

# BFE Projekt Energie-Detailbilanz des EAWAG Forum Chriesbach

# Bericht Phase 1 THERMISCHES GEBÄUDEMODELL / SIMULATION STAND PLANUNG

16. Januar 2009



**Bauherrschaft**: Eawag / Empa 8600 Dübendorf

Architekt/GP: Bob Gysin + Partner AG

Ausstellungsstrasse 24

8005 Zürich

Gebäudetechnik: 3-Plan Haustechnik AG

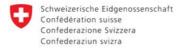
Fröschenweidstrasse 10

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



Bundesamt für Energie BFE





| 1 |                      | ENFASSUNG                                 |                |
|---|----------------------|---|----------------|
| 2 | MODELLII             | ERUNG                                     | 2              |
| 2 |                      | BEDINGUNGEN UND PARAMETER                 |                |
|   |                      | NZ UND SCHALTTEMPERATUREN                 |                |
|   | 2.1.2 MET<br>2.1.2.1 | EOROLOGISCHE DATENAUSSENTEMPERATURVERLAUF |                |
|   | 2.1.2.1<br>2.1.2.2   | TEMPERATURVERLAUF ERDREICH                | 2              |
| : |                      | UDEMODELLIERUNG                           |                |
|   | _                    | EN  |                |
|   | 2.2.1.1              | AUSSENANSICHTEN                           |                |
|   | 2.2.1.2              | GRUNDRISSE                                |                |
|   | 2.2.1.3<br>2.2.1.4   | FLÄCHEN UND VOLUMINA                      |                |
|   |                      | RMESTRÖME                                 |                |
|   | 2.2.2.1              | INTERNE LASTEN                            | 17             |
|   | 2.2.2.2              | HEIZUNG / KÜHLUNG                         |                |
|   | 2.2.2.3              | LÜFTUNGLUFTSRÖMUNGEN ZWISCHEN DEN ZONEN   | 19             |
|   | 2.2.2.4<br>2.2.2.5   | INFILTRATION MIT AUSSENKLIMA              |                |
|   |                      | JND TECHNIKELEMENTE                       |                |
| • |                      | TUNG                                      |                |
|   | 2.3.1.1              | ERDREGISTER                               | 2 <sup>2</sup> |
|   | 2.3.1.2              | SERVERABWÄRME                             | 22             |
|   | 2.3.1.3              | WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER LÜFTUNG            |                |
|   | 2.3.1.4<br>2.3.1.5   | LUFTERHITZERLUFTKÜHLER                    |                |
|   | 2.3.1.6              | NACHTHEIZUNG                              |                |
|   |                      | HTAUSKÜHLUNG                              | 24             |
|   |                      | /UNG                                      |                |
|   | 2.3.3.1              | WÄRMESPEICHER                             |                |
|   | 2.3.3.2<br>2.3.3.3   | SOLARANLAGEWÄRMENETZ                      |                |
|   | 2.3.3.4              | WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER GEWERBLICHEN KÄLTE |                |
|   | 2.3.3.5              | WARMWASSERBEDARF                          |                |
|   |                      | LUNG                                      |                |
|   |                      | EUCHTUNG/EGLICHER SONNENSCHUTZ            |                |
|   |                      | FERRAUM                                   |                |
| _ |                      |   |                |
| 3 |                      | TE  |                |
| ; |                      | ERATUREN                                  |                |
|   |                      | O   |                |
|   |                      | SAALPRECHUNGS- UND SITZUNGSZIMMER         |                |
|   |                      | IOTHEK UND MULTIMEDIA                     |                |
|   | 3.1.5 COP            | YCENTER UND BÜRO EAST B                   | 36             |
|   |                      | HE UND MENSA                              |                |
|   |                      | IUM                                       |                |
|   |                      | FERRAUMUND KÜHLBEDARF                     |                |
| , |                      | RMEBILANZ                                 |                |
|   |                      | KUNG KÄLTEBEDARF                          |                |
| 4 | SENSITIV             | ITÄTSANALYSEN GESAMTSYSTEM                | 44             |
|   | 4.1.1 INTE           | RNE WÄRMELASTEN (IL)                      | 44             |
|   | 4.1.2 SER            | VERABWÄRME (SA)                           | 45             |
|   | 4.1.3 THE            | RMISCHE SPEICHERMASSE (TS)                | 46             |
|   |                      | /EGLICHER SONNENSCHUTZ (SS)               |                |
| 5 |                      | VERZEICHNIS                               |                |
| 6 | ABBILDUI             | NGSVERZEICHNIS                            | 49             |
| 7 | TABELLE              | NVERZEICHNIS                              | 50             |
| R | ANHANG               |   | 50             |

# 1 Zusammenfassung

#### Ziel der Arbeit

Im Rahmen eines übergeordneten BFE-Projektes [6] soll in einer ersten Phase ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell mit den relevanten Bau- und Technikelementen als Gesamtsystem erstellt werden. Es sind Temperaturen und Energieflüsse basierend auf den Planungsvorgaben zu ermitteln.

In einer zweiten Phase sollen die prognostizierten Daten mit den effektiven Messwerten verglichen werden.

Dieser Bericht deckt die Phase 1 ab und beschreibt das Modell sowie das prognostizierte Verhalten mit den daraus folgenden Wärme- und Kälte-Energieflüssen. Als Simulationswerkzeug wurde TRNSYS [14] eingesetzt.

#### Thermisches Gebäudemodell

Es wurde ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell inklusive der relevanten haustechnischen Systeme aufgesetzt und in einem 3D-Modell visualisiert. Das Gebäude wurde in 16 thermische Zonen aufgeteilt um eine möglichst differenzierte Betrachtung der Nutzung zu ermöglichen.

#### **Bau- und Technikelemente**

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

- Lufterdregister
- WRG-Serverabwärme
- Lüftungsanlagen
- Thermische Solaranlage
- Kombispeicher
- WRG Abwärme gew. Kälte
- Arealheiznetz
- Warmwassersystem

- Nachtauskühlsteuerung
- Taglüftung
- 3-Jahreszeitensteuerung
- Tageslichtsteuerung
- Heizbegrenzklappen
- Sonnenschutz
- Speichermasse
- Aktive Kühlung

#### Resultate

Diverse Sensitivitätsanalysen zeigten, dass sowohl die Temperaturen als auch die Energieflüsse plausibel sind und sich mit den Erwartungen decken.

Winterthur, 16.01.2009

3-PLAN HAUSTECHNIK AG

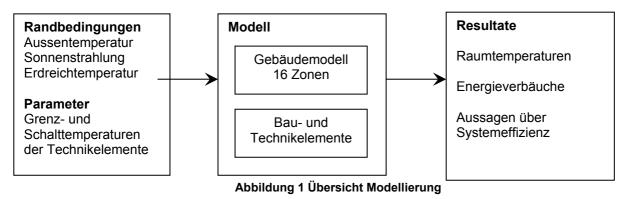
Stefan van Velsen, Ing. NDS FH ENBAU

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.

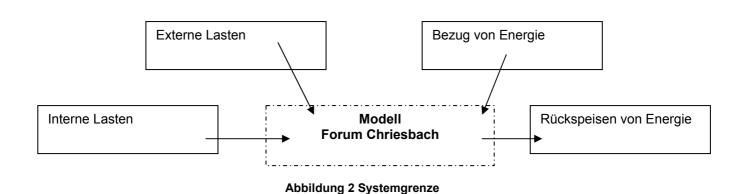


Zu den **allgemeinen Randbedingungen** zählen alle, die nicht im Sinne einer Optimierung des Gebäudeperfomanz variiert werden können. Dazu zählen insbesondere Aussentemperatur, solare Einstrahlung, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Erdreichtemperatur, etc.

**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 Technikelementen.

Über die Systemgrenze fliessen also insbesondere die folgenden Energieflüsse:





# 2.1 RANDBEDINGUNGEN UND PARAMETER

#### 2.1.1 GRENZ UND SCHALTTEMPERATUREN

Die in diesem Bericht dargestellten Parameter entsprechen dem Stand der Planung. Gemäss Pflichtenheft[7] sind nach SIA 180 die Raumtemperaturen in den Komfortzonen zwischen 20°C und 26.5°C zu halten. Aus diesen Rahmenbedingungen ergeben sich mögliche Einstellungen für die zahlreichen Grenz- und Schalttemperaturen der thermisch aktiven Technikelemente.

#### 2.1.2 METEOROLOGISCHE DATEN

Die meteorologischen Daten wurden mit dem Programm Meteonorm 5.0 für den Standort **Zürich-Kloten** generiert. Die Verwendung des Klimastandorts Zürich Kloten ist im Kapitel 2.2.1 des Planungspflichtenheft [7] als Vorgabe definiert.

Das Dateiformat heisst **Design Reference Year** (.DRY) und enthält stündliche Daten, die mit statistischen Methoden aus langjährigen Messreihen errechnet werden. Sie beinhalten **typische meteorologische Verhältnisse**, die es erlauben, Aussagen zum thermischen Verhalten des Gebäudes zu treffen. Ein Design Referenz Year ist nach statistischem Ermessen typischer für den Standort, als ein real gemessenes Jahr.

|                               |              | ME         | TEO                                  | NOF          | RM V         | ersio    | n 5.       | 0          |  |
|-------------------------------|--------------|------------|--------------------------------------|--------------|--------------|----------|------------|------------|--|
| Stand<br>Lage<br>Horiz<br>Typ | ):           | fre        | uerich-k<br>ei<br>stronom<br>ationer | isch         |              | Forma    | ıt         | METEO      |  |
| Jan                           | Ta           | Ta min     | Ta dmin                              | Ta dmax      | Ta max       | RH       |            |            |  |
| Jan                           | 0.0          | -11.9      | -3.1                                 | 3.0          | 11.5         | 78       |            |            |  |
| Feb                           | 0.3          | -11.2      | -4.2                                 | 4.7          | 13.4         | 81       |            |            |  |
| Mar                           | 4.8          | -6.5       | -0.1                                 | 9.6          | 18.5         | 70       |            |            |  |
| Apr                           | 8.2          | -4.2       | 2.5                                  | 13.1         | 21.5         | 71       |            |            |  |
| Mai                           | 12.8         | 0.3        | 6.9                                  | 18.2         | 23.2         | 69       |            |            |  |
| Jun                           | 15.7         | 4.3        | 9.4                                  | 20.5         | 28.5         | 71       |            |            |  |
| Jul<br>Aug                    | 19.0<br>18.3 | 8.0<br>7.2 | 13.3<br>12.5                         | 24.0<br>23.5 | 30.5<br>28.5 | 64<br>66 |            |            |  |
| Sep                           | 14.6         | 3.8        | 9.4                                  | 19.2         | 25.0         | 73       |            |            |  |
| Okt                           | 9.8          | -0.5       | 5.5                                  | 14.2         | 21.9         | 78       |            |            |  |
| Nov                           | 4.0          | -6.0       | 0.7                                  | 7.3          | 14.4         | 82       |            |            |  |
| Dez                           | 1.4          | -10.6      | -1.6                                 | 4.8          | 13.2         | 78       |            |            |  |
| Jahr                          | 9.1          |            |                                      |              |              | 74       |            |            |  |
|                               |              |            |                                      |              |              |          |            |            |  |
| Jan                           | H_Gh         | SDm        | SDd                                  | SD astr.     | RR           | RD       | FF         | DD         |  |
| Jan                           | 28           | 35         | 1.1                                  | 8.7          | 67           | 11       | 2.5        | 212        |  |
| Feb                           | 46           | 69         | 2.5                                  | 10.1         | 68           | 10       | 2.5        | 225        |  |
| Mar                           | 83           | 115        | 3.7                                  | 11.7         | 68           | 12       | 2.6        | 240        |  |
| Apr                           | 113          | 144        | 4.8                                  | 13.5         | 78           | 12       | 2.6        | 199        |  |
| Mai                           | 148          | 176        | 5.7                                  | 15.0         | 96           | 13       | 2.4        | 184        |  |
| Jun                           | 156          | 191        | 6.4                                  | 15.7         | 115          | 13       | 2.2        | 204        |  |
| Jul                           | 173          | 223        | 7.2<br>6.3                           | 15.4<br>14.1 | 106<br>121   | 12<br>12 | 2.1<br>1.8 | 308<br>260 |  |
| Aug<br>Sep                    | 147<br>102   | 195<br>155 | 5.2                                  | 14.1         | 121<br>83    | 12<br>9  | 2.0        | 286<br>286 |  |
| Okt                           | 60           | 92         | 3.0                                  | 10.7         | 70           | 9        | 2.0        | 253        |  |
| Nov                           | 28           | 49         | 1.6                                  | 9.1          | 84           | 11       | 2.2        | 248        |  |
| Dez                           | 22           | 31         | 1.0                                  | 8.3          | 74           | 11       | 2.3        | 199        |  |
| Jahr                          | 1103         | 1475       | 4.0                                  |              | 1030         | 135      | 2.3        | 231        |  |

Legende:

Ta: Lufttemperatur
Ta min: 10-jahres Minimum (approx.)
Ta dmin: Mittl. Taqesminimum Ta
SD: Sonnenscheindauer
RD: Tage mit Niederschlag
SD astr.: Sonnenscheindauer, astronomisch

Ta dmax: Mittl. Taqesmaximum Ta RR: Niederschlag FF: Windgeschw.

relative Luftfeuchtigkeit

10-jahres Maximum (approx.)

Gh: Strahlungss. der Globalstrahlung horiz.

Temperatur in [°C]

Windgeschwindigkeit in [m/s]

Sonnenscheindauer in [h/Tag]

Strahlung in [kWh/m²] Gemessene Parameter = Gh, Ta, FF, DD, RR, Sd, Td, Rd

Tabelle 1 Auszug Meteonorm Version 5.0

RH:

Ta max:



#### 2.1.2.1 AUSSENTEMPERATURVERLAUF

Im folgenden Diagramm sind die momentane Umgebungstemperatur (Tamb), die fortlaufend über 24 Stunden gemittelte Umgebungstemperatur (Ta24) und die Feuchtkugeltemperatur (Twb) über ein ganzes Jahr (Januar bis Dezember) dargestellt.

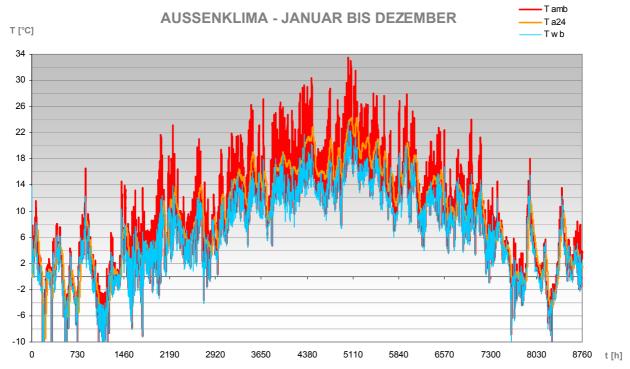


Abbildung 3 Aussenklima Januar bis Dezember

#### Statistische Auswertung

In den folgenden Tabellen sind die Anzahl Stunden im Jahr mit Aussentemperatur (Tamb) oberhalb bzw. unterhalb eines gewissen Niveaus dargestellt.

| Tamb <         | Stunden          |
|----------------|------------------|
| [°C]           | [h/a]            |
| 0              | 1162             |
| 5              | 2984             |
| 10             | 4737             |
| 15             | 6589             |
|                |                  |
| Tamb >         | Stunden          |
| Tamb ><br>[°C] | Stunden<br>[h/a] |
|                |                  |
| [°C]           | [h/a]            |
| [°C]           | [h/a]<br>13      |

Tabelle 2 statistische Auswertung der Aussentemperaturen



#### 2.1.2.2 TEMPERATURVERLAUF ERDREICH

Im folgenden Diagramm 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\_unbeheizt 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.

$$\mathcal{G}(z,t) = \mathcal{G}_m + \mathcal{G}_0 \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}}} \cdot \cos \left( \frac{2\pi}{T} \cdot t + \pi - z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}} \right)$$

Mit

|                         |                 | Erdreich |         | Unbeh | eizt  |
|-------------------------|-----------------|----------|---------|-------|-------|
| Mitteltemperatur        | $\vartheta_{m}$ | Tmg      | 11°C    | Tmu   | 18°C  |
| Amplitude               | $\vartheta_0$   | Tog      | 4°C     | Tou   | 2.5°C |
| Tiefe im Erdreich       | Z               | 2m       |         |       |       |
| Temperaturleitfähigkeit | а               | 0.0023   | 98 m2/h |       |       |
| Periodendauer           | Τ               | 8760 h   |         |       |       |

In der Simulation ist diese Formel mit jeweils unterschiedlichen Mitteltemperaturen und Amplituden einmal für die Randbedingung der Temperatur im Erdreich und für die Temperatur in unbeheizten Räumen eingesetzt worden.

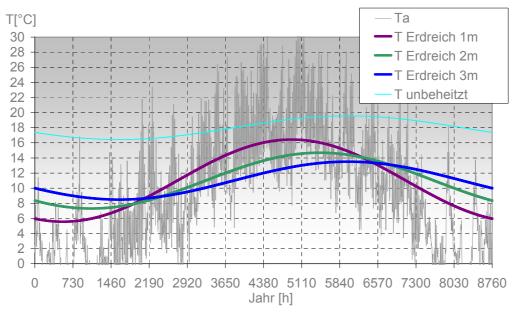


Abbildung 4 Temperatur Erdreich und unbeheizt



# 2.2 GEBÄUDEMODELLIERUNG

#### 2.2.1 **ZONEN**

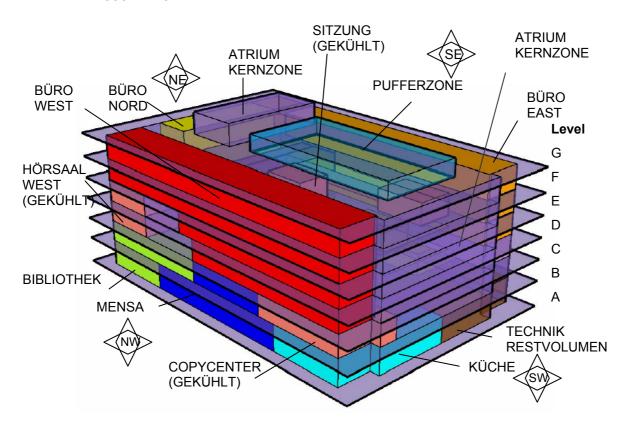
Bei der Zoneneinteilung wurden Bereiche zusammengefasst, die ähnliche interne und externe Lasten, ähnliche Benutzungsprofile, gleiche haustechnische Ausrüstung, sowie gleiche Komfortanforderungen haben. Zur Visualisierung und Kontrolle des Flächenauszuges wurde ein 3D-Modell mit SketchUp [8] erstellt.

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.

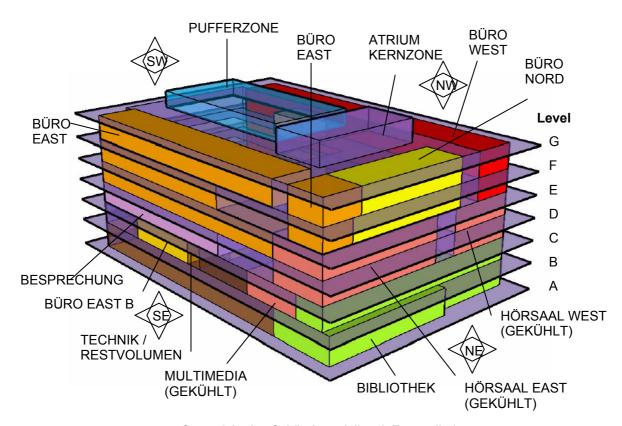
So wird das gesamte Modell Programmintern als Knotenmodel abgebildet. Die bei der Zonenbildung gemachten Vereinfachungen wie das Zusammenfassen grösserer Luftmassen zu einem Knoten und das Ersetzen der Wände durch U-Werte, und Wärmebrücken sowie eventuell g-Werte, reduzieren die Komplexität des Gesamtproblems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



#### 2.2.1.1 AUSSENANSICHTEN

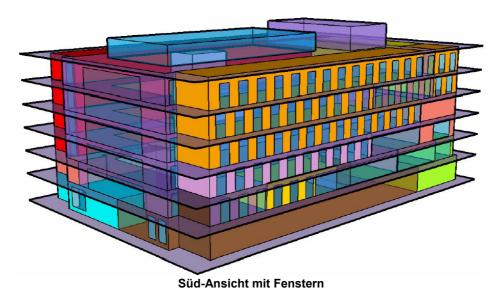


Westansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung

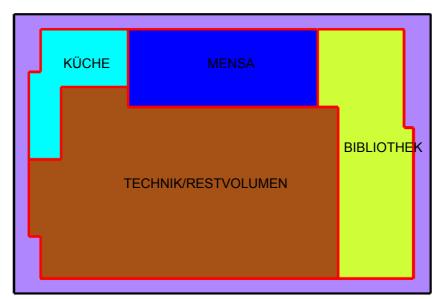


Ostansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung

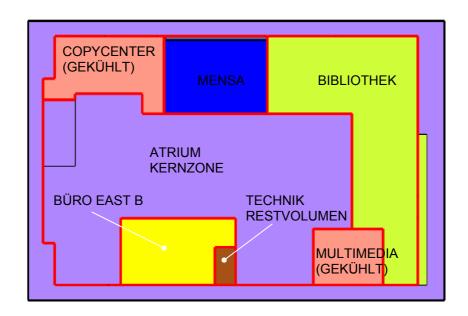




**2.2.1.2 GRUNDRISSE** Level A

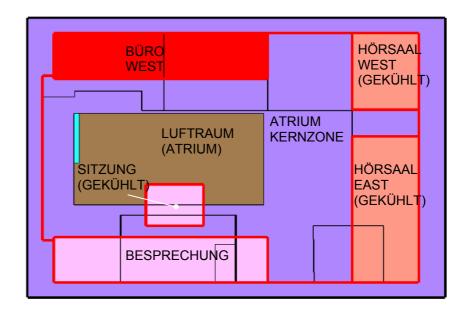


Level B

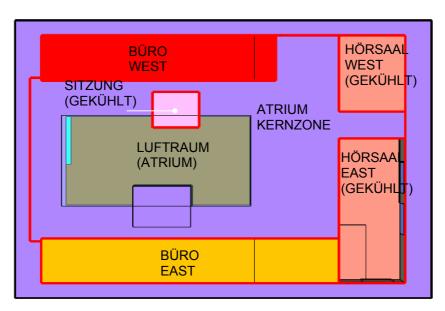




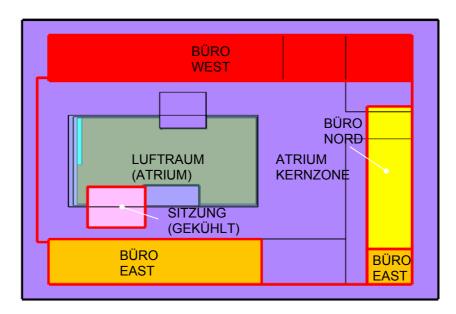
Level C



Level D

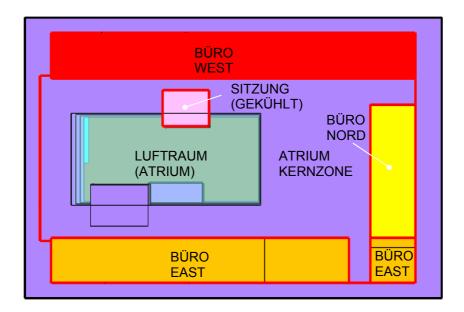


Level E

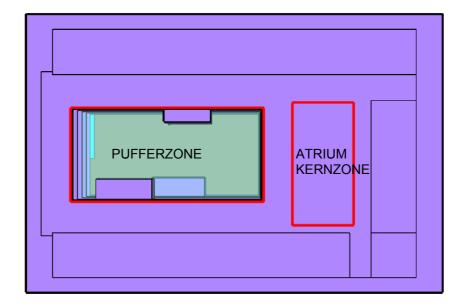




Level F



Level G





#### 2.2.1.3 FLÄCHEN UND VOLUMINA

Im Folgenden ist der Volumenauszug des FC nach Zonen zusammengestellt. Die Energiebezugsfläche EBF0 und EBF sind nach SIA380/1:2001 ermittelt.

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

| 1 Küche (A)             | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 129 m2<br>116 m2<br>497 m3<br>313 m3   | (fh = 1.28)<br>(= 129 x 0.9)<br>(= 129 x 3.85 m)<br>(= 116 x 2.7 m)        | EBF = 165 m2                |
|-------------------------|---|--|--|-----------------------------|
| 2 Mensa (A-B)           | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 250 m2<br>225 m2<br>1401 m3<br>1046 m3 | (fh = 1.87)<br>(= 250 x 0.9)<br>(= 250 x 3.85 m + 1<br>(= 225 x 2.7 m + 13 |                             |
| 3 Bibliothek (A-B)      | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 700 m2<br>630 m2<br>2458 m3<br>1701 m3 | (fh = 1.17)<br>(= 700 x 0.9)<br>(= 335 x 3.85 m + 3<br>(= 630 x 2.7 m)     | EBF = 819 m2<br>65 x 3.2 m) |
| 4 Technik/Restvol. (A-B | ) Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen | 911 m2<br>820 m2<br>3498 m3<br>2214 m3 | (fh = 1.28)<br>(= 911 x 0.9)<br>(= 897 x 3.85 m + 1<br>(= 820 x 2.7 m)     | EBF = 1163 m2<br>4 x 3.2 m) |
| 5 Copycenter (B)        | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 122 m2<br>110 m2<br>390 m3<br>297 m3   | (fh = 1.07)<br>(= 122 x 0.9)<br>(= 122 x 3.2 m)<br>(= 110 x 2.7 m)         | EBF = 130 m2                |
| 6 Büro East B (B)       | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 119 m2<br>107 m2<br>381 m3<br>289 m3   | (fh = 1.07)<br>(= 119 x 0.9)<br>(= 119 x 3.2 m)<br>(= 107 x 2.7 m)         | EBF = 127 m2                |
| 7 Multimedia (B)        | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 68 m2<br>61 m2<br>218 m3<br>165 m3     | (fh = 1.07)<br>(= 68 x 0.9)<br>(= 68 x 3.2 m)<br>(= 61 x 2.7 m)            | EBF = 73 m2                 |
| 8 Besprechung (C)       | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 165 m2<br>149 m2<br>528 m3<br>402 m3   | (fh = 1.07)<br>(= 165 x 0.9)<br>(= 165 x 3.2 m)<br>(= 149 x 2.7 m)         | EBF = 177 m2                |
| 9 Hörsaal East (C-D)    | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 166 m2<br>149 m2<br>1062 m3<br>879 m3  | (fh = 2.13)<br>(= 166 x 0.9)<br>(= 166 x 6.4 m)<br>(= 149 x (2.7+3.2) n    | EBF = 354 m2                |
| 10 Hörsaal West (C-D)   | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 174 m2<br>157 m2<br>557 m3<br>424 m3   | (fh = 1.07)<br>(= 174 x 0.9)<br>(= 174 x 3.2 m)<br>(= 157 x 2.7 m)         | EBF = 186 m2                |
| 11 Sitzung (C-F)        | Energiebezugsfläche E<br>Nettogeschossfläche N<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 140 m2<br>126 m2<br>448 m3<br>340 m3   | (fh = 1.07)<br>(= 140 x 0.9)<br>(= 140 x 3.2 m)<br>(= 126 x 2.7 m)         | EBF = 150 m2                |



| 12 Büro West (C-F)     | Energiebezugsfläche EBFo<br>Nettogeschossfläche NGF<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 909 m2<br>818 m2<br>2999 m3<br>2209 m3       | (fh = 1.10)<br>(= 909 x 0.9)<br>(= 628 x 3.2 m + 28)<br>(= 818 x 2.7 m) | EBF = 1001 m2<br>31 x 3.52 m) |
|------------------------|--|--|---|-------------------------------|
| 13 Büro East (D-F)     | Energiebezugsfläche EBFo<br>Nettogeschossfläche NGF<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 687 m2<br>618 m2<br>2283 m3<br>1669 m3       | (fh = 1.11)<br>(= 687 x 0.9)<br>(= 422 x 3.2 m + 26<br>(= 618 x 2.7 m)  | EBF = 762 m2<br>65 x 3.52 m)  |
| 14 Büro North (E-F)    | Energiebezugsfläche EBFo<br>Nettogeschossfläche NGF<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 213 m2<br>192 m2<br>715 m3<br>518 m3         | (fh = 1.12)<br>(= 213 x 0.9)<br>(= 110 x 3.2 m + 10<br>(= 192 x 2.7 m)  | EBF = 238 m2<br>03 x 3.52 m)  |
| 15 Atrium/Kernz. (B-G) | Energiebezugsfläche EBFo<br>Nettogeschossfläche NGF<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen   | 3485 m2<br>3137 m2<br>15'248 m3<br>12'665 m3 |   | EBF = 5349 m2                 |
| 16 Pufferzone (G)      | (Energiebezugsfläche EBFo<br>(Nettogeschossfläche NGF<br>Brutto-Volumen<br>Netto-Volumen | 315 m2)<br>284 m2)<br>788 m3<br>625 m3       | (fh = 1.00)<br>(= 315 x 0.9)<br>(= 315 x 2.5 m)<br>(= 284 x 2.2 m)      | EBF = 315 m2                  |
| Total                  | Energiebezugsfläche EBFo   | 8'238 m2                                     |   | EBF = <b>11'161 m2</b>        |

# **GEBÄUDE - AUSSENFLÄCHEN**

# **AUSSENFLÄCHEN**

| ZONE                 | AUSRICH | ITUNG     |           |         |       |       |        |       |        |        |     | BRUTTO  |
|----------------------|---------|-----------|-----------|---------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-----|---------|
|                      | NE      |           | N\        | W       | S     | W     | S      | E     | UNTEN  | ОВ     | EN  | VOLUMEN |
|                      | [m2     | !]        | [m        | 2]      | [m    | 12]   | [m     | 2]    | [m2]   | [m     | 2]  | [m3]    |
|                      | Opak    | F&T       | Opak      | F&T     | Opak  | F&T   | Opak   | F&T   | Opak   | Opak   | F&T |         |
| KÜCHE                | 0       | 0         | 50.1      | 14.8    | 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     |
| HÖHRSAAL EAST        | 122.2   | 22.2      | 0         | 0       | 0     | 0     | 55.7   | 11.1  | 0      | 0      | 0   | 1062    |
| HÖHRSAAL 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     |
| Total                | 741.9   | 163.9     | 1087.2    | 466.3   | 742.2 | 188.5 | 1087.1 | 385.6 | 1611.2 | 1611.3 | 315 | 33471   |
| Total Opake Elemente | 6881    |           |           |         |       |       |        |       |        |        |     |         |
| Total Aw             |         | (Fläche   | Fenster   | & Türen | ١     |       |        |       |        |        |     |         |
| TOTAL PART           | .010    | ,. 140116 | . 5115161 | u       | ,     |       |        |       |        |        |     |         |

# 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 3 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)] | cp [J/(kg K))] | ho [kg/m3] |
|--------------------------|---------------------|----------------|------------|
| 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 W/m2K

Boden zu Unbeheizt: FLO\_B\_U Boden zu unbeheizte Räume

6 cm Unterlagsboden 2 cm Trittschalldämmung

45 cm Stahlbeton U = 1.10 W/m2K

FLO\_B\_W Boden zu unbeheizte Räume

8 cm Unterlagsboden 45 cm Stahlbeton U = 2.37 W/m2K

Boden zu Intern: FLO I Boden zonenintern

6 cm Unterlagsboden 2 cm Trittschalldämmung

36 cm Stahlbeton U = 1.15 W/m2K

Boden zu Angrenzend: FLO\_A Boden zu angrenzende Zone

6 cm Unterlagsboden 2 cm Trittschalldämmung

36 cm Stahlbeton U = 1.15 W/m2K

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 W/m2K

**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 W/m2K

Wand zu Erdreich: WAL B S Betonwand mit Aussendämmung

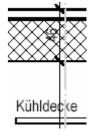
30 cm Stahlbeton 20 cm XPS (0034) U = 0.14 W/m2K

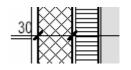
Wand zu Unbeheizt: WAL B U Betonwand zu unbeheizte Räume

30 cm Stahlbeton U = 3.26 W/m2K











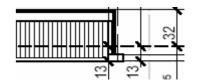


Wand zu Extern: WAL E Leichtbauwand zu Aussenluft

3 cm Grobspanplatte

30 cm Mineralwollplatte (0034)

6 cm Lattung U = 0.12 W/m2K



WAL E P Wand aus Paneele zu Aussenluft

3 cm Grobspanplatte

8 cm Mineralwollplatte (0034)

3 cm Grobspanplatte U = 0.30 W/m2K



2.5 cm Lehmplatte

14 cm Wärmedämmung (Inhomogen)

2.5 cm Lehmplatte U = 0.19 W/m2K



WAL\_I\_C Betonwand zonenintern

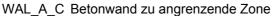
30 cm Stahlbeton U = 3.26 W/m2K

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/m2K



30 cm Stahlbeton U = 3.26 W/m2K



**Decke zu Intern:** CEI\_I Decke zonenintern

36 cm Stahlbeton

2 cm Trittschalldämmung 6 cm Unterlagsboden U = 1.15 W/m2K



**Decke zu Angrenzend:** CEI\_A Decke zu angrenzende Zone

36 cm Stahlbeton

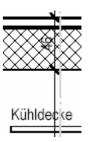
2 cm Trittschalldämmung 6 cm Unterlagsboden U = 1.15 W/m2K

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/m2K



**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/m2K



Dach zu Extern: ROO E Dach zu Aussenluft

36 cm Stahlbeton

32 cm Polyurethan (0034) 10 cm Rundkies (Schutzschicht)

U = 0.10 W/m2K

ROO E P Dach zu Aussenluft aus Paneele

3 cm Grobspanplatte

8 cm Mineralwollplatte (0034)

3 cm Grobspanplatte U = 0.30 W/m2K

Fenster zu Extern: WIN\_E\_G1 3-Fach Verglasung zu Aussenluft

Ug = 0.57 W/m2K (g = 0.43)

Uf = 1.00 W/m2K (Spacer: 0.04, Af/Aw = 0.36)

Uw = 0.86 W/m2K

WIN\_E\_G2 2-Fach Verglasung zu Aussenluft

Ug = 1.04 W/m2K (g = 0.48)

Uf = 1.20 W/m2K (Spacer: 0.04, Af/Aw = 0.25)

Uw = 1.24 W/m2K

WIN\_E\_G4 2-Fach Sonnenschutzverglasung zu Aussenluft

Ug = 1.04 W/m2K (g = 0.36)

Uf = 1.20 W/m2K (Spacer: 0.04, Af/Aw = 0.25)

Uw = 1.24 W/m2K

Fenster zu Angrenzend: WIN\_A\_G3 3-Fach Verglasung zu angrenzende Zone

Ug = 0.57 W/m2K (g = 0.43)

Uf = 1.00 W/m2K (Spacer: 0.04, Af/Aw = 0.36)

Uw = 0.86 W/m2K

WIN\_A 2-Fach Verglasung zu angrenzende Zone

Ug = 1.12 W/m2K (g = 0.59)

Uf = 1.40 W/M2K (Spacer: 0.07, Af/Aw = 0.25)

Uw = 1.47 W/m2K

# -----

#### **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

In der Simulation werden Wärmebrücken durch leicht erhöhte Bauteil – U-Werte berücksichtigt. Inwieweit sich dies mit der effektiven Ausführung deckt, wird in der Phase 2 "Detailbilanz" behandelt. 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 (Konvektiver Wärmeübergang, Infiltration)

#### **Interne Lasten**

- Personen
- Geräte
- Beleuchtung

# Aktive Gebäudetechnikelemente

- Heizung, Luftheizung, Nachtheizung
- Kühlung

Die externen Lasten wurden in Kapitel 2.1.2 diskutiert

#### 2.2.2.1 INTERNE LASTEN

Die internen Lasten wurden gemäss Planungsvereinbarung [4] [7] nach der SWKI Richtlinie 95-3 modelliert. Folgende Tabelle fasst die internen Wärmelasten sämtlicher Zonen zusammen.

#### **INTERNE LASTEN**

| ZONE                     | NGF Personen Geräte Beleuchtung |       | ng     | TOTAL    | TOTAL |        |          |       |        |          |          |         |
|--------------------------|---------------------------------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|----------|---------|
|                          | [m2]                            | [h/a] | [W/m2] | [MJ/m2a] | [h/a] | [W/m2] | [MJ/m2a] | [h/a] | [W/m2] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/a]  |
| KÜCHE                    | 116                             | 1470  | 8      | 42.3     | 1050  | 200    | 756.0    | 1890  | 8      | 54.4     | 852.8    | 98'921  |
| MENSA                    | 225                             | 630   | 58.5   | 132.7    | 1050  | 2      | 7.6      | 1470  | 10     | 52.9     | 193.2    | 43'461  |
| BIBLIOTHEK               | 630                             | 1000  | 6.5    | 23.4     | 1000  | 0      | 0.0      | 1800  | 10     | 64.8     | 88.2     | 55'566  |
| TECHNIK / RESTVOL.       | 820                             |       |        |          |       |        |          |       |        |          |          |         |
| COPYCENTER               | 110                             | 1260  | 4      | 18.1     | 1260  | 15     | 68.0     | 2310  | 9      | 74.8     | 161.0    | 17'713  |
| BÜRO EAST B              | 107                             | 1260  | 5      | 22.7     | 1260  | 7      | 31.8     | 2310  | 11     | 91.5     | 145.9    | 15'612  |
| MULTIMEDIA               | 61                              | 840   | 23.5   | 71.1     | 840   | 2      | 6.0      | 1260  | 11     | 49.9     | 127.0    | 7'747   |
| BESPRECHUNG              | 149                             | 840   | 23.5   | 71.1     | 840   | 2      | 6.0      | 1260  | 11     | 49.9     | 127.0    | 18'924  |
| HÖHRSAAL EAST            | 149                             | 615   | 70     | 155.0    | 615   | 4      | 8.9      | 1025  | 12     | 44.3     | 208.1    | 31'009  |
| HÖHRSAAL WEST            | 157                             | 615   | 70     | 155.0    | 615   | 4      | 8.9      | 1025  | 12     | 44.3     | 208.1    | 32'674  |
| SITZUNG                  | 126                             | 840   | 23.5   | 71.1     | 840   | 2      | 6.0      | 1260  | 11     | 49.9     | 127.0    | 16'003  |
| BÜRO WEST                | 818                             | 1260  | 5      | 22.7     | 1260  | 7      | 31.8     | 2310  | 11     | 91.5     | 145.9    | 119'353 |
| BÜRO EAST                | 618                             | 1260  | 5      | 22.7     | 1260  | 7      | 31.8     | 2310  | 11     | 91.5     | 145.9    | 90'171  |
| BÜRO NORD                | 192                             | 1260  | 5      | 22.7     | 1260  | 7      | 31.8     | 2310  | 11     | 91.5     | 145.9    | 28'014  |
| ATRIUM / KERNZONE        | 3'137                           |       |        |          |       |        |          |       |        |          |          |         |
| FC GESAMT (bez. auf NGF) | 7'415                           |       |        | 21.9     |       |        | 21.1     |       |        | 34.6     | 77.6     | 575'169 |

|              | [m2]   | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] | [MJ/m2a] [MJ/m2a] |  |
|--------------|--------|----------|----------|-------------------|--|
| bez auf EBF0 | 8'238  | 19.7     | 19.0     | 31.1 69.8         |  |
| bez. auf EBF | 11'161 | 14.5     | 14.0     | 23.0 51.5         |  |

#### Tabelle 4 Interne Lasten

Der spezifische Jahresenergieeintrag durch interne Lasten in [MJ/m2a] wurde anhand der Leistung Spitzenlast pro Quadratmeter mal Volllaststunden pro Jahr nach SWKI Richtlinie 95-3 berechnet. Die Anzahl Volllaststunden berücksichtigt dabei Nichtarbeitswochentage während der Arbeitswochen.

Die einzelnen Zonen mit den jeweiligen Annahmen nach SWKI 95-3 sowie weitere Zonenspezifische Angaben sind im Anhang 2 Interne Lasten aufgelistet.

| Triang 2 interne Lasterradige |       |       |          |       | mittlere |
|-------------------------------|-------|-------|----------|-------|----------|
| ZONE                          | NGF   |       | Personer | า     | Personen |
|                               | [m2]  | [h/d] | [m2/p]   | [p]   | [Pers]   |
| 1 KÜCHE                       | 116   | 7     | 10       | 11.6  | 3.4      |
| 2 MENSA                       | 225   | 3     | 1.2      | 187.5 | 23.4     |
| 3 BIBLIOTHEK                  | 630   | 5     | 12       | 52.5  | 10.9     |
| 4 TECHNIK / RESTVOL.          | 820   |       |          |       | 0.0      |
| 5 COPYCENTER                  | 110   | 6     | 18       | 6.1   | 1.5      |
| 6 BÜRO EAST B                 | 107   | 6     | 14       | 7.6   | 1.9      |
| 7 MULTIMEDIA                  | 61    | 4     | 4        | 15.3  | 2.5      |
| 8 BESPRECHUNG                 | 149   | 4     | 3        | 49.7  | 8.3      |
| 9 HÖHRSAAL EAST               | 149   | 6     | 1        | 149.0 | 37.3     |
| 10 HÖHRSAAL WEST              | 157   | 6     | 1        | 157.0 | 39.3     |
| 11 SITZUNG                    | 126   | 4     | 3        | 42.0  | 7.0      |
| 12 BÜRO WEST                  | 818   | 6     | 14       | 58.4  | 14.6     |
| 13 BÜRO EAST                  | 618   | 6     | 14       | 44.1  | 11.0     |
| 14 BÜRO NORD                  | 192   | 6     | 14       | 13.7  | 3.4      |
| 15 ATRIUM / KERNZONE          | 3'137 | 6     | 31       | 101.2 | 25.3     |
| FC GESAMT (bez. auf NGF)      | 7'415 |       |          |       | 190      |

#### Tabelle 5 mittlere geplante Personenzahl

In Tabelle 5 sind die Planungswerte zur Anzahl Personen zusammengestellt. Im Mittel befinden sich an einem Arbeitstag 190 Personen im Gebäude.



#### 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).

| ZONE                 | NGF   | Heizung      | spez. Leist. | Kühlung      | spez. Leist. | Nachtheiz. | Luftkühl. | Nachtkühl. |
|----------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|-----------|------------|
|                      |       | (Heizkörper) |              | (Kühldecken) |              | (Lüftung)  | (Lüftung) | (Lüftungs- |
|                      |       |              |              |              |              |            |           | klappen)   |
|                      | [m2]  | [W]          | [W/m2]       | [W]          | [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   | 650          | 6            | 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 HÖHRSAAL EAST      | 149   | 0            | 0            | 8'886        | 60           | Ja         | Ja        | Nein       |
| 10 HÖHRSAAL 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 | 0            | 0            | 0            | 0            | Ja         | Nein      | Ja         |
| 16 PUFFERZONE        | 0     | 0            | 0            | 0            | 0            | Nein       | Nein      | Nein       |
| ТОТ                  | 7'415 | 8'071        | 1            | 36'926       | 5            |            |           |            |

Tabelle 6 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**

| 70115               | EBFo  | Netto-          | ZUL    | ABL    | V mittel | V0     | $\eta_{\triangledown}$ | β     | V'th <sub>mech_läuft</sub> | V'th <sub>inf</sub> | V'th     |
|---------------------|-------|-----------------|--------|--------|----------|--------|------------------------|-------|----------------------------|---------------------|----------|
| ZONE                | [m2]  | Volumen<br>[m3] | [m3/h] | [m3/h] | [m3/h]   | [m3/h] | [1]                    | [h/h] | [m3/m2h]                   | [m3/m2h]            | [m3/m2h] |
| 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                   | 0.09  | 3.25                       | 0.21                | 0.50     |
| 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             | 330    | 280    | 305      | 14.85  | 0.75                   | 0.36  | 0.63                       | 0.12                | 0.34     |
| 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     |
| HÖHRSAAL EAST       | 166   | 879             | 3'000  | 2'640  | 2'820    | 43.95  | 0.75                   | 0.18  | 4.25                       | 0.26                | 1.02     |
| HÖHRSAAL WEST       | 174   | 424             | 2'000  | 1'760  | 1'880    | 21.20  | 0.75                   | 0.18  | 2.70                       | 0.12                | 0.60     |
| SITZUNG             | 140   | 340             | 1'750  | 1'750  | 1'750    | 17.00  | 0.75                   | 0.12  | 3.13                       | 0.12                | 0.49     |
| 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     |
| TOT bez. Mittelwert | 7'327 | 23'542          | 27'680 | 26'880 | 27'280   | 1'177  |                        |       |                            | 0.16                | 0.35     |

V mittel Mittelwert von ZUL und ABL

V'th thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom

| ANLAGE                          | EBFo  | Netto-<br>Volumen | ZUL    | ABL    | V mittel | V      | V'th_LUE |
|---------------------------------|-------|-------------------|--------|--------|----------|--------|----------|
|                                 | [m2]  | [m3]              | [m3/h] | [m3/h] | [m3/h]   | [m3/h] | [m3/m2h] |
| 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              | 2315   | 2005   | 2160     | 193    | 0.19     |
| LUE04 (MEN)                     | 250   | 1046              | 3750   | 2750   | 3250     | 73     | 0.29     |
| LUE05 (KUE)                     | 129   | 313               | 5900   | 6900   | 6400     | 333    | 2.58     |
| KLI01 (BIB, MUL, HOE, HOW, SIT) | 1248  | 3509              | 8390   | 7685   | 8037.5   | 404    | 0.32     |
| тот                             | 7'327 | 23'542            | 27'680 | 26'880 | 27'280   | 1410   | 0.19     |

V thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom der Lüftungsanlagen

Tabelle 7 Lüftungsanlagen

V0 Volumenstrom infolge Gebäudedurchlässigkeit bei ausgeschalteter Lüftung

 $<sup>\</sup>eta_{
m V}$  ist der WRG Wirkungsgrad

 $<sup>\</sup>beta$  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\_LUE spezifischer thermisch relevanter Aussenluftvolumenstrom der Lüftungsanlagen



CONSTANT

PUF

VON

625

0

#### 2.2.2.4 LUFTSRÖMUNGEN 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 Kueche wird mit der Belegung der Mensa gewichtet, der Austausch des Atriums mit der Belegung der jeweils anderen Zone).

| 00110   |          |       |         |       |       |        |        |        |        |        |         |     |     |     |     |     |      |
|---------|----------|-------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| (Grundu | undichte | verur | sacht ( | durch | spora | dische | s Türe | n-öffn | en, us | w., 24 | h, 7 Ta | ge) |     |     |     |     | 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     |          | -     | -       |       | -     |        | -      |        |        | -      | •       |     | •   |     |     |     |      |

| SCHE  | DULE   |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |       |     |       |     |
|-------|--------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-----|-------|-----|
| 1 3 1 |        |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     | 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   |

Tabelle 8 Luftströmungen zwischen den Zonen

0

0

0

0

0

0

0

0

#### 2.2.2.5 INFILTRATION MIT AUSSENKLIMA

0

0

0

0

0

0

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 m3/m2h (EBFo) entspricht.



# 2.3 BAU- UND TECHNIKELEMENTE

# 2.3.1 LÜFTUNG

Simulationstechnisch beinhaltet die Lüftung folgende Elemente:

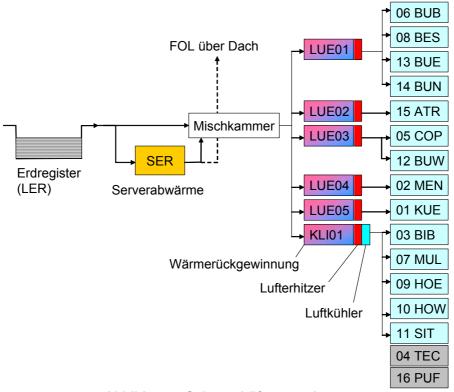


Abbildung 5 Schema Lüftungsanlagen

#### 2.3.1.1 ERDREGISTER

Durch das Erdregister wird die Temperatur der Aussenluft im Winter erhöht und im Sommer abgesenkt. Dies wurde mit einer einfachen Geraden als Übertragungsfunktion modelliert. Die Gerade wurde so gelegt, dass aus dem Erdregister eher hohe Temperaturen kommen, um für den Kühlfall auf der sicheren Seite zu sein. Im Heizfall wird eine geringere Leistung des Erdregisters durch eine bessere Ausnutzung der Serverabwärme sowie der Wärmerückgewinnung abgefedert. In diesem Stadium wird das Erdregister stark vereinfacht dargestellt und die Resultate verglichen mit dem Fall wenn das Erdregister entfällt. So kann der Einflussbereich des Erdregisters aufgezeigt werden.

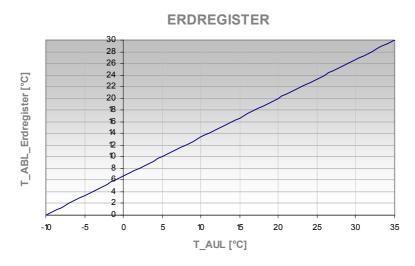


Abbildung 6 Übertragungsfunktion Erdregister



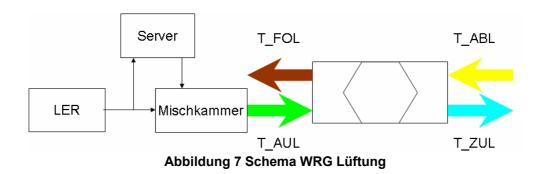
#### 2.3.1.2 SERVERABWÄRME

Die Abwärme des Serverraums kann in den kalten Monaten für die Vorwärmung der zugeführten Luft verwendet werden. Die Leistung dieser Abwärme liegt bei 16 kW und darf die Luft auf maximal 20 °C (tiefster Sollwert Lüftungsanlagen) erwärmen.

#### 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 (ZUL) wurde durch die folgende Funktion modelliert:

T\_ZUL=T\_AUL + (T\_ABL - T\_AUL) x Eta\_WRG



Eta\_WRG ist der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung, hier mit 0.75 angenommen. Der Wärmeaustausch wird so betrieben, dass die maximale Energiemenge zurück gewonnen wird ohne, dass sich die Zuluft auf unnötig hohe Temperaturen vorwärmt. Damit es zu keiner unnötigen Überhitzung kommt, wird zum Beispiel im Winter der Küche Zuluft bei 20 °C zugeführt, auch wenn höhere Rückgewinnungsgrade möglich wären.

#### 2.3.1.4 LUFTERHITZER

Der Lufterhitzer bringt die Lufttemperatur auf das erwünschte Niveau von 20 °C falls die vorgeschalteten Einrichtungen (Erdregister, Serverraum und Wärmerückgewinnung) nicht ausreichend sind.

#### 2.3.1.5 LUFTKÜHLER

Folgende Zonen sind an der Klimaanlage KLI 01 angeschlossen. Die Klimakälte wird ab dem EMPA Arealkältenetz bezogen.

Bibliothek Multimedia Hörsaal East

Hörsaal West Sitzung

Der Luftkühler bringt die Zulufttemperatur auf ein Niveau von 26.5 °C hinunter. Aufgrund des Lufterdwärmeregisters sind für den Luftkühler minimale Laufzeiten zu erwarten.



#### 2.3.1.6 NACHTHEIZUNG

Über die Lüftungsanlagen kann im Winter geheizt werden. Die Nachtheizung wird lediglich in den Zonen ohne Heizkörper (1. bis 4. OG und Atrium) aktiv. Ist die Lüftungsanlage im Nachtheizbetrieb können die Zonen einzeln über die Lüftungsklappen zu- und weggeschaltet werden.

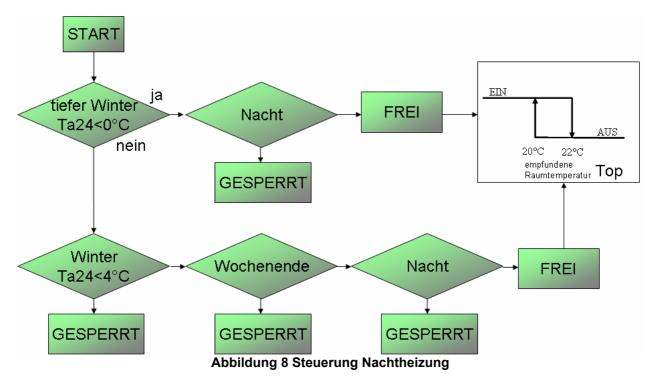
Besprechung Hörsaal East Hörsaal West Sitzung Büro West Büro East

Büro Nord Atrium

Im Nachtheizungszustand laufen die Lüftungsanlagen im reinen Umluftmodus mit einer Zulufttemperatur von 30°C. Ta24 ist der gleitende Mittelwert der Aussenlufttemperatur über 24 Stunden. Untenstehendes Schema zeigt die Steuerung der Nachtheizung. Die Abfragen sind wie folgt definiert.

Winter  $0^{\circ}$ C<Ta24<4 $^{\circ}$ C tiefer Winter Ta24<0 $^{\circ}$ C Nacht 22:00 – 07:00

Wochtenende Samstag und Sonntag





# 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.

MensaBibliothekCopycenterBüro East BBesprechungHörsaal WestBüro WestBüro EastBüro NordAtrium

Die Nachtauskühlung ist über die momentane Aussentemperatur (Ta), die mittlere Aussentemperatur über 24 Stunden (Ta24) sowie die Lufttemperatur der Zone (Tair) und die empfundene Raumtemperatur (Top) gesteuert. Das Schema zeigt wann die Nachtauskühlung aktiviert wird. Nacht ist von 22:00 bis 07:00.

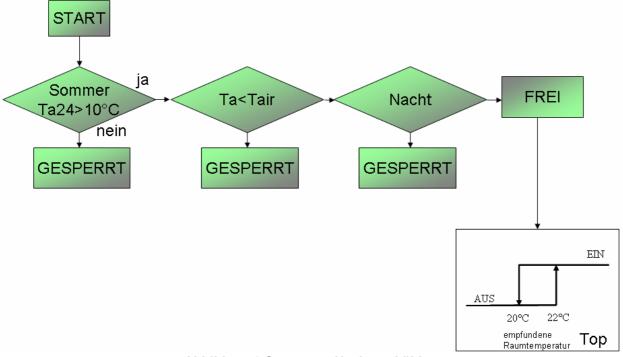


Abbildung 9 Steuerung Nachtauskühlung



#### 2.3.3 HEIZUNG

Einige Zonen im UG und EG sind mit Heizkörpern ausgestattet. Die Zonen und Leistungen sind in Tabelle 6 auf Seite 18 aufgelistet. Die Heizkörper sind mit Thermostatventilen ausgerüstet. Modelliert wurden die Heizkörper durch eine definierte Leistung [11], 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).

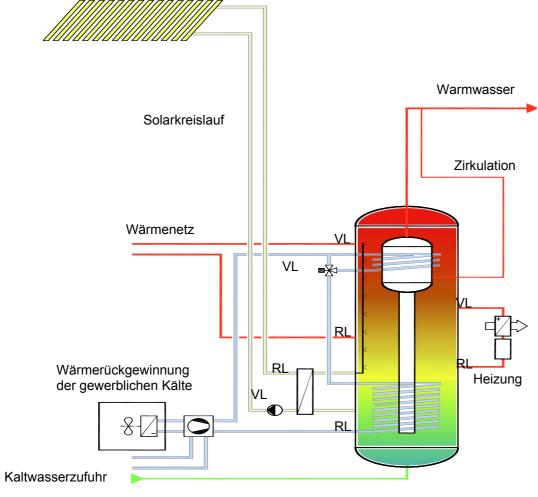


Abbildung 10 effektiver Speicheraufbau

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.

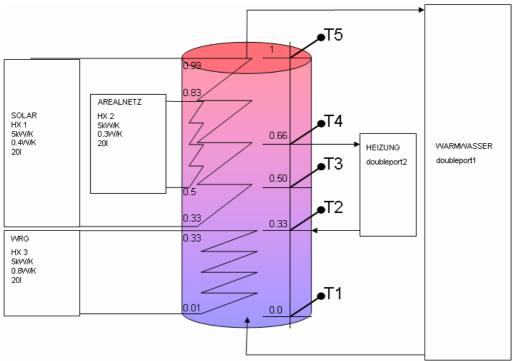
Bei der **Wärmerückgewinnung** der gewerblichen Kälte wird die Wärme auf zwei Temperaturniveaus abgegeben. Eine kleinere Menge fällt an durch die Enthitzer der Kühlaggregate und wird auf einem hohen Temperaturniveau im oberen Bereich des Speichers eingegeben. Der grösste Anteil an Wärme fällt bei tieferem Temperaturniveau 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 Planung 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 11 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 Speicher Volumen Wärmekap. Speicherfluid Dichte Speicherfluid Leitfähigkeit im Speicher Anfangstemp. Speicher Verlustfaktor Speicherboden Verlustfaktor Speicherdeckel Verlustfaktor Mantel | 4 m<br>13 m3<br>4.187 kJ/kgK<br>1'000 kg/m3<br>0.62 W/mK<br>40 °C<br>0.8 W/K<br>0.8 W/K |  |
|---|---|--|
| Rel. Höhe Eingang 1<br>Rel. Höhe Ausgang 1<br>Rel. Höhe Eingang 2<br>Rel. Höhe Ausgang 2  | 0.00<br>1.00<br>0.33<br>0.66  | Höhe im Speicher des Kaltwassereingangs<br>Höhe im Speicher des Warmwasserausgangs<br>Höhe im Speicher des Heizungswassereingangs<br>Höhe im Speicher des Heizungswasserausgangs |
| Rel. Höhe Ein. WT 1<br>Rel. Höhe Aus. WT 1<br>Volumen WT 1<br>Wärmekap. WT 1-Fluids<br>Dichte WT 1-Fluids<br>Verlustfakt. WT 1  | 0.99<br>0.33<br>0.02 m3<br>3.580 kJ/kgK<br>1'044 kg/m3<br>0.3 W/K                       | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der Solaranlage<br>Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der Solaranlage<br>Inhalt des Wärmetauschers der Solaranlage<br>Verlust WT 1 an die Umgebung  |
| Rel. Höhe Ein. WT 2<br>Rel. Höhe Aus. WT 2<br>Volumen WT 2<br>Wärmekap. WT 2-Fluids<br>Dichte WT 2-Fluids<br>Verlustfakt. WT 2  | 0.83<br>0.50<br>0.02 m3<br>4.187 kJ/kgK<br>1'000 kg/m3<br>0.4 W/K                       | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der Wärmenetzes<br>Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der Wärmenetzes<br>Inhalt des Wärmetauschers des Wärmenetzes<br>Verlust WT 2 an die Umgebung  |
| Rel. Höhe Ein. WT 3<br>Rel. Höhe Aus. WT 3<br>Volumen WT 3<br>Wärmekap. WT 3-Fluids<br>Dichte WT 3-Fluids<br>Verlustfakt. WT 1  | 0.33<br>0.01<br>0.02 m3<br>4.187 kJ/kgK<br>1'000 kg/m3<br>0.8 W/K                       | Höhe des Wärmetauscher-Eingangs der WRG Höhe des Wärmetauscher-Ausgangs der WRG Inhalt des Wärmetauschers der WRG  Verlust WT 3 an die Umgebung                                  |

# Fühlerhöhen Temperaturfühler

| 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 |

.83

0.6

0.50

0.33

0.0

AREALNET2



#### 2.3.3.2 SOLARANLAGE

Die Solaranlage weist folgende Charakteristik auf:

Kollektortyp Hoval Solkit Mazdon Vakuumröhrenkollektor der Firma Hoval

Absorberfläche 42 m2 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 Vorlaufleitungen ausserhalb des bzw. im Gebäude

20 m + 40 m Rücklaufleitungen ausserhalb des bzw. im Gebäude

54mm Rohraussendurchmesser

1.5 Rohrwandstärke

50 mm Wärmedämmstärke Rohr

Pumpe 21 l/hm2 Spez. Durchsatz in Liter pro Stunde und Absorberfläche

180 W Pumpenleistung

7 % Leistungsabgabe der Pumpe an Wärmeträger

Wärmeträger 40 % Glykolanteil

1'045 kg/m3 Dichte

3.58 kJ/kgK Spez. Wärmekapazität

#### Regelung

Pumpe EIN Temperaturunterschied zw. Kollektoraustritt und Wärmetauscher-1-Austritt > 8 K Pumpe AUS Temperaturunterschied zw. Kollektoraustritt 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

# Speichernachheizung

Pumpe EIN Temperatur Fühler 4 < 60 °C Pumpe AUS Temperatur Fühler 3 > 65 °C

Speicherrückkühlung

Pumpe EIN Temperatur Fühler 3 > 67 °C Pumpe AUS Temperatur Fühler 4 < 65 °C

#### 2.3.3.4 WÄRMERÜCKGEWINNUNG DER GEWERBLICHEN KÄLTE

Die Wärmerückgewinnung wurde folgendermassen modelliert:

Abwärme 12.1 kW Leistung der Abwärme aus der gewerblichen Kälte

36 °C Vorlauftemperatur aus der gewerblichen Kälte

Tagesprofil 2-3, 6-9, 10-13, 18-19 Tageszeiten an denen Abwärme (bei Volllast) 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

Mit der Bauherrschaft wurde folgendes vereinbart [10]:

Warmwasserbedarf 1'465 l/d Liter pro Tag Zeitliche Einteilung 5 d/w Tage in der Woche

Januar bis Dezember Das ganze Jahr hindurch derselbe Bedarf

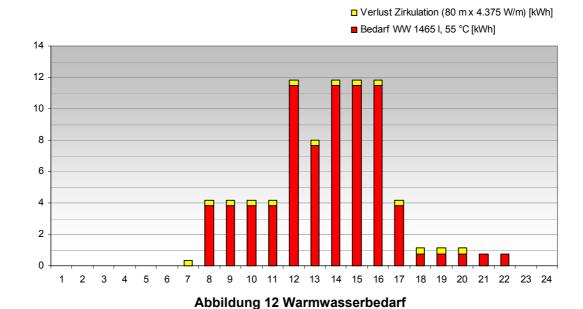
Tagesprofil Siehe Diagramm

Temperatur 55 °C Warmwasser 10 °C Kaltwasser

Zirkulation 80 m x 4.375 W/m Zwischen 6 Uhr und 20 Uhr

Totale Energiemenge 81.6 kWh/d Täglicher Energiebedarf für Warmwasser

ca. 21'300 kWh/a Jährlicher Energiebedarf für Warmwasser





# 2.3.4 KÜHLUNG

Folgende Zonen sind mit einer Kühldecke ausgestattet. Die Kühlleistungen sind aus Tabelle 6 (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.

#### 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.

#### 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 (Ta24) unter 10 °C) ist der Sonnenschutz immer ausgeschaltet (max. Solargewinne). Während dieser Periode garantiert ein innen liegender Blendschutz ein ausgewogenes Lichtverhältnis im Gebäude.

#### Winter (Ta24 < 10 °C)

Sonnenschutz EIN bei I\_tot > 9E9 W/m2 Sonnenschutz AUS bei I\_tot < 9E9 W/m2

Während den Übergangsperioden (Ta24 zw. 10 und 15 °C) geht die Fassade nur bei starker Sonneneinstrahlung in den Modus "Sonnenschutz":

#### Übergang (Ta24 zw. 10 °C und 15 °C)

Sonnenschutz EIN bei I\_tot > 300 W/m2 Sonnenschutz AUS bei I\_tot < 120 W/m2

Während der Sommerperiode (Ta24 über 15 °C) muss als Überhitzungsschutz schon bei tieferen Strahlungswerten in den Sonnenschutz-Modus geschaltet weden. :

#### **Sommer (Ta24 > 15°C)**

Sonnenschutz EIN bei I\_tot > 140 W/m2 Sonnenschutz AUS bei I\_tot < 120 W/m2



#### 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 Tair > 45  $^{\circ}$ C Klappen ZU bei Tair < 40  $^{\circ}$ C



# 3 RESULTATE

# 3.1 TEMPERATUREN

Mit den Resultaten der thermischen Simulationen ist es möglich Aussagen zu den **empfundenen Raumtemperaturen** in jeder einzelnen Zone des Bürogebäudes Forum Chriesbach zu machen.

Bei dieser Analyse sind die Zonen **Büro**, **Hörsaal**, **Besprechung und Sitzungszimmer** von besonderer Bedeutung. Die empfundenen Raumtemperaturen dürfen im Winter **nicht unter 20** °C fallen, was besonders bei den Büroräumen kritisch sein könnte, da diese über keine Heizkörper verfügen und lediglich mittels Lüftungsanlage beheizt werden können.

Die empfundenen Raumtemperaturen in diesen Zonen dürfen ebenfalls die Komfortgrenze nach SIA von **26.5 °C nicht überschreiten**. Dies ist insbesondere in den Räumen mit hohen internen Lasten wie Hörsaal und Sitzungszimmer genau zu untersuchen.

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).

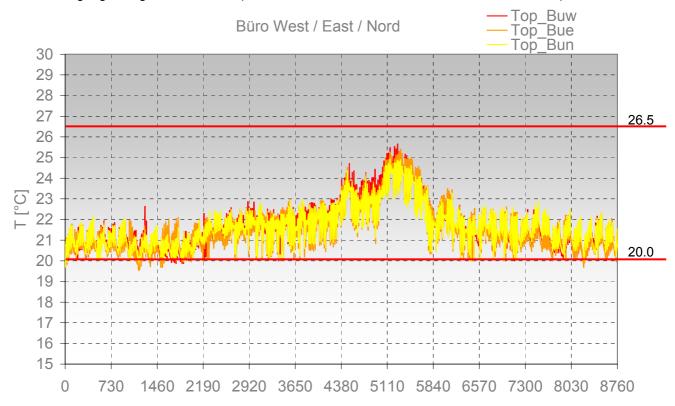


Abbildung 13 Jahrestemperaturverlauf Büro West / East / Nord

Die Temperaturen liegen im Winter und im Sommer **innerhalb der Komfortgrenzen**, wobei im Winterhalbjahr die Temperatur in der Nacht mehrmals auf 20 °C sinkt.



# 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).

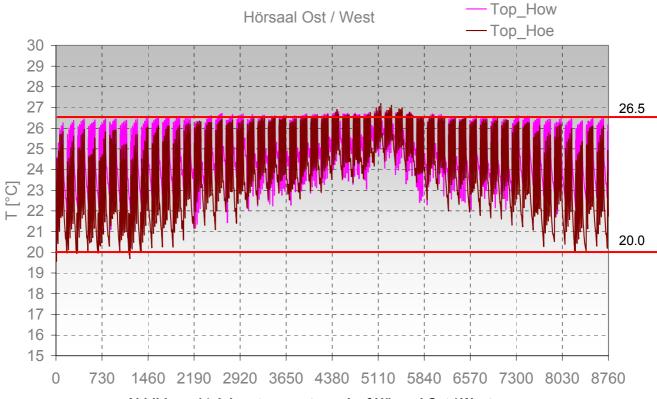


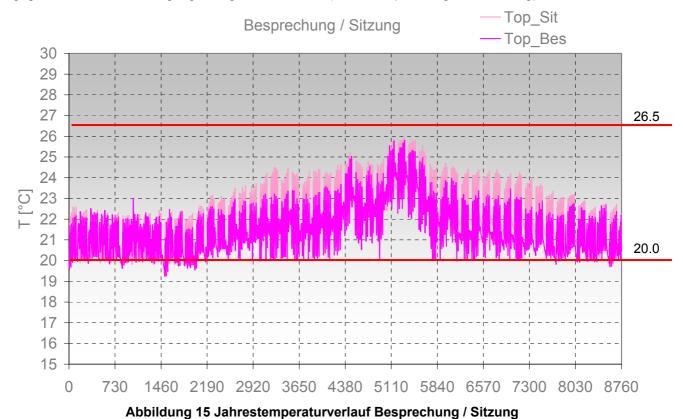
Abbildung 14 Jahrestemperaturverlauf Hörsaal Ost / West

Die Temperaturen im grossen Hörsaal (Hoe) kommen im Winter nie in den kritischen Bereich. In den zwei kleineren Hörsaalen im Westen (How) steigen die Temperaturen auch im Winter bis in den Bereich der Komfortgrenze. Die empfundenen Raumtemperaturen liegen dank der aktiven Kühlung auch im Sommer praktisch immer **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).

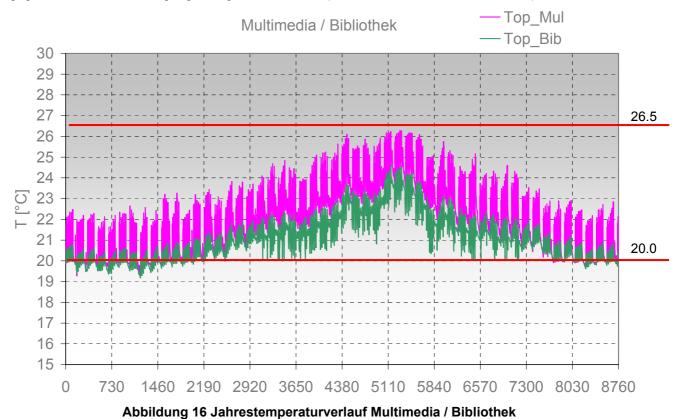


Auch in den Zonen Besprechung und Sitzung bleiben die empfundenen Raumtemperaturen über das ganze Jahr praktisch immer **innerhalb der Komfortgrenzen**, wobei die Temperatur im Winterhalbjahr in der Nacht mehrmals auf 20 °C und selten auch darunter fällt.



#### 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).



Obwohl in diesen zwei Zonen Heizkörper vorhanden sind fallen die empfundenen Raumtemperaturen im Winter **leicht unter die 20 °C** Marke. Das deutet auf eine Unterdimensionierung der Wärmeabgabesystems bei gegebenen Rahmenbedingungen. Mithilfe der Kühldecken steigt die Temperatur im Multimediaraum trotz den hohen internen Wärmelasten auch im Sommer **nie über die Komfortgrenze**.

Die Bibliothek hat wie das Büro B eine grosse Kontaktfläche zu den unbeheizten Bereichen. In der Simulation wurde die Temperatur der unbeheizten Räume eher zu kühl angenommen. Eine Darstellung der Auswirkungen ist bei der Zone Büro B zu finden.



## 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).

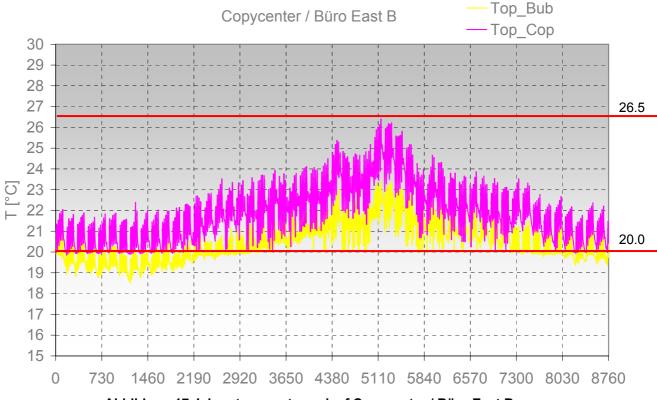
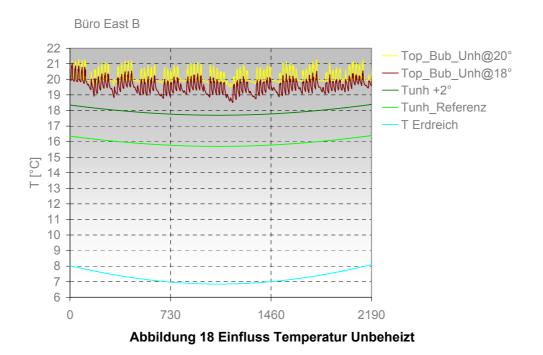


Abbildung 17 Jahrestemperaturverlauf Copycenter / Büro East B

Obwohl in diesen zwei Zonen Heizkörper vorhanden sind fallen die empfundenen Raumtemperaturen im Büro (Empfang) beim Eingang im Winter **unter die 20 °C** Marke. Der Empfang ist umgeben vom Atrium und von den Technikzonen die im Winter tiefere Temperaturen aufweisen.

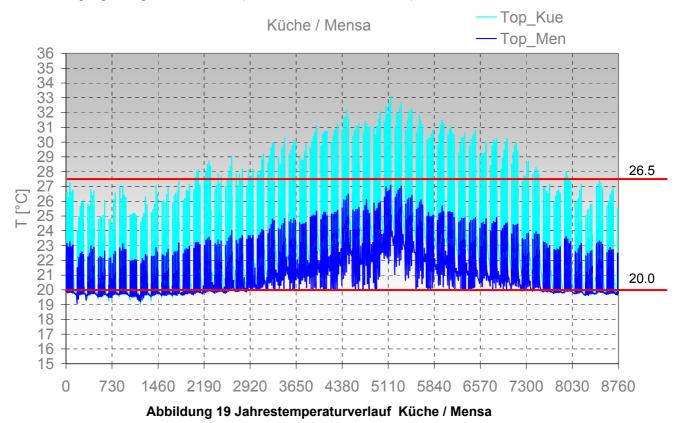
Die Temperatur der unbeheizten Räume unter dem Büro East B (T\_unh) wurde auf Seite 5 behandelt. Die Folgende Abbildung zeigt den Einfluss der Annahme, dass die unbeheizten Räume im Mittel bei 20°C(anstatt 18°C) liegen (mit 5K Jahresschwankung). Gerade für die Zone Büro East B ist dieser Einfluss sehr deutlich.





## 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).

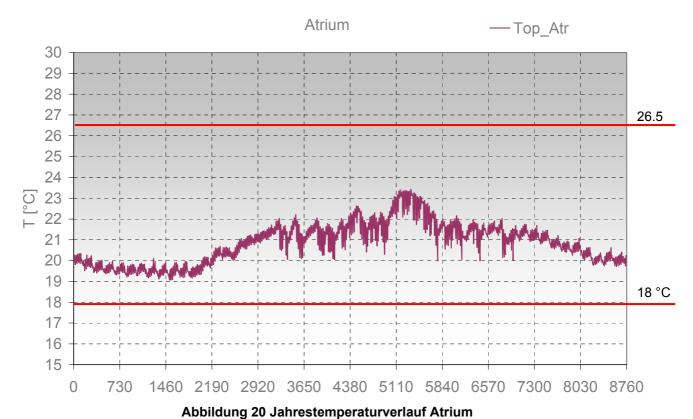


In diesen beiden Zonen wird die **Komfortgrenze** im Winter wie Sommer **leicht überschritten**. Speziell in der **Küche** steigen die Temperaturen bei hohen Aussenlufttemperaturen im Sommer auf Werte **über 30** °C an. In der Planungsphase wurde diese Überschreitung diskutiert und von der Bauherrschaft 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** im **zwischen 19 und 23.5 °C** sind die Bedingungen problemlos erfüllt. Die geringen Schwankungen sind durch die 5-fach-Verglasung mit innenliegender durchlüfteter Beschattung, sowie durch geringe interne Lasten zu erklären.



O:\07085\Arbeiten\04\_Bericht\_Phase1\090116\_BerichtFC\_ohne Anhang.doc



## 3.1.8 PUFFERRAUM

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

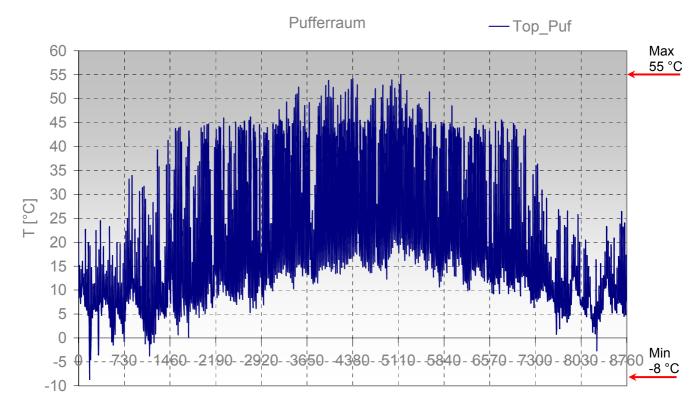


Abbildung 21 Jahrestemperaturverlauf Pufferraum

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



# 3.2 HEIZ- UND KÜHLBEDARF

Zur Überprüfung mit herkömmlichen Berechnungsmethoden wurde eine Vergleichsrechnung nach 380/1:2001 durchgeführt. Im Folgenden werden die Vergleichswerte nach 380/1, entsprechende Grenzwerte und Simulationsresultate verglichen.

Energiebezugsfläche unkorrigiert EBFo = 8'238 m2 Energiebezugsfläche korrigiert EBF = 11'161 m2

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 m3/hm2)

Grenzwert Neubau 128 MJ/m2a Gesetzlicher Grenzwert Hg (Verwaltungsneubau)

Minergie-Grenzwert 102 MJ/m2a 80% Hg (Primäranforderung Minergie) FC nach 380/1 FC nach 380/1 mit red. QE0 =60MJ/m2a

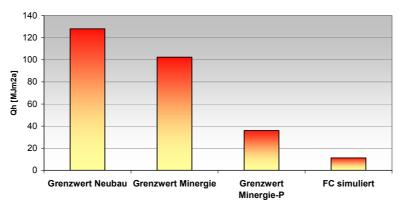
QE0 bezeichnet Elektroverbrauch. Standard: 80MJ/m2a

Mit thermischem Aussenluftvolumenstrom nach Minergie (V.th = 0.32 m2/m2h)

Minergie-P-Grenzwert 36 MJ/m2a Primäranforderung Minergie-P FC nach 380/1:2001 33 MJ/m2a FC nach 380/1 mit QE0 =60MJ/m2a

FC simuliert 16 MJ/m2a Heizwärmebedarf simuliert ohne Lufterdwärmeregister und Server. FC simuliert 11 MJ/m2a Heizwärmebedarf simuliert mit Lufterdwärmeregister und Server.

#### Vergleich Heizenergiebedarf



#### Abbildung 22 Vergleich Heizwärmebedarf

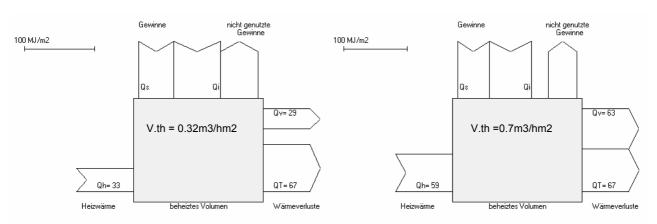


Abbildung 23 FC - Wärmebilanz 380/1:2001 mit QE0=60MJ/m2

#### Warmwasser

Statistischer Wert 25 MJ/m2a Gemäss SIA 380/1 für Verwaltungsgebäude

Forum Chriesbach 9 MJ/m2a Gemäss Pflichtenheft [7] (21'300 kWh/a / 8'238 m2 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. Der Anteil der verschiedenen Quellen ist dem folgenden Diagramm zu entnehmen.

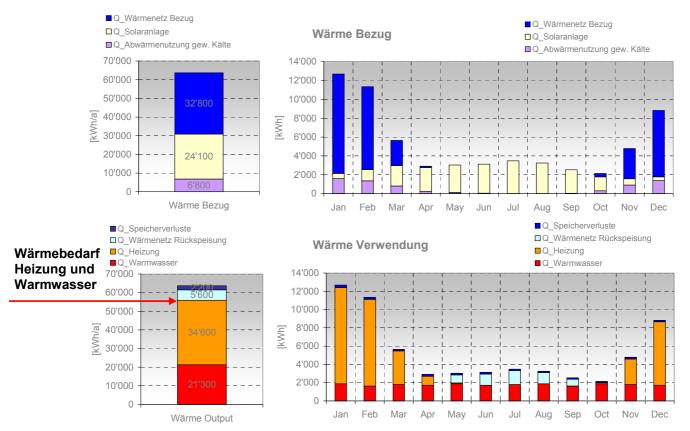


Abbildung 24 Wärmebilanz Forum Chriesbach

Im Diagramm ist ersichtlich, dass die **Solaranlage** und die **Abwärmenutzung gew. Kälte** zusammen etwa 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.

Ohne Lufterdwärmeregister und Server (aber mit WRG der Lüftung) kommt die Qualität der Gebäudehülle zum Vorschein. Wird in der Simulation zusätzlich die Solaranlage und Abwärmenutzung der gew. Kälte entfernt, so müsste der gesamte Energiebedarf vom Arealwärmenetz gedeckt werden.

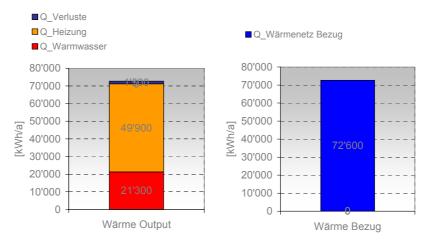
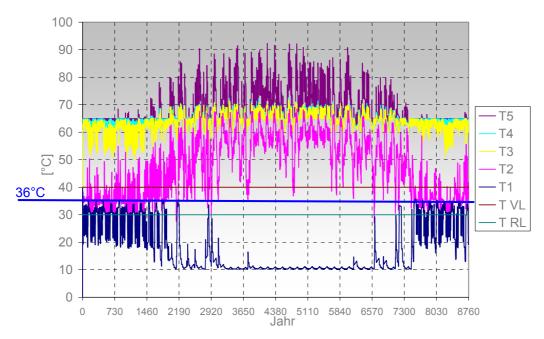


Abbildung 25 Energiebilanz FC ohne LER, Server, Solar und Abwärme gew. Kälte

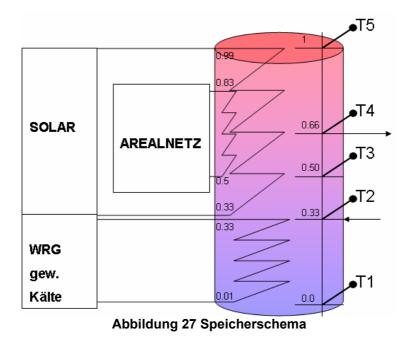


#### Nutzung Abwärme gew. Kälte

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, dass 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 26 Speichertemperaturen** 





## 3.2.2 DECKUNG KÄLTEBEDARF

Für die **Klimatisierung** der Zonen Copycenter, Multimedia, Sitzung und Hörsaal (**Q\_kli**) sowie die **Temperaturbegrenzung im Serverraum** (**Q\_ser**) ist folgender Kühlbedarf über die Zeitspanne eines Jahres erforderlich. Der Bedarf der Luftkühler ist bei der Einstellung auf 26.5°C praktisch vernachlässigbar.

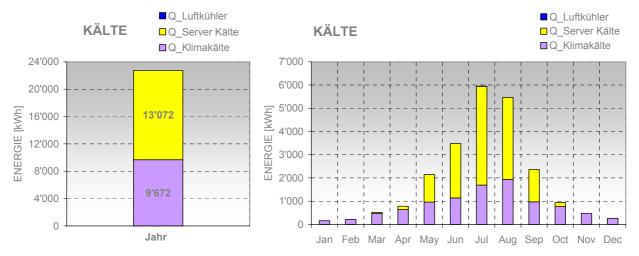
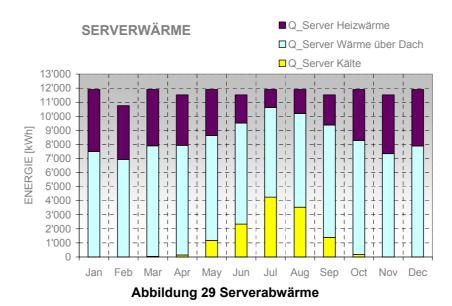


Abbildung 28 Kältebedarf

Die **Klimatisierung** der erwähnten Zonen erfordert eine Kälteenergie von unter **10'000 kWh pro Jahr**. Dieser Bedarf wird durch die Wärmespeichermassen, die Nachtauskühlung und die Luftvorkühlung im Erdregister minimiert.

Abbildung 28 ist zu entnehmen, dass auch in den kalten Monaten zwischen November und März Kältebedarf für die Klimatisierung vorhanden ist. Dies ist damit zu erklären, dass die Raumklimatisierung primär interne Lasten zu kompensieren hat. Die Nachfrage für Kälte des Serverraums schwankt stärker und ist nur in den Monaten April bis Oktober vorhanden.

Die Elektroanschlussleistung von **16 kW** des **Serverraums** führt zu einem Kälteenegiebedarf von **ca. 13'000 kWh**. Dieser Bedarf hängt stark vom Erdregister, den zulässigen Temperaturen im Serverraum, sowie den zulässigen Temperaturen der Zuluft ab.



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 mal die gesamte Leistung des Servers (Umluftkühlbetrieb).



# 4 SENSITIVITÄTSANALYSEN GESAMTSYSTEM

Es gibt unterschiedliche Aspekte im Zusammenhang mit den Komfortbedingungen und dem Energiebedarf des Gebäudes denen hier besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird:

Ohne internen Wärmelasten (IL) Ausmass der Serverabwärme (SA) Thermische Speichermassen (TS) Beweglicher Sonnenschutz (SS)

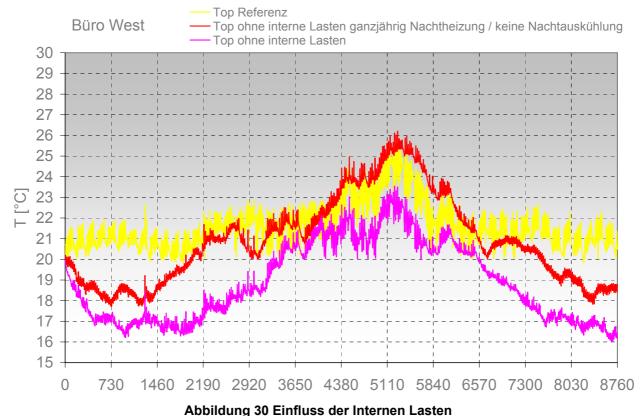
# 4.1.1 INTERNE WÄRMELASTEN (IL)

Um ein Gefühl für die Auswirkungen der internen Lasten auf die Komfortbedingungen und auf den Heizenergiebedarf des Gebäudes zu bekommen wurde eine Berechnung **ohne Interne Lasten** durchgeführt.

## Komfortbedingungen

Das folgende Diagramm zeigt die Auswirkung des ganzjährigen Ausfalls aller internen Wärmelasten (Personen, Geräte und Beleuchtung) auf die empfundenen Raumtemperaturen im Büro West. Es ist zu bemerken, dass die Lüftungsanlagen wie bei normalem Betrieb laufen. Die empfundene Raumtemperatur fällt in diesem Fall bis auf 16°C. Dies ist kein realistisches Szenario sondern ein Rechenbeispiel um den wichtigen Einfluss der internen Lasten aufzuzeigen.

Wird die Nachtheizung ganzjährig frei geschaltet, können die Minimaltemperaturen durch den nächtlichen Umluftbetrieb auf 18°C angehoben werden. In diesem Fall wird die Nachtauskühlung unterdrückt was zu einer höheren Temperatur im Hochsommer führt. Ein gleichzeitiges frei schalten von Nachtauskühlung und Nachtheizung würde zu einem ständigen gegenseitigen auslösen der beiden Elemente führen. Diese Berechnung zeigt, dass mit der Nachtheizung der Ausfall aller interner Lasten nicht über lange Zeit kompensier werden kann. Das Gebäude braucht hier etwa einen Monat ohne interne Lasten um von 20°C auf 18°C zu fallen. Einerseits kommen so lange komplette Betriebsausfälle nicht vor, andererseits kann im realen Gebäude für die wenigen Tage nach Weinachten die Nachtheizung auch am Tage betrieben werden. Diese Berechnung sagt nichts darüber aus was passiert wenn ein einzelner Raum keine internen Lasten hat.





# 4.1.2 SERVERABWÄRME (SA)

Die Luftvorwärmung im free-cooling-Betrieb des Servers, wie auch das Lufterdwärmeregister reduzieren den Wärmebedarf für Heizung des Gebäudes. Es wurden Simulationsberechnungen ohne Serverabwärme, sowie ohne Server und ohne LER durchgeführt um den Einfluss dieser Elemente zu guantifizieren.

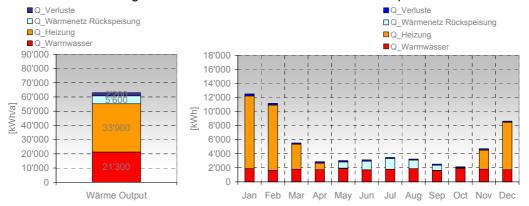


Abbildung 31 Wärmebedarf Referenz

Im Folgenden wird die Standardvariante mit einer Berechnung ohne Serverabwärme verglichen. Der Wärmebedarf für Heizung steigt von 34'600kWh/a auf 39'700 kWh/a. Die Abwärmenutzung des Servers reduziert den Wärmebedarf für Heizung somit um ca. 12%. Die an die Zuluft abgegebene Wärmemenge ist deutlich grösser (vergleiche Abbildung 29), führt aber auch zu einer reduzierten Ausbeute der Wärmerückgewinnung in den Lüftungsanlagen.

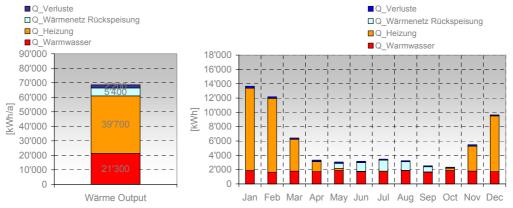


Abbildung 32 Wärmebedarf ohne Server

Wird ausserdem auch das Lufterdwärmeregister simulationstechnisch entfernt, so steigt der Wärmebedarf weiter auf 49'900 kWh/a. Für Kosten-Nutzen-Überlegungen ist zu beachten, dass das Lufterdwärmeregister neben der Luftvorwärmung auch für die Serverkühlung und für die Sommerliche Komfortsteigerung durch Zuluftkühlung wirkt.

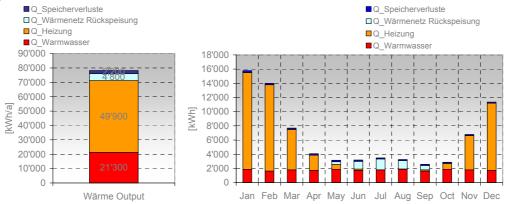


Abbildung 33 Wärmebedarf ohne Server und ohne Lufterdwärmeregister

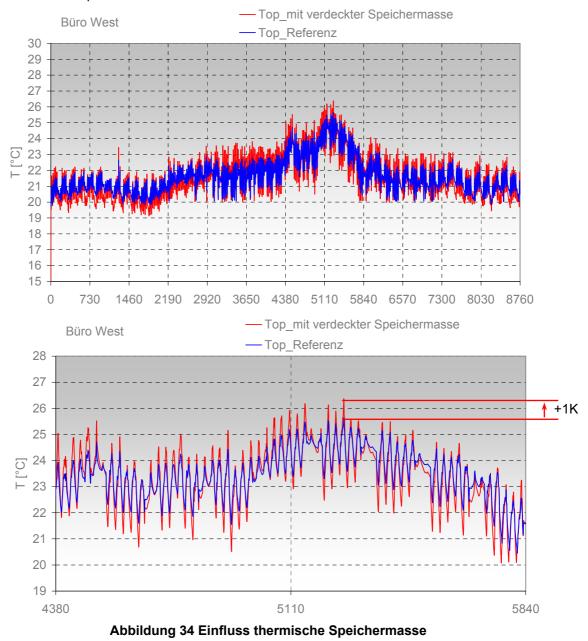


# 4.1.3 THERMISCHE SPEICHERMASSE (TS)

Um ein Gefühl für die Auswirkungen der thermischen Speichermasse auf die Komfortbedingungen vor allem in den Büroräumen des Gebäudes zu bekommen wurde eine Berechnung **ohne thermische Speichermasse** durchgeführt. Modelltechnisch wurde Die thermische Speichermasse wurde durch die Bestückung sämtlicher Baukonstruktionen mit einer 2 cm dicken Wärmedämmschicht thermisch entkoppelt. Ein Versuch mit 6 cm ergab praktisch identische Ergebnisse, was darauf schliessen lässt, dass die 2 cm Isolation eine praktisch vollständige Entkopplung darstellen.

## Komfortbedingungen

Das folgende Diagramm zeigt die Auswirkung der Abdeckung der thermischen Speichermasse auf die empfundenen Raumtemperaturen im Büro West.



Über das ganze Jahr hinweg fallen die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht ohne Speichermasse deutlich höher aus und tragen zur Verschlechterung der Komfortbedingungen bei. Die Lasten der Zone, sowie die Nachtauskühlung sind in beiden Berechnungen identisch. Dadurch erklärt sich, dass die Durchschnittstemperatur in beiden Berechnungen etwa gleich ist.



#### Energienachfrage

Durch die grösseren Temperaturschwankungen kommt es zu einem höheren Bedarf an Klimakälte von 9'672 kWh/a auf 14'260 kWh/a.

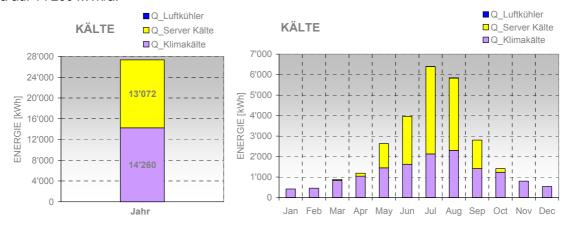


Abbildung 35 Bedarf Klimakälte bei verdeckter Speichermasse

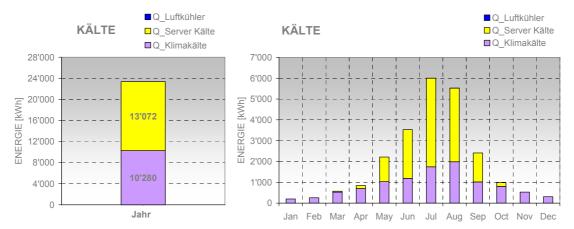


Abbildung 36 Bedarf Klimakälte Referenz

Aussagen über die Veränderung des Wärmebedarfs können aus dieser Simulation nicht gewonnen werden, da, Entkoppelung der thermischen Speichermasse simulationstechnisch die Dämmstärke und damit die U-Werte der Gebäudehülle verändert hat.



# 4.1.4 BEWEGLICHER SONNENSCHUTZ (SS)

Um ein Gefühl für die Auswirkungen des beweglichen Sonnenschutzes an Fassade und Atriumsdach auf die Komfortbedingungen und auf den Heizenergiebedarf des Gebäudes zu bekommen wurde eine Berechnung **ohne beweglichen Sonnenschutz** durchgeführt.

## Komfortbedingungen

Das folgende Diagramm zeigt die Auswirkung des Ausschaltens des beweglichen Sonnenschutzes auf die empfundenen Raumtemperaturen im Büro West.

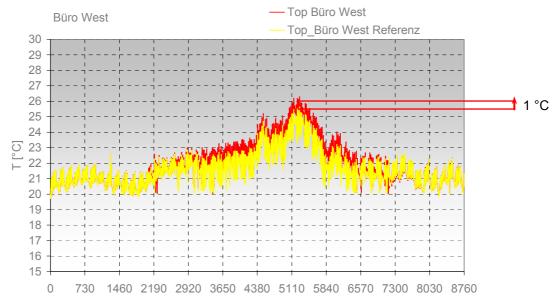


Abbildung 37 Temperatur Büro West mit und ohne beweglichem Sonnenschutz

Im Sommer und in der Überganszeit liegen die empfundenen Raumtemperaturen im Büro West bei immer offenem beweglichem Sonnenschutz um etwa 1 °C höher. Im Winter sorgt die Regelung des Sonneschutzes dafür, dass er immer offen bleibt, so ändern sich die Komfortbedingungen in dieser Periode nicht. Die Auswirkungen des Sonneschutzes auf die Raumtemperatur im Sommer und in der Übergangsperiode halten sich mit 1 °C in Grenzen. Dies ist damit zu begründen, dass das Gebäude über einen grosszügig ausgelegten baulichen Sonnenschutz, sowie einen relativ kleinen Glasanteil verfügt. Der bauliche Sonnenschutz war ursprünglich kleiner, der Glasanteil grösser geplant. Die Anforderung an die Entfluchtung, sowie die Brandschutzvorschriften der Fenster führten jedoch zu einer höheren Fixbeschattung.

#### Energienachfrage

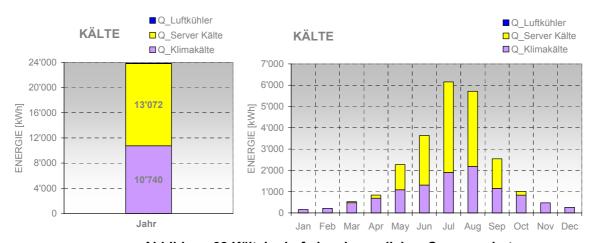


Abbildung 38 Kältebedarf ohne beweglichen Sonnenschutz

Gesamthaft hat der aussenliegende bewegliche Sonnenschutz eine begrenzte Auswirkung auf die Komfortbedingungen und auf die Energiebedarfszahlen. Dies ist primär auf den baulichen Sonnenschutz zurückzuführen, der im Sommer die Einstrahlung auf die Südfassade abschattet und sie im Winter durchlässt.



# 5 Quellenverzeichnis

| [1] | Merkblatt SIA 2024:2007 | "Standard-Nutzungsbedingungen fü | ır die Energie- und Gebäud | detechnik' |
|-----|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------|
|-----|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------|

- [2] SWKI Richtlinie 95-3 "Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen"
- [3] Honnorarofferte 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] Vertrag "Energie-Detailbilanz des EAWAG Forum Chriesbach, BFE, 25.10.2007
- [7] Pflichtenheft Phase 3.2; BaFa; 06.05.2003
- [8] SketchUp
- [9] Haustechnik-Koordinationspläne, 3-Plan, 05.02.04
- [10] Energie und Wasserbilanz "Schlüsselübergabe, 3-Plan, 07.06.2006
- [11] Haustechnik Koordinationspläne, 3-Plan
- [12] Untersuchung Luftströmung, Kopitsis
- [13] Bauphysik Band 2, Christoph Züricher, 2003
- [14] TRNSYS 16, Transsolar, 2006

# 6 Abbildungsverzeichnis

| Abbildung 1 Übersicht Modellierung   | 2  |
|--|----|
| Abbildung 2 Systemgrenze   |    |
| Abbildung 3 Aussenklima Januar bis Dezember                                  |    |
| Abbildung 4 Temperatur Erdreich und unbeheizt                                |    |
| Abbildung 5 Schema Lüftungsanlagen   |    |
| Abbildung 6 Übertragungsfunktion Erdregister                                 |    |
| Abbildung 7 Schema WRG Lüftung   |    |
| Abbildung 8 Steuerung Nachtheizung   |    |
| Abbildung 9 Steuerung Nachtauskühlung  |    |
| Abbildung 10 effektiver Speicheraufbau                                       |    |
| Abbildung 11 Speicher modelliert   |    |
| Abbildung 12 Warmwasserbedarf  |    |
| Abbildung 13 Jahrestemperaturverlauf Büro West / East / Nord                 | 32 |
| Abbildung 14 Jahrestemperaturverlauf Hörsaal Ost / West                      | 33 |
| Abbildung 15 Jahrestemperaturverlauf Besprechung / Sitzung                   |    |
| Abbildung 16 Jahrestemperaturverlauf Multimedia / Bibliothek                 | 35 |
| Abbildung 17 Jahrestemperaturverlauf Copycenter / Büro East B                |    |
| Abbildung 18 Einfluss Temperatur Unbeheizt                                   | 36 |
| Abbildung 19 Jahrestemperaturverlauf Küche / Mensa                           | 37 |
| Abbildung 20 Jahrestemperaturverlauf Atrium                                  | 38 |
| Abbildung 21 Jahrestemperaturverlauf Pufferraum                              |    |
| Abbildung 22 Vergleich Heizwärmebedarf                                       |    |
| Abbildung 23 FC - Wärmebilanz 380/1:2001 mit QE0=60MJ/m2                     |    |
| Abbildung 24 Wärmebilanz Forum Chriesbach                                    |    |
| Abbildung 25 Energiebilanz FC ohne LER, Server, Solar und Abwärme gew. Kälte |    |
| Abbildung 26 Speichertemperaturen  |    |
| Abbildung 27 Speicherschema  |    |
| Abbildung 28 Kältebedarf   |    |
| Abbildung 29 Serverabwärme   |    |
| Abbildung 30 Einfluss der Internen Lasten                                    |    |
| Abbildung 31 Wärmebedarf Referenz  |    |
| Abbildung 32 Wärmebedarf ohne Server   |    |
| Abbildung 33 Wärmebedarf ohne Server und ohne Lufterdwärmeregister           |    |
| Abbildung 34 Einfluss thermische Speichermasse                               |    |
| Abbildung 35 Bedarf Klimakälte bei verdeckter Speichermasse                  |    |
| Abbildung 36 Bedarf Klimakälte Referenz                                      | 47 |
| Abbildung 37 Temperatur Büro West mit und ohne beweglichem Sonnenschutz      |    |
| Abbildung 38 Kältebedarf ohne beweglichen Sonnenschutz                       | 48 |



# 7 Tabellenverzeichnis

| Tabelle 1 Auszug Meteonorm Version 5.0                   | 3  |
|--|----|
| Tabelle 2 statistische Auswertung der Aussentemperaturen |    |
| Tabelle 3 Aussenflächen und Kennwerte                    |    |
| Tabelle 4 Interne Lasten                                 | 17 |
| Tabelle 5 mittlere geplante Personenzahl                 | 17 |
| Tabelle 6 Heiz- und Kühlleistungen                       | 18 |
| Tabelle 7 Lüftungsanlagen                                | 19 |
| Tabelle 8 Luftströmungen zwischen den Zonen              | 20 |

# 8 Anhang

Anhang 1 Detailansichten Anhang 2 Interne Lasten

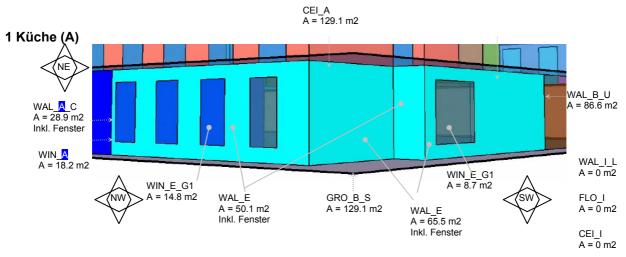


## **ANHANG 1 DETAILANSICHTEN**

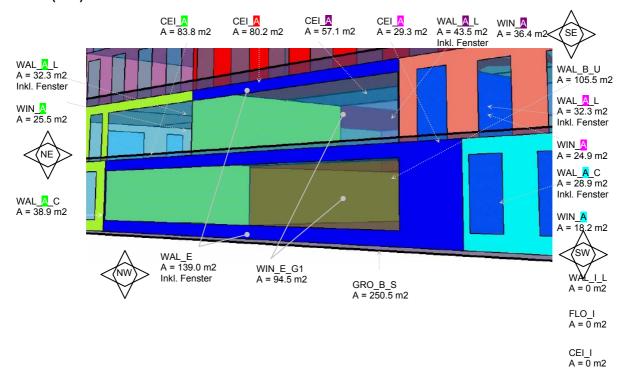
Im Folgenden sind die Aussenflächen der 16 Zonen des Forum Chriesbach nachvollziehbar dargestellt. Für die Eingabe in TRNSYS von Wänden mit Fenster- und Türelementen wurde für die Wand jeweils die Bruttofläche inklusive der Fensterfläche erfasst. Für die Fensterfläche wird das Fenster inklusive Rahmen 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.

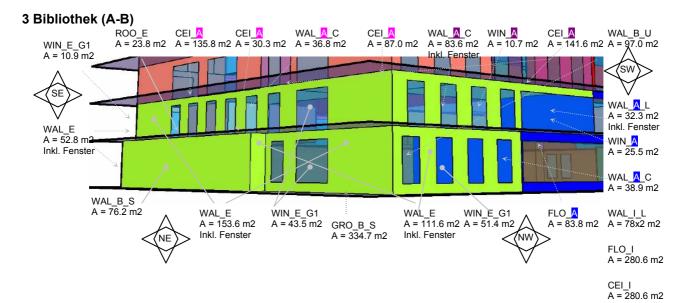




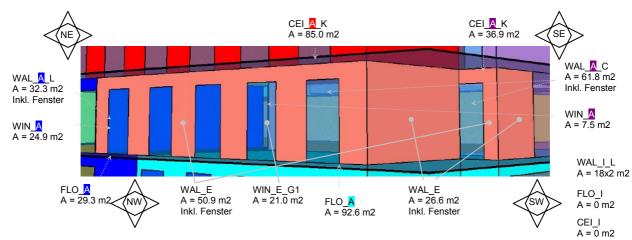
#### 2 Mensa (A-B)



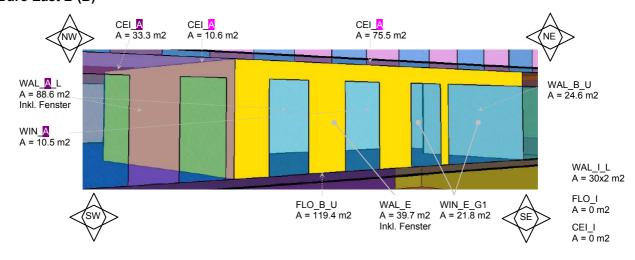




#### 5 Copycenter (B)

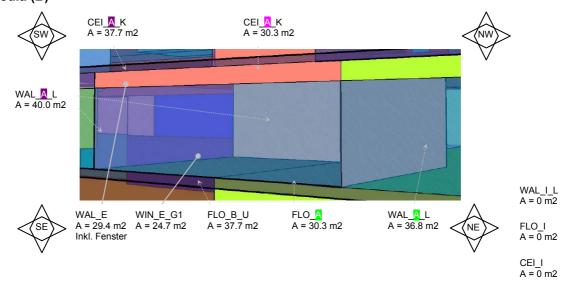


## 6 Büro East B (B)

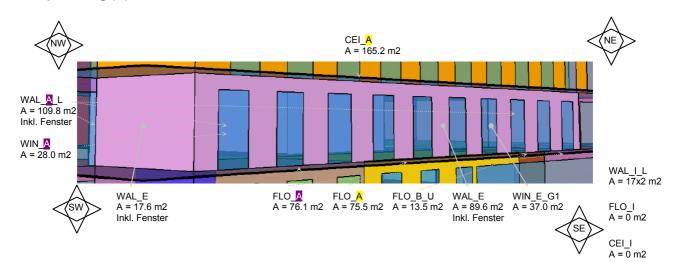




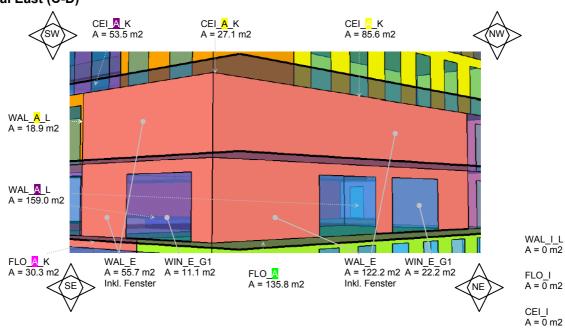
## 7 Multimedia (B)



#### 8 Besprechung (C)

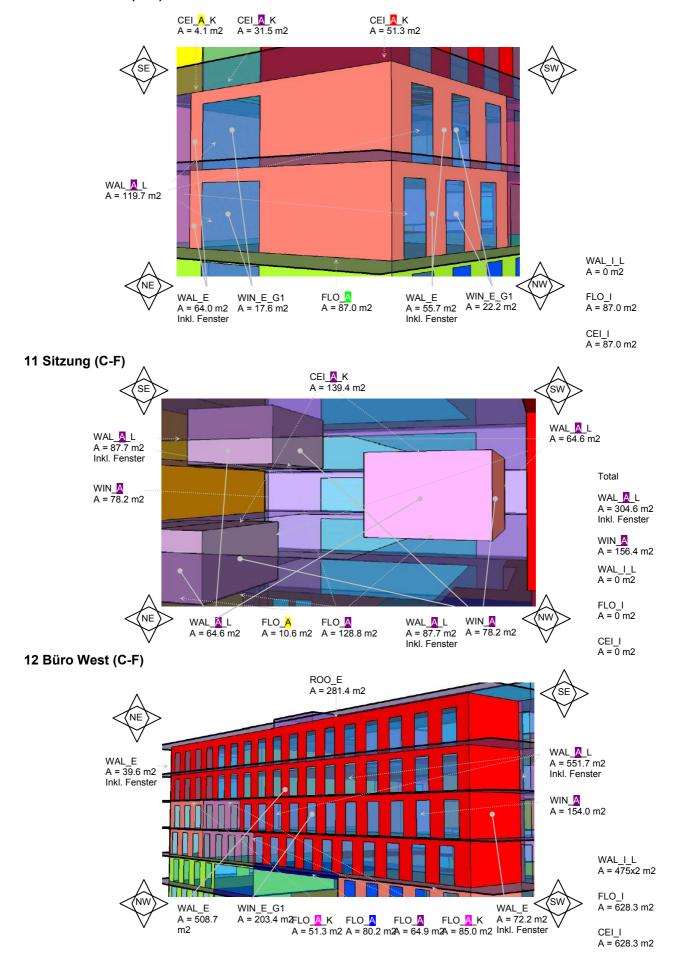


## 9 Hörsaal East (C-D)



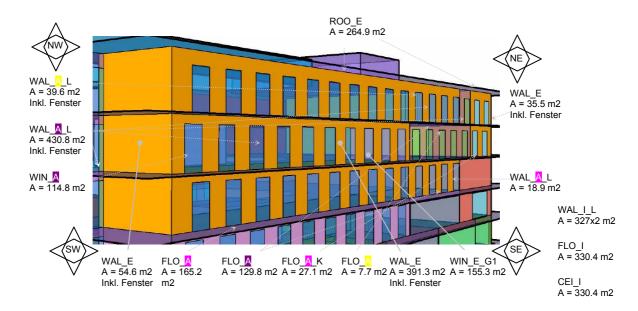


#### 10 Hörsaal West (C-D)

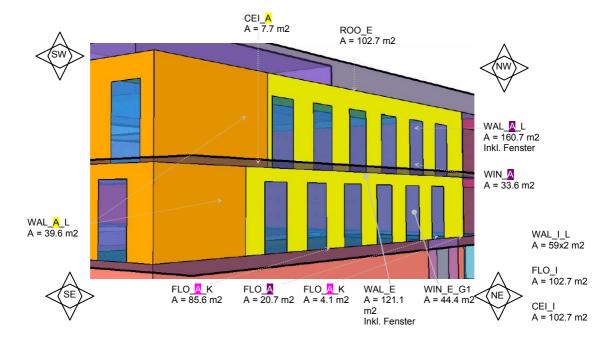




#### 13 Büro East (D-F)

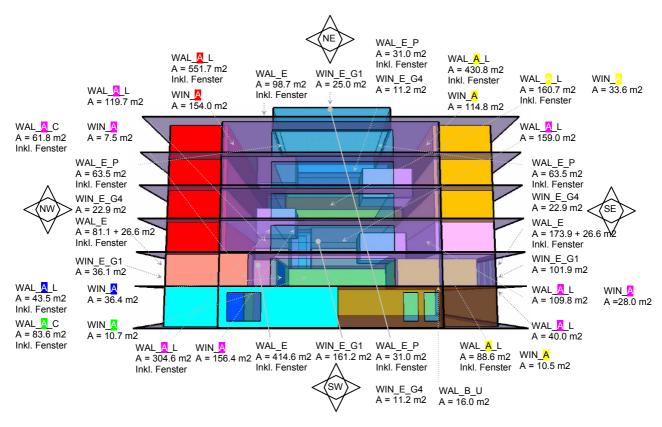


## 14 Büro Nord (E-F)

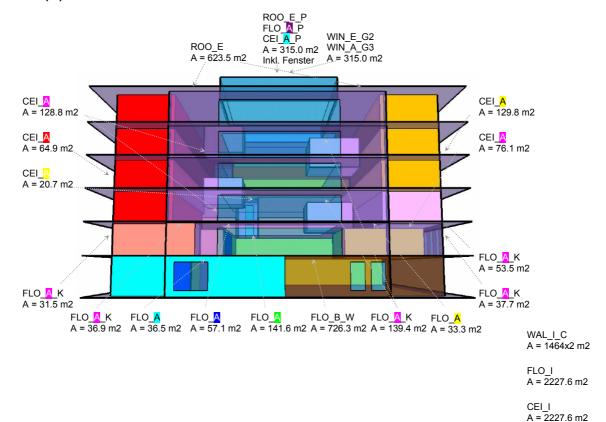




## 15 Atrium/Kernzone (B-G)



#### 16 Pufferzone (G)





# **ANHANG 2 INTERNE LASTEN**

#### 1 KÜCHE (A)

Lüftung

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Küche zu Kantine)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 116.0 m2 (129 m2 Bruttogeschossfl. BGF)

5

Netto-Volumen 313.0 m3 (497 m3 Brutto-Volumen)

Personenfläche 10.0 m2/p 11.6 p AUL-Volumenstrom 70.0 m3/m2h 8120.0 m3/h

Effektive Auslegung [LUE05]

ZUL 5900.0 m3/h ABL 6900.0 m3/h nv 18.8 1/h

> Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Nachtauskühlung

Nein

Wärmelasten (mittel) Personen

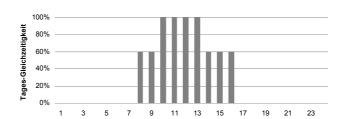
 Personen
 7 h/d (Volllaststunden)
 8.0 W/m2
 928.0 W

 Geräte
 5 h/d (Volllaststunden)
 200.0 W/m2
 23'200.0 W

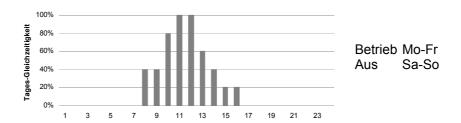
 Beleuchtung
 9 h/d (7:00 – 16:00)
 8.0 W/m2
 928.0 W

13 15 17 19 21 23

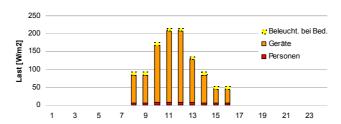
Tages Gleichzeitigkeit Personen



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): -.

Betrieb Mo-Fr

Sa-So

Aus



#### 2 MENSA (A-B)

Lüftung

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Kantine)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 225.0 m2

Netto-Volumen 1046.0 m3

Personenfläche (mittel) 1.2 m2/p AUL-Volumenstrom 25.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE04]

ZUL 3750.0 m3/h ABL 2750.0 m3/h nv 3.6 1/h (250 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (1401 m3 Brutto-Volumen) 187.5 p

Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

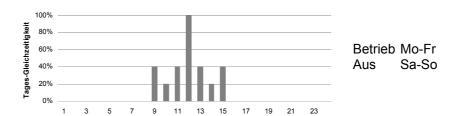
4687.5 m3/h

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

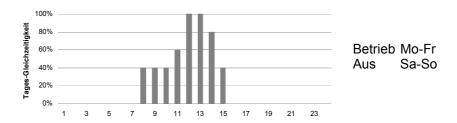
Wärmelasten (mittel)Personen3 h/d (Volllaststunden)58.5 W/m213'162.5 WGeräte5 h/d (Volllaststunden)2.0 W/m2450.0 W

Beleuchtung 7 h/d (8:00 – 15:00) 2.0 W/m2 450.0 W 2250.0 W

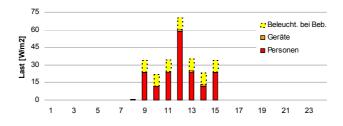
Tages Gleichzeitigkeit Personen



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.

(700 m2 Bruttogeschossfl. BGF)



Lüftung

#### 3 BIBLIOTHEK (A-B)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Übungsraum)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 630.0 m2

Netto-Volumen 1701.0 m3

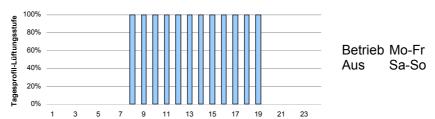
(2458 m3 Brutto-Volumen) 52.5 p

Personenfläche (hoch) 12.0 m2/p AUL-Volumenstrom 25.0 m3/hr

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

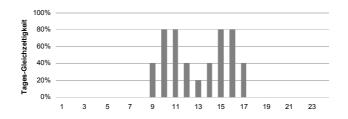
Wärmelasten (tief)

 Personen
 5 h/d (Volllaststunden)
 6.5 W/m2
 4095.0 W

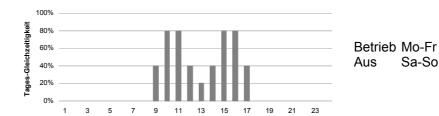
 Geräte
 5 h/d (Volllaststunden)
 0.0 W/m2
 0.0 W

 Beleuchtung
 9 h/d (8:00 – 17:00)
 10.0 W/m2
 6300.0 W

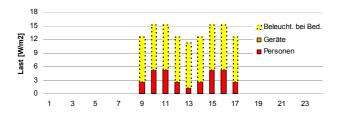
Tages Gleichzeitigkeit Personen



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): -.

Betrieb Mo-Fr

Sa-So

Aus



## 4 TECHNIK/RESTVOLUMEN (A-B)

Für das Restvolumen bestehen keine Komfort-Anforderungen. Die Raumtemperatur liegt als vereinfachte Annahme im Mittel bei 18°C, das Minimum bei ca. 15.5 °C (Februar) und das Maximum bei ca. 20.5 °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)**

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Einzel/Gruppenbüro, bis 6 Arbeitsplätze)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 110.0 m2

297.0 m3

(122 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (390 m3 Brutto-Volumen)

Netto-Volumen Personenfläche (hoch) 18.0 m2/p

6.1 p

Lüftung/Klima AUL-Volumenstrom

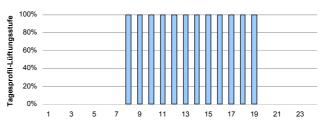
36.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE03]

330.0 m3/h

216.0 m3/h

ZUL **ABL** 280.0 m3/h nν 0.9 1/h



Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Nachtauskühlung

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

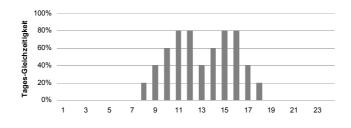
Wärmelasten

Personen(tief) 6 h/d (Volllaststunden) Geräte (hoch) 6 h/d (Volllaststunden) Beleuchtung(tief) 11 h/d (7:00 – 18:00)

4.0 W/m2 15.0 W/m2 9.0 W/m2

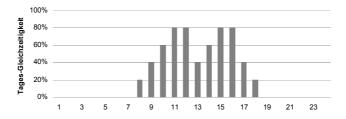
440.0 W 1650.0 W 990.0 W

Tages Gleichzeitigkeit Personen



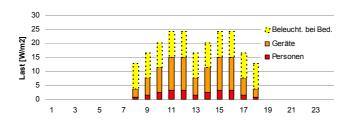
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

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): 784 W. Kühlung (Kühldecken): 3668 W.



#### 6 BÜRO EAST B (B)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Einzel/Gruppenbüro, bis 6 Arbeitsplätze)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 107.0 m2

Netto-Volumen 289.0 m3

(119 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (381 m3 Brutto-Volumen)

Personenfläche (mittel) 14.0 m2/p 7.6 p

Lüftung AUL-Volumenstrom 36.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE01]

ZUL 280.0 m3/h ABL 250.0 m3/h nv 1.0 1/h

273.6 m3/h

Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Nachtauskühlung

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

5

Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 11 h/d (7:00 – 18:00)

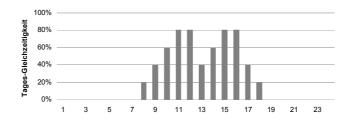
11 13 15

5.0 W/m2 7.0 W/m2 11.0 W/m2

19 21 23

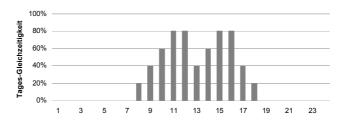
535.0 W 749.0 W 1177.0 W

Tages Gleichzeitigkeit Personen



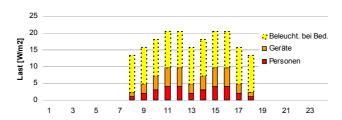
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

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.

Sa-So

Sa-So



#### 7 MULTIMEDIA (B)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Sitzungszimmer)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 61.0 m2

(68 m2 Bruttogeschossfl. BGF) Netto-Volumen 165.0 m3 (218 m3 Brutto-Volumen)

Personenfläche (hoch) 4.0 m2/p

Lüftung/Klima AUL-Volumenstrom 25.0 m3/hp

Effektive Auslegung [KLI01]

400.0 m3/h ZUL **ABL** 360.0 m3/h nν 2.4 1/h

> 100% Tagesprofil-Lüftungsstufe 80% Betrieb Mo-Fr 60% Aus 20% 0% 5 9 11 13 15 17 19 21 23

15.3 p

382.5 m3/h

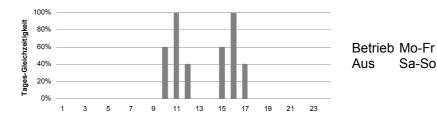
Nachtauskühlung

Nein

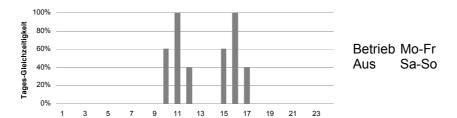
Wärmelasten (tief)

Personen 4 h/d (Volllaststunden) 17.5 W/m2 1067.5 W Geräte (R.D.B.) 4 h/d (Volllaststunden) 28.0 W/m2 1708.0 W Beleuchtung 6 h/d (9 - 12 und 14 - 17) 9.0 W/m2 549.0 W

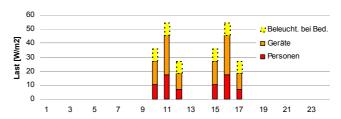
Tages Gleichzeitigkeit Personen



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



#### 8 BESPRECHUNG (C)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Sitzungszimmer)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 149.0 m2

> Netto-Volumen 402.0 m3

(165 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (528 m3 Brutto-Volumen)

1242.5 m3/h

Personenfläche (hoch) 3.0 m2/p 49.7 p

Lüftung **AUL-Volumenstrom** 25.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE01] ZUL 1100.0 m3/h **ABL** 1000.0 m3/h

nν 2.5 1/h

> 100% Fagesprofil-Lüftungsstufe 80% ■ Lüftung Heizung bei Bedart 60% 40% 20% 13 19 21

Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Nachtauskühlung

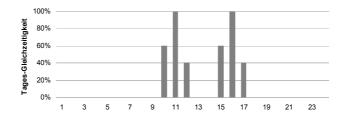
Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

Wärmelasten (mittel)

Personen 4 h/d (Volllaststunden) Geräte 4 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (9 - 12 und 14 - 17) Beleuchtung

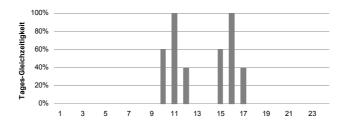
23.5 W/m2 2.0 W/m2 11.0 W/m2 3502.0 W 298.0 W 1639.0 W

Tages Gleichzeitigkeit Personen



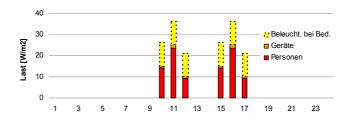
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

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

(166 m2 Bruttogeschossfl. BGF)

(1062 m3 Brutto-Volumen)



#### 9 HÖRSAAL EAST (C-D)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Hörsaal)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 149.0 m2

> Netto-Volumen 879.0 m3 Personenfläche (hoch)

1.0 m2/p 25.0 m3/hp

Lüftung/Klima AUL-Volumenstrom Effektive Auslegung [KLI01]

nν

ZUL 3000.0 m3/h **ABL** 2640.0 m3/h 3.4 1/h

149.0 p 3725.0 m3/h

100% Tagesprofil-Lüftungsstufe ■ Lüftung 60% # Heizung bei 0% 13 15 17 19 21 11

Nachtauskühlung

Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung

Nein

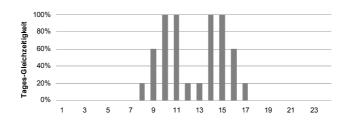
6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 10 h/d (7:00 – 17:00)

70.0 W/m2 4.0 W/m2 12.0 W/m2 10'430.0 W 596.0 W 1788.0 W

Nachtheizung

(Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Tages Gleichzeitigkeit Personen



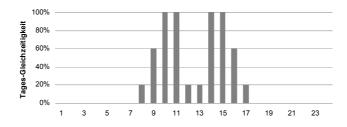
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Betrieb Mo-Fr

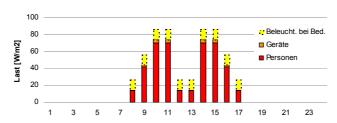
Sa-So

Aus

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): 8886 W.



#### 10 HÖRSAAL WEST (C-D)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Hörsaal)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 157.0 m2

Netto-Volumen 424.0 m3

Personenfläche (hoch) 1.0 m2/p **Lüftung/Klima** AUL-Volumenstrom 25.0 m3/hp

Effektive Auslegung [KLI01]

ZUL 2000.0 m3/h ABL 1760.0 m3/h nv 4.7 1/h (174 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (557 m3 Brutto-Volumen) 157.0 p 3925.0 m3/h

Nachtauskühlung

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

Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 10 h/d (7:00 – 17:00) 70.0 W/m2 4.0 W/m2 12.0 W/m2 10'990.0 W 628.0 W 1884.0 W

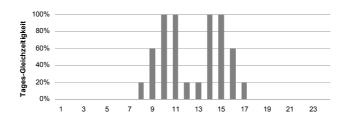
Nahtheizung

gesperrt.

(Luftheizung) je

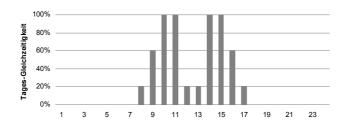
nach Jahreszeit

Tages Gleichzeitigkeit Personen



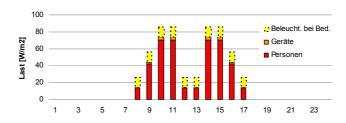
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

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)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Sitzungszimmer)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 126.0 m2

> Netto-Volumen 340.0 m3

(140 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (448 m3 Brutto-Volumen)

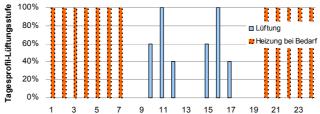
1050.0 m3/h

Personenfläche (hoch) 3.0 m2/p 42.0 p

Lüftung/Klima AUL-Volumenstrom 25.0 m3/hp Effektive Auslegung [KLI01]

ZUL 1750.0 m3/h **ABL** 1750.0 m3/h nν 5.1 1/h

Nachtheizung (Luftheizung) je



Nachtauskühlung Nein

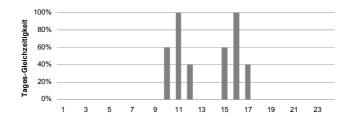
Wärmelasten (mittel)

Personen 4 h/d (Volllaststunden) 23.5 W/m2 Geräte 4 h/d (Volllaststunden) 2.0 W/m2 6 h/d (9 - 12 und 14 - 17) 11.0 W/m2 Beleuchtung

2961.0 W 252.0 W 1386.0 W

nach Jahreszeit gesperrt.

Tages Gleichzeitigkeit Personen



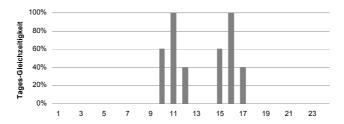
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Betrieb Mo-Fr

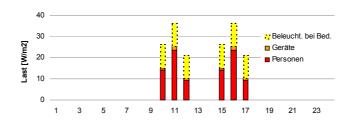
Sa-So

Aus

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.



Lüftung

#### 12 BÜRO WEST (C-F)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Einzel/Gruppenbüro, bis 6 Arbeitsplätze)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 818.0 m2

Netto-Volumen 2209.0 m3

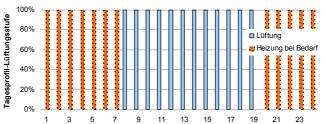
Personenfläche (mittel) 14.0 m2/p **AUL-Volumenstrom** 36.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE03]

ZUL 1985.0 m3/h **ABL** 1725.0 m3/h (909 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (2999 m3 Brutto-Volumen)

58.4 p 2103.6 m3/h

nν 0.9 1/h



Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Nachtauskühlung

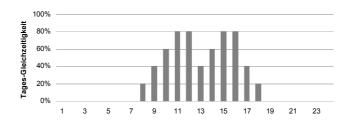
Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 11 h/d (7:00 – 18:00)

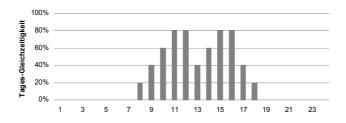
5.0 W/m2 7.0 W/m2 11.0 W/m2 4090.0 W 5726.0 W 8998.0 W

Tages Gleichzeitigkeit Personen



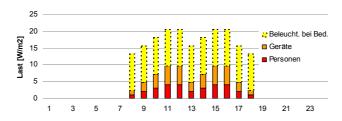
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Geräte



Betrieb Mo-Fr Sa-So Aus

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.



Lüftung

#### 13 BÜRO EAST (D-F)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Einzel/Gruppenbüro, bis 6 Arbeitsplätze)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 618.0 m2

Netto-Volumen 1669.0 m3

Personenfläche (mittel) 14.0 m2/p 4
AUL-Volumenstrom 36.0 m3/hp 1

Effektive Auslegung [LUE01]

ZUL 1435.0 m3/h ABL 1240.0 m3/h nv 0.9 1/h (687 m2 Bruttogeschossfl. BGF)

(2283 m3 Brutto-Volumen)

44.1 p 1589.0 m3/h

100%
80%
60%
40%
20%
0%

Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Nachtauskühlung

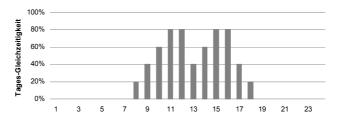
Bei Bedarf zwischen 22:00 Uhr und 7:00 Uhr

Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 11 h/d (7:00 – 18:00) 5.0 W/m2 7.0 W/m2 11.0 W/m2

3090.0 W 4326.0 W 6798.0 W

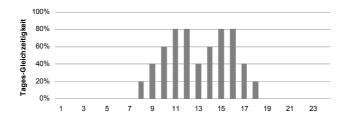
Tages Gleichzeitigkeit Personen



Aus Sa-So

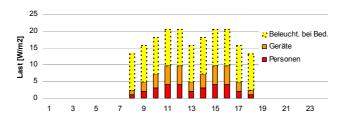
Betrieb Mo-Fr

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.



#### 14 BÜRO NORD (E-F)

(gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Einzel/Gruppenbüro, bis 6 Arbeitsplätze)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 192.0 m2

Netto-Volumen 518.0 m3 Personenfläche (mittel) 14.0 m2/p (213 m2 Bruttogeschossfl. BGF) (715 m3 Brutto-Volumen)

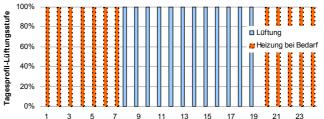
(715 m3 Brutto-Volumen)

494.0 m3/h

**Lüftung** AUL-Volumenstrom 36.0 m3/hp

Effektive Auslegung [LUE01]

ZUL 480.0 m3/h
ABL 420.0 m3/h
nv 0.8 1/h



Nachtauskühlung

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

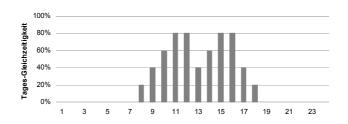
Wärmelasten (mittel)

Personen Geräte Beleuchtung 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) 11 h/d (7:00 – 18:00) 5.0 W/m2 7.0 W/m2 11.0 W/m2 960.0 W 1344.0 W 2112.0 W

Nachtheizung (Luftheizung) je

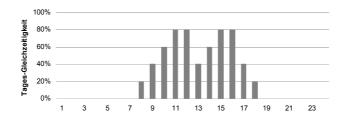
nach Jahreszeit gesperrt.

Tages Gleichzeitigkeit Personen



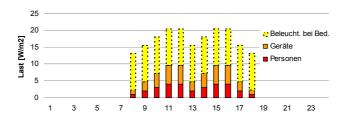
Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

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.



Lüftung

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

(gemäss Raumdatenblatt, Tages-Gleichzeitigkeit gemäss SWKI Richtlinie 95-3, Standardnutzung Schalterhalle)

Grundlagen Nettogeschossfl. NGF 3137.0 m2

**AUL-Volumenstrom** 

Netto-Volumen 13'290.0 m3

Personenfläche (Annahme)

25.0 m3/hp

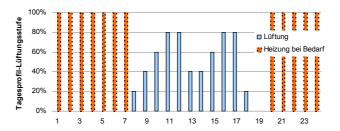
Effektive Auslegung [LUE02]

ZUL 4030.0 m3/h **ABL** 4630.0 m3/h nν 0.3 1/h

(3485 m2 Bruttogeschossfl. BGF)

100.0 p 31.0 m2/p

2500.0 m3/h



Nachtheizung (Luftheizung) je nach Jahreszeit gesperrt.

Nachtauskühlung

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

Wärmelasten (Annahmen)

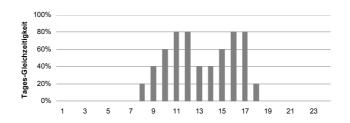
Personen 6 h/d (Volllaststunden) 6 h/d (Volllaststunden) Geräte Beleuchtung 11 h/d (7:00 – 18:00)

2.2 W/m2 7000.0 W 0.0 W/m2 0.0 W

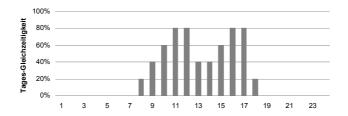
8.0 W/m2 25'096.0 W

Aus

Tages Gleichzeitigkeit Personen



Geräte

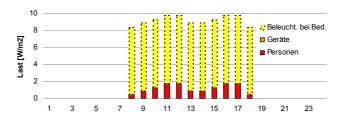


Betrieb Mo-Fr Aus Sa-So

Betrieb Mo-Fr

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.



## 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.