

Finanzministerium | Postfach 7127 | 24171 Kiel

**Staatssekretär**

An den  
Vorsitzenden des Finanzausschusses  
des Schleswig-Holsteinischen Landtages  
Herrn Günter Neugebauer, MdL  
Landeshaus  
24105 Kiel

Nachrichtlich:  
Herrn  
Präsidenten  
des Landesrechnungshofs Schleswig-Holstein  
Dr. Aloys Altmann  
Hopfenstraße 30  
24103 Kiel

17. September 2007

**Bericht des Finanzministeriums zu der Beschlussempfehlung des Finanzausschusses vom 25.09.2006, Drucksache 16/994 (Nr. 22)**

Sehr geehrter Herr Vorsitzender,

anlässlich der Beschlussempfehlung des Finanzausschusses vom 25.09.2006 zu Nummer 22 – Messgeräte zur Überwachung des Energieverbrauches - der Drucksache 16/994 darf ich Ihnen zur Funktionsfähigkeit des Lüftungskonzeptes sowie zu der auf Simulationsrechnungen gestützten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Pilotprojekt „Doppelfassade“ der Fachhochschule Westküste in Heide berichten, dass die Messgeräte zur Erfassung des Heizenergieverbrauches im Bereich der Hörsäle zwischenzeitlich installiert und auf die Gebäudeautomation aufgeschaltet wurden.

Die Funktionsfähigkeit des gewählten Lüftungskonzeptes für die Hörsäle der Fachhochschule Heide hat sich im Betrieb bewährt. Probleme sind bisher nicht aufgetreten. Der Nutzer ist mit dem gewählten System, auch auf Grund der geringeren Betriebskosten, zufrieden.

Das Ergebnis der zwischenzeitlich durch die GMSH erstellten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung weist allerdings einen negativen Kapitalwert aus mit dem Ergebnis, dass die seinerzeitige Entscheidung für die Installation einer Doppelfassade nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Die Gründe liegen insbesondere darin, dass die damals errechneten Einsparpotentiale zwar weitgehend realisiert wurden, die der damaligen Berechnung zugrunde gelegten Investitionskosten jedoch nicht eingehalten werden konnten und in der Realisierung der Maßnahme deutlich höher ausgefallen waren als erwartet.

An der Erstellung der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung hat bei der Ermittlung der Heizenergieeinsparung das Institut „Wärme- und Stoffübertragung“ der FH-W Heide, heute FH Flensburg, anhand von dynamischen Gebäudesimulationen mitgewirkt.

Ergänzend möchte ich darauf hinweisen, dass gem. Wirtschaftlichkeitsberechnung sich bei diesem Pilotprojekt eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 6.475 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr gegenüber einer mechanischen Lüftungsanlage ergibt.

In der Anlage habe ich die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und den Schlussbericht zur Heizenergieeinsparung des Instituts für „Wärme- und Stoffübertragung“ beigefügt.

Ich darf um Kenntnisnahme bitten.

Mit freundlichen Grüßen

gez.

Klaus Schlie

**Fachhochschule Westküste in Heide**  
**Wirtschaftlichkeitsuntersuchung**

**Inhaltsverzeichnis**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. AUFGABENSTELLUNG, ZIEL DER WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG</b> ..... | <b>2</b>  |
| <b>2. AUSBLICK</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>3. VERFAHREN DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG</b> .....                | <b>2</b>  |
| 3.1. KAPITALWERTMETHODE.....   | 2         |
| 3.2. SENSITIVITÄTSANALYSE .....  | 3         |
| <b>4. TATSÄCHLICH AUSGEFÜHRTES MODELL</b> .....                            | <b>4</b>  |
| <b>5. VERGLEICHSMODELL (REFERENZMODELL)</b> .....                          | <b>4</b>  |
| <b>6. ERMITTLUNG DER HEIZENERGIEEINSPARUNG</b> .....                       | <b>7</b>  |
| <b>7. KOSTENGEGENÜBERSTELLUNG DER BEIDEN MODELLE</b> .....                 | <b>7</b>  |
| 7.1. KOSTEN FÜR BE- UND ENTLÜFTUNGSTECHNIK GEMÄß KAPITEL 4 .....           | 8         |
| 7.2. KOSTEN FÜR BE- UND ENTLÜFTUNGSTECHNIK GEMÄß KAPITEL 5 .....           | 9         |
| 7.3. ENERGIEEINSPARUNG .....   | 9         |
| 7.3.1. CO <sub>2</sub> -Einsparungen .....                                 | 10        |
| <b>8. WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG</b> .....                              | <b>11</b> |
| 8.1. KAPITALWERTMETHODE.....   | 11        |
| 8.1.1. Randbedingungen.....  | 11        |
| 8.1.2. Investition I .....   | 11        |
| 8.1.3. Zusammenstellung der jährlichen Ausgaben .....                      | 11        |
| 8.1.4. Ausgabendifferenzen als Einsparungen .....                          | 12        |
| 8.1.5. Berechnung des Kapitalwerts .....                                   | 12        |
| 8.2. SENSITIVITÄTSANALYSE .....  | 12        |
| <b>9. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....  | <b>13</b> |
| 9.1. ERGEBNIS DER WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG .....                    | 13        |
| 9.2. VERGLEICH ZUR HU-BAU.....   | 13        |
| 9.3. URSACHEN DER ABWEICHUNG.....  | 13        |
| <b>10. AUSBLICK</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>11. QUELLENVERZEICHNIS</b> .....  | <b>14</b> |

**1.**

## **Aufgabenstellung, Ziel der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung**

Einen Teil der Baumaßnahme „Neubau der Fachhochschule Westküste in Heide“ (Baumaßnahmen-Nummer 112 97 602) stellte die Erstellung der Doppelglasfassade (DF) im Bereich der Hörsäle in Bauteil 1.2 dar. Die Besonderheit des Belüftungskonzeptes, welches durch diese DF verwirklicht wurde, führte zu der Einstufung zum Pilotprojekt „Doppelglasfassade“.

Mit Schreiben vom 23.01.2006 wurde vom Landesrechnungshof Schleswig-Holstein die Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsnachweises nach ca. fünfjähriger Nutzungszeit abgefordert.

Dieser Aufforderung soll mit diesem Dokument nachgekommen werden.

## **2. Ausblick**

Inhalt dieser Unterlage sind die Beschreibung des ausgewählten Berechnungsverfahrens der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Kap.3), die Beschreibung des tatsächlich erstellten Belüftungskonzeptes (Kap.4) sowie eines vergleichbaren Konzeptes (Kap.5).

In Kapitel 6 wird das Verfahren der Bestimmung der Energieeinsparung erläutert. Die Herstellungskosten für beide Varianten werden in Kapitel 7 aufgezeigt. In Kapitel 8 werden diese in einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gegenübergestellt. Eine Zusammenfassung der Unterlagen wird in Kapitel 9 aufgeführt, bevor die Unterlage mit einem Ausblick (Kap. 10) und einem Quellenverzeichnis (Kap. 11) schließt.

## **3. Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung**

### **3.1. Kapitalwertmethode**

Als Berechnungsmethode wird ein dynamisches Berechnungsverfahren gewählt, um die Zeitpunkte von Ausgaben und Einnahmen und damit den Einfluss von Preissteigerungen (u. a. Energie, Löhne) berücksichtigen zu können. Verwendet wird die Kapitalwertmethode [1] (auch Barwertmethode genannt).

Über die Nutzungsdauer der Anlage werden alle Ausgaben (negativ) und Einnahmen (positiv) auf den Zeitpunkt 0 (vor Investition) bezogen (abgezinst). Die zu Grunde liegende Kapitalwertgleichung lautet:

$$C = -I - \frac{A_1}{1+i} - \frac{A_2}{(1+i)^2} - \dots - \frac{A_n}{(1+i)^n} + \frac{E_1}{1+i} + \frac{E_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{E_n}{(1+i)^n}$$

C Kapitalwert

I Investition

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ...Ausgaben in den einzelnen Jahren

E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> ...Einsparungen in den einzelnen Jahren

i Kalkulationszinsfuß

Das Entscheidungskriterium ist

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| $C > 0$ | Investition ist sinnvoll       |
| $C < 0$ | Investition ist nicht sinnvoll |

Die besondere Stärke der Kapitalwertberechnung ist die Möglichkeit, verschiedene Steigerungsraten zur berücksichtigen, z. B. Energie- ( $p_1$ ), Strom- ( $p_2$ ) oder Lohnkosten- ( $p_3$ ) Steigerungen. In unserer Untersuchung wird angenommen, dass diese über die Jahre konstant bleiben.

Die Kapitalwertgleichung wird dabei wie folgt ergänzt:

$$C = -I - \frac{A_0 \times (1+p_1)}{1+i} - \frac{A_0 \times (1+p_1)^2}{(1+i)^2} - \dots - \frac{A_0 \times (1+p_1)^n}{(1+i)^n} + \frac{E_0 \times (1+p_2)}{1+i} + \frac{E_0 \times (1+p_2)^2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{E_0 \times (1+p_2)^n}{(1+i)^n}$$

Die Ausgaben  $A_0$  und  $E_0$  werden dabei nach den am Zeitpunkt 0 gültigen Preisen eingegeben.

Setzt man  $q_1 = \frac{1+p_1}{1+i}$  und  $q_2 = \frac{1+p_2}{1+i}$  so liegt folgende geometrische Reihe vor:

$$q_1 + q_1^2 + q_1^3 + \dots + q_1^n = q_1 \times (1 + q_1 + q_1^2 + \dots + q_1^{n-1}) = \frac{1+q_1^n}{1+q_1}$$

Damit wird

$$C = -I - A_0 \times \frac{q_1 \times (1-q_1^n)}{1-q_1} + E_0 \times \frac{q_2 \times (1-q_2^n)}{1-q_2}$$

$A_0$  Ausgaben zum Zeitpunkt 0  
 $E_0$  Einsparungen zum Zeitpunkt 0

### 3.2. Sensitivitätsanalyse

Die Bestimmung künftiger Entwicklungen ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft beispielsweise

- ↪ Preissteigerung von Energien und Löhnen
- ↪ die Inflation von Investitionsgütern bis zum Zeitpunkt der Ersatzinvestition (Reinvestition)
- ↪ die Lebensdauer von Anlagen und Komponenten
- ↪ die Zinsentwicklung auf dem Kapitalmarkt und dem davon abhängigen Kalkulationszinsfuß

Zur Einschränkung des Unsicherheitsbereichs der angenommenen Daten und deren Entwicklung werden die Auswirkungen einzelner Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit mit Hilfe von Variantenrechnungen abgeschätzt.

#### **4. Tatsächlich ausgeführtes Modell**

Für die Be- und Entlüftung ist ein System ausgewählt worden, welches mit geringen Betriebskosten ein angenehmes Raumklima erreichen soll.

Dazu ist vor die südlich ausgerichtete Fensterfront der acht Hörsäle eine zweite Glasfassade im Abstand von ca. 1,15 m gesetzt worden. Diese Doppelglasfassade soll im Winter die Vorwärmung der Zuluft sicherstellen und somit die Heizkosten reduzieren. Im Sommer soll dadurch sichergestellt sein, dass der Sonnenschutz auch bei starkem Wind nutzbar ist.

Die Abluft wird dabei über je einen windgetriebenen Abluftventilator pro Hörsaal abgesaugt. Die Abluftventilatoren sind auf dem Dach des Bauteils 2.4 angeordnet. Im Abluftkanal ist eine Jalousieklappe angeordnet, um die Luftmenge zu regeln. Die Zuluft strömt größtenteils über estrichbündige Zuluftelemente, zum anderen durch die Fenster zur DF nach. Der Volumenstrom, der durch die Zuluftelemente strömt, wird über Fußbodenkonvektoren aufgeheizt. Dieser Heizkreis enthält ein Wasser-Glykol-Gemisch, um Frostschäden zu vermeiden. Ventilator und Luftkanalnetz sind für eine Luftmenge von 900 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

Der erforderliche Luftwechsel soll in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration geregelt werden. Ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf über 1.500 ppm soll durch Regelung der Luftmenge verhindert werden. Ein zusätzlicher Luftwechsel könnte durch das manuelle Öffnen der Fenster realisiert werden.

Die Kosten für diese Anlage sind in Kapitel 7.1 dargestellt.

#### **5. Vergleichsmodell (Referenzmodell)**

Das Vergleichsmodell sieht eine Be- und Entlüftungsanlage für die acht Hörsäle vor. Die Hörsäle erhalten Drallauslässe zur Einbringung der Zuluft, die Abluft wird über Luftgitter abgesaugt. Die Lüftungsanlage wird nach Stand der Technik zum Zeitpunkt der Planung der Anlagentechnik für die Hörsäle ausgelegt.

Die zum Bauzeitpunkt geltenden „Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (RLT-Anlagen-Bau-93)“ führen im Kapitel 1.2 „Voraussetzung für den Einbau von RLT-Anlagen“ auf, dass die Errichtung von RLT-Anlagen erforderlich sein kann, wenn sich eine größere Anzahl von Personen auf kleinem Raum über eine längere Zeit (länger als eine Stunden) aufhält und:

- a) ein spezifisches Raumvolumen von 5 m<sup>3</sup>/Person unterschritten wird,

- b) oder bei einseitiger freier Lüftungsmöglichkeit und einer geringeren Raumhöhe als 3,4 m die Raumtiefe 8,4 m übersteigt (Hinweis: in der RLT-Anlagenbau 2004 ist dieser Wert sogar auf 7,0 m reduziert worden).

Bei den betrachteten Hörsälen ist das spezifische Raumvolumen bei mehr als 60 Personen unterschritten und die Raumtiefe beträgt 9,5 m. Es wären somit beide Bedingungen erfüllt, um alternativ den Einbau einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage vorzusehen.

Von Herrn Prof. Teifke durchgeführte Untersuchungen zeigen auf, dass bei einer Belegung der Hörsäle mit jeweils 75 Personen ein Volumenstrom von ca. 1.600 m<sup>3</sup>/h erforderlich wäre, um einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf über 1.500 ppm zu verhindern. Dies entspräche einem 6-fachen stündlichen Luftwechsel.

Die Auslegung der Referenzanlage mit diesem Luftmengen würde jedoch zu einer besseren Luftqualität in den Hörsälen führen als bei der tatsächlich vorhandenen Anlage. Dies würde ebenfalls zu höheren Kosten der Referenzanlage auf Grund der wesentlich aufwendigeren Lüftungstechnik führen und könnte dadurch die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung in Frage stellen.

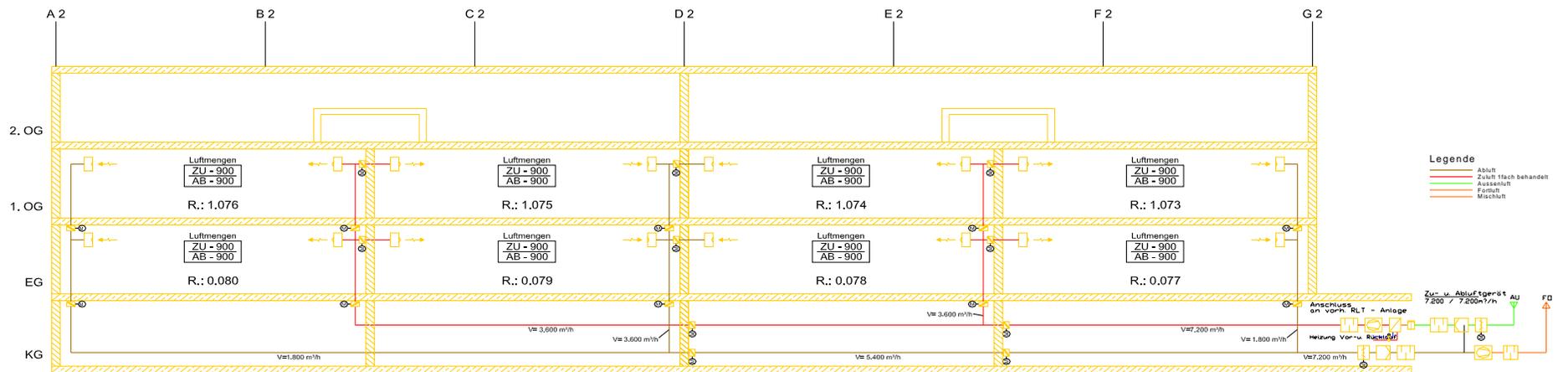
Die Luftmenge wird deshalb analog zur ausgeführten Lüftungsanlage für einen Volumenstrom von 900 m<sup>3</sup>/h je Hörsaal ausgeführt.

Das Kanalnetz wird dementsprechend ausgelegt sowie mit Luftein-, -auslässen, Brandschutzklappen, MSR-Komponenten und Wärmedämmung gemäß nachfolgendem Schema versehen. Es wird eine separate Zu- und Abluftanlage für die Be- und Entlüftung der acht Hörsäle berücksichtigt.

Die Kosten für diese Anlage sind in Kapitel 7.2 dargestellt.

Das Schema dieser Anlage ist nachfolgend aufgeführt:

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung - Pilotprojekt „Doppelglasfassade“  
 Fachhochschule Westküste in Heide



## **6. Ermittlung der Heizenergieeinsparung**

Die Ermittlung des Wärmeenergieverbrauchs ist durch Herrn Prof. Teifke und Herrn Dipl.-Ing. Jungclaus vom Institut „Wärme- und Stoffübertragung“ der FH-W Heide, mittlerweile FH Flensburg, anhand von dynamischen Gebäudesimulationen mit der Software TRNSYS 16 durchgeführt worden.

Dabei sind die in Kapitel 5 und 6 beschriebenen Be- und Entlüftungssysteme anhand des durchschnittlichen Testreferenzjahres für den Standort Heide verglichen worden.

Die ermittelte Heizenergieeinsparung beträgt

**13.066 Kilowattstunden (kWh) pro Jahr.**

Der Abschlussbericht von Herrn Prof. Teifke / Herrn Dipl.-Ing. Jungclaus ist in der Anlage beigefügt.

## **7. Kostengegenüberstellung der beiden Modelle**

Die Kostengegenüberstellung der beiden Modelle erfolgt auf der Basis folgender Annahmen:

- eine Kostendifferenz für die MSR- und DDC-Technik wird vernachlässigt, da der Umfang der unterschiedlichen Feldgeräte in etwa vergleichbar ist (Thermostatventile einerseits, Volumenstromregler und Brandschutzklappen andererseits)
- gegenübergestellt werden nur die Kosten für die unterschiedliche Technik der beiden Modelle; Komponenten, die in beiden Anlagen enthalten sind, werden nicht aufgeführt
- die nachfolgend aufgeführten Kosten beider Anlagen sind den Schlussrechnungen der ausführenden Firmen des 1. BA der FH-W Heide entnommen worden
- die Brutto-Kosten beinhalten eine Umsatzsteuer von 16%
- die Kennwerte für Nutzungsdauer und Instandhaltungskosten sind der VDI 2067, Blatt 1 [2] entnommen
- bei der Berechnung der Investitionskosten wurde eine anteilige Zusatzinvestition für Bauteile mit geringeren Nutzungsdauern als der Betrachtungszeitraum (25 Jahre) berücksichtigt.



## 7.2. Kosten für Be- und Entlüftungstechnik gemäß Kapitel 5

| Referenzanlage mit zentralem Zu- und Abluftgerät und konventioneller Außenfassade  |        |      |  |           |                   |                             |   |                                     |                                     |
|--|--------|------|--|-----------|-------------------|-----------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
|  | Anzahl | ME   |  | EP        | GP                | Nutzungs-<br>dauer<br>Jahre | Instandhaltungs-<br>kosten<br>% der Investition | Investitions-<br>kosten<br>einmalig | Instandhalt.-<br>kosten<br>jährlich |
| <b>Kosten Zu-, Ab-, Fort- und Außenluftversorgung der 8 Hörsäle</b>                |        |      |  |           |                   |                             |   |                                     |                                     |
| <b>Lüftungstechnik</b>   |        |      |  |           |                   |                             |   |                                     |                                     |
|  |        |      |  | €-netto   | €-netto           |                             |   | €-netto                             | €-netto                             |
| Drallauslässe  | 48     | Stck |  | 204,52    | 9.816,80          | 20                          | 0,5   | 12.271,01                           | 61,36                               |
| Rechteck-Lüftungskanal - Zu- u. Abluft   | 500    | m²   |  | 27,30     | 13.651,49         | 20                          | 1   | 17.064,37                           | 170,64                              |
| Lüftungskanal-Formstücke - Zu- u. Abluft   | 180    | m²   |  | 32,93     | 5.926,90          | 20                          | 1   | 7.408,62                            | 74,09                               |
| Wärmedämmung Zuluftkanal   | 680    | m²   |  | 7,82      | 5.319,48          | 20                          | 1   | 6.649,35                            | 66,49                               |
| Wärmedämmung Zuluftkanal, Zulage für Formstücke                                    | 180    | m²   |  | 3,89      | 699,45            | 20                          | 1   | 874,31                              | 8,74                                |
| Abluftgitter, Trox AT-AG 625/125   | 48     | Stck |  | 43,05     | 2.066,44          | 20                          | 0,5   | 2.583,05                            | 12,92                               |
| Kulissen-Schalldämpfer   | 16     | Stck |  | 256,15    | 4.098,35          | 20                          | 1   | 5.122,94                            | 51,23                               |
| Volumenstromregler, 900 m³/h   | 16     | Stck |  | 92,24     | 1.475,79          | 20                          | 1,5   | 1.844,74                            | 27,67                               |
| Brandschutzklappen, mit Stellantrieb und Vermörtelung                              | 20     | Stck |  | 511,29    | 10.225,84         | 15                          | 5   | 17.043,06                           | 852,15                              |
| Rechteck-Lüftungskanal - Außenluft   | 50     | m²   |  | 27,30     | 1.365,15          | 20                          | 1   | 1.706,44                            | 17,06                               |
| Lüftungskanal-Formstücke - Außenluft   | 25     | m²   |  | 32,93     | 823,18            | 20                          | 1   | 1.028,97                            | 10,29                               |
| Wärmedämmung Außenluftkanal  | 75     | m²   |  | 29,96     | 2.247,13          | 20                          | 1   | 2.808,91                            | 28,09                               |
| Wärmedämmung Außenluftkanal, Zulage für Formstücke                                 | 25     | m²   |  | 8,18      | 204,52            | 20                          | 1   | 255,65                              | 2,56                                |
| Außenluftturm für Luftmenge von  | 7200   | m³/h |  | 1,67      | 12.037,86         | 20                          | 0,5   | 15.047,32                           | 75,24                               |
| Rechteck-Lüftungskanal - Fortluft  | 50     | m²   |  | 27,30     | 1.365,15          | 20                          | 1   | 1.706,44                            | 17,06                               |
| Lüftungskanal-Formstücke - Fortluft  | 25     | m²   |  | 32,93     | 823,18            | 20                          | 1   | 1.028,97                            | 10,29                               |
| RLT-Anlage mit separater Zu- und Abluft, ohne WRG, 7.200 m³/h, sowie Fortlufthaube | 1      | Stck |  | 24.510,59 | 24.510,59         | 12                          | 2   | 51.063,73                           | 1.021,27                            |
| Platzbedarf für zusätzliche RLT-Geräte und -kanäle *                               | 30     | m²   |  | 900,00    | 27.000,00         | 50                          | 0   | 27.000,00                           | 0,00                                |
| Platzbedarf für zusätzliche RLT-Schächte*  | 25     | m²   |  | 900,00    | 22.500,00         | 50                          | 0   | 22.500,00                           | 0,00                                |
| Decken-Aussparung/Durchbrüche für RLT-Kanal *                                      | 10     | Stck |  | 153,39    | 1.533,88          | 50                          | 0   | 1.533,88                            | 0,00                                |
| Wand-Aussparung/Durchbrüche für RLT-Kanal *  | 12     | Stck |  | 153,39    | 1.840,65          | 50                          | 0   | 1.840,65                            | 0,00                                |
| <b>Titelsumme</b>  |        |      |  |           | <b>149.531,82</b> |                             |   | <b>198.382,40</b>                   | <b>2.507,16</b>                     |
| <b>Gesamtsumme</b>   |        |      |  |           | <b>149.531,82</b> |                             |   | <b>198.382,40</b>                   | <b>2.507,16</b>                     |
| <b>Gesamtsumme - brutto</b>  |        |      |  |           | <b>173.456,91</b> |                             |   | <b>230.123,58</b>                   | <b>2.908,30</b>                     |

\* Die Kennwerte für die Nutzungsdauer und Instandhaltungskosten der gekennzeichneten Bauteile wurden angenommen, da in den Normen keine ähnlichen Bauteile zu finden waren.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Kosten für die einzelnen Titel, aufgeschlüsselt in die Kosten für Erstinvestition und Gesamtkosten einschließlich Re-Investition:

| Referenzanlage mit zentralem Zu- und Abluftgerät und konventioneller Außenfassade |                     |                   |                               |                   |
|---|---------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| Kostenzusammenstellung  | nur Erstinvestition |                   | einschließlich Re-Investition |                   |
|   | €-netto             | €-brutto          | €-netto                       | €-brutto          |
| <b>Kosten - Zu-, Ab-, Fort- und Außenluftversorgung der 8 Hörsäle</b>             | <b>149.531,82</b>   | <b>173.456,91</b> | <b>198.382,40</b>             | <b>230.123,58</b> |
| <b>Gesamtkosten</b>   | <b>149.531,82</b>   | <b>173.456,91</b> | <b>198.382,40</b>             | <b>230.123,58</b> |

## 7.3. Energieeinsparung

Die von Herrn Prof. Teifke / Herrn Dipl.-Ing. Jungclaus durchgeführte dynamische Gebäudesimulation brachte folgende Ergebnisse für den Wärmebedarf der beiden untersuchten Anlagen:

| Randbedingungen der dynamischen Gebäudesimulation |                  |                            |                   |                |
|---|------------------|----------------------------|-------------------|----------------|
|   |                  |                            | vorhandene Anlage | Referenzanlage |
| Luftwechsel                                       | LW               | 1/h                        | 3,1               | 3,1            |
| Gesamtfläche der Hörsäle                          | A                | m <sup>2</sup> HNF         | 775,14            | 775,14         |
| Gesamtvolumen der Hörsäle                         | V                | m <sup>3</sup>             | 2.344,80          | 2.344,80       |
| Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation      |                  |                            |                   |                |
| Heizwärmebedarf                                   | a <sub>4</sub>   | kWh/a                      | 49.998            | 63.054         |
| spez. Heizwärmebedarf                             | a <sub>4s1</sub> | kWh/(a*m <sup>2</sup> HNF) | 65                | 81             |
| spez. Heizwärmebedarf                             | a <sub>4s2</sub> | kWh/(a*m <sup>3</sup> )    | 21                | 27             |

Für den Betrieb der Zu- und Abluftventilatoren der Referenzanlage wurde ein zusätzlicher Strombedarf ermittelt:

| Strombedarf - Ventilatoren                  |                        |                   |              |
|---|------------------------|-------------------|--------------|
| Vollbenutzungsstunden                       | h <sub>VB</sub>        | h / a             | 1.260        |
| Vollbenutzungswochen                        | wo <sub>VB</sub>       | Wo / a            | 42           |
| Vollbenutzungstage                          | d <sub>VB</sub>        | d / Wo            | 5            |
| tägl. Vollbenutzungsstd.                    | h <sub>VB,d</sub>      | h / d             | 6,0          |
| Volumenstrom                                | V/t                    | m <sup>3</sup> /h | 7.200        |
| Volumenstrom                                | V/t                    | m <sup>3</sup> /s | 2,00         |
| Totaldruckerhöhung                          | Δp <sub>t</sub>        | Pa                | 1.000        |
| Ventilatorwirkungsgrad                      | η <sub>v</sub>         | -                 | 0,78         |
| Motorwirkungsgrad                           | η <sub>M</sub>         | -                 | 0,90         |
| Ventilator-Spitzenenergiebedarf             | P <sub>V,el</sub>      | kW                | 2,83         |
| Ventilator-Jahresenergiebedarf              | P <sub>V,a,el</sub>    | kWh / a           | 3.569        |
| Jahresenergiebedarf Zu- u. Abluftventilator | P <sub>Vges,a,el</sub> | kWh / a           | <b>7.138</b> |

**Anmerkung:** laut aktuellem Belegungsplan des WS 2006/07 liegt die Belegung der Hörsäle bei durchschnittlich nur 15 Stunden pro Woche. Da dies jedoch nicht dem in der Planung des Gebäudes anvisiertem Auslastungsgrad entspricht, wird die o. g. Auslastung von 30 Stunden pro Woche als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung verwendet.

### 7.3.1. CO<sub>2</sub>-Einsparungen

Die Energieeinsparungen können auch als CO<sub>2</sub>-Einsparungen dargestellt werden. Dazu ist die Primärenergieversorgung der Fachhochschule zu analysieren: die Versorgung der Räume mit Heizenergie erfolgt über das Nahwärmenetz aus dem Blockheizkraftwerk der Fachhochschule. Um die CO<sub>2</sub>-Einsparung ermitteln zu können, ist ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent für diese Art der Wärmeversorgung zu ermitteln. Für die Berechnung wird der Wert von 153 g CO<sub>2</sub>/kWh<sup>1</sup> angenommen, mit welchem die Fernwärmeversorgung bewertet wird. Für die Stromversorgung beträgt das gewählte CO<sub>2</sub>-Äquivalent 627 g CO<sub>2</sub>/kWh<sup>1</sup>.

CO<sub>2</sub>-Einsparung über Wärmeeinsparung: 13.066 kWh \* 153 g CO<sub>2</sub>/kWh = 1.999 kg CO<sub>2</sub>/a

CO<sub>2</sub>-Einsparung über Stromeinsparung: 7.138 kWh \* 627 g CO<sub>2</sub>/kWh = 4.476 kg CO<sub>2</sub>/a

**Es ergibt sich somit eine gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 6.475 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr.**

## 8.

<sup>1</sup>Angaben aus dem Energiebericht für die landesgenutzten Liegenschaften in Schleswig-Holstein (September 2005), die sich auf CO<sub>2</sub>-Emissionswerte gemäß GEMIS (**G**lobales **E**missions-**M**odell **I**ntegrierter **S**ysteme) beziehen, welche den Bundesdurchschnitt von 2001 wiedergeben

## Wirtschaftlichkeitsberechnung

### 8.1. Kapitalwertmethode

#### 8.1.1. Randbedingungen

Der Untersuchung werden folgende Randbedingungen zu Grunde gelegt:

| Randbedingungen               |          |       |           |
|-------------------------------|----------|-------|-----------|
| Wärmekosten                   | $k_{Wä}$ | €/kWh | 0,085     |
| Stromkosten                   | $k_S$    | €/kWh | 0,10      |
| Wärmepreissteigerung *        | $p_4$    | %     | 6,8%      |
| Strompreissteigerung *        | $p_5$    | %     | 4,0%      |
| Lohnpreissteigerung           | $p_1$    | %     | 3,3%      |
| Kalkulationszinsfuß           | $i$      | %     | 5,0%      |
| Faktor-Energiepreissteigerung | $q_4$    |       | 1,017     |
| Faktor-Strompreissteigerung   | $q_5$    |       | 0,990     |
| Faktor-Lohnpreissteigerung    | $q_1$    |       | 0,984     |
| <b>Betrachtungszeitraum</b>   | <b>n</b> |       | <b>25</b> |

\* Für die Werte Wärmepreis- und Strompreissteigerung wurden von der VDI 2067-1 (Stand: Sept. 2000) abweichende Werte verwendet, da die dort erwähnten Werte (Energiepreissteigerung: 3,0 %) als zu gering empfunden werden.

#### 8.1.2. Investition I

Die Investition I entspricht der Mehrinvestition  $\Delta I$ , die sich aus der Differenz der Investitionen der beiden untersuchten Anlagen berechnet. Dabei ist eine anteilige Zusatzinvestition für Bauteile mit geringeren Nutzungsdauern als der Betrachtungszeitraum (25 Jahre) berücksichtigt (s. Tabellen in den Kapiteln 7.1 und 7.2):

| Variantengegenüberstellung |            |   |                   |                |
|----------------------------|------------|---|-------------------|----------------|
|                            |            |   | vorhandene Anlage | Referenzanlage |
| Investitionskosten         | I          | € | 418.818,17        | 230.123,58     |
| Mehrinvestition            | $\Delta I$ | € | <b>188.694,59</b> |                |

#### 8.1.3. Zusammenstellung der jährlichen Ausgaben

| Jährliche Ausgaben              |       |       |                   |                 |
|---------------------------------|-------|-------|-------------------|-----------------|
|                                 |       |       | vorhandene Anlage | Referenzanlage  |
| <b>Gesamtausgaben</b>           | $A_0$ | €/a   | <b>6.928,94</b>   | <b>8.981,72</b> |
| Wartung und Instandhaltung      | $A_1$ | €/a   | 1.983,96          | 2.908,30        |
| Reinigung                       | $A_2$ | €/a   | 696,00            |                 |
| Betriebskosten                  | $A_3$ | €/a   | 4.248,98          | 6.073,42        |
| <b>Heizwärmebedarf</b>          | $a_4$ | kWh/a | <b>49.988</b>     | <b>63.054</b>   |
| <b>Strombedarf-Ventilatoren</b> | $a_5$ | kWh/a | <b>0</b>          | <b>7.138</b>    |

Die Reinigungskosten stellen die Kosten für die Reinigung der zusätzlichen Glasfassade dar. Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus Kosten für Strom und Wärme.

### 8.1.4. Ausgabendifferenzen als Einsparungen

Um die beiden Varianten mit unterschiedlich hohen Ausgaben vergleichen zu können, ist die Differenz der Ausgaben ermittelt worden. Diese Ausgabendifferenzen sind als Einnahmen aufgeführt, so dass bei der späteren Kapitalwertberechnung nur Einnahmen anstelle der Ausgaben aufgeführt werden:

| Jährliche Einnahmen                       |                      |           |                   |                |
|---|----------------------|-----------|-------------------|----------------|
|   |                      |           | vorhandene Anlage | Referenzanlage |
| <b>Einnahmen</b>                          | <b>E<sub>0</sub></b> | <b>€a</b> | <b>2.052,79</b>   |                |
| <b>Betriebskosteneinsparung-Wartung</b>   | <b>E<sub>1</sub></b> | <b>€a</b> | <b>924,34</b>     | <b>0,00</b>    |
| <b>Betriebskosteneinsparung-Reinigung</b> | <b>E<sub>2</sub></b> | <b>€a</b> | <b>-696,00</b>    | <b>0,00</b>    |
| <b>Betriebskosteneinsparung-Wärme</b>     | <b>E<sub>4</sub></b> | <b>€a</b> | <b>1.110,61</b>   | <b>0,00</b>    |
| Heizwärmebedarf                           | e <sub>4</sub>       | kWh/a     | 13.066            | 0              |
| <b>Betriebskosteneinsparung-Strom</b>     | <b>E<sub>5</sub></b> | <b>€a</b> | <b>713,83</b>     | <b>0,00</b>    |
| Strombedarf                               | e <sub>5</sub>       | kWh/a     | 7.138             | 0              |

### 8.1.5. Berechnung des Kapitalwerts

Die Berechnung des Kapitalwerts C erfolgt gemäß Kapitel 3.1, wobei der Anteil der Ausgaben nicht mit aufgeführt wird. Aufgrund der unterschiedlichen Steigerungsfaktoren q<sub>1</sub> bis q<sub>5</sub> werden die Einnahmen in Einzeleinnahmen E<sub>1</sub> bis E<sub>5</sub> unterschieden:

$$C = -I + (E_1 + E_2) \times \frac{q_1 \times (1 - q_1^n)}{1 - q_1} + E_4 \times \frac{q_4 \times (1 - q_4^n)}{1 - q_4} + E_5 \times \frac{q_5 \times (1 - q_5^n)}{1 - q_5}$$

$$C = -188.694,53 + (924,34 - 696) \times \frac{0,984 \times (1 - 0,984^{25})}{1 - 0,984} + 1.110,61 \times \frac{1,017 \times (1 - 1,017^{25})}{1 - 1,017} + 713,83 \times \frac{0,99 \times (1 - 0,99^{25})}{1 - 0,99}$$

$$C = -188.694,53 + 228,34 \times 20,36 + 1.110,61 \times 31,42 + 713,83 \times 22,13$$

$$\underline{\underline{\text{Kapitalwert } C = -133.357,71 \text{ €}}}$$

Das negative Ergebnis der Berechnung stellt die getätigte Investition in Frage.

## 8.2. Sensitivitätsanalyse

Aufgrund der Eindeutigkeit des Ergebnisses wird auf die Sensitivitätsanalyse verzichtet.

## 9.

## Zusammenfassung

### 9.1. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Die „Energetische Beratung für das Bauvorhaben Fachhochschule Heide“, aufgestellt von der Firma TRANSSOLAR Energietechnik GmbH am 20.03.1995, schließt auf Seite 28 mit einer Wirtschaftlichkeit der Installation der Doppelfassade ab.

**Die hier vorgenommene Wirtschaftlichkeitsuntersuchung kann jedoch keine Wirtschaftlichkeit des Pilotprojekts „Doppelglasfassade“ bestätigen. Der berechnete Kapitalwert C der Investition ist negativ (C = -133.357,71 €)!**

### 9.2. Vergleich zur HU-Bau

Nachfolgend ist ein Vergleich der Berechnungsgrundlagen der Fa. TRANSSOLAR zu den jetzt ermittelten Werten dargestellt:

| <b>Kennwerte der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen</b> |                  |            |            |
|--|------------------|------------|------------|
|  |                  | TRANSSOLAR | GMSH       |
| Mehrkosten der Glasfassade *                           | €/m <sup>2</sup> | 306,78     | 726,38     |
| Fläche der Glasfassade                                 | m <sup>2</sup>   | 204,52     | 156,05     |
| Gesamtkosten der Glasfassade                           | €                | 122.710,05 | 221.699,22 |
| Kosten für windbetriebene Lüftung                      | €                | 40.903,35  | 183.155,98 |
| Einsparung an RLT-Technik                              | €                | 245.420,10 | 173.456,91 |
| Bilanz **  | €                | -81.806,70 | 231.398,29 |
| <b>jährliche Energieeinsparung:</b>                    |                  |            |            |
| Strom (Lüftung)  | kWh / a          | 22.000     | 7.138      |
| Wärme  | kWh / a          | 15.000     | 13.066     |
| Wartung und Instandhaltung                             | € / a            |            | 1.620,34   |
| vorauss. jährl. Betriebskosteneinsparung               | € / a            | 3.425,66   | 3.444,79   |
| <b>Vergleich mit aktuellen Kostensätzen:</b>           |                  |            |            |
| Wärmekosten  | €/kWh            | 0,085      | 0,085      |
| Stromkosten  | €/kWh            | 0,10       | 0,10       |
| jährliche Betriebskosteneinsparung                     | € / a            | 3.475,00   | 2.652,91   |

Hinweis:

Die oben aufgeführten €-Beträge sind brutto-Werte.

\* Dieser Wert wurde von der Fa. Transsolar in einer Nachkalkulation vom 14.03.1997 auf 460,16 €/m<sup>2</sup> (900,00 DM/m<sup>2</sup>) angehoben (siehe Schreiben von Herrn Ahrens an den GB Land vom 14.07.2000, AZ BM 1151-262001 (C/BI)).

\*\* Die Nachkalkulation vom 14.03.1997 ergibt eine Bilanz von -20.451,68 € (-40.000,00 DM).

### 9.3. Ursachen der Abweichung

Die vorstehende Tabelle zeigt, dass die von Transsolar prognostizierten Einsparungen an Betriebskosten etwa erzielt werden können. Jedoch liegen die Investitionskosten wesentlich höher als damals angenommen.

Die Ursachen hierfür und für das abweichende Ergebnis der hier vorgenommenen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind folgende:

1. Spezifische Mehrkosten der Glasfassade um fast 250 % über angenommenen Kosten
2. Mehrkosten der windgetriebenen Lüftung um fast 450 % über angenommenen Kosten
3. Einsparung an RLT-Technik in Höhe von nur ca. 70 % der angenommenen Kosten
4. Einsparung an Strom für Ventilatoren der RLT-Technik von nur ca. 33 % des angenommenen Aufwands

## **10. Ausblick**

In der Fachhochschule sind mittlerweile Wärmemengenzähler zur Erfassung des Heizenergieverbrauchs im Bereich der Hörsäle installiert und auf die Gebäudeautomation aufgeschaltet. Es sind drei Wärmemengenzähler installiert worden:

1. Wärmeverbrauch im Heizkreis „Zuluftelemente“
2. Wärmeverbrauch im Heizkreis „statische Heizflächen - EG“
3. Wärmeverbrauch im Heizkreis „statische Heizflächen - 1. OG“

Die Wärmeverbrauche können entweder direkt an den Wärmemengenzählern oder auf den entsprechenden Anlagenbildern im Leitrechner abgelesen werden.

Diese Werte könnten dann von der FH-W an den GB 312 weitergeleitet werden.

## **11. Quellenverzeichnis**

[1] Wirtschaftlichkeitsberechnung (Kapitel 3) aus: Friedrich Reinmuth „Energieeinsparung in der Gebäudetechnik“

[2] VDI 2067, Blatt 1, Ausgabe September 2000

### **aufgestellt:**

Im Auftrag

Thomas Honscha, 2951.5

**GMSH, ZNL Lübeck/ltzehoe**

ltzehoe, 16.02.2007

### **Anlagen**

Abschlussbericht zur dynamischen Gebäudesimulation „Jahreswärmebedarf von Hörsälen mit Klimafassade oder Einfachfassade bei Luftwechselrate von 900 m<sup>3</sup>/h“ vom 07.07.2006

**Jahreswärmebedarf von Hörsälen mit  
Klimafassade oder Einfachfassade  
bei einer  
Luftwechselrate von 900 m<sup>3</sup>/h**

**Schlussbericht**

**durchgeführt für das**

**Land Schleswig-Holstein**

**vertreten durch die**

**GMSH  
Zweigniederlassung Itzehoe  
Bergstraße 6  
25524 Itzehoe**

Prof. Dr.-Ing. J. Teifke  
Dipl.-Ing. J. Jungclaus  
Flensburg, den 07. Juli 2006

## **Inhaltsverzeichnis**

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>ZIEL DER UNTERSUCHUNG</b>                            | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>ZONENMODELL</b>                                      | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>JAHRESWÄRMEBEDARFE</b>                               | <b>3</b> |
| 3.1      | Belegung, Kohlendioxidkonzentration und Luftwechselrate | 3        |
| 3.2      | Gegenüberstellung Klimafassade / Einfachfassade         | 3        |
| <b>4</b> | <b>BEWERTUNG DER BERECHNETEN JAHRESWÄRMEBEDARFE</b>     | <b>4</b> |
| <b>5</b> | <b>LITERATUR</b>  | <b>4</b> |

## **1 Ziel der Untersuchung**

Der Jahreswärmebedarf für den gesamten Bereich der Klimafassade der Fachhochschule Westküste in Heide soll berechnet werden. Der Bereich beinhaltet die Hörsäle H01 bis H04 und H11 bis H14.

In der vorausgegangenen Arbeit [1] wurde gezeigt, dass der Hörsaal H12 in der Variante Klimafassade Jahreswärmebedarfe aufweist, die abhängig von der Belegungssituation 13,1 % bis 27,8 % unter der Variante Einfachfassade liegen.

Mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation wird der Jahreswärmebedarf unter standardisierten Bedingungen für den gesamten Bereich der Klimafassade berechnet und der Variante Einfachfassade gegenübergestellt.

## **2 Zonenmodell**

Je nach Lage im Baukörper weist der betrachtete Hörsaal verschiedene thermische Wechselwirkungen zur Umgebung und zu benachbarten Räumen auf. Es wurden folgende Zonen durch Eingabe der physikalischen Daten definiert: Klimafassade, Hörsaal, Flur und Keller. Hierzu wurden die geometrischen Maße, das Volumen, die Wärmekapazität der begrenzenden Wände, die spezifische Wärmekapazität der in der Zone befindlichen Gegenstände und Luftwechselraten mit der Umgebung ermittelt und eingegeben.

## **3 Jahreswärmebedarfe**

Der Jahreswärmebedarf des jeweiligen Hörsaals hängt im Wesentlichen vom Baukörper und Lage des betrachteten Hörsaals im Baukörper, von witterungsbedingten, äußeren Einflüssen, von der Solltemperatur des Hörsaals und von internen Wärmequellen ab. Als interne Wärmequelle sind hauptsächlich die Belegung mit Studierenden während der Vorlesungen und die damit verbundenen Luftwechselraten zu nennen.

### **3.1 Belegung, Kohlendioxidkonzentration und Luftwechselrate**

Die Rechnungen wurden für eine Belegung mit 34 Studierenden durchgeführt. Diese Belegung führt während der Vorlesungszeiten zu einem starken Anstieg der Konzentration des Atemgases Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ).

Durch Be- und Entlüftung des Hörsaals muss diesem  $\text{CO}_2$ -Anstieg entgegengewirkt werden.

Die Luftwechselrate wurde für eine Belegung mit 34 Studierenden berechnet. Sie beträgt 3,1/h bzw. 900  $\text{m}^3/\text{h}$ . Diese Luftwechselrate gewährleistet, dass die tolerierbare  $\text{CO}_2$ -Konzentration von 1500 ppm nicht überschritten wird.

### **3.2 Gegenüberstellung Klimafassade / Einfachfassade**

Für jeden Hörsaal wurde der Jahreswärmebedarf für verschiedene bauliche Situationen (Einfachfassade, Klimafassade) berechnet. Die in der Tabelle 1 aufgeführten berechneten Jahreswärmebedarfe besitzen für folgende Bedingungen Gültigkeit:

1. Raumtemperatur Hörsaal (Solltemperatur): 20 °C (normal) und 17 °C (abgesenkt) mit Absenkung von 20:00 bis 7:00 Uhr und an den Wochenenden

2. Temperatur Flur: Solltemperatur jeweils 3 K unterhalb Solltemperatur Hörsaal
3. Raumbelugung Hörsaal: 34 Studierende in den Zeiten 8:00 bis 12:00 Uhr und 14:00 bis 16:00 Uhr (Vorlesungszeiträume)
4. Raumlüftung Hörsaal: Luftwechselrate beträgt 3,1/h während der unter Punkt 3 angegebenen Zeiten, sonst 0,6/h (Infiltration durch Undichtigkeiten). Die Zuluft kommt aus der Klimafassade oder aus der Umgebung

| Betrachteter Hörsaal<br>Belegung: 34 Studierende,<br>3,1facher Luftwechsel | Jahreswärmebedarf      |                          |                                       |
|--|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
|  | Klimafassade<br>in kWh | Einfachfassade<br>in kWh | Minderverbrauch<br>durch Klimafassade |
| H11  | 6327                   | 7978                     | 20,7%                                 |
| H12  | 5286                   | 6811                     | 22,4%                                 |
| H13  | 5272                   | 6803                     | 22,5%                                 |
| H14  | 6217                   | 7674                     | 19,0%                                 |
| H01  | 7401                   | 9151                     | 19,1%                                 |
| H02  | 6179                   | 7893                     | 21,7%                                 |
| H03  | 6169                   | 7883                     | 21,7%                                 |
| H04  | 7138                   | 8861                     | 19,4%                                 |
| <b>Summe</b>   | <b>49988</b>           | <b>63054</b>             | <b>20,7%</b>                          |

Tabelle 1: Jahreswärmebedarfe der Hörsäle für verschiedene bauliche Situationen

#### 4 Bewertung der berechneten Jahreswärmebedarfe

Die Jahreswärmebedarfe der einzelnen Hörsäle der Variante Einfachfassade differieren um bis zu 35 %. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Lage im Baukörper. Angrenzend an die Hörsäle H02, H03, H12 und H13 befinden sich weitere „warme“ Räume, was zu geringeren Jahreswärmebedarfe führt. Die Hörsäle H01 und H02 besitzen neben der verglasten Südfassade eine Außenwand. Die Jahreswärmebedarfe sind dadurch deutlich höher als bei den innen liegenden Hörsälen.

Für die Variante Klimafassade zeigt sich ein entsprechendes Bild. Zudem zeigen diese Hörsäle gegenüber der Variante Einfachfassade Minderbedarfe von 19,0 % bis 22,5 %.

Für den gesamten Bereich der Klimafassade ergibt sich ein Minderbedarf von 20,7 %

#### 5 Literatur

[1] J. Teifke: Verifizierung der energetischen Untersuchung der Fa. Transsolar, 2005

Flensburg, den 7. Juli 2006

Prof. Dr.-Ing. J. Teifke  
-Verfasser -