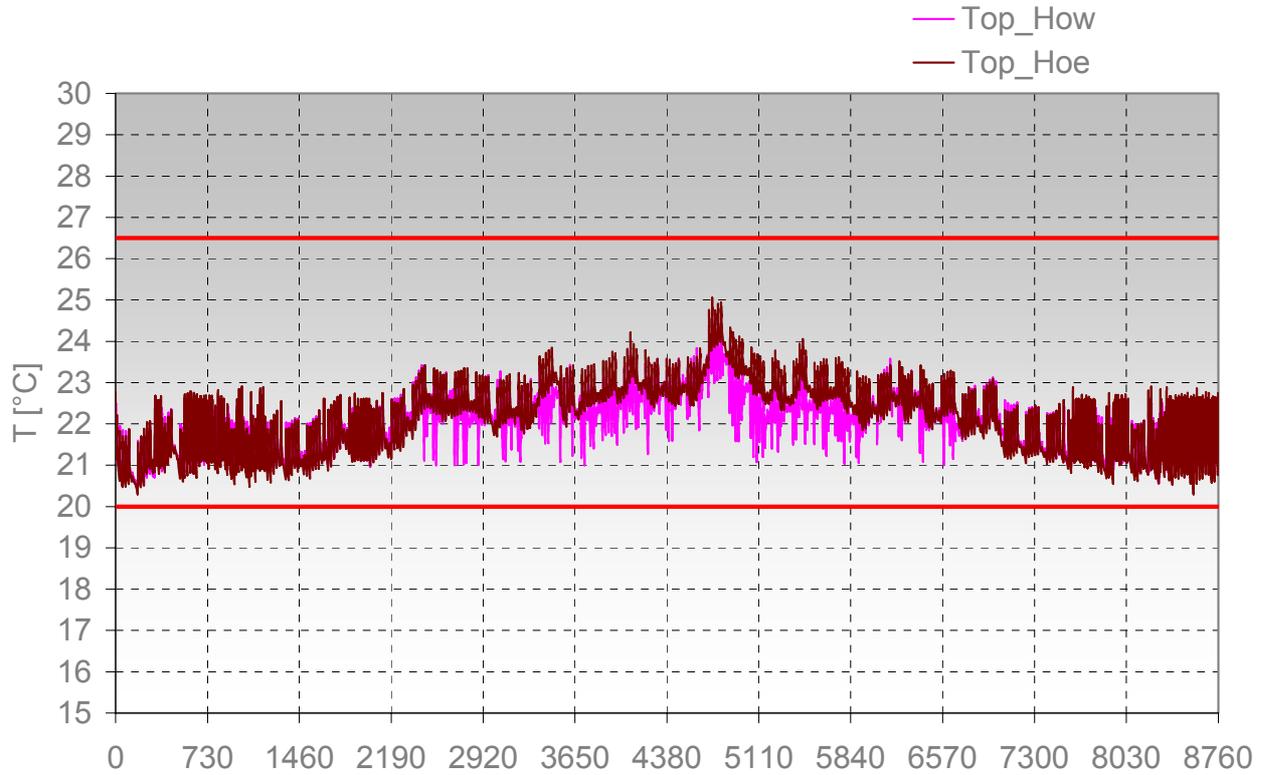


**Abbildung 15 Jahrestemperaturverlauf Büro West / East / Nord**

Die Temperaturen liegen im Winter und im Sommer **innerhalb der Komfortgrenzen**.

### 3.1.2 HÖRSAAL

Die Simulation ergibt für die Hörsaalzonen mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Hoe = Hörsaal East, How = Hörsaal West).

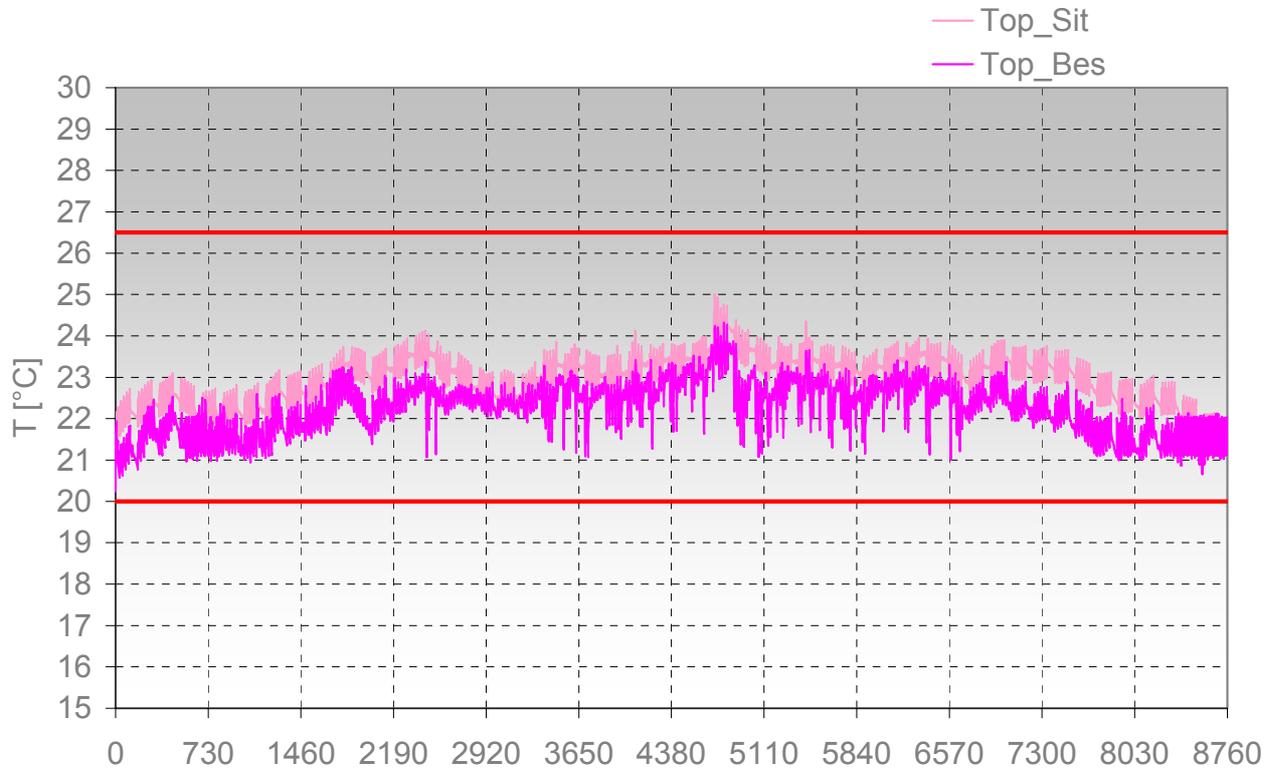


**Abbildung 16 Jahrestemperaturverlauf Hörsaal Ost / West**

Die internen Lasten der Hörsäle liegen in der effektiven Nutzung tiefer als im Stand Planung. Die Temperaturen bleiben **innerhalb der Komfortgrenzen**.

### 3.1.3 BESPRECHUNGS- UND SITZUNGSZIMMER

Die Simulation ergibt für die Besprechungs- und Sitzungszimmer mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Bes = Besprechung, Sit = Sitzung).



**Abbildung 17 Jahrestemperaturverlauf Besprechung / Sitzung**

Auch in den Zonen Besprechung und Sitzung bleiben die empfundenen Raumtemperaturen über das ganze Jahr **innerhalb der Komfortgrenzen**.

### 3.1.4 BIBLIOTHEK UND MULTIMEDIA

Die Simulation ergibt für die Bibliothek und den Multimediaraum mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Bib = Bibliothek, Mul = Multimedia).

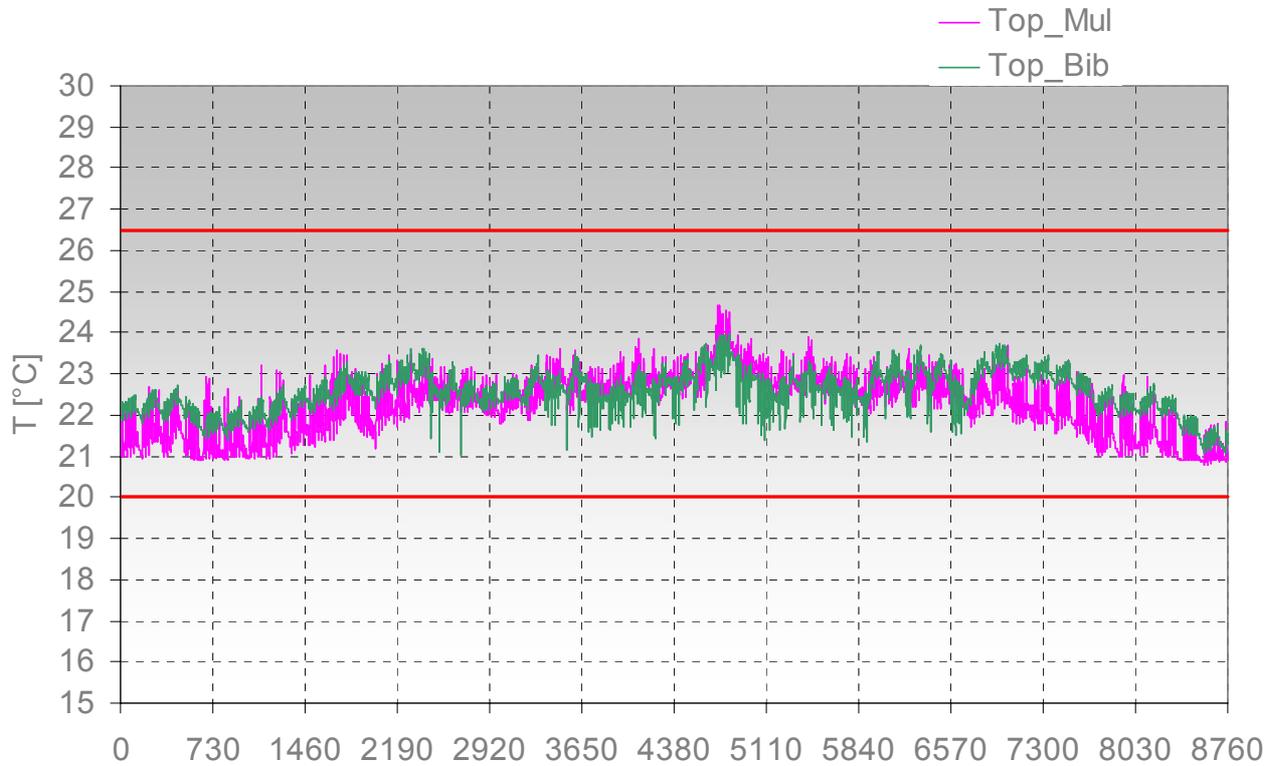
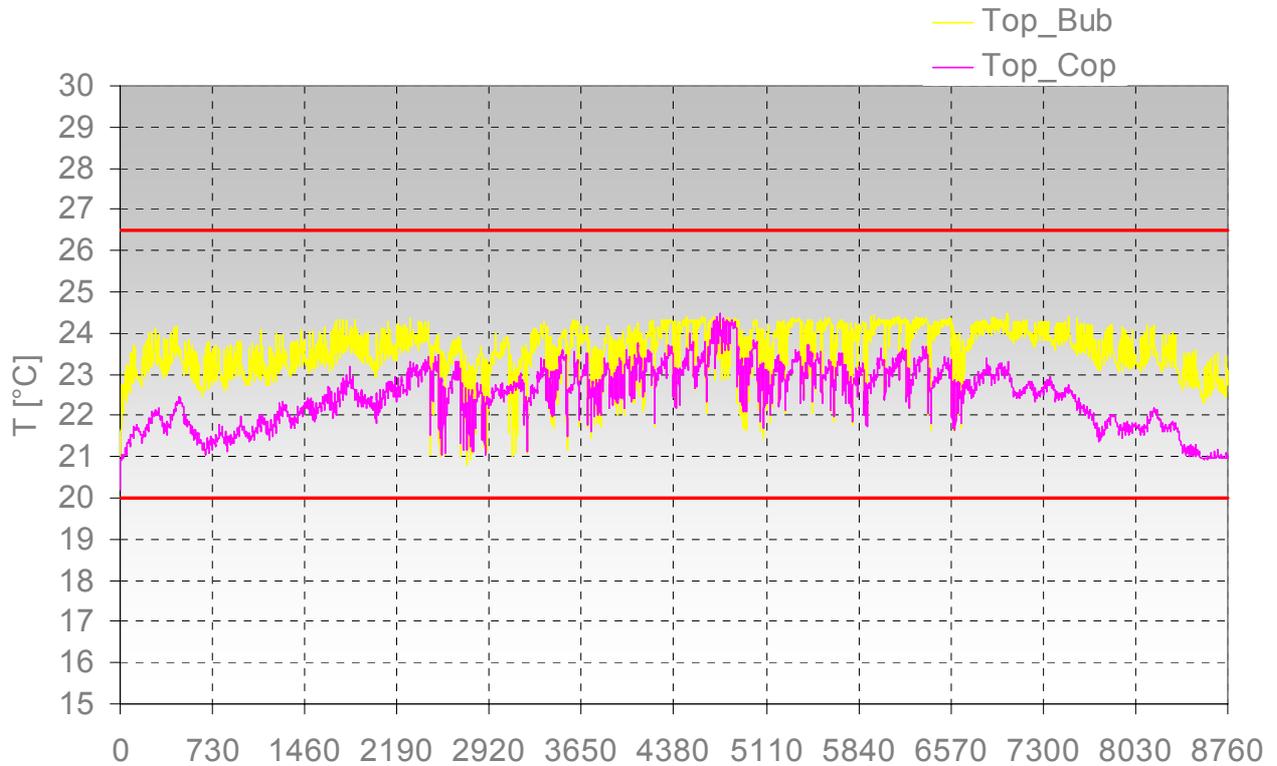


Abbildung 18 Jahrestemperaturverlauf Multimedia / Bibliothek

Auch in den Zonen Multimedia und Bibliothek bleiben die empfundenen Raumtemperaturen über das ganze Jahr **innerhalb der Komfortgrenzen**.

### 3.1.5 COPYCENTER UND BÜRO EAST B

Die Simulation ergibt für das Copycenter und das Büro beim Eingang im Level B mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Cop = Copycenter, Bub = Büro East B).



**Abbildung 19 Jahrestemperaturverlauf Copycenter / Büro East B**

Auch in den Zonen Büro B und Copycenter bleiben die empfundenen Raumtemperaturen über das ganze Jahr **innerhalb der Komfortgrenzen**.

### 3.1.6 KÜCHE UND MENSA

Die Simulation ergibt für die Zonen Küche und Mensa mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat (Kue = Küche, Men = Mensa).

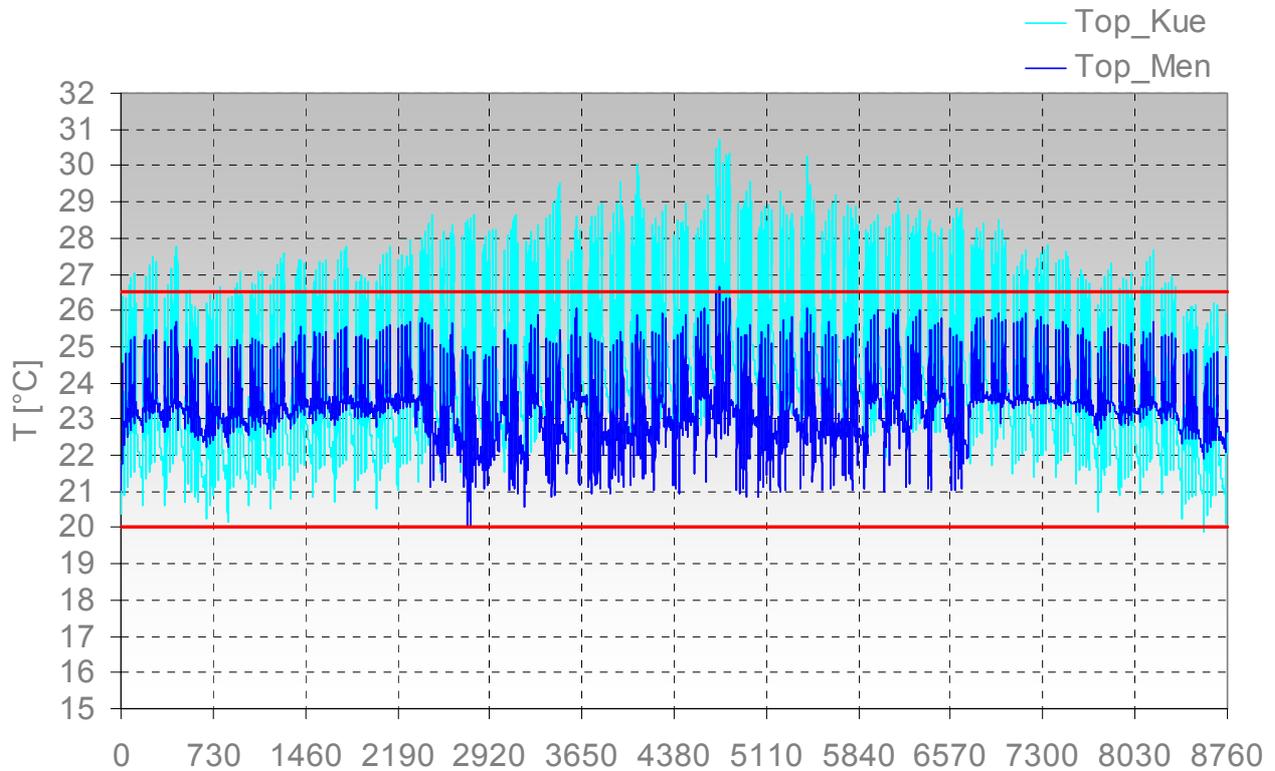
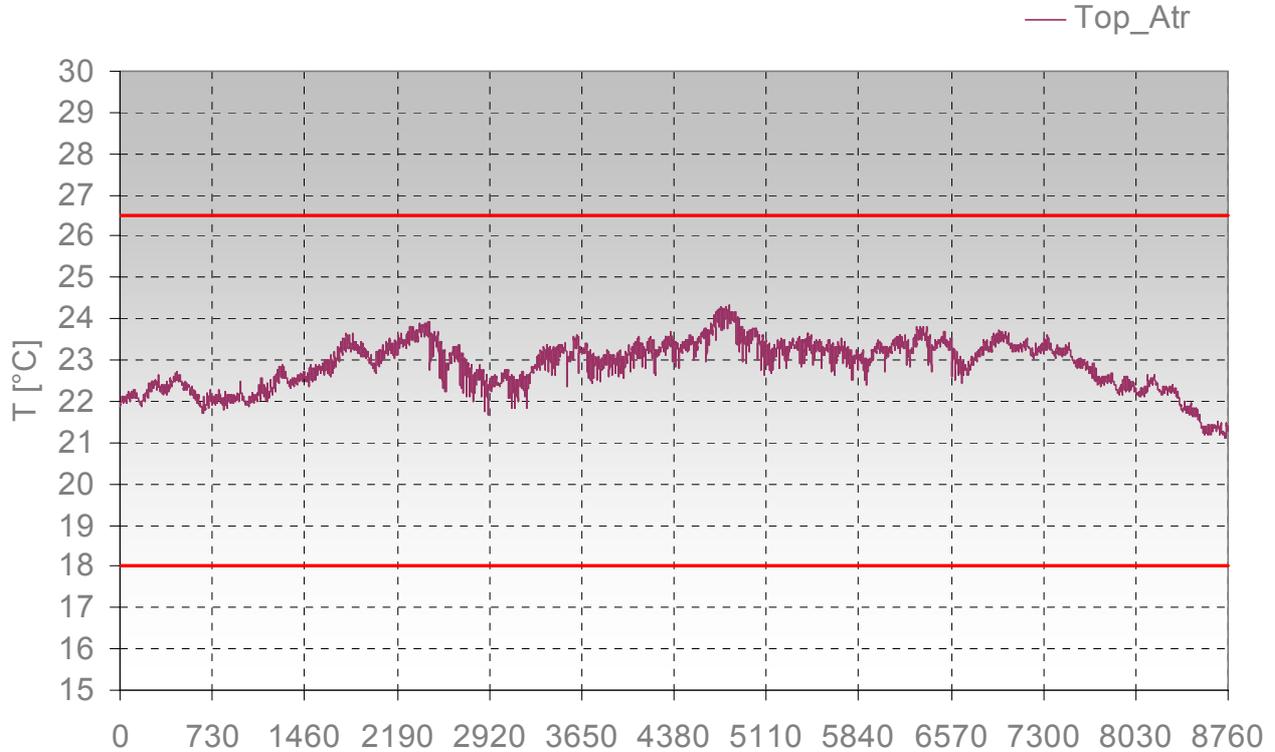


Abbildung 20 Jahrestemperaturverlauf Küche / Mensa

In der Mensa wird die **Komfortgrenze** im Sommer **leicht überschritten**. In der **Küche** steigen die Temperaturen bei hohen Aussenlufttemperaturen im Sommer auf Werte **über 30 °C** an. In der Planungsphase wurde diese Überschreitung diskutiert und von der Bauherrschaft für diese Nutzung als zumutbar akzeptiert.

### 3.1.7 ATRIUM

Die Simulation ergibt für das Atrium sehr geringe Jahresschwankungen. Im Atrium liegt die Temperaturanforderung im Winter bei 18 °C. Mit **empfundenen Raumtemperaturen zwischen 21.0 und 25.0 °C** sind die Bedingungen problemlos erfüllt. Die geringen Schwankungen sind durch die 5-fach-Verglasung mit innen liegender durchlüfteter Beschattung, sowie durch geringe interne Lasten zu erklären.

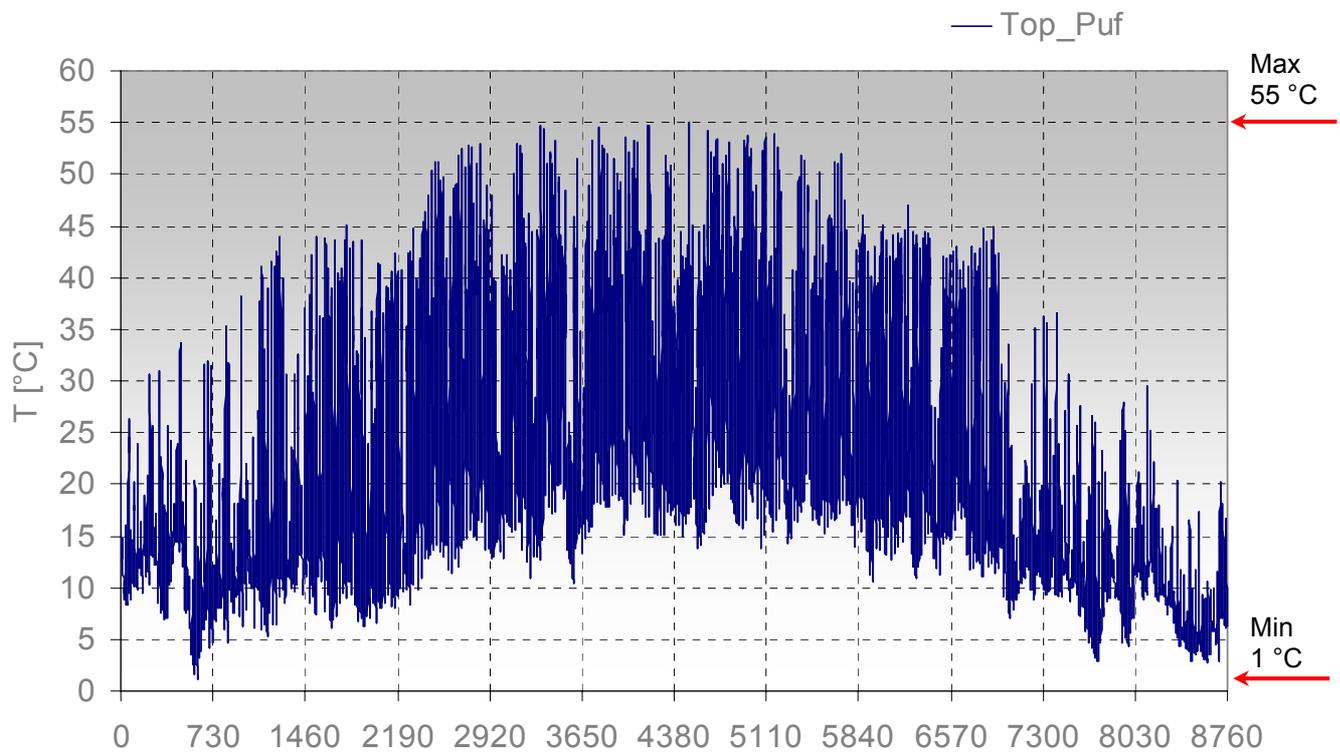


**Abbildung 21 Jahrestemperaturverlauf Atrium**

Es zeigt sich als positiv, dass die Temperatur im Atrium, bedingt durch die Konstruktion des Doppeldaches, wenig sensitiv auf Fehlfunktionen wie z.B. nicht funktionierende Storen ist. Die Zone ist somit ganzjährig nutzbar obschon sie weder aktiv beheizt noch belüftet ist.

### 3.1.8 PUFFERRAUM

Die Simulation ergibt für den Pufferraum mit den im entsprechenden Kapitel angegebenen Rahmenbedingungen folgendes Resultat.



**Abbildung 22 Jahrestemperaturverlauf Pufferraum**

Die Regelung der Öffnungen des Pufferraums erlaubt es im Sommer die Temperaturen in dieser Zone **auf zirka 55 °C zu begrenzen**. Auf diese Weise ist die Funktionstüchtigkeit der elektronischen Komponenten im Pufferraum nicht gefährdet. In kalten Winternächten sinkt die Temperatur bis nahe an den Gefrierpunkt.

## 3.2 HEIZ- UND KÜHLBEDARF

Zur Überprüfung mit herkömmlichen Berechnungsmethoden wurde eine Vergleichsrechnung nach 380/1:2001 durchgeführt. Im Folgenden werden Vergleichswerte nach 380/1, entsprechende Grenzwerte und Simulationsresultate für den Stand Planung sowie für die Effektive Nutzung verglichen.

|                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Energiebezugsfläche unkorrigiert | EBFo = 8'238 m <sup>2</sup>       |
| Energiebezugsfläche korrigiert   | EBF = 11'161 m <sup>2</sup>       |
| Hüllenfaktor                     | A/EBF ca. 0.6 (B-Wert-korrigiert) |
| Relative Fensterfläche           | Aw/EBF = 13.6 %                   |

### Heizwärmebedarf

Mit Standardwert für thermischen Aussenluftvolumenstrom ( $V_{th} = 0.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )

|                    |                         |                                                                  |
|--------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Grenzwert Neubau   | 128 MJ/m <sup>2</sup> a | Gesetzlicher Grenzwert Hg (Verwaltungsneubau 2007)               |
| Minergie-Grenzwert | 102 MJ/m <sup>2</sup> a | 80% Hg (Primäranforderung Minergie 2007)                         |
| FC nach 380/1      | 59 MJ/m <sup>2</sup> a  | FC nach 380/1 mit red. QE0 =60MJ/m <sup>2</sup> a                |
|                    |                         | QE0 bezeichnet Elektroverbrauch. Standard: 80MJ/m <sup>2</sup> a |

Mit reduziertem thermischem Aussenluftvolumenstrom und Elektrowärmelast (QE0)

|                      |                        |                                                                                                                                                             |
|----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Minergie-P-Grenzwert | 36 MJ/m <sup>2</sup> a | Primäranforderung Minergie-P: 2003<br>( $V_{th} = 0.33 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{h}$ , red. QE0 =60MJ/m <sup>2</sup> a)                                   |
| FC Plan 380/1:2001   | 33 MJ/m <sup>2</sup> a | FC nach 380/1:2001 mit QE0 =60MJ/m <sup>2</sup> a und $V_{th} = 0.35 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{h}$                                                        |
| FC Plan simuliert    | 16 MJ/m <sup>2</sup> a | Heizwärmebedarf simuliert <u>ohne</u> Lüfterdärmeregister und Server<br>( $V_{th} = 0.35 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{h}$ , red. QE0 =75MJ/m <sup>2</sup> a) |
| FC Plan simuliert    | 11 MJ/m <sup>2</sup> a | Heizwärmebedarf simuliert <u>mit</u> Lüfterdärmeregister und Server<br>( $V_{th} = 0.35 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{h}$ , red. QE0 =75MJ/m <sup>2</sup> a)  |

### Effektive Nutzung

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| Messwerte  | 23.8 MJ/m <sup>2</sup> a |
| Simulation | 22.1 MJ/m <sup>2</sup> a |

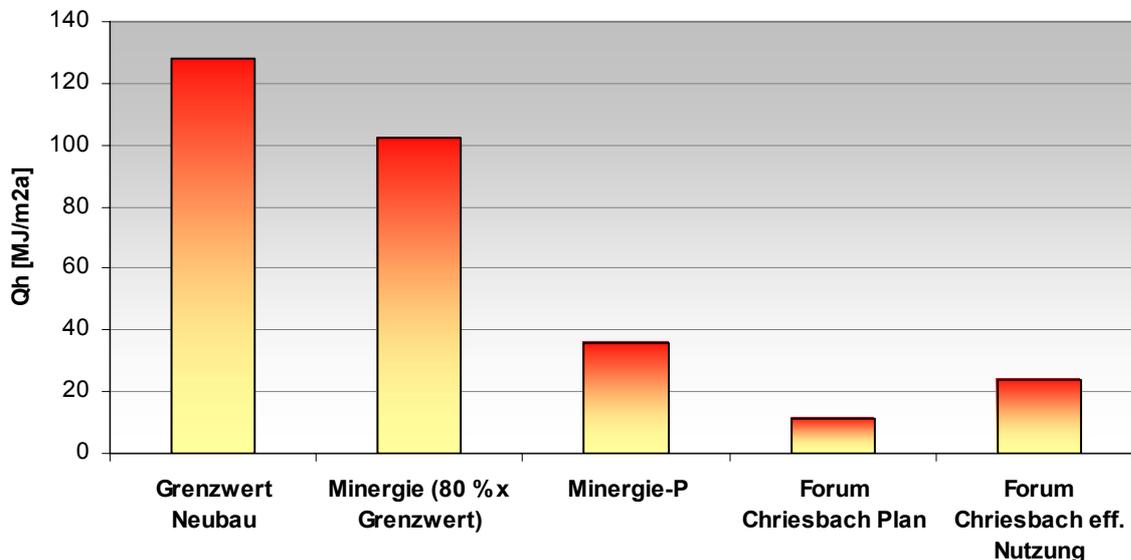


Abbildung 23 Vergleich Heizwärmebedarf Grenzwerte 2006

### Warmwasser

|                    |                        |                                                                      |
|--------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Statistischer Wert | 25 MJ/m <sup>2</sup> a | Gemäss SIA 380/1 für Verwaltungsgebäude mit Warmwasser               |
| FC Plan            | 9 MJ/m <sup>2</sup> a  | Gemäss Pflichtenheft [7] (21'300 kWh/a / 8'238 m <sup>2</sup> x 3.6) |
| FC eff. Nutzung    | 13 MJ/m <sup>2</sup> a | Gemäss Messung [16] (30'000 kWh/a / 8'238 m <sup>2</sup> x 3.6)      |

### 3.2.1 WÄRMEBILANZ

Der Wärmebedarf des Gebäudes für Heizung und Warmwasser wird durch die Quellen **Abwärmenutzung der gew. Kälte**, **thermische Solaranlage** und **Wärmenetz** gedeckt. Die kleinen Differenzen zwischen Bedarf und Deckung sind auf die Speicherverluste (2000kWh/a, ca. 2%) zurückzuführen. Diese wurden zur besseren Lesbarkeit in den Grafiken ausgeblendet.

Der Anteil der verschiedenen Quellen ist folgenden Diagrammen zu entnehmen.

#### 3.2.1.1 Wärmebilanz, effektive Nutzung, simuliert

Die unteren beiden Diagramme zeigen die Verwendung der bezogenen Wärme. Die Datenreihe Q\_Heizung bezeichnet Luffterhitzer bei Taglüftung und für die Nachtheizung, sowie Heizkörper und auch die dem Gebäude zukommenden Verluste des Speichers ins Atrium und die Verluste der Heizleitungen im Atriumsboden.

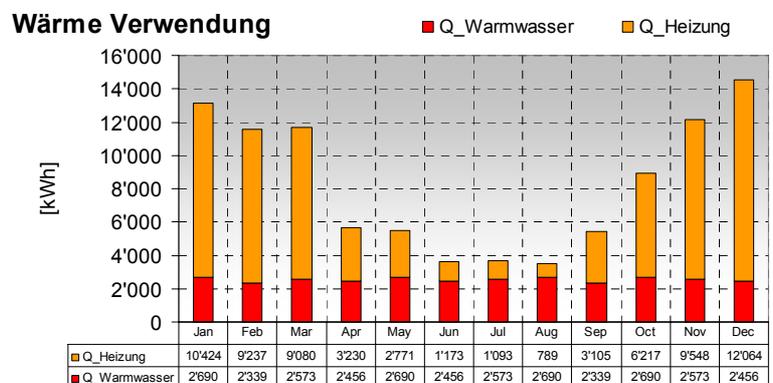
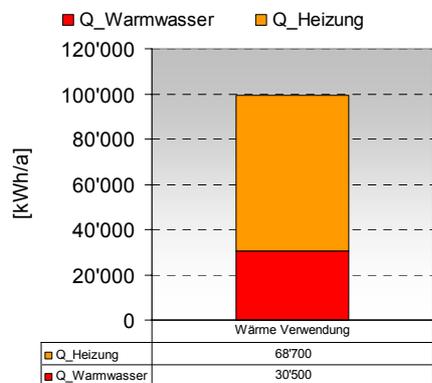
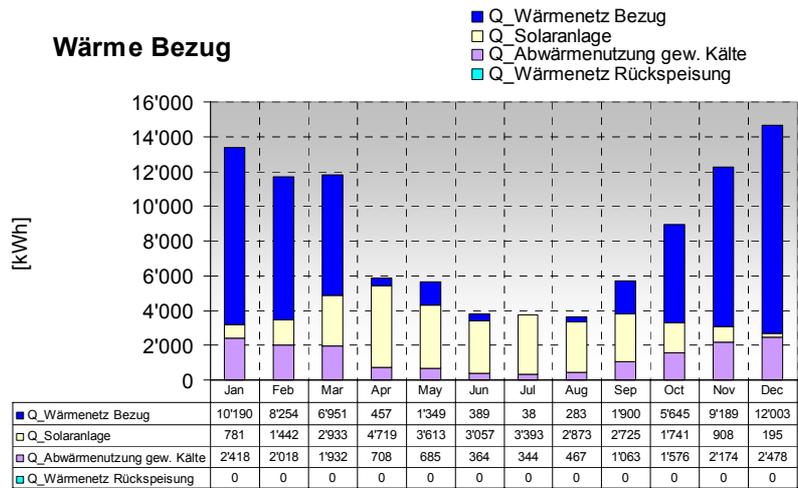
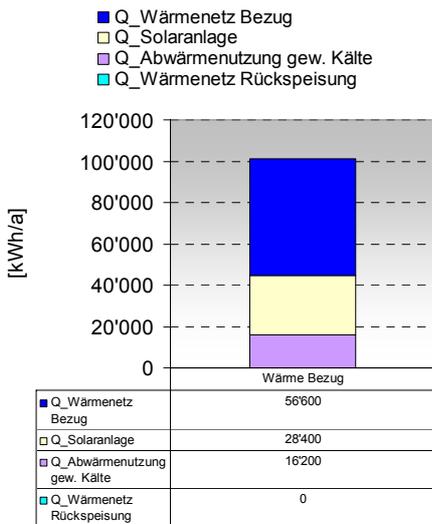


Abbildung 24 Wärmebilanz Forum Chriesbach simuliert

3.2.1.2 Wärmebilanz, effektive Nutzung, Stand Betriebsoptimierung

Im folgenden Diagramm sind die Energiemesswerte aus der Betriebsoptimierung BO [16] ersichtlich. Der Unterschied zwischen dem Jahrestotal in Bezug und Verwendung der Wärme ist auf Messungenauigkeiten zurückzuführen. Vor allem die Messung der Abwärmenutzung aus der gew. Kälte ist aufgrund von Zählerausfällen wenig plausibel. Es ist ersichtlich, dass die **Solaranlage** und die **Abwärmenutzung gew. Kälte** zusammen knapp die Hälfte des Wärmebedarfes decken. Die andere Hälfte wird vom Arealwärmenetz bezogen. Die ins Arealheiznetz zurück gespiesene Wärme fällt auf dem hohen Temperaturniveau des Heiznetzes an und kann in anderen Gebäuden zur Brauchwassererwärmung genutzt werden.

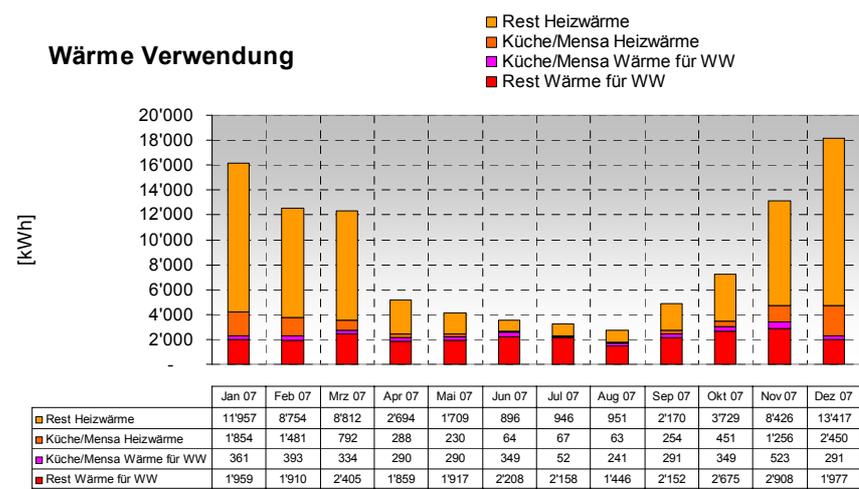
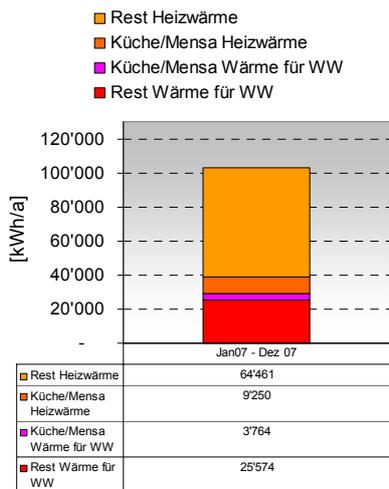
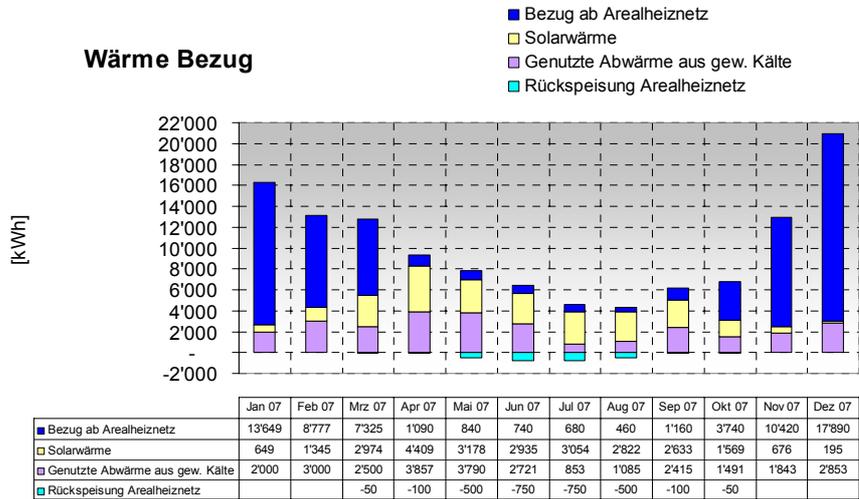
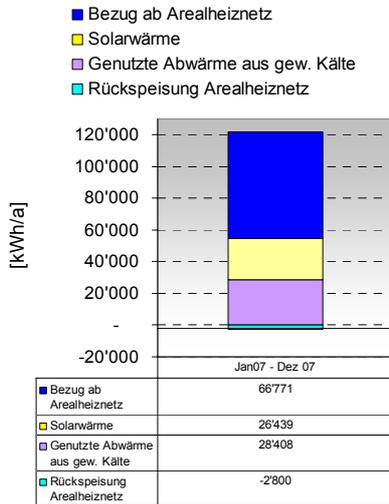
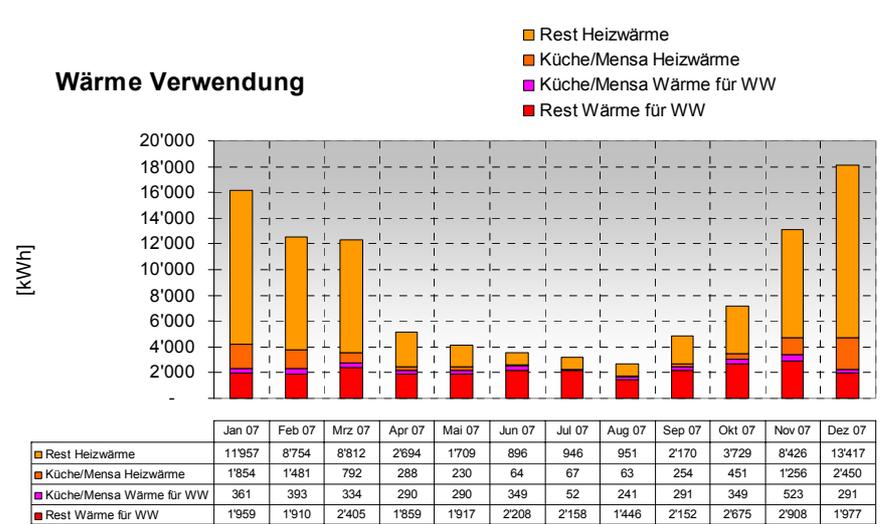
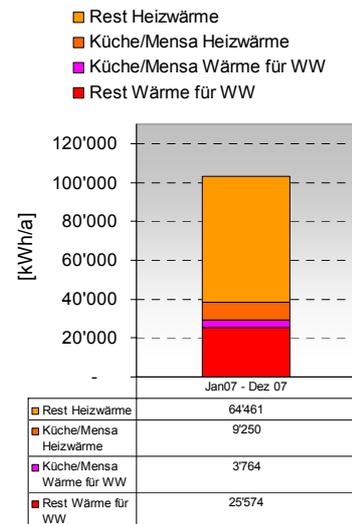
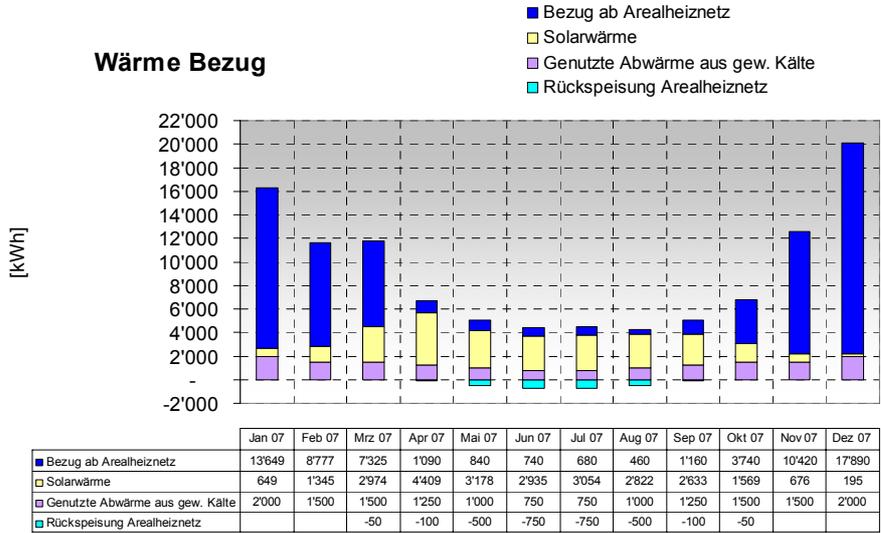
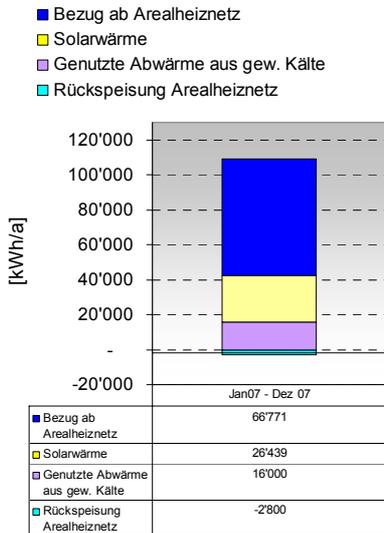


Abbildung 25 Wärmebilanz Forum Chriesbach gemäss Stand BO

**3.2.1.3 Wärmebilanz, effektive Nutzung, gemessen, bereinigt**

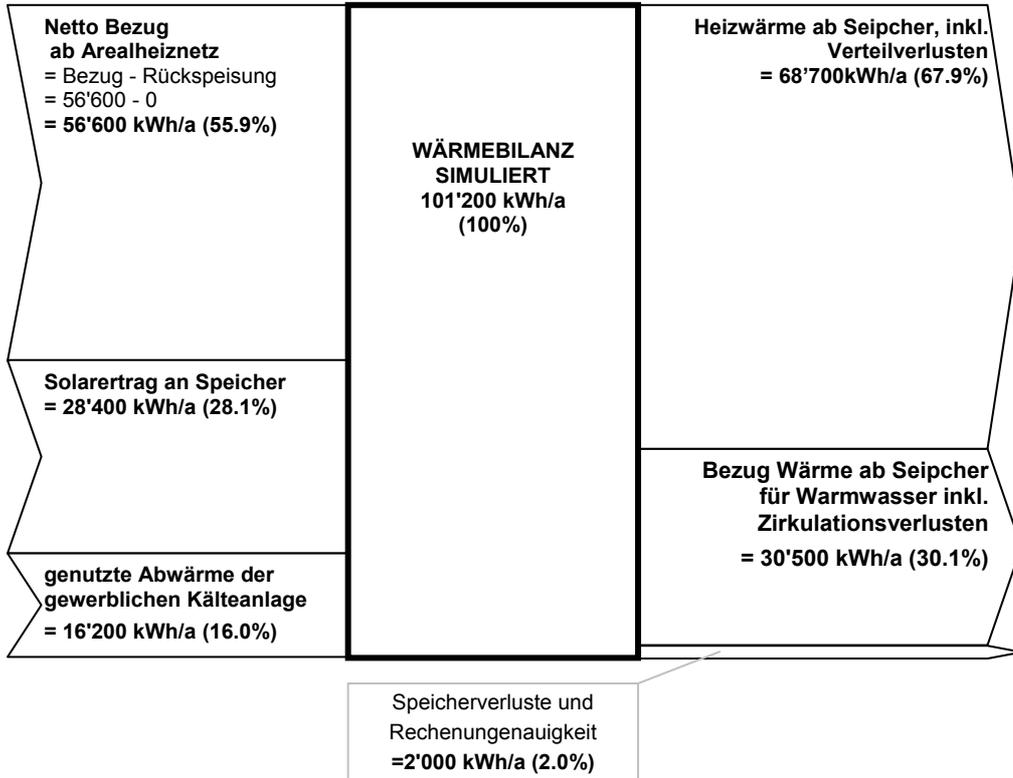
Ein Vergleich mit der Wärmebilanz der Simulation zeigt auf, dass insbesondere die Messung der Abwärme gew. Kälte wenig plausibel ist. Werden die entsprechenden Werte bereinigt, so reduziert sich der Bilanzfehler der Jahreswerte in der Messung und es resultiert eine verbesserte Vergleichsbasis.



**Abbildung 26 Wärmebilanz gemessen, bereinigt**

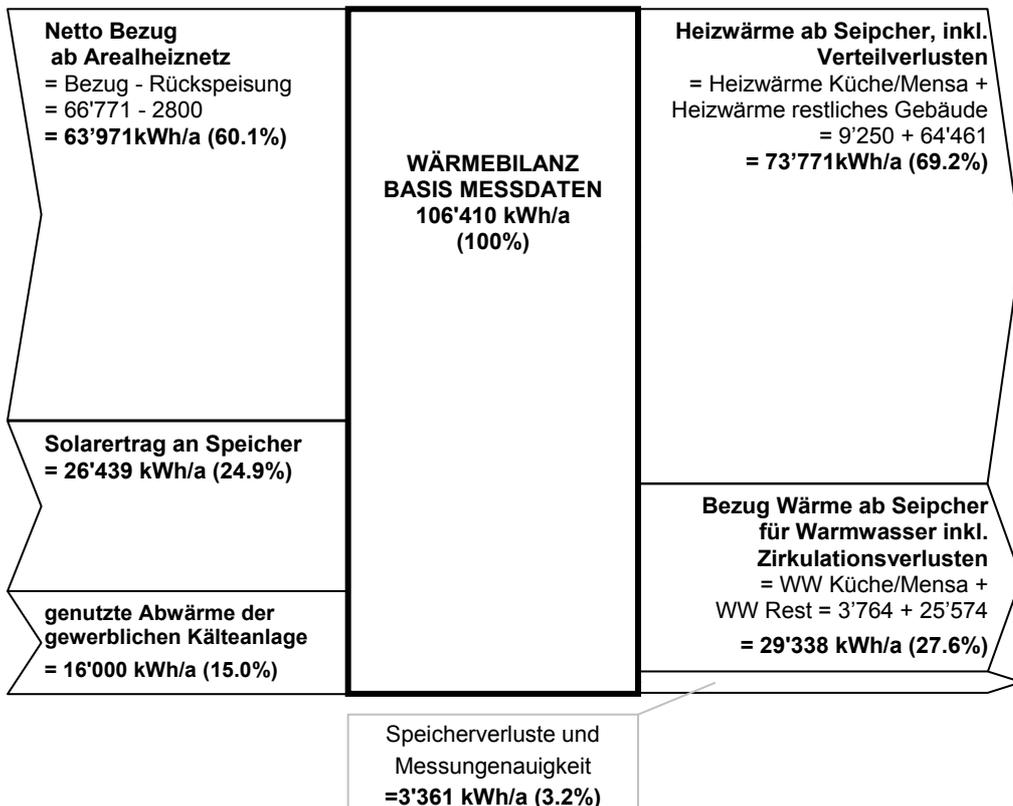
3.2.1.4 Vergleich Jahreswärmebilanz

Energiekennzahl Wärme, simuliert =  $56'600 \text{ kWh} / 11'161 \text{ m}^2 = 5.1 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$



**Tabelle 3.2-1: Energiefluss, simuliert**

Energiekennzahl Wärme, Basis Messdaten =  $63'971 \text{ kWh} / 11'161 \text{ m}^2 = 5.7 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$



**Tabelle 3.2-2: Energiefluss, Basis Messdaten**

3.2.1.5 Nutzung Abwärme gew. Kälte

In den Monaten **April bis Oktober** wird der Wärmebedarf fast ausschliesslich durch die Solaranlage gedeckt. Der Speicher ist gemäss Simulation in diesen Monaten, insbesondere von **Juni bis September**, oberhalb der Einspeisehöhe der Abwärme der gew. Kälte auf einem Temperaturniveau, das die Zufuhr von Rückgewinnungswärme aus der gewerblichen Kälte bei 36 °C nicht zulässt. Eine mögliche Erklärung zur nicht Erhaltung der Temperaturschichtung im Speicher ist die **Wärmeleitfähigkeit** der Speicherwände und des Wassers im Speicher. Dies bewirkt, dass sich auch unterhalb des Solarwärmetauschers eine höhere Temperatur einstellt, was die Einspeisung von Abwärme aus der gew. Kälte verhindert.

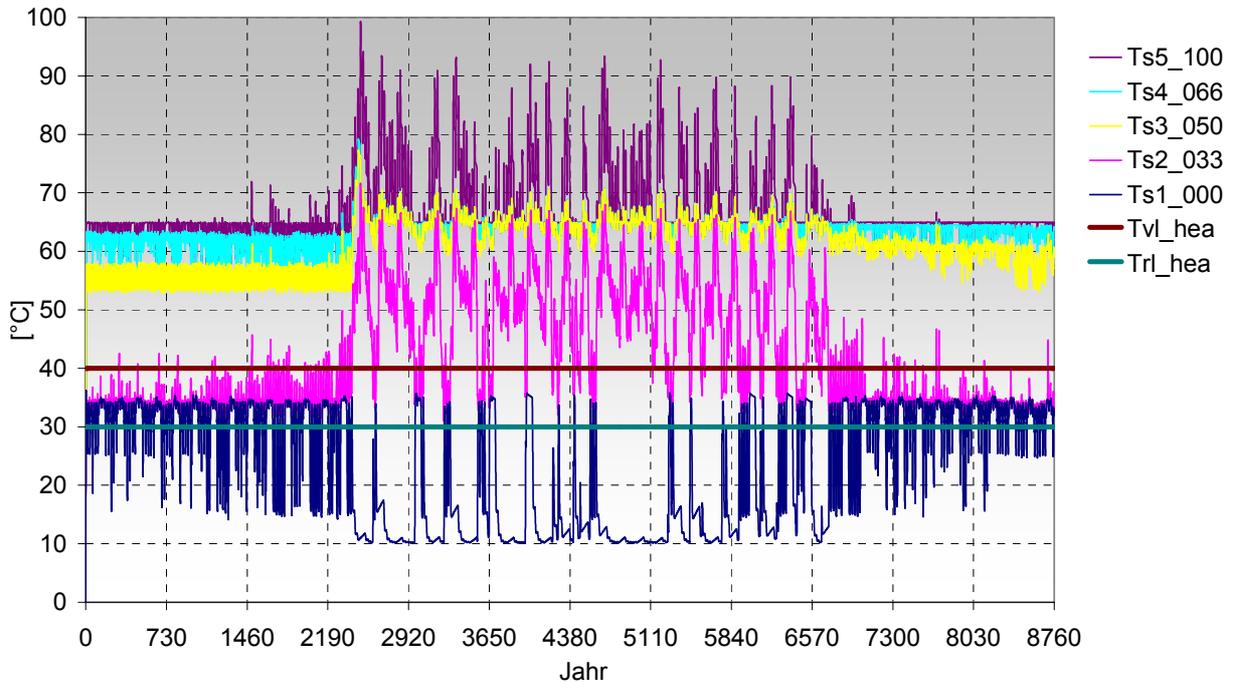


Abbildung 27 Speichertemperaturen

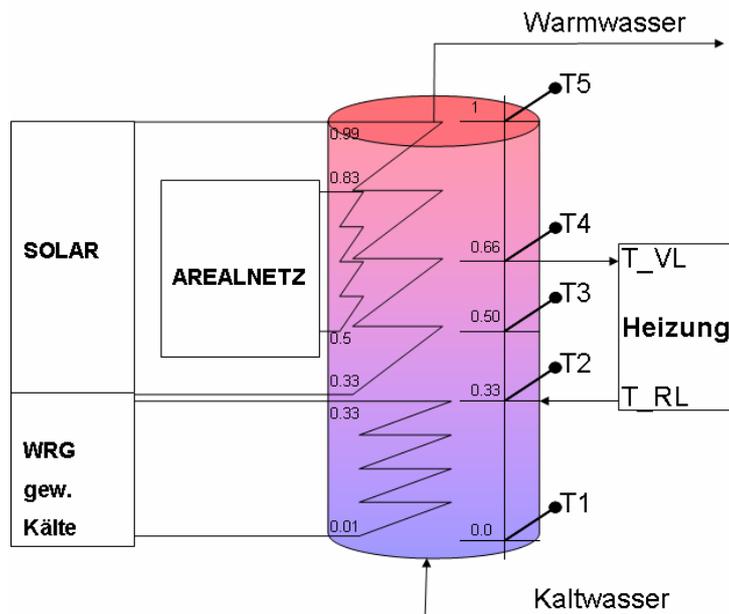


Abbildung 28 Speicherschema

### 3.2.2 KÄLTEBILANZ

Für die **Klimatisierung** der Zonen Copycenter, Multimedia, Sitzung und Hörsaal (**Q\_Klimakälte**) sowie die **Temperaturbegrenzung im Serverraum (Q\_Server Kälte)** ist folgender Kühlbedarf über die Zeitspanne eines Jahres erforderlich. Der Bedarf der Luftkühler (**Q\_Luftkühler**) ist bei der Einstellung auf 26.5°C praktisch vernachlässigbar. Die **Klimatisierung** über Kühldecken ist in der effektiven Nutzung ebenfalls vernachlässigbar.

Anfallende Verteilverluste sind vernachlässigt. Der resultierende Bedarf wird als Kältebezug ab Netz definiert.

#### 3.2.2.1 Kältebilanz, effektive Nutzung, simuliert

Der Server wird gekühlt während der Anzahl Stunden pro Jahr, während denen die Aussenluft nach dem Erdregister zu warm ist um den Server im Freecooling-Betrieb zu kühlen. Der Kältebedarf des Servers ergibt sich aus dieser Anzahl Stunden multipliziert mit der gesamten Leistung der Server (Umluftkühlbetrieb) und beträgt **15'392kWh Kälteenergie pro Jahr**. Das Resultat deckt sich mit der Prognose 2008 der BO-Phase [16]. Der Monatsverlauf ist ebenfalls in untenstehender Grafik ersichtlich.

Mit der aktuellen Modellierung des Erdregisters führt eine Erhöhung der Grenztemperatur für Freecooling des Serverraumes von 18 auf 20°C zu einer Reduktion des Kältebedarfs um zwei drittel auf 5'000kWh/a. Es ist also noch weiteres Potential vorhanden!

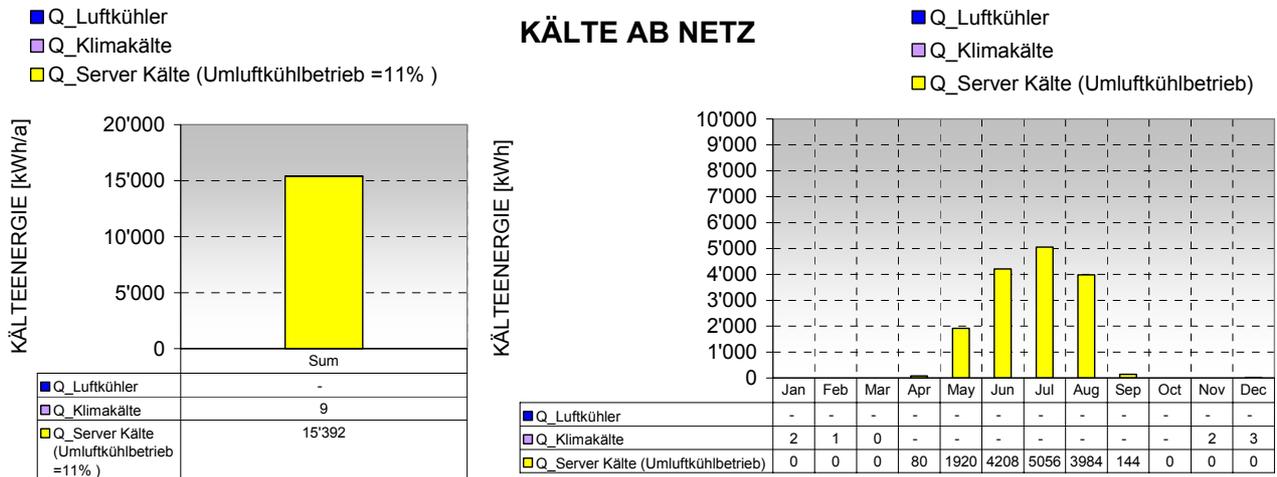
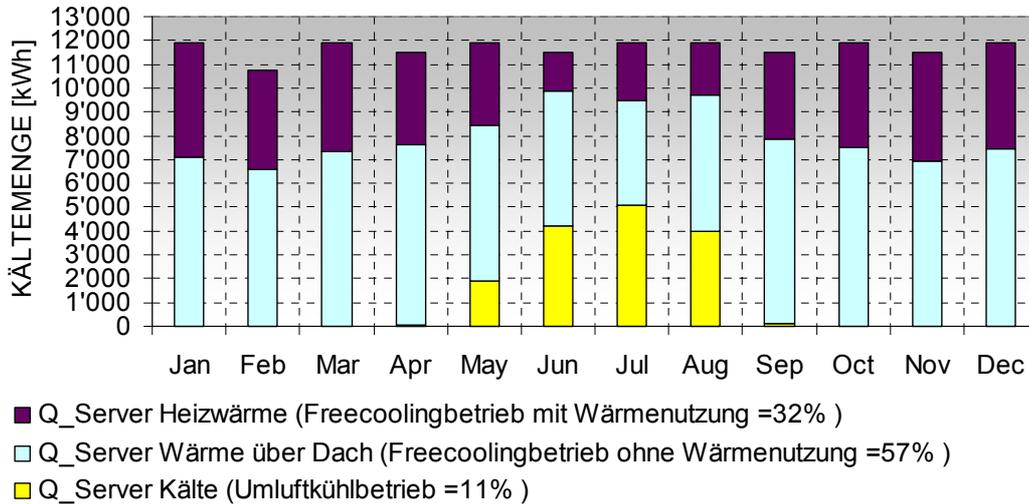


Abbildung 29 Kältebezug ab Netz, simuliert

**3.2.2.2 Analyse Kältebilanz Freecooling, effektive Nutzung, simuliert**

Die mittlere elektrische Leistungsaufnahme von **16 kW** des **Serverraums** würde einen theoretischen Kühlbedarf von  $16\text{kW} \cdot 24\text{h} \cdot 365\text{d} = 140'160 \text{ kWh}$  benötigen. Der effektiv zur Deckung dieses Bedarfs notwendige Bezug ab Kältenetz hängt stark vom Erdregister, den zulässigen Temperaturen im Serverraum, sowie den zulässigen Temperaturen der Zuluft ab.

**SERVERABWÄRME**

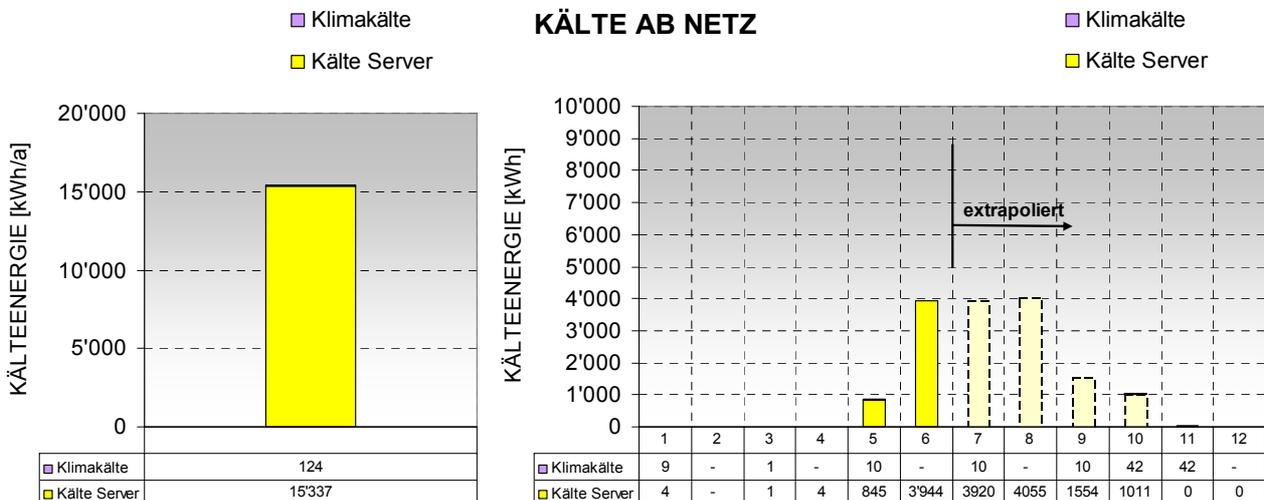


**Abbildung 30 Bilanz Serverabwärme / Anteil Freecooling**

Aus obiger Abbildung ist ersichtlich, dass 32% der Serverwärme zu Heizzwecken genutzt werden kann. Der Anteil Freecooling total übers Jahr beträgt 89% (32+57%). Der Rest (11%) muss im Umluftkühlbetrieb durch das Arealkältenetz gekühlt werden.

**3.2.2.3 Kältebilanz, Basis Messdaten**

In den Messdaten der Server des Jahres 2007 waren zu viele Unsicherheiten bedingt durch Störungen und Fehlfunktionen des Kühlsystems [16]. Der Verbrauch war atypisch hoch bei knapp 35'000 kWh/a. Da der Stromverbrauch der Server in etwa konstant ist, werden zum Vergleich die besseren, extrapolierten Daten des Jahres 2008 als Basis für die Server verwendet. Die Daten für die Klimakälte sind inkl. Luftkühler. Zum Vergleich mit der Simulation wurden hier die Daten aus dem Jahr 2007 verwendet.



**Abbildung 31 Kältebezug ab Netz, gemessen, extrapoliert**

### 3.3 SENSITIVITÄTSANALYSEN GESAMTSYSTEM

In diesem Kapitel wird der Einfluss der einzelnen Technikelemente zur Bedarfsreduktion und rund um den Kombispeicher zur Wärmebereitstellung untersucht. Dabei gilt es zu beachten, dass die einzelnen Technikelemente als System fungieren und nebst Energieeinsparung Ihren Nutzen in mehreren Dimensionen bringen.

| Technik-element                                 | weniger Wärme-energie | weniger Kälte-energie      | Komfort-steigerung im Raum                                            | Erhöhung Redundanz und Systemsicherheit                                                                                                                        | Weitere Zusatznutzen                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Lufterdregister                              | Ja                    | Ja                         | Ja<br>Kühlere Aussenluft im Sommerfall, verbesserte Lüftungseffizienz | Ja<br>Auch wenn Kälte oder Wärmeversorgung ausfallen, wird die Aussentemperatur gebrochen.                                                                     | Ja<br>Beitrag an Lösung Vereisungsproblem<br>Lufterhitzer im Winterfall<br>Kühlung und Entfeuchtung Sommerfall und dadurch Verzicht auf Luftkühler / Entfeuchter<br>Reduktion Installationskosten und elektrischer Energie durch Möglichkeit Wahl tieferer Luftmengen durch die Lüftungseffizienz |
| 2. Server-abwärme, Freecooling Server           | Ja                    | Ja                         | Nein                                                                  | Ja<br>Auch bei Ausfall Kälteversorgung werden die Server noch gekühlt<br>Auch bei Ausfall Wärmenetz oder WRG Lüftung wird Aussenluft im Winter noch vorgewärmt | Ja<br>Beitrag an Lösung Vereisungsproblem<br>Lufterhitzer Winterfall<br>Reduktion Stromverbrauch durch kürzerer Laufzeit WRG der Lüftungsanlagen (Minderung Druckverlust)                                                                                                                         |
| 3. Abwärmennutzung der gewerblichen Kälteanlage | Ja                    | (Ja)<br>Siehe Zusatznutzen | Nein                                                                  | Ja<br>Auch bei Ausfall Wärmenetz steht Wärme für Heizzwecke bereit                                                                                             | Ja<br>Reduktion Rückkühlenergie zur Vernichtung der Abwärme                                                                                                                                                                                                                                       |
| 4. Thermische Solaranlage                       | Ja                    | Nein                       | Nein                                                                  | Ja<br>Auch bei Ausfall Wärmenetz steht Wärme für Heizzwecke bereit                                                                                             | Ja<br>Nutzung Wärmeüberschuss durch Arealheiznetz für umliegende Bauten<br>Visuelles Signal an die Öffentlichkeit zur Nutzung der Sonnenenergie                                                                                                                                                   |

**Tabelle 3 Mehrfachnutzen Technikelemente**

Es wurde darauf verzichtet, das Weglassen der Rotations- und Plattenwärmetauscher der Lüftungsanlagen zu untersuchen, da diese ohnehin gesetzlich gefordert sind und es darüber viele Publikationen gibt. Der Energetische Einfluss durch abweichende Wirkungsgrade wurde am Rande untersucht und unter 2.3.1.3 beschrieben.

Eigentlich ist auch die Abwärmennutzung von anfallender Wärme der gewerblichen Kälteanlage wie auch der Server gesetzlich vorgeschrieben, wird aber heute oft durch Einholung einer Ausnahmegewilligung weggelassen, mit der Begründung, dass kein Wärmebedarf vorhanden sei. Daher wurde der Einfluss durch Wegfall dieser Wärmerückgewinnungselemente mit untersucht.

Streng genommen sind als „freiwillige“ Massnahmen lediglich die Solaranlage und das Erdregister zu betrachten. Das Erdregister wie auch die Solaranlage haben aber Zusatznutzen was ein Verzicht unter Berücksichtigung des Gesamtsystems und der Zielsetzungen der Bauherrschaft als nicht empfehlenswert zeigt.

**Bei Kosten-Nutzenüberlegungen werden oft die Mehrdimensionalen Nutzen vergessen und lediglich der Einfluss auf eine Dimension untersucht, was zu Falschaussagen führen kann.**

**Auswirkung Verzicht Luftherdwärmerregister (LER)**

Das Luftherdwärmerregister wirkt sich minimal auf den Wärmebedarf aus. Entsprechend wird auch der Wärmebezug ab Netz wenig beeinflusst. Wäre die Serverabwärme nicht vorhanden oder die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen schlechter, wäre der Effekt für den Heizwärmebedarf deutlicher. Im Winterfall hat das LER keinen Komforteinfluss. Im Sommerfall ist der positive Einfluss vor allem in Zonen mit hohem Luftwechsel sichtbar. Auf den Kältebedarf des Servers hat das LER einen massiven Einfluss. Wird es weggelassen **steigt der Kältebezug ab Netz um ca. 67%**.

**Auswirkung Verzicht Serverabwärme (SER)**

Ein grossteil der Serverabwärme fällt im Sommer oder nachts an und kann deshalb schlecht genutzt werden. Wird auch tagsüber die Serverwärme im Winterfall nicht genutzt, so wird der Effekt durch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen teilweise kompensiert. So erklärt sich, dass ohne Nutzung der Serverabwärme der Wärmebedarf und **Bezug ab Netz lediglich um etwa 10% steigt**. Interessant ist aber, dass die WRG länger „gebypasst“ werden kann, was sich wiederum positiv auf den Stromverbrauch auswirkt.

**Auswirkungen Verzicht Abwärme der gewerblichen Kälte (KAE)**

Wird die Abwärme der gewerblichen Kälte nicht genutzt, beeinflusst dies die andern Teilsysteme wenig. Die fehlende Wärme muss vom Arealnetz bezogen werden. Der **Bezug ab Arealwärmenetz steigt um ca. 27%**. Dazu kommt, dass die nicht genutzte Abwärme zusätzlich Rückgekühlt werden muss.

**Auswirkungen Verzicht Solaranlage (SOL)**

Ohne thermische Solaranlage steigt der Ertrag der Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte etwas an. Die restliche Solarwärme wird mit dem Arealwärmenetz kompensiert. **Der Bezug ab Netz steigt um ca. 37%**.

**Übersicht Quantitative Auswirkungen**

| Variante                                    | Heizwärmebedarf<br>Qh |      | Wärmebezug ab Netz<br>Ew |      | Abwärme gew. Kälte<br>[KAE] |      | Solarertrag thermisch<br>[SOL] |      | Bezug Kälte ab Netz für Server<br>[SER] |      | Berkungen<br>wichtig |
|---------------------------------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|-----------------------------|------|--------------------------------|------|-----------------------------------------|------|----------------------|
|                                             | kWh                   |      | kWh                      |      | kWh                         |      | kWh                            |      | kWh                                     |      |                      |
| Simulation eff. Nutzung                     | 68'700                | 100% | 56'600                   | 100% | 16'200                      | 100% | 28'400                         | 100% | 15'392                                  | 100% |                      |
| ohne Luft-Erdwärmerregister [LER]           | 70'200                | 102% | 58'000                   | 102% | 16'300                      | 101% | 28'400                         | 100% | 25'712                                  | 167% | 1                    |
| ohne Server [SER]                           | 74'200                | 108% | 61'600                   | 109% | 16'700                      | 103% | 28'400                         | 100% | 15'392                                  | 100% | 2                    |
| ohne Luft-Erdwärmerregister und ohne Server | 75'700                | 110% | 63'000                   | 111% | 16'800                      | 104% | 28'400                         | 100% | 25'712                                  | 167% | 1,2                  |
| ohne Abwärme gew. Kälte [KEA]               | 68'700                | 100% | 71'700                   | 127% |                             |      | 29'100                         | 102% | 15'392                                  | 100% | 3                    |
| ohne Solaranlage                            | 68'700                | 100% | 77'300                   | 137% | 23'700                      | 146% |                                |      | 15'392                                  | 100% |                      |

1 Ausserdem Einfluss auf Raumtemperaturen im Sommerfall

2 Ausserdem Stromeinsparungen bei redzuiertter Laufzeit/Laufgeschwindigkeit der Lüftungs-WRG

3 Ausserdem reduzierter Stromverbrauch Rückkühlung

**Tabelle 4 Zusammenfassung Sensitivitätsanalysen**

### 3.3.1 LUFT-ERDWÄRMEREGISTER

Wird das Lufterdwärmerregister (LER) rechnerisch weggelassen, so ergibt sich die folgende Wärmebilanz. Der Heizwärmebedarf und Wärmebezug ab Netz nehmen minimal zu. Der geringe Einfluss ist damit zu erklären, dass die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen den Wegfall grösstenteils kompensieren kann.

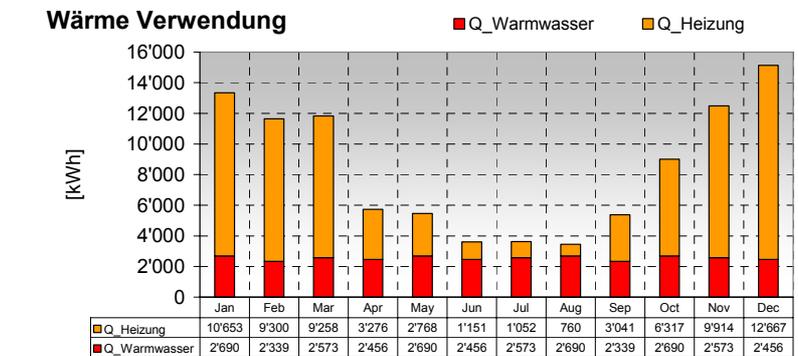
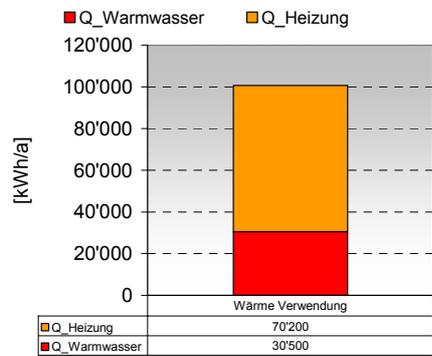
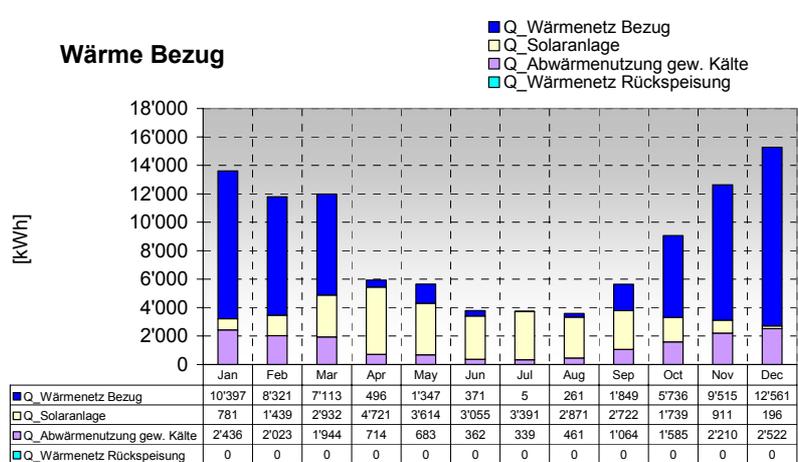
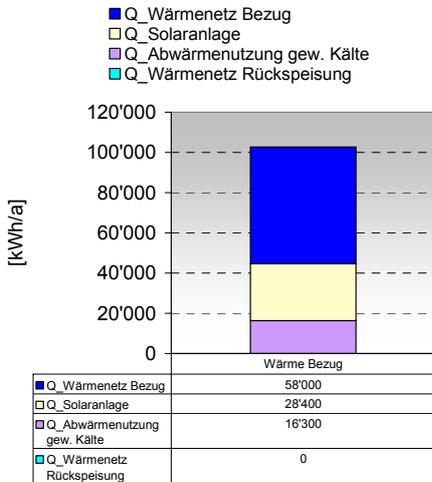


Abbildung 32 Wärmebilanz ohne Luft-Erdwärmeregister

Die Kältebilanz zeigt, dass massiv mehr Kälte für den Server benötigt wird. Die Luftkühler beziehen wenn auch nicht ganz Null so doch praktisch keine Kälte. Die Klimakälte (Kühldecken) beziehen ebenfalls praktisch keine Kälte.

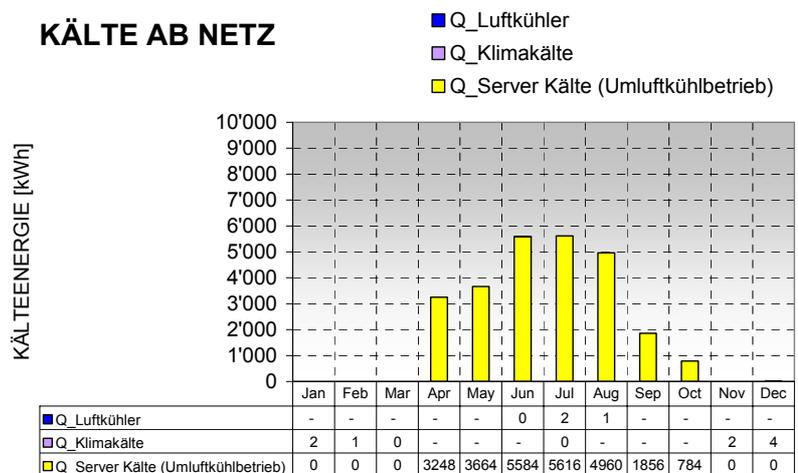
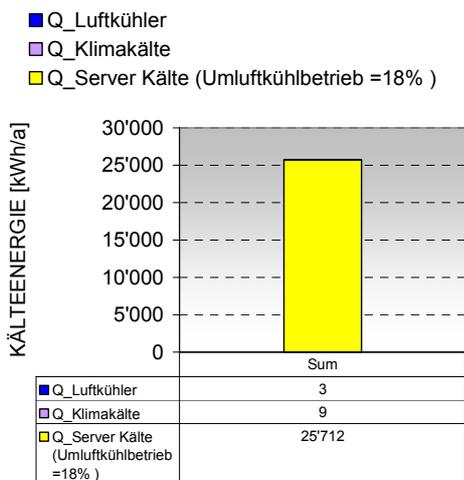


Abbildung 33 Kältebedarf ohne Luft-Erdwärmeregister

Die Raumtemperaturen werden durch das Luft-Erdwärmeregister geringfügig beeinflusst. Der Einfluss ist umso grösser, je grösser der Luftwechsel in der betreffenden Zone ist.

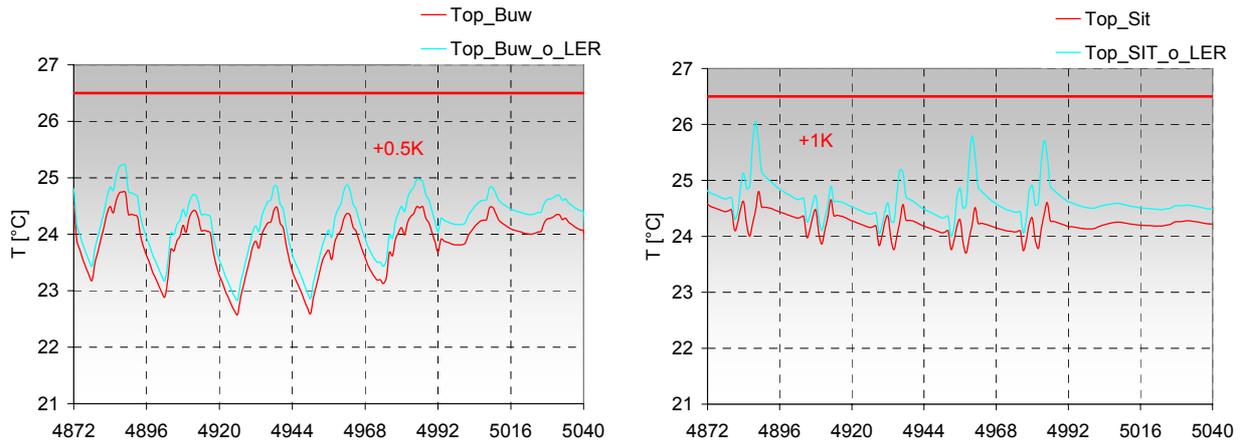
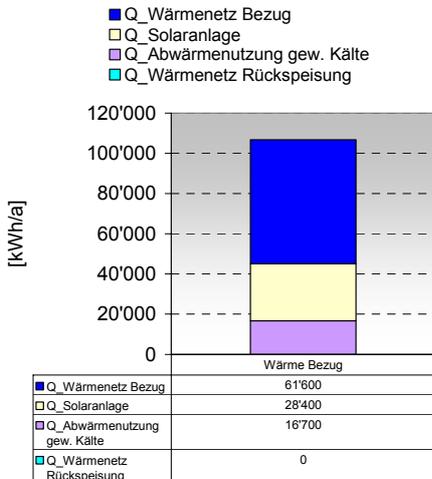


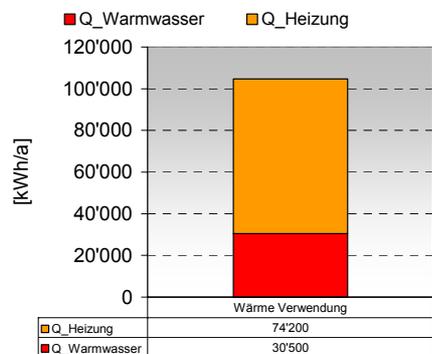
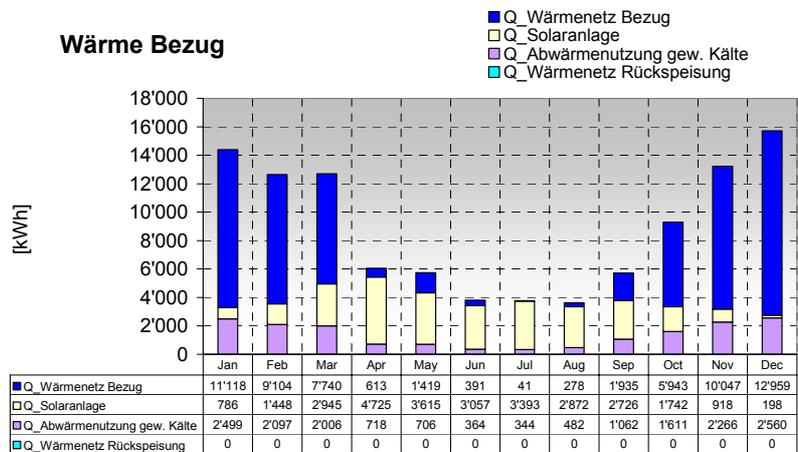
Abbildung 34 Temperatur Büro West und Sitzung mit und ohne LER

### 3.3.2 SERVER

Ohne Wärmenutzung der Serverabwärme fällt der Heizwärmebedarf, wie auch der Wärmebezug ab Netz leicht höher aus. Ausserdem reduziert sich der Stromverbrauch für die Wärmerückgewinnung in der Lüftung, was hier nicht quantifiziert wurde. Da die Serverabwärme ganzjährig und auch 24h pro Tag anfällt, kann sie nur zu einem kleinen Anteil für die Lüftung benutzt werden (Siehe Abbildung 30). Von dem Anteil der für die Lüftung verwendet werden kann wird bei Wegfall dieser Leistung wiederum ein grossteil durch die Wärmerückgewinnung der Lüftung kompensiert. Auf die Raumtemperaturen hat der Server keinen Einfluss.



#### Wärme Bezug



#### Wärme Verwendung

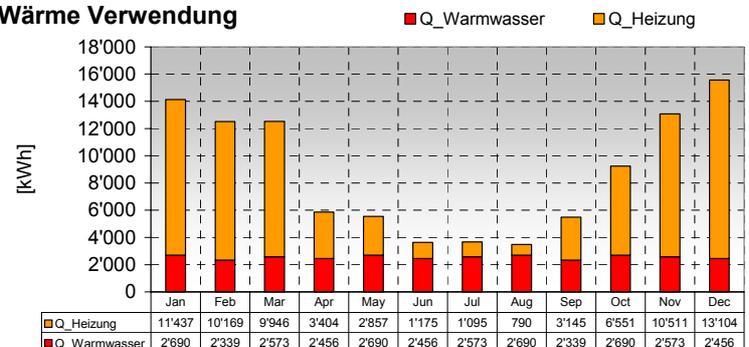


Abbildung 35 Wärmebilanz FC ohne Server

Wird das Luft-Erdwärmeregister und der Server rechnerisch weggelassen, so addieren sich die Mehrverbräuche nicht. Anders ausgedrückt sind die Wärmeeinsparungen dieser technischen Elemente nicht additiv.

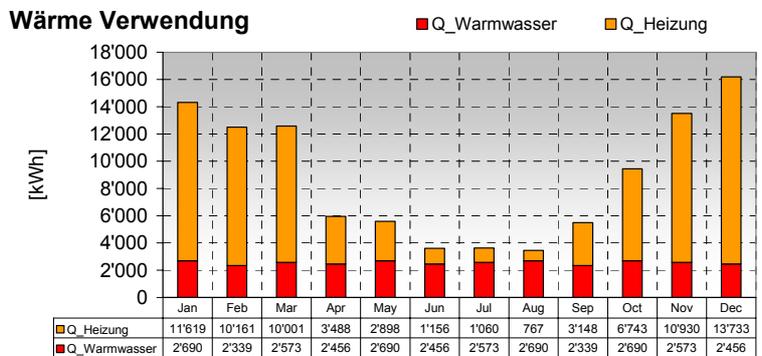
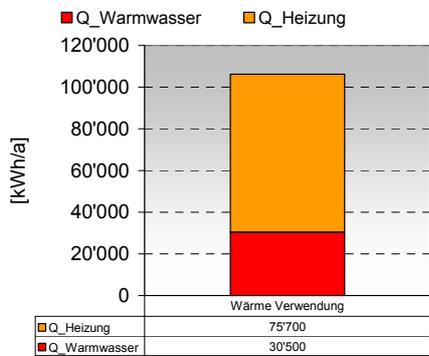
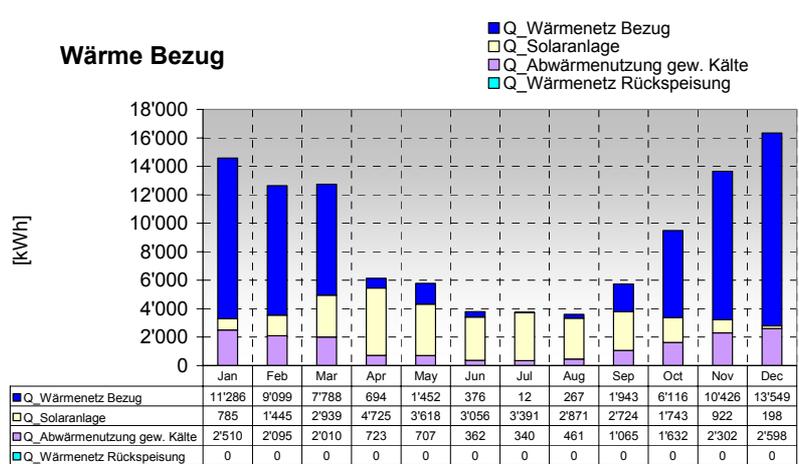
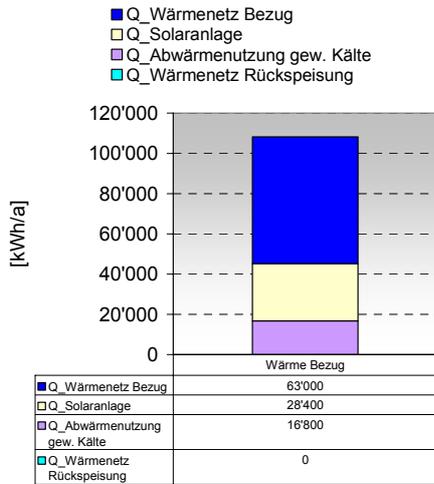


Abbildung 36 Wärmebilanz FC ohne LER und ohne Server

### 3.3.3 ABWÄRMENUTZUNG GEWERBLICHE KÄLTE

Ohne die Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte würde die Solaranlage marginal mehr Ertrag bringen. In diesem Fall muss der fehlende Wärmeeintrag vollständig durch das Arealwärmenetz ersetzt werden.

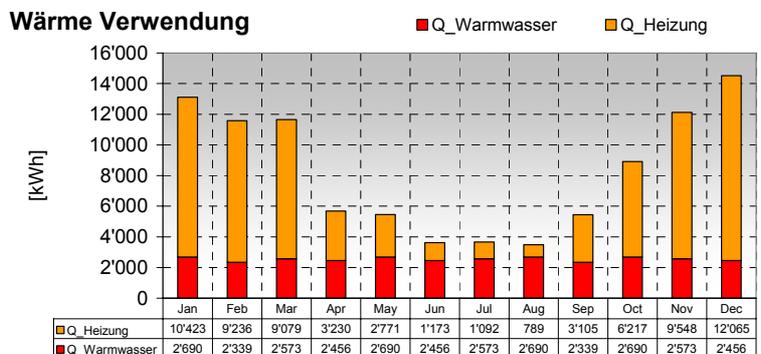
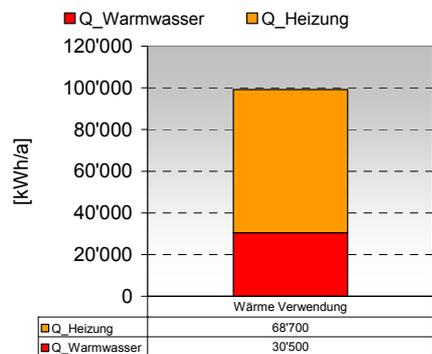
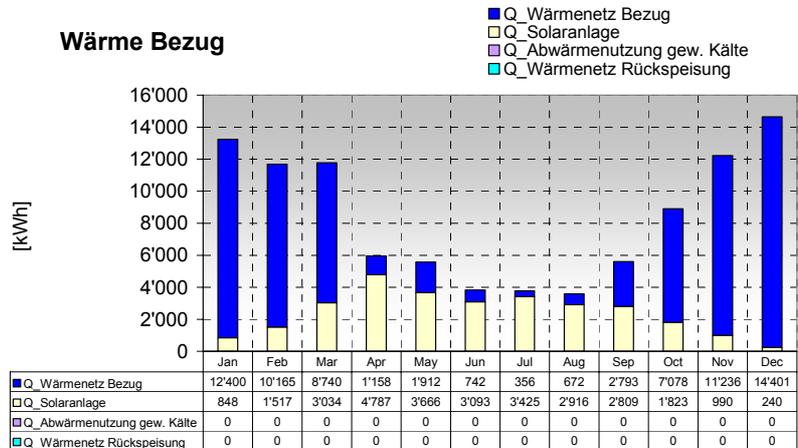
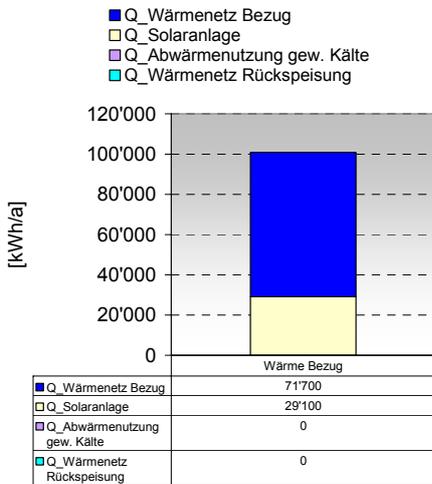


Abbildung 37 Wärmebilanz FC ohne Abwärme gew. Kälte

Auf der Abbildung der Speichertemperaturen ist zu erkennen, dass der unterste Speicherbereich praktisch unbenutzt ist. Würde der Solaranlage mehr Speichervolumen zugeteilt, wäre der Effekt auf die Solaranlage etwas grösser.

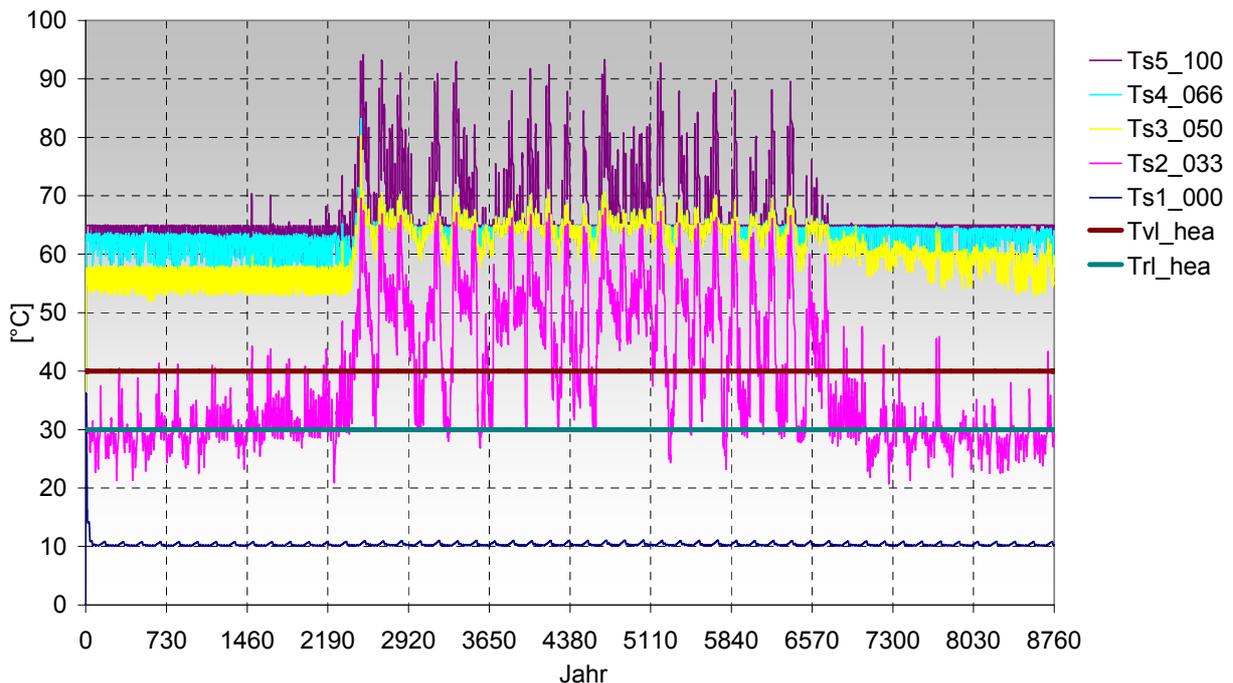
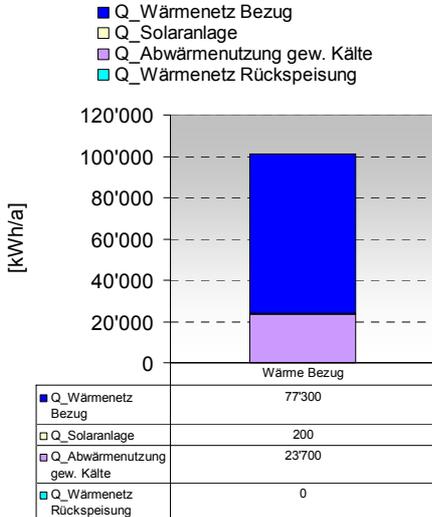


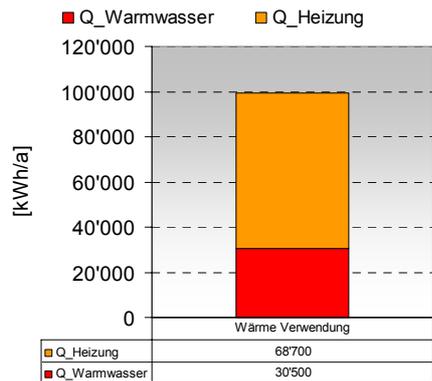
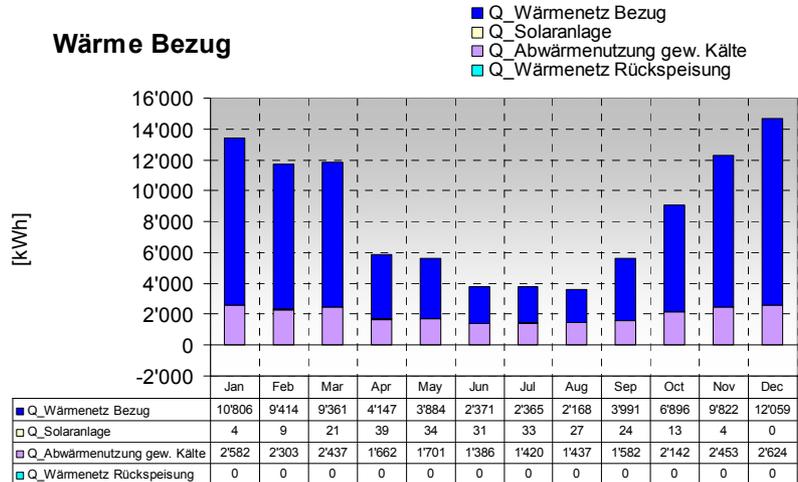
Abbildung 38 Speichertemperaturen ohne Abwärme bew. Kälte

### 3.3.4 THERMISCHE SOLARANLAGE

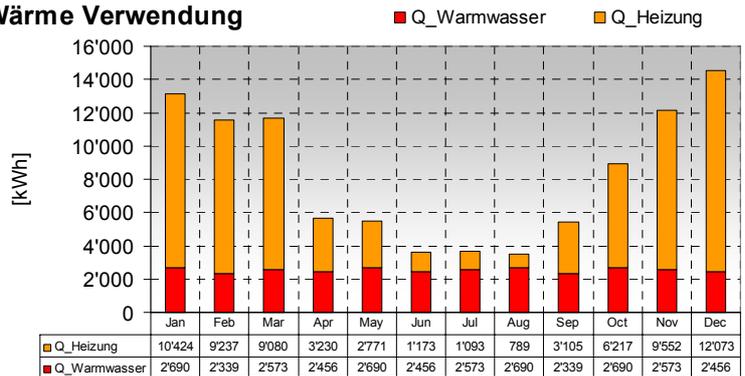
Wird im Modell der effektiven Nutzung die Thermische Solaranlage rechnerisch ausgeschaltet, so zeigt sich ein deutlich besserer Ertrag der Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte. Dieser kann den Solarertrag aber nicht kompensieren, und der Bezug ab Netz nimmt deutlich zu. Der leichte Solarertrag von 200 ist auf ein numerisches Problem zurückzuführen und als „0“ zu interpretieren.



**Wärme Bezug**



**Wärme Verwendung**



**Abbildung 39 Wärmebilanz FC ohne thermische Solaranlage**

## 4 Quellenverzeichnis

- [1] Merkblatt SIA 2024:2007 „Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik“
- [2] SWKI Richtlinie 95-3 „Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen“
- [3] Honorarofferte vom 7.8.2006, von 3-Plan Haustechnik AG an BaFa Bauten Forschungsanstalten
- [4] Raumdatenblätter Center West CW 11.11.2005
- [5] Energienachweis, Kopitis, Stand 27.10.03, Rev. 20.09.05
- [6] Projekt „Energie-Detailbilanz des EAWAG Forum Chriesbach, BFE Projekt Nr. 102374, 25.10.2007
- [7] Pflichtenheft Phase 3.2; BaFa; 06.05.2003
- [8] SketchUp 5.0, 3D CAD Software
- [9] Haustechnik-Koordinationspläne, 3-Plan, 05.02.04
- [10] Energie und Wasserbilanz „Schlüsselübergabe, 3-Plan, 07.06.2006
- [11] Energiebilanz des „Nullenergie“ – Dienstleistungsgebäudes, Martin Bauer, 2006–2007
- [12] Untersuchung Luftströmung, Kopitis
- [13] Bauphysik Band 2, Christoph Züricher, 2003
- [14] TRNSYS 16, Simulationssoftware für dynamische Gebäudesimulation, Transsolar
- [15] WKM, Simulationssoftware für Luft-Erdwärmeregister, Huber Energietechnik
- [16] Schlussbericht der zweijährigen Betriebsoptimierung FC, A. Thiemann/S. van Velsen, 2008

## 5 Abbildungsverzeichnis

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1 Übersicht Modellierung.....                                                      | 3  |
| Abbildung 2 Systemgrenze.....                                                                | 3  |
| Abbildung 3 Aussentemperatur, Temperatur Erdreich und Keller, Januar bis Dezember 2007 ..... | 4  |
| Abbildung 4 statistische Auswertung der Aussentemperaturen .....                             | 5  |
| Abbildung 5 Schema Lüftungsanlagen.....                                                      | 21 |
| Abbildung 6 Übertragungsfunktion Erdregister .....                                           | 22 |
| Abbildung 7 Lufttemperatur von und nach Server.....                                          | 23 |
| Abbildung 8 Schema WRG Lüftung.....                                                          | 24 |
| Abbildung 9 Visualisierung der Zulufttemperaturregelung am Beispiel Küche .....              | 24 |
| Abbildung 10 Steuerung Nachtheizung .....                                                    | 25 |
| Abbildung 11 Steuerung Nachtauskühlung .....                                                 | 26 |
| Abbildung 12 effektiver Speicheraufbau.....                                                  | 27 |
| Abbildung 13 Speicher modelliert.....                                                        | 28 |
| Abbildung 14 Warmwasserbedarf .....                                                          | 31 |
| Abbildung 15 Jahrestemperaturverlauf Büro West / East / Nord .....                           | 33 |
| Abbildung 16 Jahrestemperaturverlauf Hörsaal Ost / West .....                                | 34 |
| Abbildung 17 Jahrestemperaturverlauf Besprechung / Sitzung .....                             | 35 |
| Abbildung 18 Jahrestemperaturverlauf Multimedia / Bibliothek .....                           | 36 |
| Abbildung 19 Jahrestemperaturverlauf Copycenter / Büro East B.....                           | 37 |
| Abbildung 20 Jahrestemperaturverlauf Küche / Mensa .....                                     | 38 |
| Abbildung 21 Jahrestemperaturverlauf Atrium .....                                            | 39 |
| Abbildung 22 Jahrestemperaturverlauf Pufferraum.....                                         | 40 |
| Abbildung 23 Vergleich Heizwärmebedarf Grenzwerte 2006.....                                  | 41 |
| Abbildung 24 Wärmebilanz Forum Chriesbach simuliert .....                                    | 42 |
| Abbildung 25 Wärmebilanz Forum Chriesbach gemäss Stand BO .....                              | 43 |
| Abbildung 26 Wärmebilanz gemessen, bereinigt.....                                            | 44 |
| Abbildung 27 Speichertemperaturen .....                                                      | 46 |
| Abbildung 28 Speicherschema.....                                                             | 46 |
| Abbildung 29 Kältebezug ab Netz, simuliert.....                                              | 47 |
| Abbildung 30 Bilanz Serverabwärme / Anteil Freecooling .....                                 | 48 |
| Abbildung 31 Kältebezug ab Netz, gemessen, extrapoliert.....                                 | 48 |
| Abbildung 32 Wärmebilanz ohne Luft-Erdwärmeregister.....                                     | 51 |
| Abbildung 33 Kältebedarf ohne Luft-Erdwärmeregister .....                                    | 51 |
| Abbildung 34 Temperatur Büro West und Sitzung mit und ohne LER.....                          | 52 |
| Abbildung 35 Wärmebilanz FC ohne Server .....                                                | 52 |
| Abbildung 36 Wärmebilanz FC ohne Abwärme gew. Kälte.....                                     | 54 |
| Abbildung 37 Speichertemperaturen ohne Abwärme bew. Kälte.....                               | 54 |

## 6 Tabellenverzeichnis

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Aussenflächen und Kennwerte .....           | 12 |
| Tabelle 2 Interne Lasten .....                        | 17 |
| Tabelle 3 Heiz- und Kühlleistungen .....              | 18 |
| Tabelle 4 Lüftungsanlagen .....                       | 19 |
| Tabelle 5 Luftströmungen zwischen den Zonen.....      | 20 |
| Tabelle 3.2-1: Energiefluss, simuliert .....          | 45 |
| Tabelle 3.2-2: Energiefluss, Basis Messdaten .....    | 45 |
| Tabelle 3 Mehrfachnutzen Technischelemente.....       | 49 |
| Tabelle 4 Zusammenfassung Sensitivitätsanalysen ..... | 50 |

## 7 Anhang

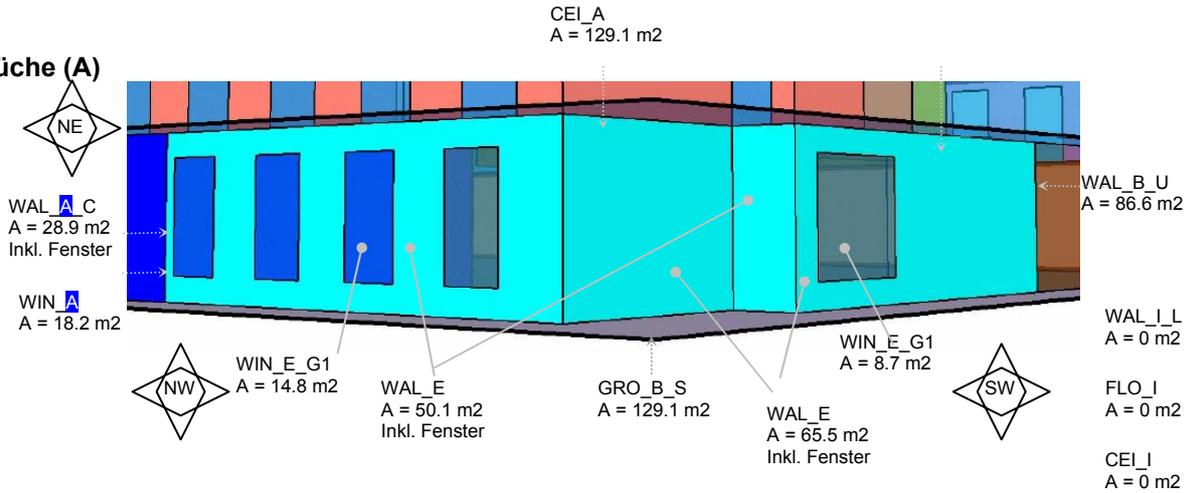
- Anhang 1 Detailansichten
- Anhang 2 Interne Lasten
- Anhang 3 Modelländerungen Effektive Nutzung

## ANHANG 1 DETAILANSICHTEN

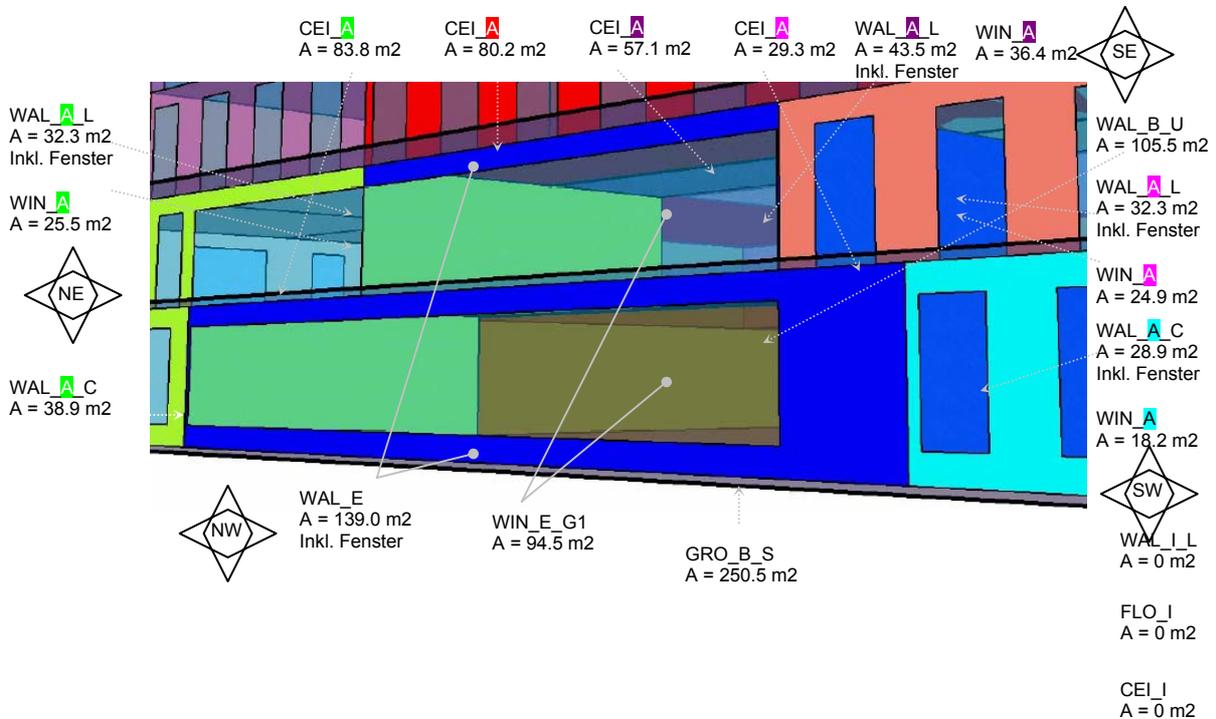
Im Folgenden sind die Aussenflächen der 16 Zonen des Forum Chriesbach nachvollziehbar dargestellt. Für die Eingabe in TRNSYS von Wänden mit Fenster- und Türelementen wurde für die Wand jeweils die Bruttofläche inklusive der Fensterfläche erfasst. Für die Fensterfläche wird das Fenster inklusive Rahmen erfasst. Später wird das Fenster so eingegeben, dass seine Fläche von der Wand abgezogen wird. Das Fensterelement hat einen opaken Anteil, den Rahmenanteil.

Über Wände, die innerhalb einer Zone liegen fließt langfristig keine Wärme aus, oder in die Zone. Allerdings wird kurzfristig Wärme eingelagert und wieder ausgelagert. So haben interne Wände im Sinne der thermischen Simulation eine Bedeutung als thermische Speichermasse. Für Wände mit dem Attribut „Internal“ muss als Fläche die Fläche beider Seiten eingegeben werden.

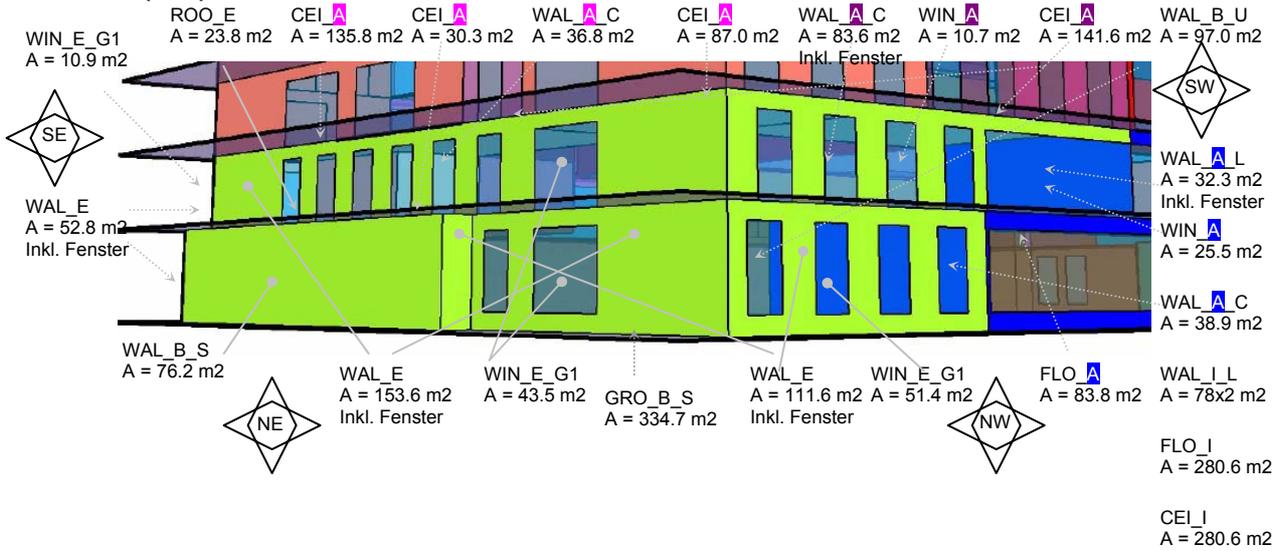
**1 Küche (A)**



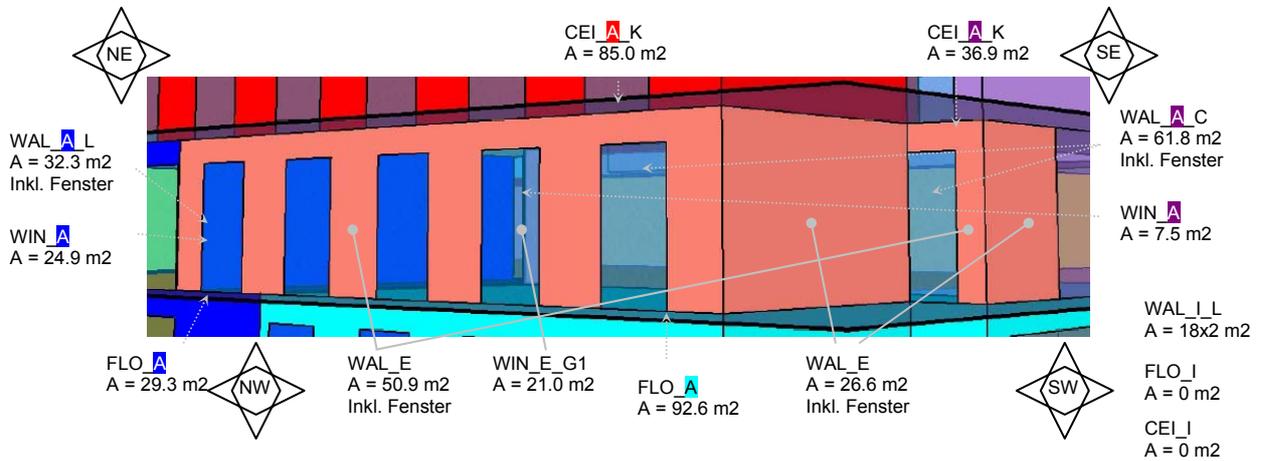
**2 Mensa (A-B)**



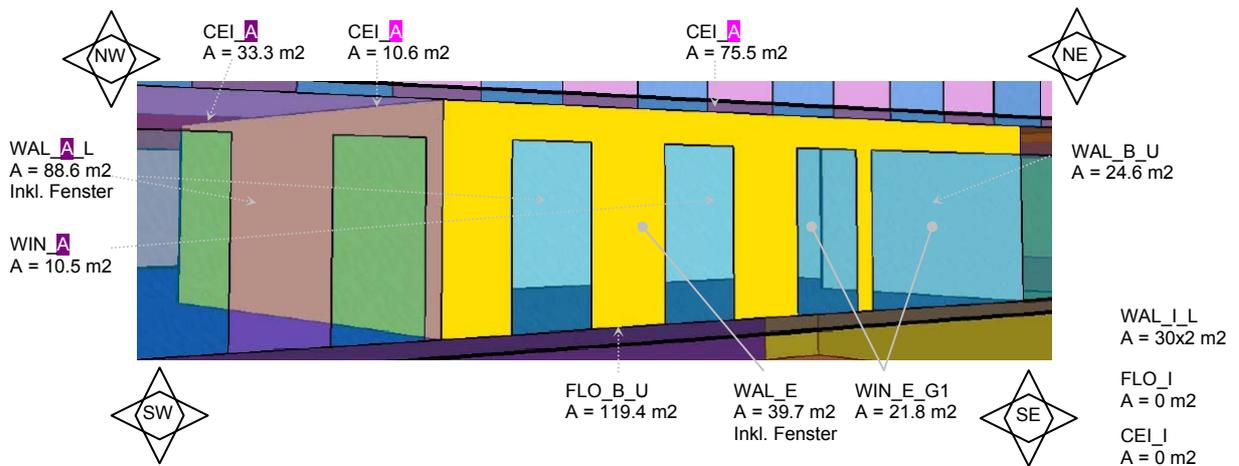
**3 Bibliothek (A-B)**



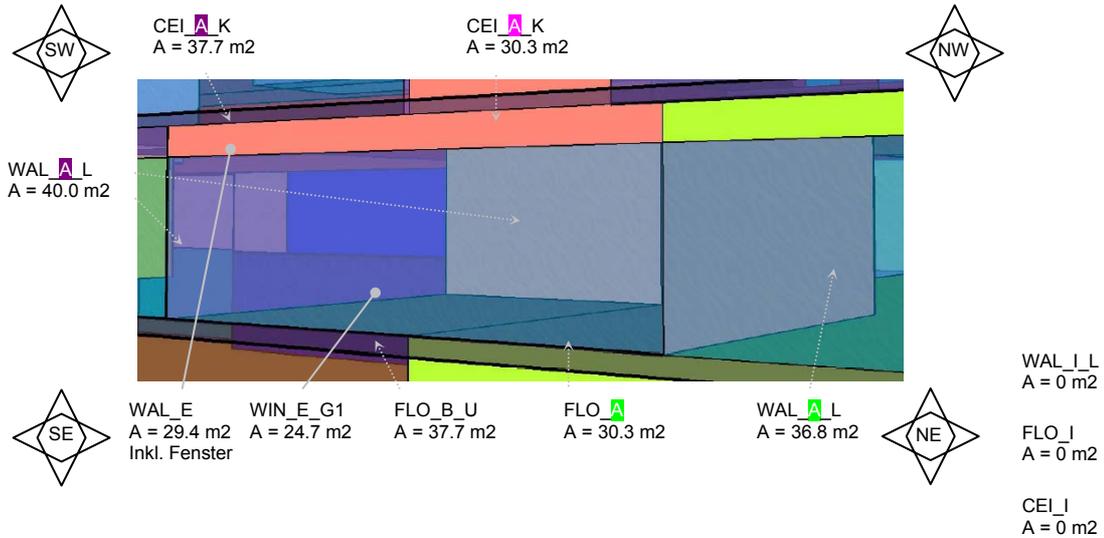
**5 Copycenter (B)**



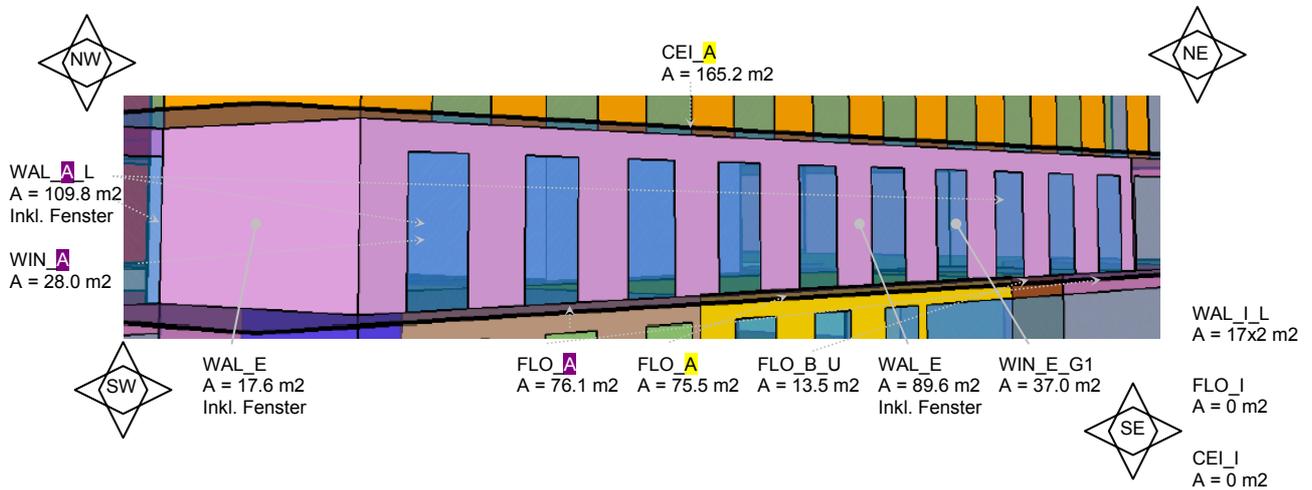
**6 Büro East B (B)**



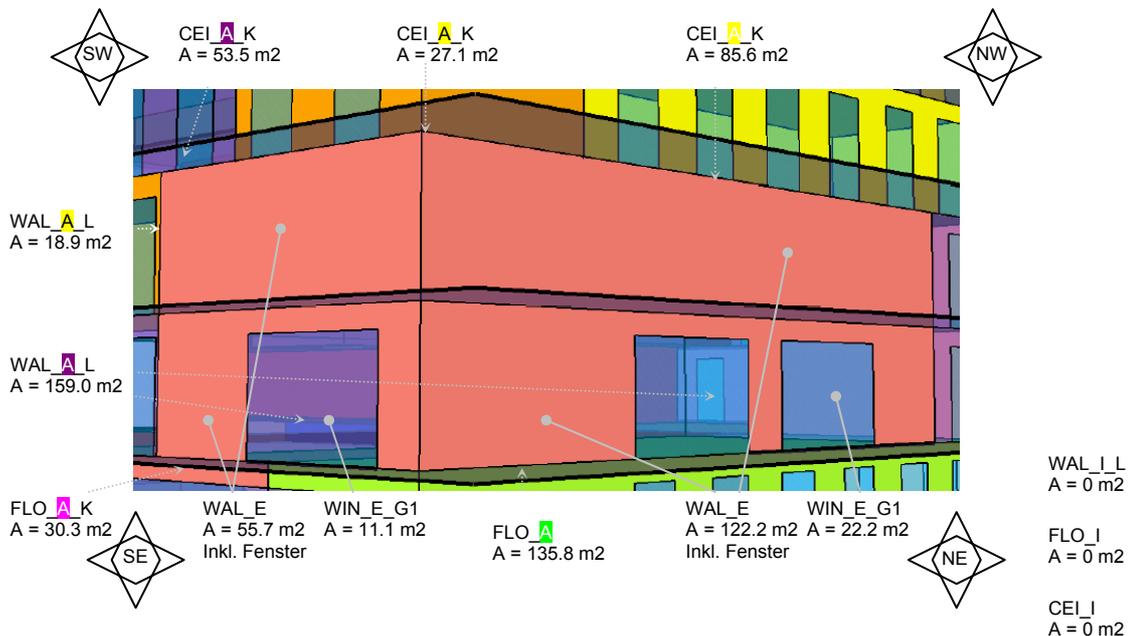
**7 Multimedia (B)**



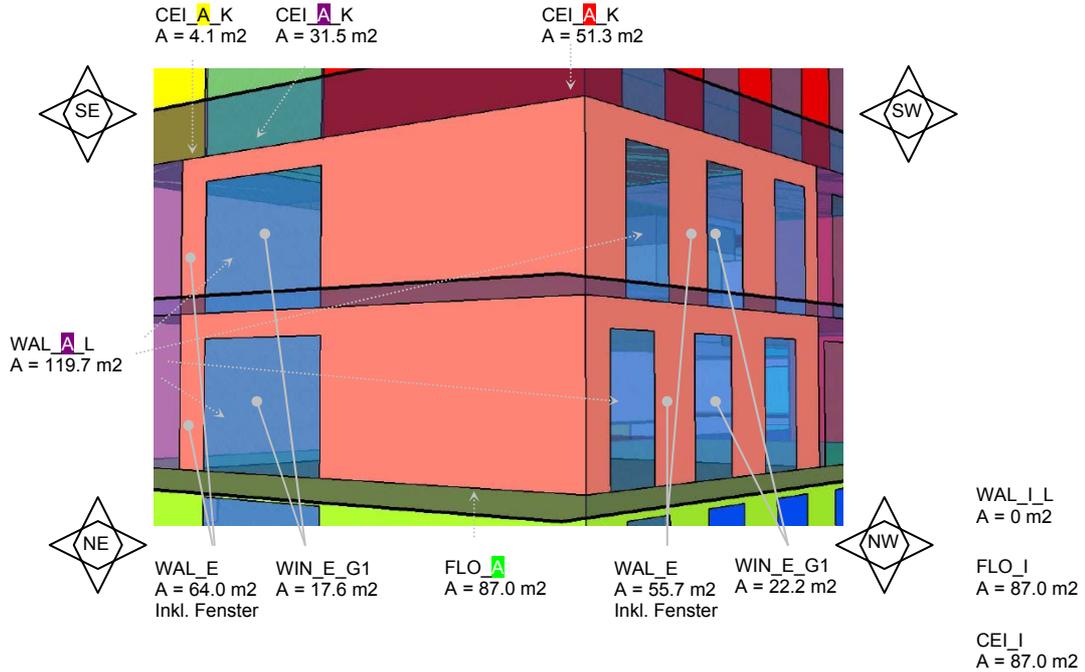
**8 Besprechung (C)**



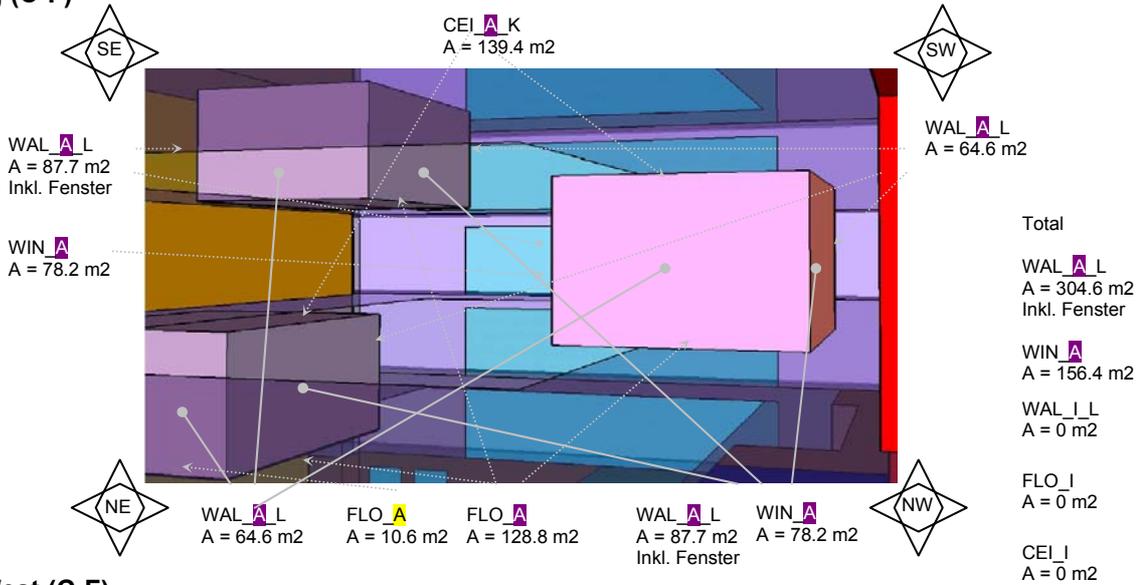
**9 Hörsaal East (C-D)**



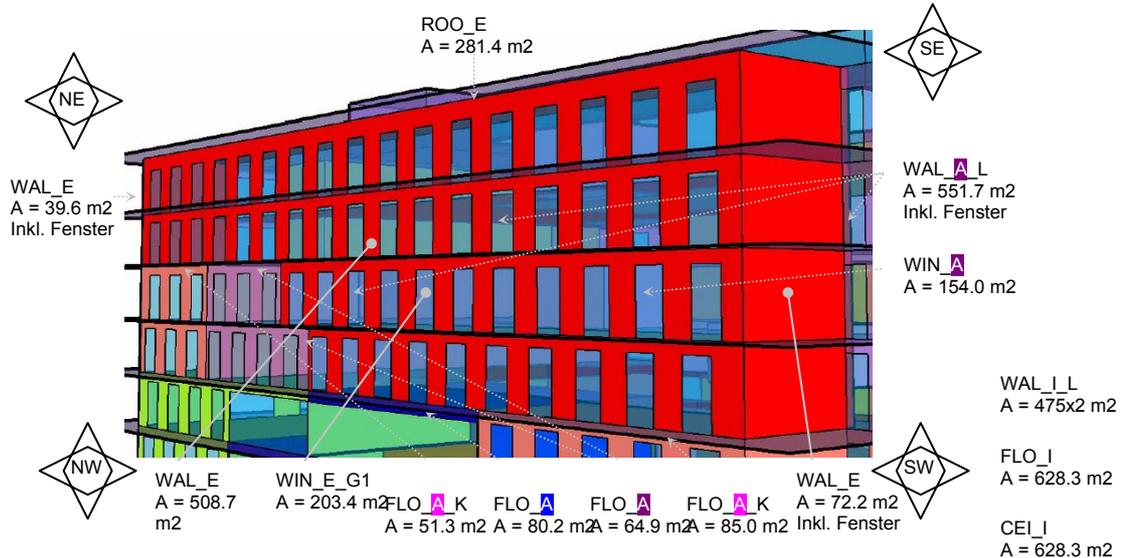
**10 Hörsaal West (C-D)**



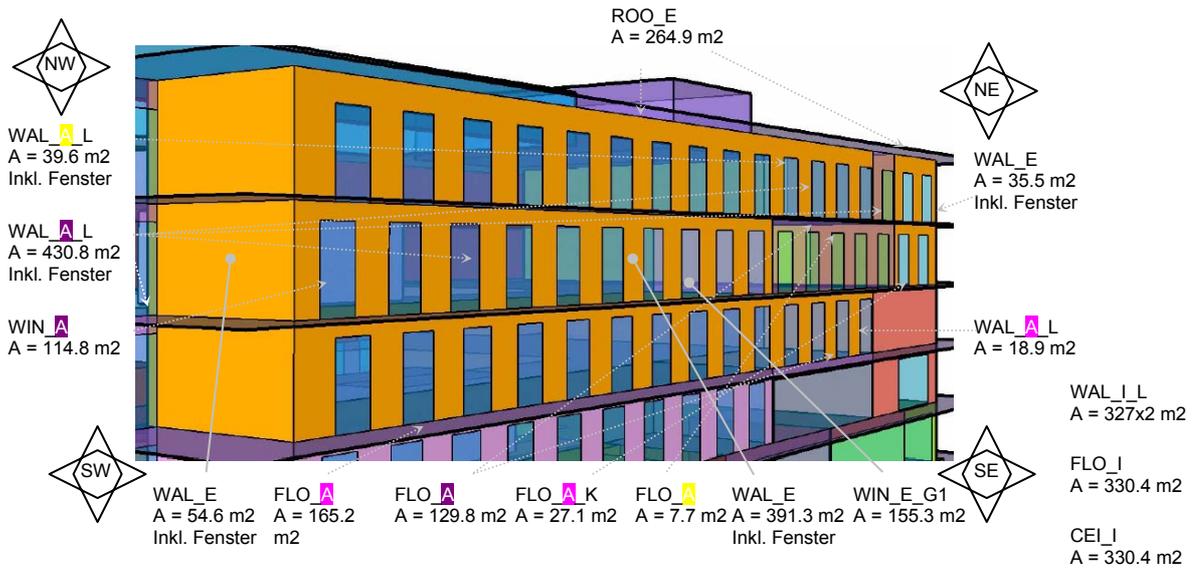
**11 Sitzung (C-F)**



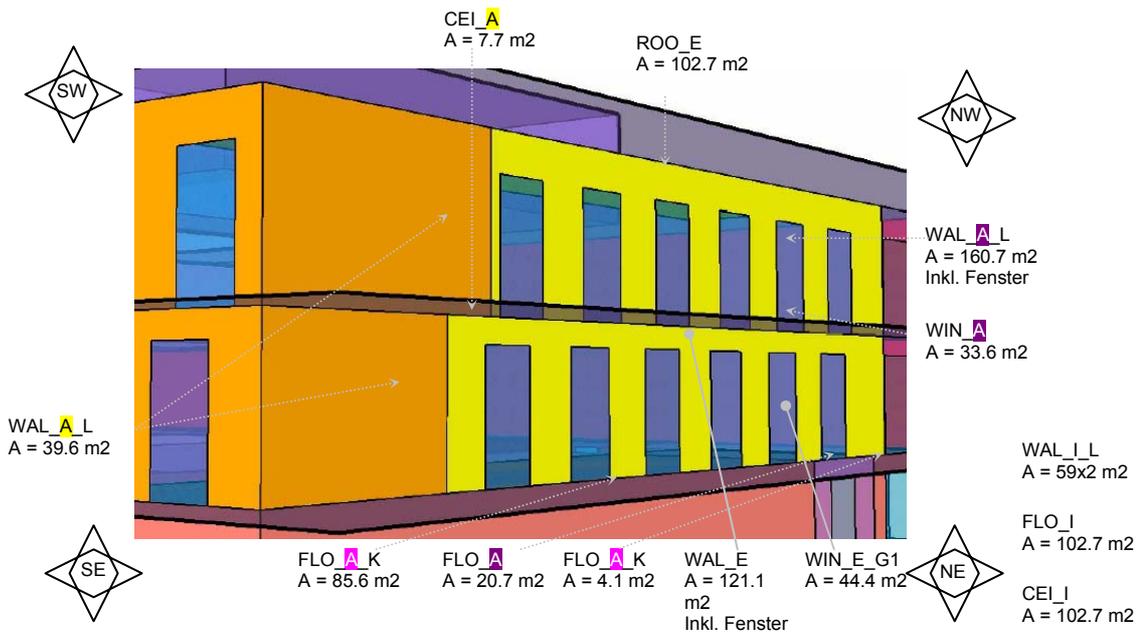
**12 Büro West (C-F)**



**13 Büro East (D-F)**



**14 Büro Nord (E-F)**

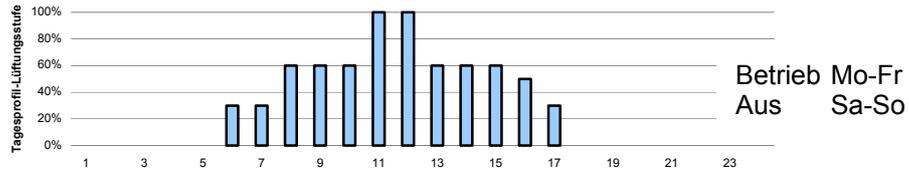




# ANHANG 2 INTERNE LASTEN

## 1 KÜCHE (A)

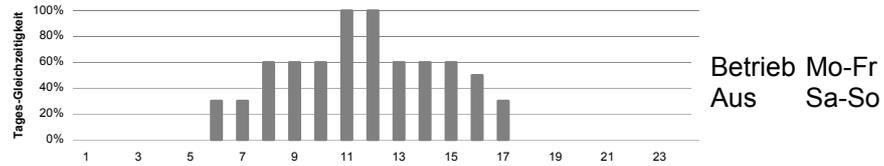
|                   |                             |                                       |                                            |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 116.0 m <sup>2</sup>                  | (129 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 313.0 m <sup>3</sup>                  | (497 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)        |
|                   | Personenfläche              | 10.0 m <sup>2</sup> /p                | 11.6 p                                     |
| <b>Lüftung</b>    | AUL-Volumenstrom            | 70.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h | 8120.0 m <sup>3</sup> /h                   |
|                   | Effektive Auslegung [LUE05] |                                       |                                            |
|                   | ZUL                         | 5900.0 m <sup>3</sup> /h              |                                            |
|                   | ABL                         | 6900.0 m <sup>3</sup> /h              |                                            |
|                   | nv                          | 18.8 1/h                              |                                            |



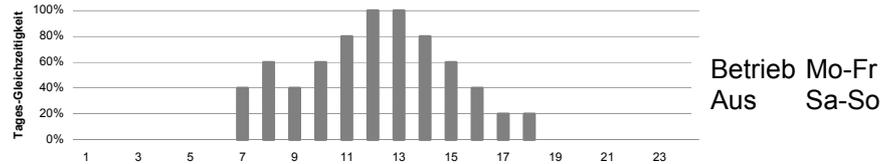
Nachtauskühlung Nein

|                    |             |                         |                        |          |
|--------------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 7 h/d (Volllaststunden) | 4.0 W/m <sup>2</sup>   | 464 W    |
|                    | Geräte      | 7 h/d (Volllaststunden) | 240.0 W/m <sup>2</sup> | 27'840 W |
|                    | Beleuchtung | 11.2 h/d (bei Bed.)     | 8.0 W/m <sup>2</sup>   | 928 W    |

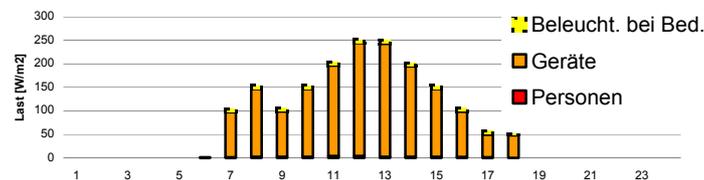
Tages Gleichzeitigkeit  
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

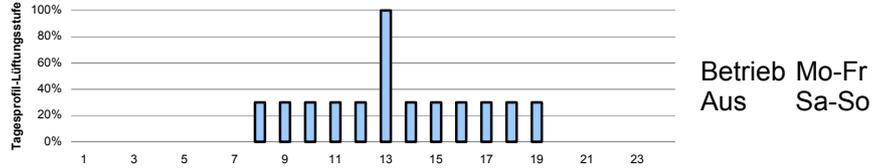


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** 1076 W.  
**Kühlung (Kühldecken):** -.

**2 MENSA (A-B)**

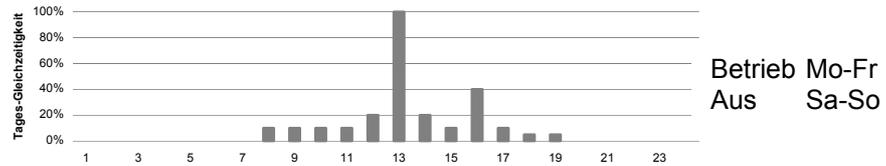
|                   |                             |                          |                                            |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 225.0 m <sup>2</sup>     | (250 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 1046.0 m <sup>3</sup>    | (1401 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)       |
|                   | Personenfläche (mittel)     | 1.2 m <sup>2</sup> /p    | 187.5 p                                    |
| <b>Lüftung</b>    | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m <sup>3</sup> /hp  | 4687.5 m <sup>3</sup> /h                   |
|                   | Effektive Auslegung [LUE04] |                          |                                            |
|                   | ZUL                         | 3750.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | ABL                         | 2750.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | nv                          | 3.6 1/h                  |                                            |



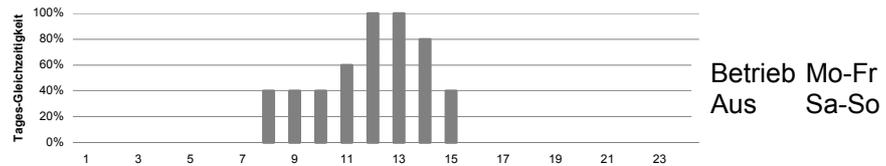
**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

|                    |             |                           |                       |          |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------------------|----------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 2.5 h/d (Volllaststunden) | 70 W/m <sup>2</sup>   | 15'750 W |
|                    | Geräte      | 5 h/d (Volllaststunden)   | 2.0 W/m <sup>2</sup>  | 450 W    |
|                    | Beleuchtung | 12 h/d (bei Bed.)         | 10.0 W/m <sup>2</sup> | 2250 W   |

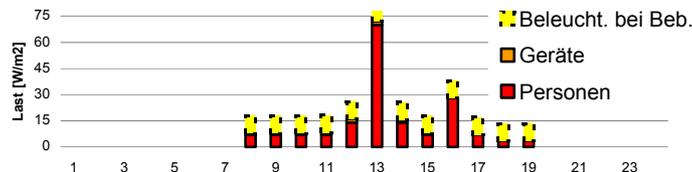
Tages Gleichzeitigkeit  
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

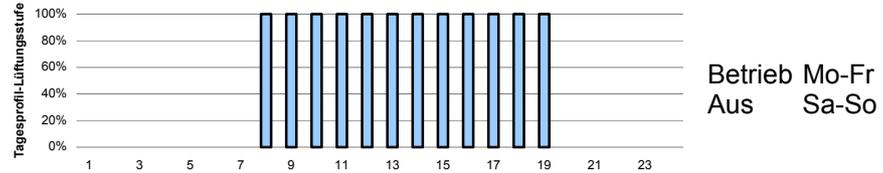


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper):** 3132 W. **Kühlung (Kühldecken):** -.

**3 BIBLIOTHEK (A-B)**

|                   |                             |             |                                |
|-------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 630.0 m2    | (700 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 1701.0 m3   | (2458 m3 Brutto-Volumen)       |
| <b>Lüftung</b>    | Personenfläche (hoch)       | 12.0 m2/p   | 52.5 p                         |
|                   | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m3/hp  | 1312.5 m3/h                    |
|                   | Effektive Auslegung [KLI01] |             |                                |
|                   | ZUL                         | 1240.0 m3/h |                                |
|                   | ABL                         | 1175.0 m3/h |                                |
|                   | nv                          | 0.7 1/h     |                                |

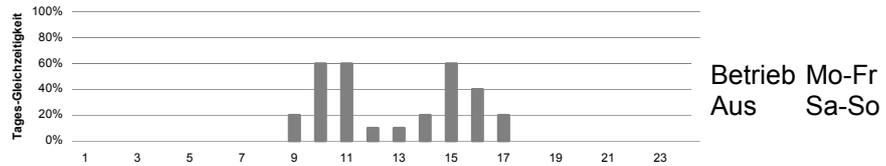


**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

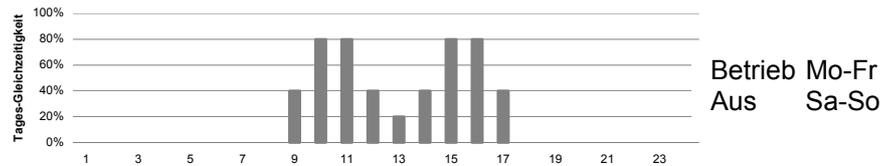
|                    |             |                         |           |        |
|--------------------|-------------|-------------------------|-----------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 3 h/d (Volllaststunden) | 3 W/m2    | 1890 W |
|                    | Geräte      | 5 h/d (Volllaststunden) | 2 W/m2    | 1260 W |
|                    | Beleuchtung | 7.8 h/d (bei Bed.)      | 10.0 W/m2 | 6300 W |

Tages Gleichzeitigkeit

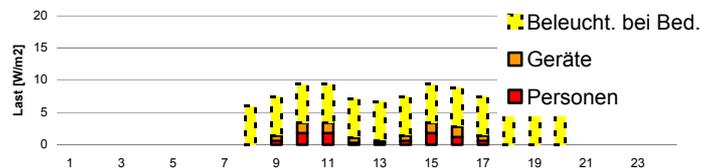
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten



**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** 1968 W.  
**Kühlung (Kühldecken):** -.

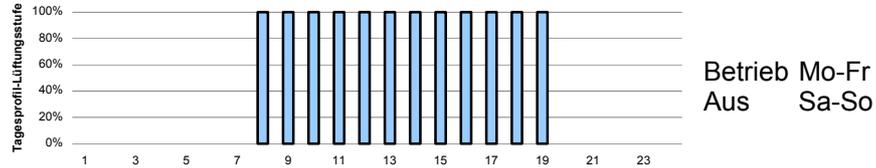
#### 4 TECHNIK/RESTVOLUMEN (A-B)

Für das Restvolumen bestehen keine Komfort-Anforderungen. Die Raumtemperatur liegt als vereinfachte Annahme im Mittel bei 21°C, das Minimum bei ca. 20°C (Februar) und das Maximum bei ca. 21°C (August). Bauteile an Technik/Restvolumen angrenzend sind als Konstruktionen gegen unbeheizte Räume angenommen und haben den im Kapitel Temperaturverlauf Erdreich abgebildeten Temperaturverlauf.

**5 COPYCENTER (B)**

|                      |                       |                        |                                            |
|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b>    | Nettogeschossfl. NGF  | 110.0 m <sup>2</sup>   | (122 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                      | Netto-Volumen         | 297.0 m <sup>3</sup>   | (390 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)        |
|                      | Personenfläche (hoch) | 18.0 m <sup>2</sup> /p | 6.1 p                                      |
| <b>Lüftung/Klima</b> | AUL-Volumenstrom      | 610 m <sup>3</sup> /h  |                                            |
|                      |                       | nv 2 1/h               |                                            |

Der Luftwechsel wurde für die effektive Nutzung höher als die Auslegung angenommen.

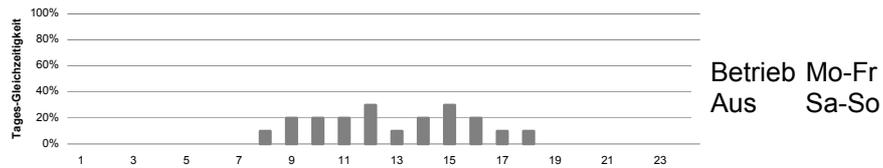


**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

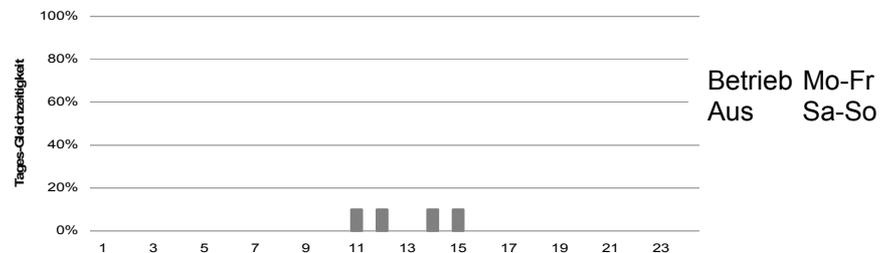
|                    |             |                         |                       |        |
|--------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 2 h/d (Volllaststunden) | 2.0 W/m <sup>2</sup>  | 220 W  |
|                    | Geräte      | 1 h/d (Volllaststunden) | 10.0 W/m <sup>2</sup> | 1100 W |
|                    | Beleuchtung | 4.4 h/d (bei Bed.)      | 9.0 W/m <sup>2</sup>  | 990 W  |

Tages Gleichzeitigkeit

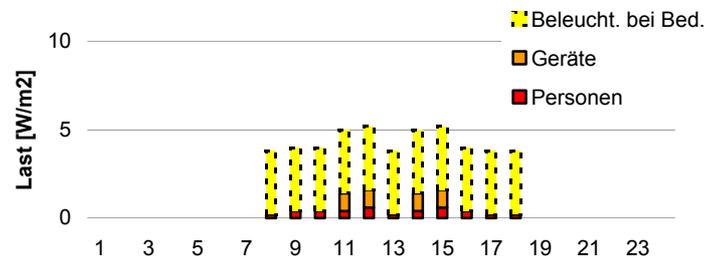
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten



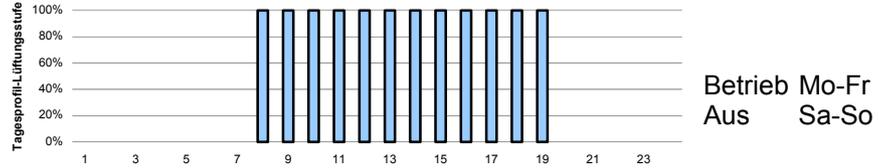
**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** 784 W.

**Kühlung (Kühldecken):** 3668 W.

**6 BÜRO EAST B (B)**

|                   |                             |                         |                                            |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 107.0 m <sup>2</sup>    | (119 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 289.0 m <sup>3</sup>    | (381 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)        |
| <b>Lüftung</b>    | Personenfläche (mittel)     | 14.0 m <sup>2</sup> /p  | 7.6 p                                      |
|                   | AUL-Volumenstrom            | 36.0 m <sup>3</sup> /hp | 273.6 m <sup>3</sup> /h                    |
|                   | Effektive Auslegung [LUE01] |                         |                                            |
|                   | ZUL                         | 280.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | ABL                         | 250.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | nv                          | 1.0 1/h                 |                                            |

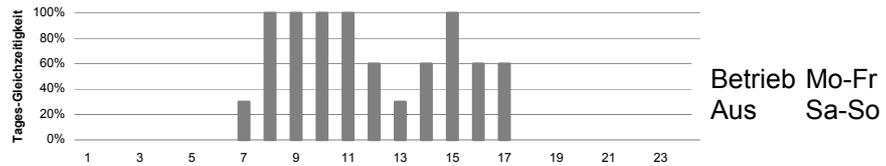


**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

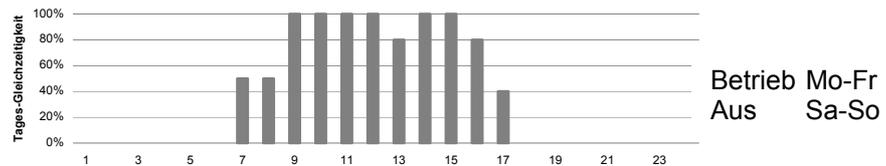
|                    |             |                         |                       |        |
|--------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 8 h/d (Volllaststunden) | 2.0 W/m <sup>2</sup>  | 214 W  |
|                    | Geräte      | 9 h/d (Volllaststunden) | 4.0 W/m <sup>2</sup>  | 428W   |
|                    | Beleuchtung | 10.4 h/d (bei Bed.)     | 10.0 W/m <sup>2</sup> | 1070 W |

Tages Gleichzeitigkeit

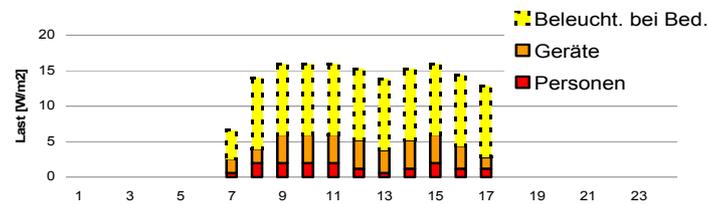
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

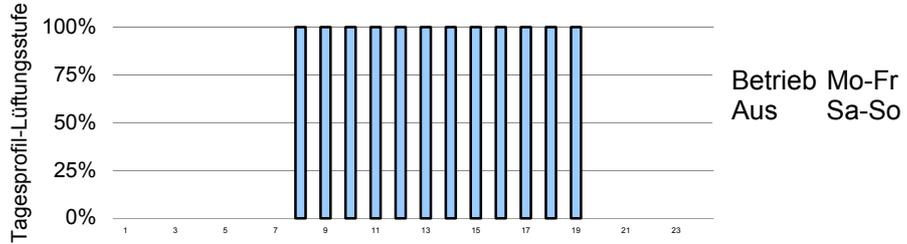


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper):** 975 W. **Kühlung (Kühldecken):** -.

**7 MULTIMEDIA (B)**

|                      |                             |                         |                                           |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b>    | Nettogeschossfl. NGF        | 61.0 m <sup>2</sup>     | (68 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                      | Netto-Volumen               | 165.0 m <sup>3</sup>    | (218 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)       |
|                      | Personenfläche (hoch)       | 4.0 m <sup>2</sup> /p   | 15.3 p                                    |
| <b>Lüftung/Klima</b> | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m <sup>3</sup> /hp | 382.5 m <sup>3</sup> /h                   |
|                      | Effektive Auslegung [KLI01] |                         |                                           |
|                      | ZUL                         | 400.0 m <sup>3</sup> /h |                                           |
|                      | ABL                         | 360.0 m <sup>3</sup> /h |                                           |
|                      | nv                          | 2.4 1/h                 |                                           |

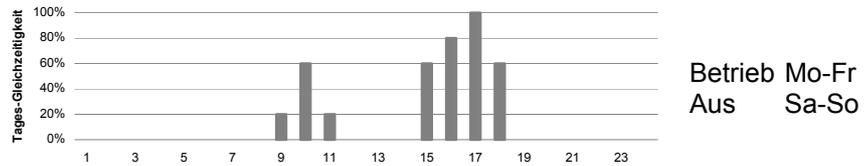


Nachtauskühlung **Nein**

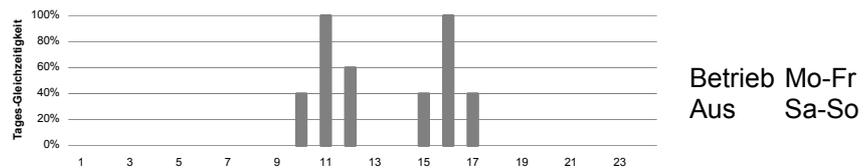
|                    |                 |                           |                       |       |
|--------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|-------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen        | 2 h/d (Volllaststunden)   | 11.0 W/m <sup>2</sup> | 671 W |
|                    | Geräte (R.D.B.) | 3.8 h/d (Volllaststunden) | 14.0 W/m <sup>2</sup> | 854 W |
|                    | Beleuchtung     | 6 h/d (bei Bed.)          | 9.0 W/m <sup>2</sup>  | 549 W |

Tages Gleichzeitigkeit

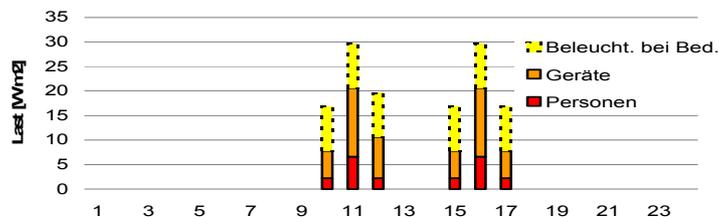
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

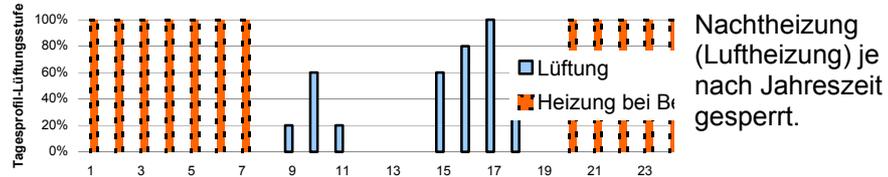


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper):** 460 W. **Kühlung (Kühldecken):** 5004 W.

**8 BESPRECHUNG (C)**

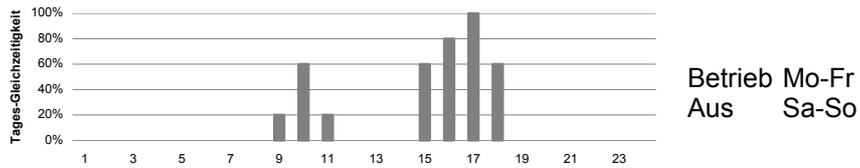
|                   |                             |                          |                                            |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 149.0 m <sup>2</sup>     | (165 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 402.0 m <sup>3</sup>     | (528 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)        |
|                   | Personenfläche (hoch)       | 3.0 m <sup>2</sup> /p    | 49.7 p                                     |
| <b>Lüftung</b>    | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m <sup>3</sup> /hp  | 1242.5 m <sup>3</sup> /h                   |
|                   | Effektive Auslegung [LUE01] |                          |                                            |
|                   | ZUL                         | 1100.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | ABL                         | 1000.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | nv                          | 2.5 1/h                  |                                            |



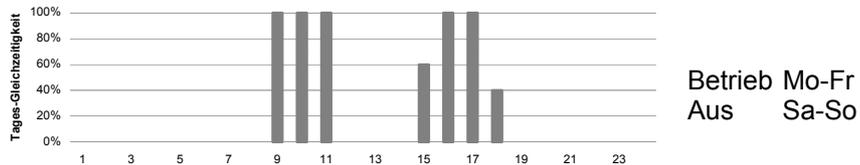
**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

|                    |             |                         |                      |          |
|--------------------|-------------|-------------------------|----------------------|----------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 4 h/d (Volllaststunden) | 5 W/m <sup>2</sup>   | 745 W    |
|                    | Geräte      | 6 h/d (Volllaststunden) | 1 W/m <sup>2</sup>   | 149 W    |
|                    | Beleuchtung | 7 h/d (bei Bed.)        | 8.5 W/m <sup>2</sup> | 1266.5 W |

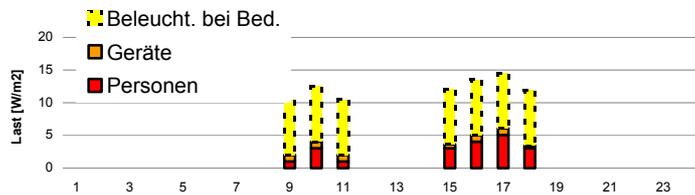
Tages Gleichzeitigkeit  
Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

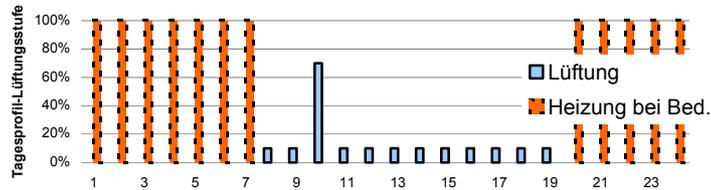


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper):** -. **Kühlung (Kühldecken):** -.

**9 HÖRSAAL EAST (C-D)**

|                      |                             |             |                                |
|----------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>Grundlagen</b>    | Nettogeschossfl. NGF        | 149.0 m2    | (166 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                      | Netto-Volumen               | 879.0 m3    | (1062 m3 Brutto-Volumen)       |
|                      | Personenfläche (hoch)       | 1.0 m2/p    | 149.0 p                        |
| <b>Lüftung/Klima</b> | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m3/hp  | 3725.0 m3/h                    |
|                      | Effektive Auslegung [KLI01] |             |                                |
|                      | ZUL                         | 3000.0 m3/h |                                |
|                      | ABL                         | 2640.0 m3/h |                                |
|                      | nv                          | 3.4 1/h     |                                |

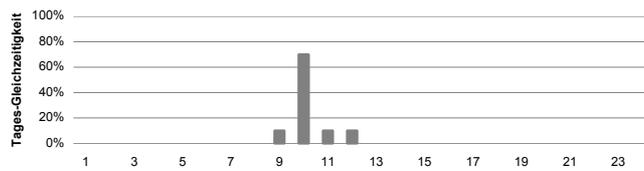


Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Nachtauskühlung Nein

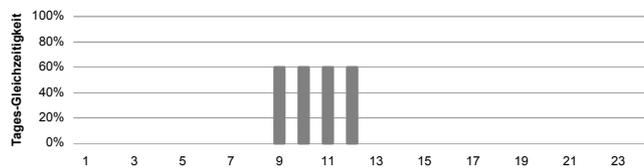
|                    |             |                           |           |         |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------|---------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 1 h/d (Volllaststunden)   | 74.0 W/m2 | 11026 W |
|                    | Geräte      | 2.4 h/d (Volllaststunden) | 5.0 W/m2  | 745 W   |
|                    | Beleuchtung | 2.4 h/d (bei Bed.)        | 10.0 W/m2 | 1490 W  |

Tages Gleichzeitigkeit Personen



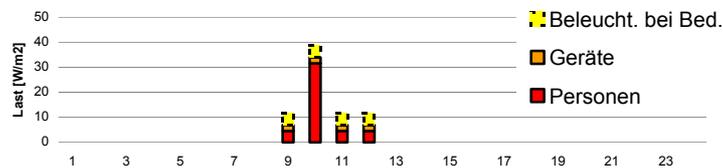
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten

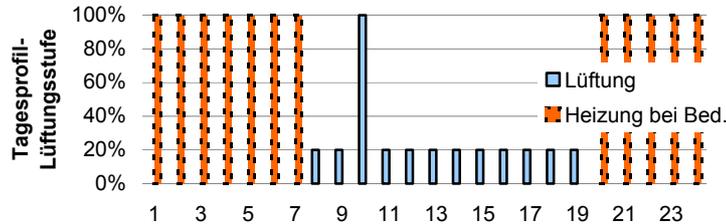


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** -. **Kühlung (Kühldecken):** 8886 W.

**10 HÖRSAAL WEST (C-D)**

|                      |                             |             |                                |
|----------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>Grundlagen</b>    | Nettogeschossfl. NGF        | 157.0 m2    | (174 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                      | Netto-Volumen               | 424.0 m3    | (557 m3 Brutto-Volumen)        |
|                      | Personenfläche (hoch)       | 1.0 m2/p    | 157.0 p                        |
| <b>Lüftung/Klima</b> | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m3/hp  | 3925.0 m3/h                    |
|                      | Effektive Auslegung [KLI01] |             |                                |
|                      | ZUL                         | 2000.0 m3/h |                                |
|                      | ABL                         | 1760.0 m3/h |                                |
|                      | nv                          | 4.7 1/h     |                                |

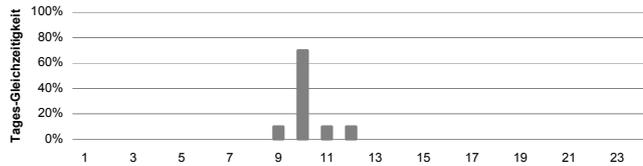


Nahtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

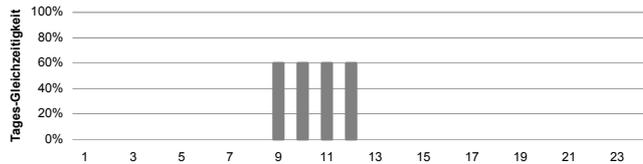
|                    |             |                           |           |         |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------|---------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 1 h/d (Volllaststunden)   | 45.0 W/m2 | 7065 W  |
|                    | Geräte      | 2.4 h/d (Volllaststunden) | 4.0 W/m2  | 628.0 W |
|                    | Beleuchtung | 2.4 h/d (bei Bed.)        | 8.0 W/m2  | 1254 W  |

Tages Gleichzeitigkeit Personen



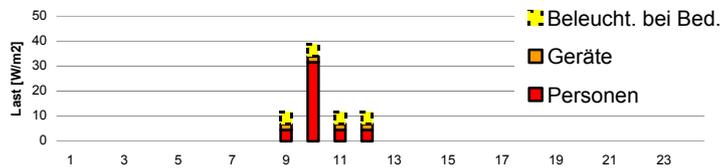
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten

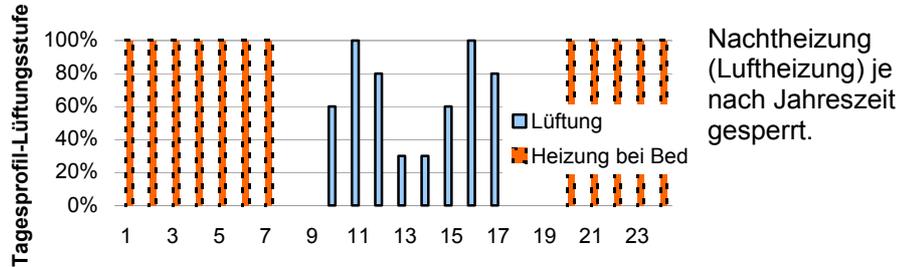


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** -. **Kühlung (Kühldecken):** 11'952 W.

**11 SITZUNG (C-F)**

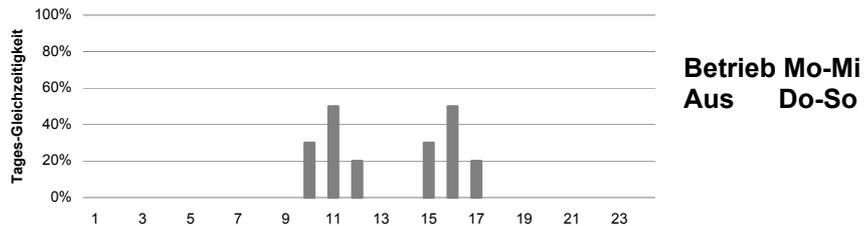
|                      |                             |                          |                                            |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b>    | Nettogeschossfl. NGF        | 126.0 m <sup>2</sup>     | (140 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                      | Netto-Volumen               | 340.0 m <sup>3</sup>     | (448 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)        |
|                      | Personenfläche (hoch)       | 3.0 m <sup>2</sup> /p    | 42.0 p                                     |
| <b>Lüftung/Klima</b> | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m <sup>3</sup> /hp  | 1050.0 m <sup>3</sup> /h                   |
|                      | Effektive Auslegung [KLI01] |                          |                                            |
|                      | ZUL                         | 1750.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                      | ABL                         | 1750.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                      | nv                          | 5.1 1/h                  |                                            |



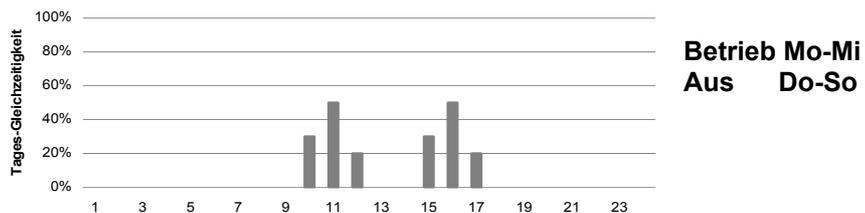
Nachtauskühlung Nein

|                    |             |                         |                       |        |
|--------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 4 h/d (Volllaststunden) | 22 W/m <sup>2</sup>   | 2772 W |
|                    | Geräte      | 4 h/d (Volllaststunden) | 10 W/m <sup>2</sup>   | 1260 W |
|                    | Beleuchtung | 6 h/d (bei Bed.)        | 10.0 W/m <sup>2</sup> | 1260 W |

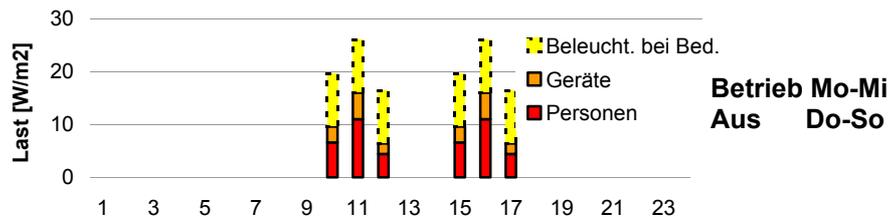
Tages Gleichzeitigkeit Personen



Geräte



Spezifische interne Lasten

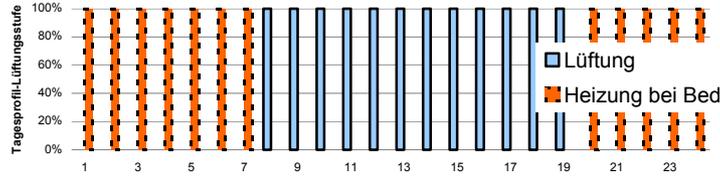


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

**Beleuchtung bei Bedarf:** Fix eingeschaltet gemäss Beleuchtungsprofil. **Heizung (Heizkörper):** -. **Kühlung (Kühldecken):** 7416 W.

**12 BÜRO WEST (C-F)**

|                   |                             |             |                                |
|-------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 818.0 m2    | (909 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 2209.0 m3   | (2999 m3 Brutto-Volumen)       |
| <b>Lüftung</b>    | Personenfläche (mittel)     | 14.0 m2/p   | 58.4 p                         |
|                   | AUL-Volumenstrom            | 36.0 m3/hp  | 2103.6 m3/h                    |
|                   | Effektive Auslegung [LUE03] |             |                                |
|                   | ZUL                         | 1985.0 m3/h |                                |
|                   | ABL                         | 1725.0 m3/h |                                |
|                   | nv                          | 0.9 1/h     |                                |

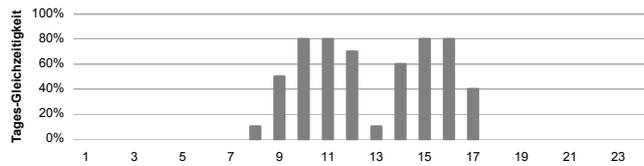


Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

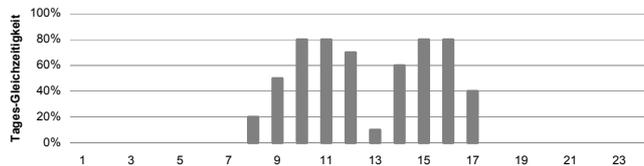
|                    |             |                           |           |        |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 5.6 h/d (Volllaststunden) | 5.0 W/m2  | 4090 W |
|                    | Geräte      | 5.7 h/d (Volllaststunden) | 7.0 W/m2  | 5726 W |
|                    | Beleuchtung | 11 h/d (bei Bed.)         | 11.0 W/m2 | 8998 W |

Tages Gleichzeitigkeit  
Personen



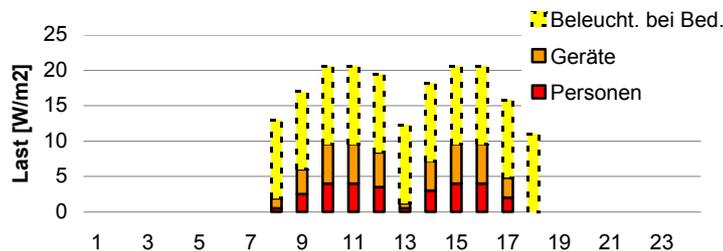
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten

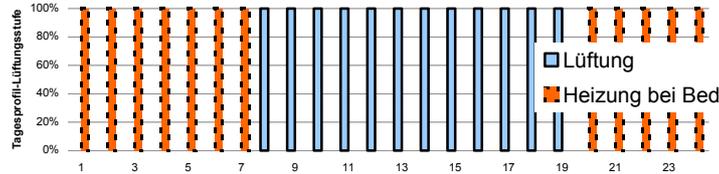


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper): -**. **Kühlung (Kühldecken): -**.

**13 BÜRO EAST (D-F)**

|                   |                             |                          |                                            |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 618.0 m <sup>2</sup>     | (687 m <sup>2</sup> Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 1669.0 m <sup>3</sup>    | (2283 m <sup>3</sup> Brutto-Volumen)       |
|                   | Personenfläche (mittel)     | 14.0 m <sup>2</sup> /p   | 44.1 p                                     |
| <b>Lüftung</b>    | AUL-Volumenstrom            | 36.0 m <sup>3</sup> /hp  | 1589.0 m <sup>3</sup> /h                   |
|                   | Effektive Auslegung [LUE01] |                          |                                            |
|                   | ZUL                         | 1435.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | ABL                         | 1240.0 m <sup>3</sup> /h |                                            |
|                   | nv                          | 0.9 1/h                  |                                            |



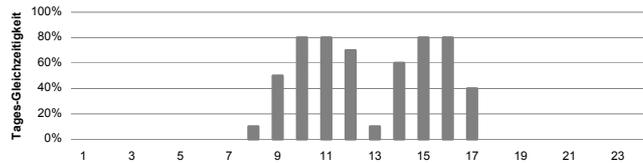
Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

|                    |             |                           |                       |        |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 5.6 h/d (Volllaststunden) | 5.0 W/m <sup>2</sup>  | 3090 W |
|                    | Geräte      | 5.7 h/d (Volllaststunden) | 10.0 W/m <sup>2</sup> | 6180 W |
|                    | Beleuchtung | 10 h/d (bei Bed.)         | 8.0 W/m <sup>2</sup>  | 4944 W |

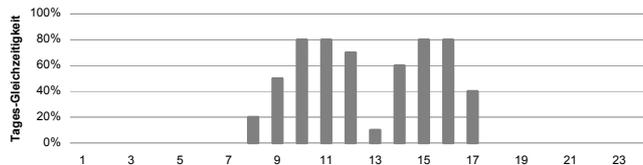
Tages Gleichzeitigkeit

Personen



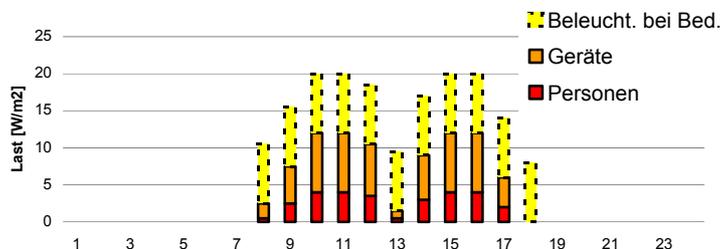
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten

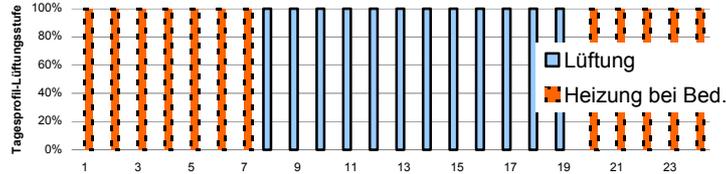


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper): -**. **Kühlung (Kühldecken): -**.

**14 BÜRO NORD (E-F)**

|                   |                             |            |                                |
|-------------------|-----------------------------|------------|--------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 192.0 m2   | (213 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 518.0 m3   | (715 m3 Brutto-Volumen)        |
|                   | Personenfläche (mittel)     | 14.0 m2/p  | 13.7 p                         |
| <b>Lüftung</b>    | AUL-Volumenstrom            | 36.0 m3/hp | 494.0 m3/h                     |
|                   | Effektive Auslegung [LUE01] |            |                                |
|                   | ZUL                         | 480.0 m3/h |                                |
|                   | ABL                         | 420.0 m3/h |                                |
|                   | nv                          | 0.8 1/h    |                                |



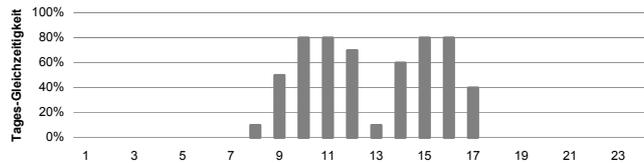
Nachheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

|                    |             |                           |           |        |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------|--------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 5.6 h/d (Volllaststunden) | 4.0 W/m2  | 768 W  |
|                    | Geräte      | 5.7 h/d (Volllaststunden) | 7.0 W/m2  | 1344 W |
|                    | Beleuchtung | 11 h/d (bei Bed.)         | 11.0 W/m2 | 2112 W |

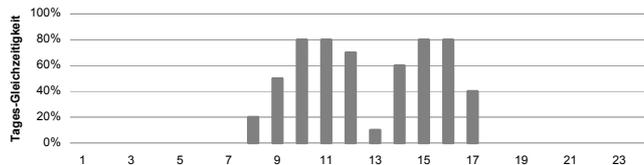
Tages Gleichzeitigkeit

Personen



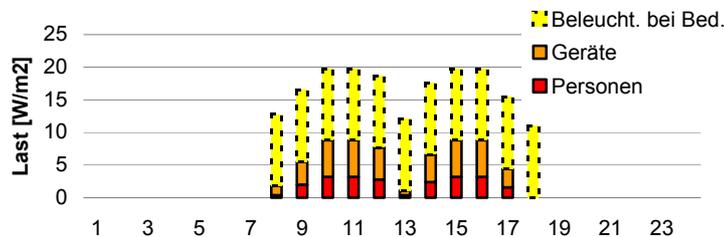
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten

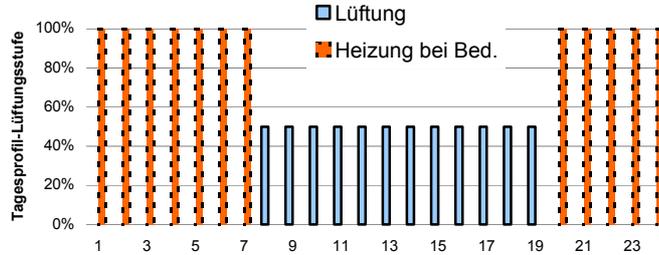


**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper): - . Kühlung (Kühldecken): - .**

**15 ATRIUM/KERNZONE (B-G)**

|                   |                             |             |                                 |
|-------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------------|
| <b>Grundlagen</b> | Nettogeschossfl. NGF        | 3137.0 m2   | (3485 m2 Bruttogeschossfl. BGF) |
|                   | Netto-Volumen               | 13'290.0 m3 |                                 |
| <b>Lüftung</b>    | Personenfläche (Annahme)    | 31.0 m2/p   | 100.0 p                         |
|                   | AUL-Volumenstrom            | 25.0 m3/hp  | 2500.0 m3/h                     |
|                   | Effektive Auslegung [LUE02] |             |                                 |
|                   | ZUL                         | 4030.0 m3/h |                                 |
|                   | ABL                         | 4630.0 m3/h |                                 |
|                   | nv                          | 0.3 1/h     |                                 |

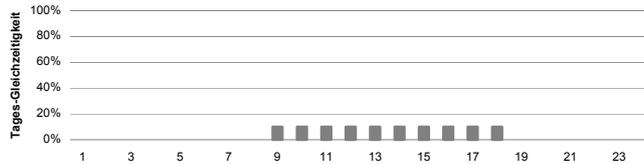


Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

**Nachtauskühlung** Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

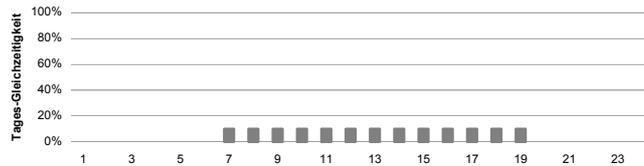
|                    |             |                           |          |          |
|--------------------|-------------|---------------------------|----------|----------|
| <b>Wärmelasten</b> | Personen    | 1 h/d (Volllaststunden)   | 4 W/m2   | 12548 W  |
|                    | Geräte      | 1.3 h/d (Volllaststunden) | 1 W/m2   | 3137 W   |
|                    | Beleuchtung | 9.4 h/d (bei Bed.)        | 8.0 W/m2 | 25'096 W |

Tages Gleichzeitigkeit  
Personen



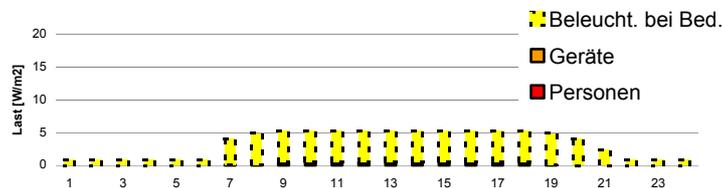
Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr  
Aus Sa-So

Spezifische interne Lasten



**NB:** Stunde des Tages ist folgendermassen definiert: 1 ist von 0:00 bis 1:00 Uhr, 15 ist von 14:00 bis 15:00 Uhr, usw.

Beleuchtung bei Bedarf: Tageslichtabhängig. **Heizung (Heizkörper):** 6000W-. **Kühlung (Kühldecken):** -. Die hier eingerechneten Heizkörper befinden sich im Windfang im Eingangsbereich.

**16 PUFFERZONE (G)**

Keine Komfort-Anforderungen. Die Zone stellt einen Pufferraum dar der oben und unten verglast ist und die Strahlung dem Atrium/Kernzone weitergibt.

## ANHANG 3 MODELLÄNDERUNGEN EFFEKTIVE NUTZUNG

Im folgenden Anhang sind sämtliche Modelländerungen zwischen Stand Planung und effektive Nutzung aufgelistet.

### 1 Gebäudehülle, Flächen, Volumina und U-Werte

keine Änderungen

### 2 Externe Lasten

#### Wetterdaten:

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stand Planung | KlotenDRY.tm2 Standard-Wetterdatenfile                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Eff. Nutzung  | NABEL Messdaten 2007 Standort EMPA Dübendorf<br><br>Zusatzbeschattungsfaktor 5 % für Fassaden<br>(Berücksichtigung nicht optimale Nachführung sowie Verunreinigungen im effektiven Betrieb)<br><br>Modell für Diffusstrahlung „Isotropic sky model“ anstelle „Perez model“ (Modelltechnisch) |

#### Randtemperaturen:

|                      |                                                                                                                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatur Erdreich  | unverändert                                                                                                                                                   |
| Temperatur unbeheizt | neu wird die Jahresmitteltemperatur des unbeheizten Volumens von 18°C auf 21°C angehoben und die jährlichen Schwankungen von +/- 2.5°C auf +/- 1°C reduziert. |

### 3 Interne Lasten

Bemerkung Interne Lasten: Im Bericht Phase I war die Zusammenstellung der internen Lasten fehlerhaft. Diese Zusammenstellung basiert auf den detaillierten Daten im Anhang des Bericht I. Die hier dargestellten Lasten entsprechen den in der Simulation verwendeten Werten.

Im Folgenden sind die internen Lasten Stand Planung und eff. Nutzung ausführlich aufgelistet.

Die internen Lasten Stand Planung basieren auf der SWKI Richtlinie 95-3. Der Reduktionsfaktor Tageslicht bezeichnet welcher Anteil der Beleuchtungsenergie trotz Tageslichtnutzung nötig ist. Dieser Wert ist von den Wetterdaten abhängig. Die internen Lasten effektive Nutzung basieren auf den Erhebungen von M. Bauer.

#### Interne Lasten STAND PLANUNG

| ZONE                 | NGF<br>[m2] | Personen |        |                |        | Geräte |        |                |         | Beleuchtung |        |                  |                | TOTAL  |                       |                |
|----------------------|-------------|----------|--------|----------------|--------|--------|--------|----------------|---------|-------------|--------|------------------|----------------|--------|-----------------------|----------------|
|                      |             | [h/a]    | [W/m2] | [MJ/m2a]       | [MJ/a] | [h/a]  | [W/m2] | [MJ/m2a]       | [MJ/a]  | [h/a]       | [W/m2] | [%] <sup>1</sup> | [MJ/m2a]       | [MJ/a] | [MJ/m2a] <sup>2</sup> | [MJ/a]         |
| 1 KÜCHE              | 116         | 1'820    | 8      | 52             | 6'080  | 1'300  | 200    | 936            | 108'576 | 2'340       | 8      | 100%             | 67             | 7'817  | 1'056                 | 122'474        |
| 2 MENSA              | 225         | 780      | 59     | 164            | 36'960 | 1'300  | 2      | 9              | 2'106   | 1'820       | 10     | 40%              | 26             | 5'897  | 200                   | 44'963         |
| 3 BIBLIOTHEK         | 630         | 1'300    | 7      | 30             | 19'165 | 1'300  | -      | -              | -       | 2'340       | 10     | 100%             | 84             | 53'071 | 115                   | 72'236         |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | 820         |          |        |                |        |        |        |                |         |             |        |                  |                |        |                       |                |
| 5 COPYCENTER         | 110         | 1'560    | 4      | 22             | 2'471  | 1'560  | 15     | 84             | 9'266   | 2'860       | 9      | 100%             | 93             | 10'193 | 199                   | 21'930         |
| 6 BÜRO EAST B        | 107         | 1'560    | 5      | 28             | 3'005  | 1'560  | 7      | 39             | 4'206   | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 5'574  | 119                   | 12'785         |
| 7 MULTIMEDIA         | 61          | 1'040    | 18     | 66             | 3'997  | 1'040  | 28     | 105            | 6'395   | 1'560       | 9      | 40%              | 20             | 1'233  | 191                   | 11'625         |
| 8 BESPRECHUNG        | 149         | 1'040    | 24     | 88             | 13'110 | 1'040  | 2      | 7              | 1'116   | 1'560       | 11     | 40%              | 25             | 3'682  | 120                   | 17'907         |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 149         | 1'560    | 70     | 393            | 58'575 | 1'560  | 4      | 22             | 3'347   | 2'600       | 12     | 100%             | 112            | 16'736 | 528                   | 78'658         |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 157         | 1'560    | 70     | 393            | 61'720 | 1'560  | 4      | 22             | 3'527   | 2'600       | 12     | 100%             | 112            | 17'634 | 528                   | 82'881         |
| 11 SITZUNG           | 126         | 1'040    | 24     | 88             | 11'086 | 1'040  | 2      | 7              | 943     | 1'560       | 11     | 100%             | 62             | 7'784  | 157                   | 19'813         |
| 12 BÜRO WEST         | 818         | 1'560    | 5      | 28             | 22'969 | 1'560  | 7      | 39             | 32'157  | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 42'616 | 119                   | 97'743         |
| 13 BÜRO EAST         | 618         | 1'560    | 5      | 28             | 17'353 | 1'560  | 7      | 39             | 24'295  | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 32'196 | 119                   | 73'845         |
| 14 BÜRO NORD         | 192         | 1'560    | 5      | 28             | 5'391  | 1'560  | 7      | 39             | 7'548   | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 10'003 | 119                   | 22'942         |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 3'137       | 1'560    | 5      | 28             | 88'087 | 1'560  | -      | -              | -       | 2'860       | 8      | 27%              | 22             | 69'765 | 50                    | 157'852        |
| <b>FC GESAMT</b>     |             |          |        | <b>349'969</b> |        |        |        | <b>203'483</b> |         |             |        |                  | <b>284'202</b> |        |                       | <b>837'653</b> |

|              | [m2]   | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] |
|--------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| bez auf NGF  | 7'415  | 47.2     | 27.4     | 38.3     | 113.0    |
| bez auf EBF0 | 8'238  | 42.5     | 24.7     | 34.5     | 101.7    |
| bez. auf EBF | 11'161 | 31.4     | 18.2     | 25.5     | 75.1     |

<sup>1</sup>gerechnet mit 260 Arbeitstagen pro Jahr

<sup>2</sup>Reduktionsfaktor Tageslichtnutzung

<sup>3</sup>Bezogen auf die NGF

#### Interne Lasten effektive Nutzung

| ZONE <sup>2</sup>    | NGF<br>[m2] | Personen |        |                |        | Geräte |        |                |         | Beleuchtung |        |                  |                | TOTAL   |          |                |
|----------------------|-------------|----------|--------|----------------|--------|--------|--------|----------------|---------|-------------|--------|------------------|----------------|---------|----------|----------------|
|                      |             | [h/a]    | [W/m2] | [MJ/m2a]       | [MJ/a] | [h/a]  | [W/m2] | [MJ/m2a]       | [MJ/a]  | [h/a]       | [W/m2] | [%] <sup>1</sup> | [MJ/m2a]       | [MJ/a]  | [MJ/m2a] | [MJ/a]         |
| 1 KÜCHE              | 116         | 1'820    | 4      | 26             | 3'040  | 1'820  | 240    | 1'572          | 182'408 | 2'912       | 8      | 100%             | 84             | 9'728   | 1'683    | 195'176        |
| 2 MENSA              | 225         | 650      | 70     | 164            | 36'855 | 1'300  | 2      | 9              | 2'106   | 3'120       | 10     | 46%              | 52             | 11'625  | 225      | 50'586         |
| 3 BIBLIOTHEK         | 630         | 780      | 3      | 8              | 5'307  | 1'300  | 2      | 9              | 5'897   | 2'028       | 10     | 100%             | 73             | 45'995  | 91       | 57'199         |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | 820         |          |        |                |        |        |        |                |         |             |        | 0%               |                |         |          |                |
| 5 COPYCENTER         | 110         | 520      | 2      | 4              | 412    | 104    | 10     | 4              | 412     | 1'144       | 9      | 100%             | 37             | 4'077   | 45       | 4'901          |
| 6 BÜRO EAST B        | 107         | 2'080    | 2      | 15             | 1'602  | 2'340  | 4      | 34             | 3'605   | 2'704       | 10     | 46%              | 45             | 4'791   | 93       | 9'999          |
| 7 MULTIMEDIA         | 61          | 520      | 11     | 21             | 1'256  | 988    | 14     | 50             | 3'038   | 1'560       | 9      | 40%              | 20             | 1'233   | 91       | 5'527          |
| 8 BESPRECHUNG        | 149         | 1'040    | 5      | 19             | 2'830  | 1'560  | 1      | 6              | 837     | 1'820       | 8      | 40%              | 22             | 3'302   | 47       | 6'969          |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 149         | 260      | 47     | 44             | 6'555  | 624    | 5      | 11             | 1'674   | 624         | 10     | 100%             | 22             | 3'347   | 78       | 11'576         |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 157         | 260      | 45     | 42             | 6'613  | 624    | 4      | 9              | 1'411   | 624         | 8      | 100%             | 18             | 2'821   | 69       | 10'845         |
| 11 SITZUNG           | 126         | 312      | 22     | 25             | 3'114  | 312    | 10     | 11             | 1'415   | 936         | 10     | 100%             | 34             | 4'246   | 70       | 8'774          |
| 12 BÜRO WEST         | 818         | 1'456    | 5      | 26             | 21'438 | 1'482  | 7      | 37             | 30'549  | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 42'616  | 116      | 94'603         |
| 13 BÜRO EAST         | 618         | 1'456    | 5      | 26             | 16'197 | 1'482  | 10     | 53             | 32'972  | 2'860       | 8      | 46%              | 38             | 23'416  | 117      | 72'584         |
| 14 BÜRO NORD         | 192         | 1'456    | 4      | 21             | 4'026  | 1'482  | 7      | 37             | 7'171   | 2'860       | 11     | 46%              | 52             | 10'003  | 110      | 21'199         |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 3'137       | 260      | 4      | 4              | 11'745 | 338    | 1      | 1              | 3'817   | 2'444       | 8      | 59%              | 42             | 130'275 | 46       | 145'837        |
| <b>FC GESAMT</b>     |             |          |        | <b>120'989</b> |        |        |        | <b>277'310</b> |         |             |        |                  | <b>297'476</b> |         |          | <b>695'775</b> |

|              | [m2]   | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] |
|--------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| bez auf NGF  | 7'415  | 16.3     | 37.4     | 40.1     | 93.8     |
| bez auf EBF0 | 8'238  | 14.7     | 33.7     | 36.1     | 84.5     |
| bez. auf EBF | 11'161 | 10.8     | 24.8     | 26.7     | 62.3     |

<sup>1</sup>Reduktionsfaktor Tageslichtnutzung

<sup>2</sup> alle Zonen 260 Arbeitstage pro Jahr.

Vergleicht man die internen Lasten von Geräten und Beleuchtung so fällt auf, dass die Küche und Mensa intensiver genutzt wird. Die Hörsäle werden deutlich weniger genutzt, Die Sitzungszimmer sind mit mehr Geräten bestückt und im Atrium ist wesentlich mehr Beleuchtungsleistung installiert als gemäss Stand Planung.

Anhand des geplanten gesamten Elektroverbrauches, sowie des gemessenen gesamten Elektroverbrauches lässt sich auf den Verbrauch für Technik, Restvolumen, Aussenraum schliessen. Es zeigt sich, dass dieser deutlich höher liegt als gemäss Stand Planung.

### Vergleich Interne Lasten STAND PLANUNG / eff. Nutzung

| ZONE                 | Elektro (Ger. u. Bel) |                        | Geräte         |                        | Beleuchtung    |                        |
|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
|                      | Plan<br>[MJ/a]        | eff. Nutzung<br>[MJ/a] | Plan<br>[MJ/a] | eff. Nutzung<br>[MJ/a] | Plan<br>[MJ/a] | eff. Nutzung<br>[MJ/a] |
| 1 KÜCHE              | 116'393               | 192'136                | 108'576        | 182'408                | 7'817          | 9'728                  |
| 2 MENSA              | 8'003                 | 13'731                 | 2'106          | 2'106                  | 5'897          | 11'625                 |
| 3 BIBLIOTHEK         | 53'071                | 51'892                 | -              | 5'897                  | 53'071         | 45'995                 |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | -                     | -                      | -              | -                      | -              | -                      |
| 5 COPYCENTER         | 19'459                | 4'489                  | 9'266          | 412                    | 10'193         | 4'077                  |
| 6 BÜRO EAST B        | 9'781                 | 8'397                  | 4'206          | 3'605                  | 5'574          | 4'791                  |
| 7 MULTIMEDIA         | 7'628                 | 4'271                  | 6'395          | 3'038                  | 1'233          | 1'233                  |
| 8 BESPRECHUNG        | 4'798                 | 4'139                  | 1'116          | 837                    | 3'682          | 3'302                  |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 20'083                | 5'021                  | 3'347          | 1'674                  | 16'736         | 3'347                  |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 21'161                | 4'232                  | 3'527          | 1'411                  | 17'634         | 2'821                  |
| 11 SITZUNG           | 8'727                 | 5'661                  | 943            | 1'415                  | 7'784          | 4'246                  |
| 12 BÜRO WEST         | 74'773                | 73'165                 | 32'157         | 30'549                 | 42'616         | 42'616                 |
| 13 BÜRO EAST         | 56'491                | 56'387                 | 24'295         | 32'972                 | 32'196         | 23'416                 |
| 14 BÜRO NORD         | 17'551                | 17'173                 | 7'548          | 7'171                  | 10'003         | 10'003                 |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 69'765                | 134'092                | -              | 3'817                  | 69'765         | 130'275                |
| <b>FC GESAMT</b>     | <b>487'684</b>        | <b>574'786</b>         | <b>203'483</b> | <b>277'310</b>         | <b>284'202</b> | <b>297'476</b>         |

|                                                    | [kWh/a] | [kWh/a] | [kWh/a] | [kWh/a] | [kWh/a] | [kWh/a] |
|----------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>FC GESAMT</b>                                   |         |         |         |         |         |         |
| Interne Lasten Elektro                             | 135'468 | 159'663 | 56'523  | 77'031  | 78'945  | 82'632  |
| Elektroverbrauch<br>Technik/Restvolumen/Aussenraum | 44'532  | 106'337 |         |         |         |         |
| Elektroverbrauch total                             | 180'000 | 266'000 |         |         |         |         |

Um die Internen Lasten infolge Personen zu veranschaulichen sind für den Stand Planung sowie für Stand eff. Nutzung die Personen-Stunden pro Arbeitstag ([Ph/d]) dargestellt. Es zeigt sich, dass die personelle Belegung in der eff. Nutzung deutlich tiefer ist als im Stand Planung. Ein Mitarbeiter, der 5 Tage pro Woche 8 Stunden anwesend ist gibt 8 Ph/d Wärme ab. In der Bibliothek sind im Fall eff. Nutzung. 81 Personen je eine Stunde pro Tag anwesend oder 9 Personen 9 Stunden.

| ZONE                 | Personen       |                        | Personen                    |                                     |
|----------------------|----------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                      | Plan<br>[MJ/a] | eff. Nutzung<br>[MJ/a] | Plan<br>[Ph/d] <sup>1</sup> | eff. Nutzung<br>[Ph/d] <sup>1</sup> |
| 1 KÜCHE              | 6'080          | 3'040                  | 93                          | 46                                  |
| 2 MENSA              | 36'960         | 36'855                 | 564                         | 563                                 |
| 3 BIBLIOTHEK         | 19'165         | 5'307                  | 293                         | 81                                  |
| 4 TECHNIK / RESTVOL. | -              | -                      | -                           | -                                   |
| 5 COPYCENTER         | 2'471          | 412                    | 38                          | 6                                   |
| 6 BÜRO EAST B        | 3'005          | 1'602                  | 46                          | 24                                  |
| 7 MULTIMEDIA         | 3'997          | 1'256                  | 61                          | 19                                  |
| 8 BESPRECHUNG        | 13'110         | 2'830                  | 200                         | 43                                  |
| 9 HÖRSAAL EAST       | 58'575         | 6'555                  | 894                         | 100                                 |
| 10 HÖRSAAL WEST      | 61'720         | 6'613                  | 942                         | 101                                 |
| 11 SITZUNG           | 11'086         | 3'114                  | 169                         | 48                                  |
| 12 BÜRO WEST         | 22'969         | 21'438                 | 351                         | 327                                 |
| 13 BÜRO EAST         | 17'353         | 16'197                 | 265                         | 247                                 |
| 14 BÜRO NORD         | 5'391          | 4'026                  | 82                          | 61                                  |
| 15 ATRIUM / KERNZONE | 88'087         | 11'745                 | 1'344                       | 179                                 |
| <b>FC GESAMT</b>     | <b>349'969</b> | <b>120'989</b>         | <b>5'341</b>                | <b>1'847</b>                        |

<sup>1</sup>Personen-Stunden à 70Wh  
je Arbeitstag

## Beleuchtung

Die Beleuchtung wird neben dem Fahrplan (siehe Anhang Interne Lasten) in den Zonen mit einem Tageslichtfaktor verschieden von 100%, nach der Sonneneinstrahlung in die Horizontalebene und mit einer Hysterese geschaltet. Diese Schaltung berücksichtigt sowohl die Automatische Lichtsteuerung als auch das manuelle Ein- und Ausschalten der Benutzer.

|               | Licht ein        | Licht aus        |
|---------------|------------------|------------------|
|               | W/m <sup>2</sup> | W/m <sup>2</sup> |
| Stand Planung | 120              | 200              |
| eff. Nutzung  | 110              | 170              |

## 4 Heizung / Kühlung

### Starttemperaturen

Die Starttemperaturen wurden einheitlich 20°C auf 21°C angepasst. Ausserdem wurde die Starttemperatur der Zone BIB auf 22, COP auf 20, BES auf 20 und ATR auf 22 eingestellt.

**Heizkörper** Der Sollwert für alle Heizkörper ist im Stand Planung 20°C

Im Stand effektive Nutzung wurden unterschiedliche Werte eingesetzt. Da die Thermostatventile auch während des Jahres verstellt wurden stellen diese Werte nur eine Annäherung dar.

Stand eff. Nutzung:

|                                                             |        |                                                                |
|-------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------|
| Buero B:                                                    | 24.5°C | (gesperrt bei Ta24 über 13°C)<br>(mit erhöhter Leistung 975 W) |
| Bibliothek und Mensa                                        | 23.8°C | (gesperrt bei Ta24 über 13°C)                                  |
| weitere Heizkörper (Küche, Copycenter, Multimedia) auf 21°C |        |                                                                |

Eine in der Simulation Planung vernachlässigte Heizleistung im Bereich des Windfangs (Atrium/Kernzone) wurde für die Simulation effektive Nutzung eingefügt.

**Kühldecken** keine Änderung

**Luftkühler Lk** keine Änderung

Bemerkung „Luftkühler“

Aus dem Leitsystem wurde eine Funktion ausgelesen, diese würde aber zu gleichzeitigem heizen und kühlen führen.

Gerade Funktion (Ta /T\_Lk\_Set)  
(20/19); (30/ 26.5)

### Luftherhitzer Le

Sollwert für Luftherhitzer bleibt auf 20°C. Begründung:

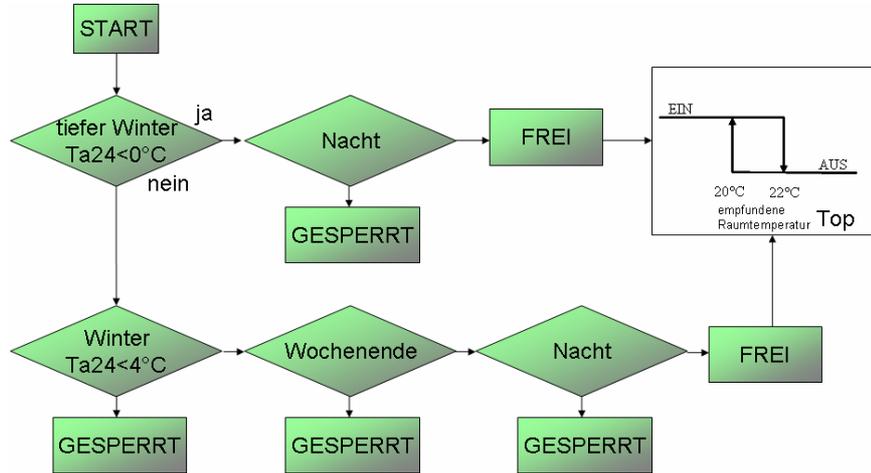
Nicht mit effektivem Wert der Lüftungsanlagen zu vergleichen. Anhebung auf 21°C würde nur bei Taglüftung wirken und hätte marginalen Einfluss. 20°C entsprechen unter Berücksichtigung von nicht voller Ausnützung freier Wärme (je Zone ein Lüftungsgerät) ca. den 21°C. -> Modellgenauigkeit.

### Nachtheizung Nh oder Temperaturhaltung

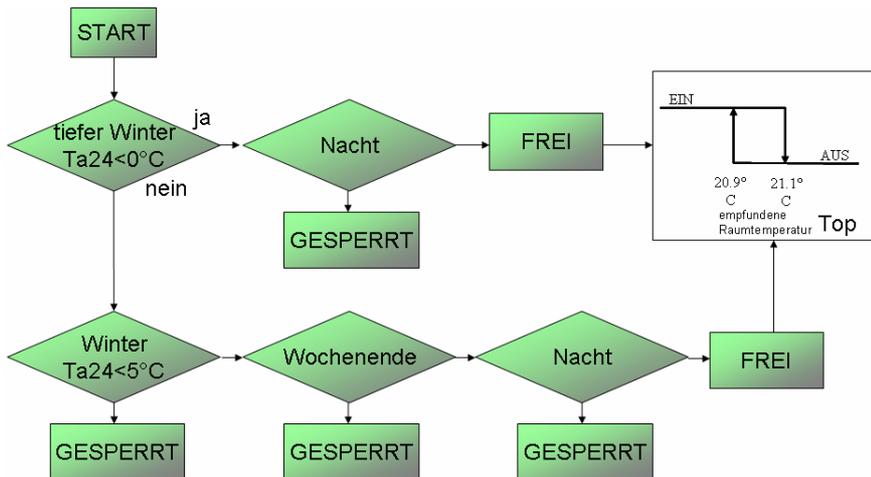
Die Grenztemperatur für den Betriebsmodus Winter wird von 4 auf 5°C angehoben. Die Hysterese der empfundenen Raumtemperatur wird deutlich (auf 0,2K) reduziert. Im Leitsystem ist keine Hysterese vorgesehen durch die Ungenauigkeit der Messung entsteht aber faktisch eine Hysterese.

Der Betriebsmodus (Nh) ist nicht mit der Jahreszeit (Nc) zu verwechseln.

Stand Planung:



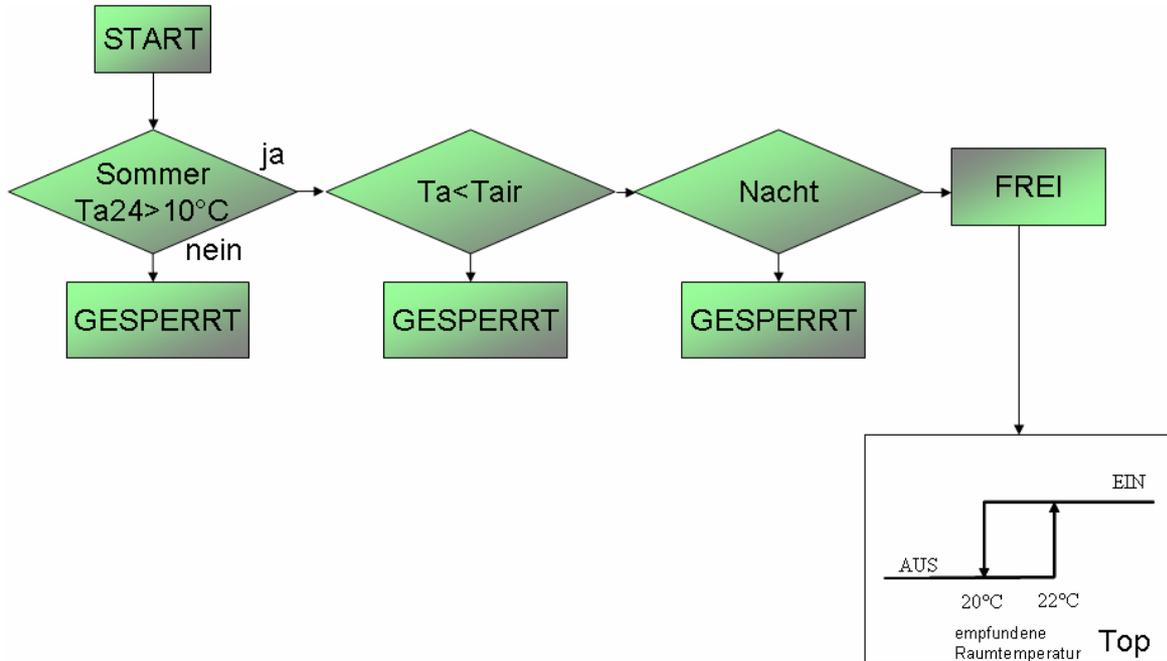
Stand eff. Nutzung



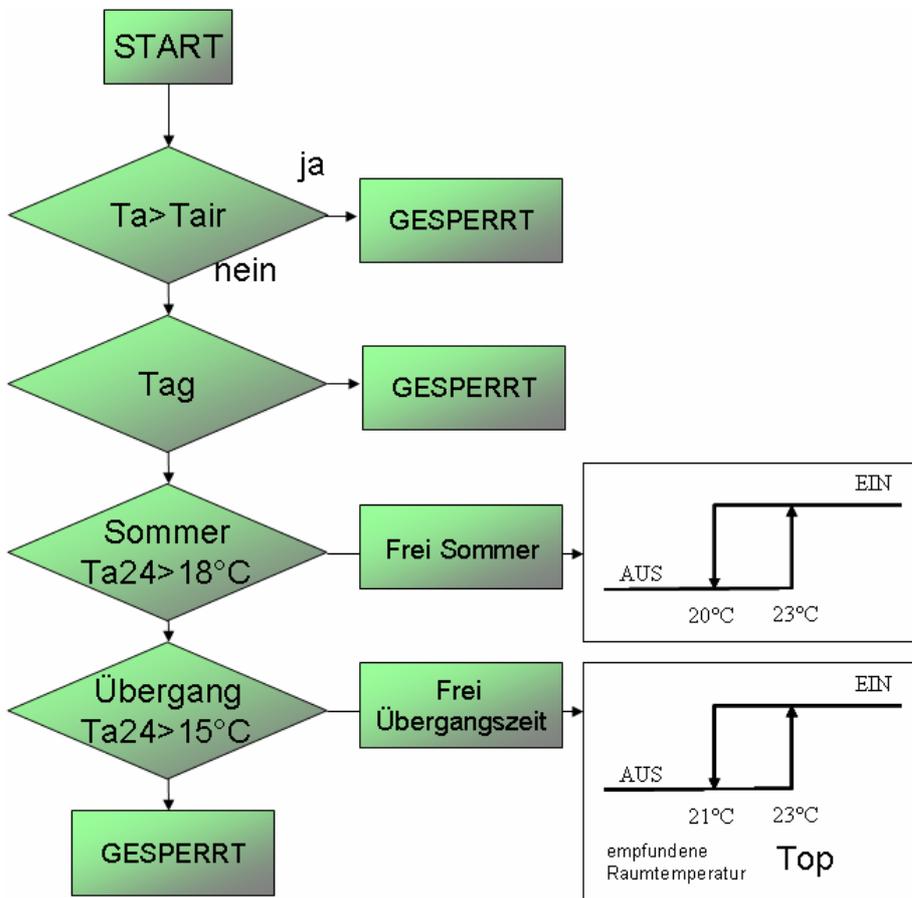
### Nachtauskühlung Nc

Durch die Einstellungsänderungen der Nachtauskühlung wird die Nachtauskühlung deutlich seltener freigeschaltet. Somit können ungewollte Auskühlungen in der Übergangszeit verhindert werden.

Stand Planung



Stand effektive Nutzung



## 5 Luftströmungen

### Lüftung

|                                    |                                                                                  |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Volumenstrom                       | COP neu 610m3/h<br>sonst keine Änderungen                                        |
| Fahrplan Zonen 3,5,6, 12,13,14     | keine Änderungen (07:00 – 19:00)                                                 |
| Fahrplan Zone 7                    | neu auch 07:00 – 19:00                                                           |
| Fahrplan andere Zonen              | nach Personenbelegung gemäss Erhebung Bauer,<br>sowie Plausibilitätsüberlegungen |
| Wirkungsgrad WRG                   | keine Änderungen (Änderung Regelung siehe weiter unten)                          |
| <b>Luftströmungen zw. Zonen</b>    | keine Änderungen                                                                 |
| <b>Infiltration mit Aussenluft</b> | keine Änderungen                                                                 |

## 6 Tech. Elemente

### Luft-Erdwärme-Register (LER)

Stand Planung: lineare Funktion von Aussentemperatur

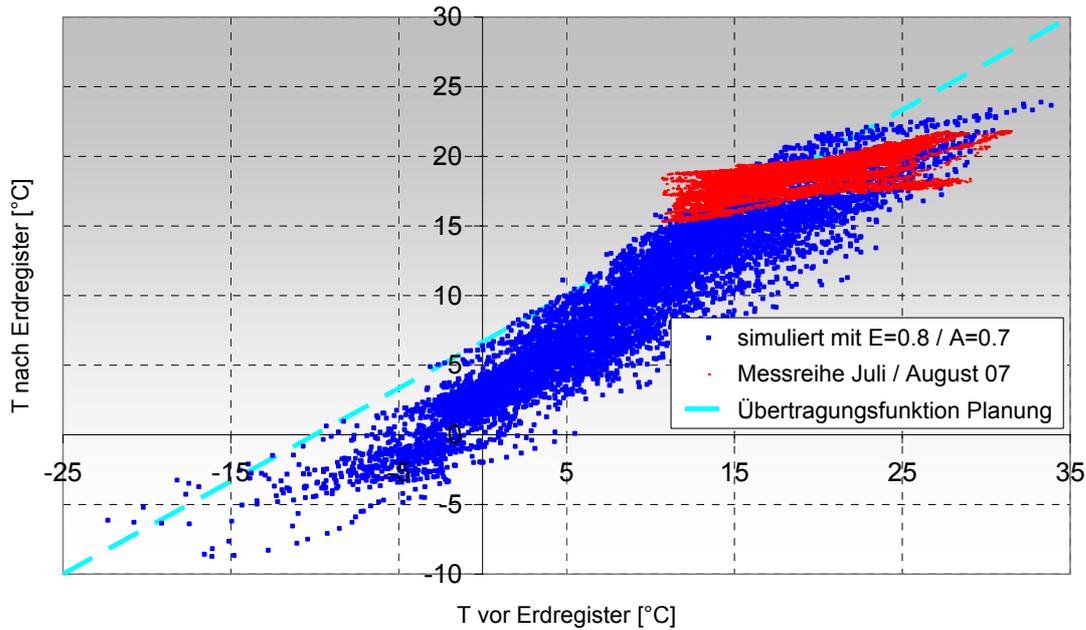
Stand eff. Nutzung:

empirische Polynomfunktion von Aussentemperatur  $T_a$ , Mitteltemperatur  $T_{a24}$  und Erdreichtemperatur  $T_{gro}$

$$T_{LER} = T_a - F_{\text{Effizienz}}(T_a - F_{\text{Adiabat}} \cdot T_{a24} + (1 - F_{\text{Adiabat}}) \cdot T_{gro})$$

Der Faktor  $F_{\text{Effizienz}}$  bestimmt wie stark tägliche Temperaturschwankungen gedämpft werden. Der Faktor  $F_{\text{Adiabat}}$  gibt an wie viel der abgegebenen Wärme / Kälte gespeichert wird und nicht ins Erdreich abfliessen kann.

Die empirische Funktion kann nur so gut sein wie die zugrundeliegenden Messwerte (im Bild rot dargestellt). Da bisher nur eine sommerliche Messreihe von ca. zwei Monaten vorliegt ist insbesondere das winterliche Verhalten sehr unsicher.



**Server**

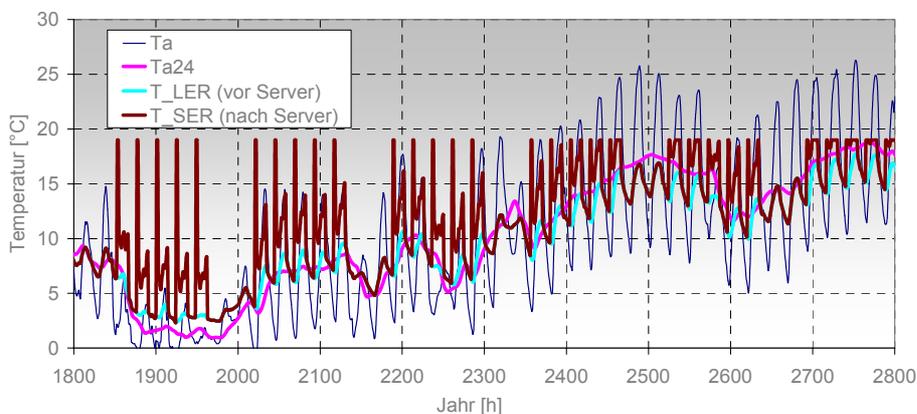
Leistung: 16kW (wurde Messtechnisch validiert)  
 Freecooling-Grenze: Oberhalb dieser Grenze Umluftbetrieb:  
 Stand Planung  $T_a > 20^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Umluft  
 Stand eff. Nutzung  $T_a > 18^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Umluft

(Regeltechnisch gibt ein PI-Regler die Free-cooling-Grenze Dynamisch so vor, dass die Raumtemperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  nicht überschritten wird.)

Maximale Erwärmung ZUL in Mischkammer vor WRG

Stand Planung  $20^{\circ}\text{C}$   
 Stand eff. Nutzung  $19^{\circ}\text{C}$

Die Reduktion trägt der nicht idealen Mischung Rechnung. Ein Plot der Temperatur nach dem Server zeigt jedoch, dass im Winter und in der Übergangszeit diese Temperatur nur sehr kurz beim Anfahren der ersten Lüftungsanlage erreicht wird. Bei grösseren Luftmengen wird die Temperatur nicht mehr erreicht. Im Sommer dagegen ist die Erwärmung nicht gewünscht.

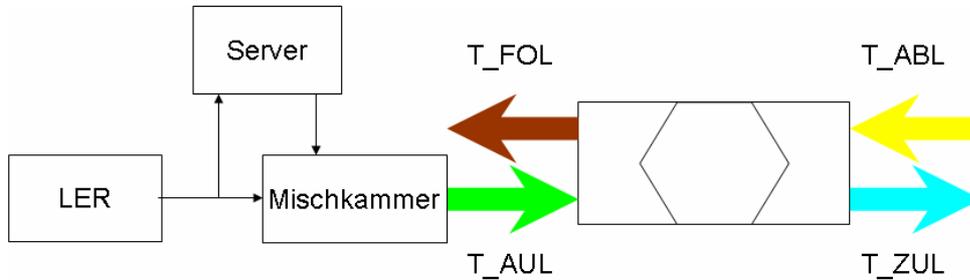


**Wärmerückgewinnung**

Stand Planung:

$$T_{ZUL} = T_{AUL} + (T_{ABL} - T_{AUL}) \times \text{Eta\_WRG}$$

$$T_{ZUL} = T_{AUL}, \text{ wenn } T_{AUL} > 20$$



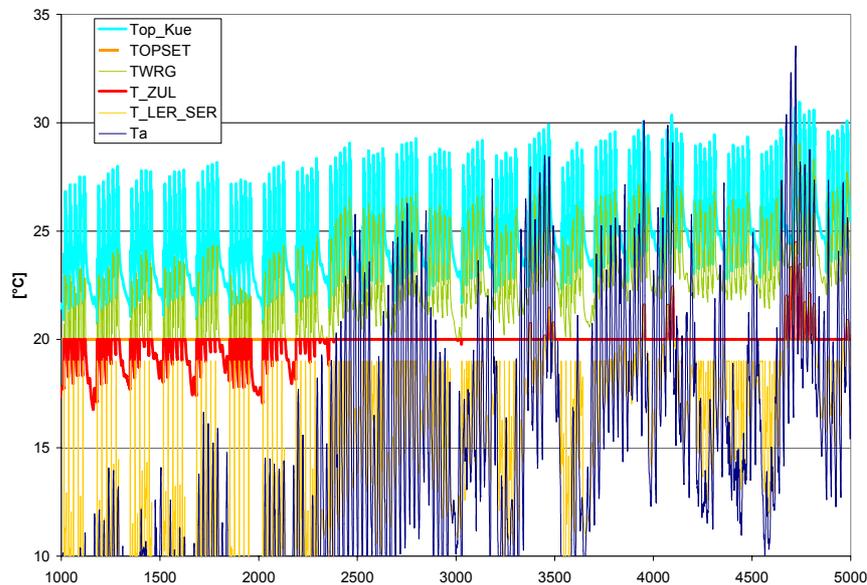
Die Regelung der Wärmerückgewinnung wurde für die Simulation eff. Nutzung verfeinert.

$$T_{ZUL} = \text{MIN}( \text{MAX}( \text{MIN}( T_{SER}, T_{WRG} ), \text{Top\_SET} ), T_{WRG} )$$

mit:

$$T_{WRG} = T_{SER} + (T_{ABL} - T_{SER}) \times \text{Eta\_WRG}$$

mit dieser Darstellung wird erreicht, dass die Zuluft sofern möglich der Top\_SET entspricht. Top\_SET ist die gewünschte Einblastemperatur der Zone. Die gleiche Temperatur wird für die Luftherhitzer verwendet.



**Speicher Volumen**

Stand Planung 13m3

Stand eff. Nutzung 12m3

**Solaranlage**

keine Änderungen

**Heizwärmenetz**  
**Nachheizung****Stand Planung**

Fühler 4 &lt; 60°C → EIN

Fühler 3 &gt; 65°C → AUS

**Stand eff. Nutzung**

Fühler 3 &lt; 53°C → Ein

Fühler 3 &gt; 58°C → Aus

**Rückspeisung****Stand Planung**

Fühler 3 &gt; 67°C → EIN

Fühler 4 &lt; 65°C → AUS

**Stand eff. Nutzung**

Fühler 2 10°C höher als Empanetz → Ein

Fühler 4 10°C tiefer als Empanetz → Aus

Temperatur Empanetz Sommer: 60

Fühler 2 &gt; 70°C → EIN

Fühler 4 &lt; 50°C → AUS

**WRG gew. Kälte**

keine Änderungen

Stand Planung

Leistung 12.1 kW

Temperatur 36°C

(Mischtemperatur aus Enthitzertemp. und Rückkühltemp.)

Fahrplan Stand Planung: 2-3, 6-9, 10-13, 18-19

Fahrplan eff. Nutzung: 0-4, 5-9, 10-14, 15-19

Dies entspricht eine Erhöhung von 9 auf 16 Vollaststunden

**Bedarf Warmwasser**

Stand Planung 81.6kWh/d

Stand eff. Nutzung 117kWh/d

**Sonnenschutz**

Fehler in Regelung Sonnenschutz angepasst:

Sonnenschutz war im Sommer und in der Übergangszeit

bei niedriger Einstrahlung geschlossen und bei hoher

Einstrahlung offen.

Bemerkung: die Veränderungen in der Lamellensteuerung sind eher Komfortrelevant als Energierelevant. Der Sonnenschutz Atrium wird weiterhin wie geplant simuliert, obwohl die Funktion im Betrieb über längere Zeit nicht gewährleistet war.

**Klappensteuerung Pufferraum** keine Änderung