

Beitrag

## **Haustechnik für die Passivhaussanierung**

zum

**Workshop**

## **Sanierung zum Passivhaus**

30.09.2005

FH Wels

Autoren:

Michael Berger, Bernd Krauss, Günther Lang, Christoph Muss, Thomas Zelger

Präsentation:

Michael Berger

Michael Berger

teamgmi - Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort

Schönbrunnerstraße 44/10,

A-1050 Wien

T +43-(0)1-5457489-0,

F +43-(0)1-5457489-17

[michael.berger@teamgmi.at](mailto:michael.berger@teamgmi.at)

[www.teamgmi.at](http://www.teamgmi.at)

# 1. Schule Schwanenstadt

## 1.1 Gebäudeklimakzept

### **Passivhaustaugliche Gebäudehülle:**

Thermisch hochwertige Qualität der Gebäudehülle, insbesondere:

- Hohe Dämmstärken Außenwand, Dächer, U – Werte 0.1 bis 0.14 W/m<sup>2</sup>K, Vermeidung bzw. Reduzierung von Wärmebrücken.
- 3 – Scheibenverglasung Weißglas mit hohem g – Wert (Verglasung U = 0.6 bis 0.7 W/m<sup>2</sup>K, g = 50 bis 55%). Kunststoffabstandhalter, thermisch optimierter Rahmen und Scheibenrandverbund, Fenster inklusive Rahmen und Randverbund gesamt U = 0.8 W/m<sup>2</sup>K.
- Konsequenter in Planung und Realisierung durchgeführtes Luftdichtigkeitskonzept, messtechnische Überprüfung mittels Blowerdoortest.

### **Lüftung mit Wärmerückgewinnung:**

Kontrollierte Be- und Entlüftung zur Herstellung einer optimalen Raumluftqualität in den Klassen (CO<sub>2</sub> – Konzentration < 1000 bis 1200 ppm) und zur erheblichen Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten.

### **Einfaches Heizsystem über Heizkörper:**

Pro Klassenraum ein Heizkörper, Platzierung nicht notwendigerweise im Fassadenbereich, damit sehr kleines Heizungsnetz möglich. Regelung z.B. über Thermostatventile.

### **Tageslichtmaßnahmen:**

Hinsichtlich Tageslichtnutzung und Sommertauglichkeit optimierte Konstruktionen Fenster, Oberlichter Halle und Sonnenschutz.

### **Passive Kühlmaßnahmen Sommer:**

Außenliegender Sonnenschutz Fenster, Nachtlüftung der innenliegenden Erschließungsflächen durch wenige über Stellmotoren automatisierte, gut angeordnete Fensterflügel, stromsparendes EDV – Equipment.

## 1.2 Berechnungen zum Gebäudeklimakzept

### **1.2.1 Passivhausprojektierungspaket PHPP:**

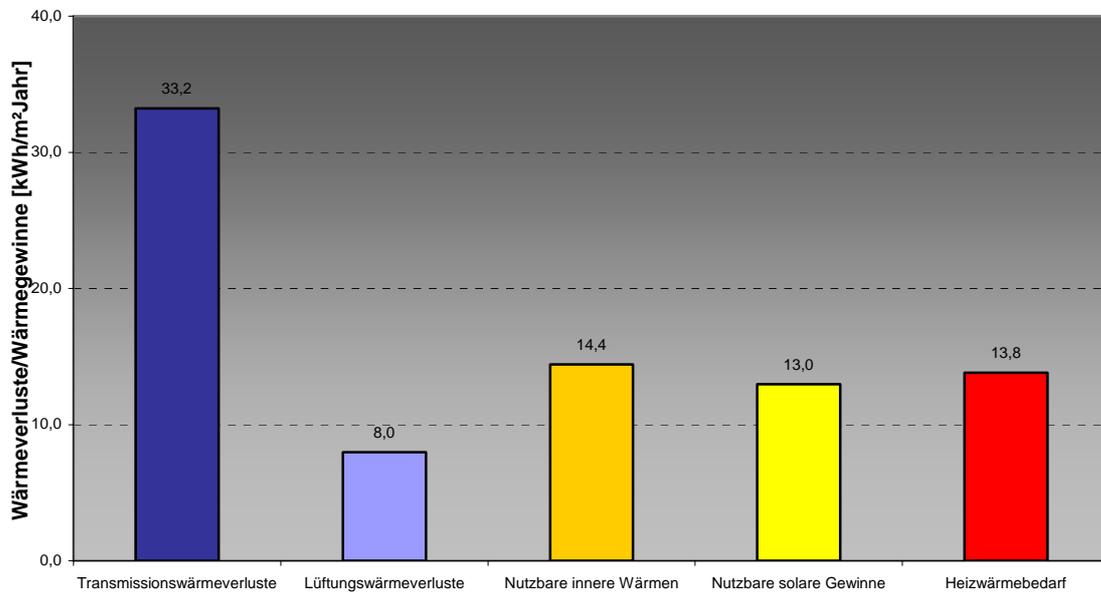
Berechnet wurde der gesamte Gebäudebestand HS2, PTS und Turnhalle saniert im Passivhausstandard. Bei sonst gleicher Konstruktionsweise (vergleiche Abschnitt „Architektur und Baukonstruktion“ bzw. U – Wertberechnungen im Anhang) wurden folgenden Varianten zu Bodenaufbau und Stützen verglichen:

Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Die inneren Wärmen sind der Nutzung entsprechend verhältnismäßig hoch
- Die Transmissionswärmeverluste sind durch die kompakte Bauweise vergleichsweise niedrig. Eine Ausnahme bilden die Verluste gegen das Erdreich über die Bodenplatte (über 30% der Transmissionswärmeverluste der nicht transparenten Bauteile)
- Der Passivhausstandard für das gesamte Gebäude kann aufgrund des kompakten Volumens für den Bereich Heizwärmebedarf problemlos erreicht werden
- Bei fließendem Grundwasser kann Passivhausstandard nur mit einer Vakuumdämmung der Bodenplatte erreicht werden

- Die Varianten Außenwand zeigen nur geringfügige Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf
- Die Heizlast liegt über Passivhausstandard, es kann daher nicht ausschließlich über die Zuluft geheizt werden.

**Wärmebilanz Passivhauschule Schwanenstadt**



Schlüsselement für das Erreichen des Passivhausstandards Heizenergiekennzahl  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ist die thermische Sanierung der Bodenplatte. Unter den hohen Anforderungen an eine geringe Bodenaufbaustärke der Sanierung max. um 8 cm erscheint hierbei nur eine Variante mit Vakuumdämmplatten sinnvoll möglich. Je nach Grundwassersituation wurden damit Heizenergiekennzahlen zwischen 10.4 und 13.9  $\text{kWh/m}^2\text{a}$  ermittelt. Die Heizlasten gemäß PHPP liegen mit 11.1  $\text{W/m}^2$  bis 12.5  $\text{W/m}^2$  geringfügig über dem Passivhauszielwert von 10  $\text{W/m}^2$ . Bei Verwendung konventioneller Bodendämmung ist die Dämmstärke erheblich zu erhöhen und zudem die hydrogeologische Situation im Detail einzuberechnen, z.B. ergab sich bei 4 cm üblicher Bodendämmung und fließendem Grundwasser eine Heizenergiekennzahl gemäß PHPP von 20.2  $\text{kWh/m}^2\text{a}$  und damit keine Passivhaustauglichkeit.

## 1.2.2 Wärmebrückenanalyse

### Anschluss Außenwand – Bodenplatte

#### Außenwand Bestand, Stahlbetonstützen

Für die thermische Schwachstelle direkt an den Stahlbetonpfosten wurden die folgenden Maßnahmen angedacht:

- Überdämmung mit Vakuumpplatten
- Überdämmung mit Faserdämmstoffen niedriger Wärmeleitfähigkeit (z.B. Schafwolle- oder Glaswolle-Trittschallfilze)
- Erhöhung der Gesamtdämmstärke

#### Dachkonstruktionen, Neubau generell:

Die erforderliche thermische Qualität der Dachkonstruktion sowie aller Neubaukonstruktionen kann mit vergleichsweise konventionellen Maßnahmen hergestellt werden.

Variante	Beschreibung	Leitwert 5m Breite	Äquivalenter U-Wert	Ver- änderung
		W/mK	W/m <sup>2</sup> K	%
Ausgangs- variante	2 cm Vakuumdämmung auf Stahlbetonstütze, 30 cm breite Dämmplatte	0,6004	0,120	0
Variante 1	Statt Vakuumdämmung 2 cm Dämmstoffe $\lambda=0,033$ W/mK (Trittschallfilz Schaf- oder Glaswolle)	0,7333	0,147	22,1%
Variante 2	Wie Variante 1, jedoch 3 cm stärkere Konstruktion außen	0,6107	0,122	1,7%
Variante 3	Wie Variante 2, nur Zellulosedämmung $\lambda =$ 0,040 W/mK	0,6262	0,125	4,3%
Vergleichs- variante	Wie Ausgangsvariante, ohne Stahlbetonstütze und Vakuumdämmung (ohne Wärmebrücke)	0,5098	0,102	-15,1%

Tabelle: Gegenüberstellung der Sanierungsvarianten im Bereich der Stahlbetonsäulen und berechnete Ergebnisse zum Leitwert bei 5 m Breite (Achismaß Stahlbetonsäulen) bzw. zum gesamten U – Wert der Wandkonstruktion inklusive Wärmebrücke

Die angestellten Wärmebrückenberechnungen betreffen die thermische Sanierung im Bereich der tragenden Stahlbetonstützen der Außenwände Bestand. Im Rahmen der kompletten Außendämmung des Gebäudes sind vor diesen exponierten Stützen aufgrund der geometrischen Verhältnisse möglichst geringe Dämmstärken erwünscht. Über Wärmebrückenberechnungen wurden die möglichen Varianten zu 2 cm Vakuumdämmplatten oder 5 cm konventionelle Überdämmung maximal WLG040 ermittelt.

### 1.2.3 Tageslichtberechnungen:

#### Zielsetzungen Tageslichtkonzept

- Ausreichender Tageslichtkoeffizient  $< 2\%$  für die Arbeitsflächen in den Klassen trotz relativ geringen Fassadenöffnungen und trotz hohen Ansprüchen an die thermische Qualität von Verglasungen (3-Scheiben), Profilen und thermischer Fassadensanierung (Passivhausqualität).
- Ausreichende Belichtung bzw. Helligkeit in den innenliegenden Hallen und Gängen, angenehmer psychologischer Eindruck (Sicherheit, Freundlichkeit, Reduzierung von Aggressivität etc.).
- Geringer Strombedarf für Kunstlichtbeleuchtung in Zusammenhang mit den für ein Passivhaus geforderten Grenzwerte Primärenergieverbrauch.

#### Stromverbrauch/Energiekennzahlen Kunstlicht, Kunstlichtkonzept:

Der die Passivhausenergiekennzahlen beeinflussende Stromverbrauch des Kunstlichts ergibt sich je nach Weiterverfolgung des Tageslichtkonzepts und je nach verwendeten Leuchten und verwendeter Regelung (Kunstlichtkonzept) auf Basis der bisherigen Berechnungen und bei üblichem Schulbetrieb gemäß folgender Tabelle.

<b>Klassenräume:</b>	
Ungünstige Tageslichtplanung, energiesparendes Kunstlicht:	4.9 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Ungünstige Tageslichtplanung, „normales“ Kunstlichtkonzept:	8.2 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Gute Tageslichtplanung, energiesparendes Kunstlichtkonzept:	2.5 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Gute Tageslichtplanung, „normales“ Kunstlichtkonzept:	4.1 kWh/m2a Strom Kunstlicht
<b>Gangflächen:</b>	
Ungünstige Tageslichtplanung, energiesparendes Kunstlicht:	4.8 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Ungünstige Tageslichtplanung, „normales“ Kunstlichtkonzept:	11.2 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Gute Tageslichtplanung, energiesparendes Kunstlichtkonzept:	1.8 kWh/m2a Strom Kunstlicht
Gute Tageslichtplanung, „normales“ Kunstlichtkonzept:	4.2 kWh/m2a Strom Kunstlicht

Eine zufriedenstellende Tagesbelichtung in den Klassen mit Tageslichtkoeffizienten von > 2% und ein hellerer, freundlicherer Raumeindruck in den Erschließungsbereichen und in der Halle erfordern Änderungen gegenüber dem aktuellen Planstand. Insbesondere betrifft dies die Hallenoberlichtausführungen (Anzahl, Größe, Rahmenanteile), weiters ist eine sorgfältige Entwicklung und Realisierung des Tageslicht- und Farbkonzepts bei den Details und in der Materialisierung Fenster, Oberlichten und Reflexionsflächen notwendig. Zur Reduzierung des Kunstlichtstromverbrauchs wird die Entwicklung eines entsprechenden energiesparenden und kostenoptimierten Kunstlichtkonzepts empfohlen.

## 1.2.4 TRNSYS Simulationen mit Schwerpunkt Sommertauglichkeit

### Annahmen Regelung, Sonnenschutz, Fensterlüftung

#### Sonnenschutz:

Für den Sonnenschutz ist eine nach Orientierung einstrahlungsgeregelte Automatik erforderlich,

#### Fensterlüftungsregelung:

Automatisch öffnbare Fensterflügel werden in warmer Jahreszeit außerhalb der Betriebszeiten geöffnet, wenn die Raumlufttemperatur über 23°C liegt. Sie bleiben in der Übergangszeit so lange geöffnet, bis die Raumlufttemperatur auf 21°C abgesunken ist.

#### Lüftung:

Die Klassenlüftung wird in der Betriebszeit (7.30-16.00) mit dem eingestellten Nennluftwechsel zugrundegelegt. Ab Außentemperaturen über 18°C wird die Zuluft über einen Bypass und nicht über den Wärmetauscher geführt. Im Sommer kann die Lüftungsanlage von den Nutzern ausgeschaltet und über die Fenster gelüftet werden.

#### Beleuchtung

Es wird von mindestens 2 getrennt aktivierbaren Beleuchtungskörpern parallel zur Fassade ausgegangen (1 mal fensternah, 1 mal an Innenwand zu Gang). Sinkt die Strahlungsintensität unter 150 W/m<sup>2</sup>, so wird die gangseitige Beleuchtung aktiviert, unter 75 W/m<sup>2</sup> wird auch im fensternahen Bereich das Kunstlicht eingeschaltet. Gemäß Tageslichtsimulation sind bei 150 W/m<sup>2</sup> Globalstrahlung auf die Horizontale ca. 300 lx auf einer Arbeitsfläche im hinteren Raumbereich zu erreichen. Die installierte maximale Lichtleistung wurde mit 12 W/m<sup>2</sup> angenommen.

### Ergebnisse Heizlasten und Heizenergiebedarf

- Der simulierte Heizwärmebedarf liegt deutlich unter dem Passivhausgrenzwert von 15 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies liegt vor allem an den höheren inneren Wärmen und der restriktiven Heizungsabsenkungsregelung, in geringerem Ausmaß an der detaillierteren Modellierung der solaren Gewinne.
- Die Heizlasten liegen in etwa bei den nach stationär nach DIN 4701 berechneten Leistungen, von Zonen mit Sondernutzung abgesehen (EDV-Räume, Schulküche). Die Gesamtheizlast liegt über der nach PHPP gerechneten, dies liegt an der in der Simulation angenommenen Absenkung außerhalb der Betriebszeiten.
- Pro Klassenraum ist ein Radiator entsprechender Größe ausreichend.
- Eine ausschließliche Beheizung über die Zuluft ist unter den errechneten sehr unterschiedlichen dynamischen Heizlasten der einzelnen Zonen nicht sinnvoll, da dies zu einem erheblichen Regelungsaufwand führen würde (Koordination Lüftung, Zuluftheizung, Vermeidung Überwärmung in Zonen mit geringeren Heizlasten und ähnlichem Zuluftbedarf).

### Thermischer Komfort Sommer und Winter

Gebäude mit hohen inneren Lasten wie Schulen können in der warmen Jahreszeit relativ leicht zur Überhitzung neigen. In der Ausgangsvariante 1 wurde von einer Standard – EDV - Ausstattung und Die Ergebnisse der Simulation für Standardklassen und Standard PC-Ausstattung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Raumlufttemperaturen sind in den EDV-Räumen und in der Schulküche über viele Wochen unerträglich hoch.

- Problematisch sind erwartungsgemäß insbesondere die westgerichteten Klassenräume. Das Problem wird in Räumlichkeiten des Neubaus (z.B. Musikzimmer) durch die geringe Speichermasse noch verschärft.
- Die Stunden über 26°C sind in den EDV-Räumen des Altbaus deutlich höher als im Neubau (bei ähnlichen inneren Lasten). Dies liegt an dem zu geringen nächtlichen Luftwechsel von 2/Stunde, der massive Teil kann, einmal aufgeheizt, nur mehr langsam auf erträglichere Raumluftkonditionen gebracht werden. Die Maximaltemperaturen liegen erwartungsgemäß im Neubau höher.
- Die Zulufttemperaturen im Winter liegen zumeist im komfortablen Bereich, die wenigen Stunden unter 17°C Einblastemperatur sind bei sorgfältiger Auswahl Zuluftventile und deren Positionierung nicht problematisch.

## **Raumluftqualität**

Für eine gute Raumluftqualität ist eine möglichst schadstofffreie, frische Innenraumluft und eine ausreichend hohe Raumluftfeuchte erforderlich. In der kalten Jahreszeit führen allerdings hygienische Luftwechselraten zu unzulässig niedrigen Raumluftfeuchten. Umgekehrt erhöhen abgesenkte Luftwechselraten die Schadstoffkonzentrationen im Gebäude.

Um vorab eine Quantifizierung der Auswirkung unterschiedlicher Lüftungsstrategien zu erreichen, wurden die folgenden Varianten miteinander verglichen:

- Standard: Der Luftwechsel entspricht einer durchschnittlichen Klassenbelegung (450 m<sup>3</sup>/h)
- Feuchtereguliert: Bei Außenlufttemperaturen unter 5°C wird der Volumenstrom auf 2/3, unter -2°C auf 1/3 des Nennvolumenstrom abgesenkt.

## **Ergebnisse:**

- Je nach Regelgröße ergeben sich ca. 500 Stunden im ungünstigen Bereich (etwa ¼ der gesamten Schulzeit)
- Es kann durchaus sinnvoll sein, die Luftmenge in der kalten Jahreszeit leicht zu reduzieren und möglichst dem Bedarf nachzuführen, allerdings sind dieser Maßnahme enge Grenzen gesetzt. Die Gewichtung der beiden Anforderungen Raumluftfeuchte und CO<sub>2</sub> - Konzentration kann nur durch Mediziner erfolgen, detailliertere Angaben sind hier nicht bekannt.
- Eine möglichst dichte Gebäudehülle kommt jedenfalls einer Bewahrung der Feuchte im Raum zugute.

Die folgende Grafik zeigt einen typischen dynamischen Verlauf der Kenngrößen zum Raumklimaverhalten in einer sehr kalten Winterperiode.

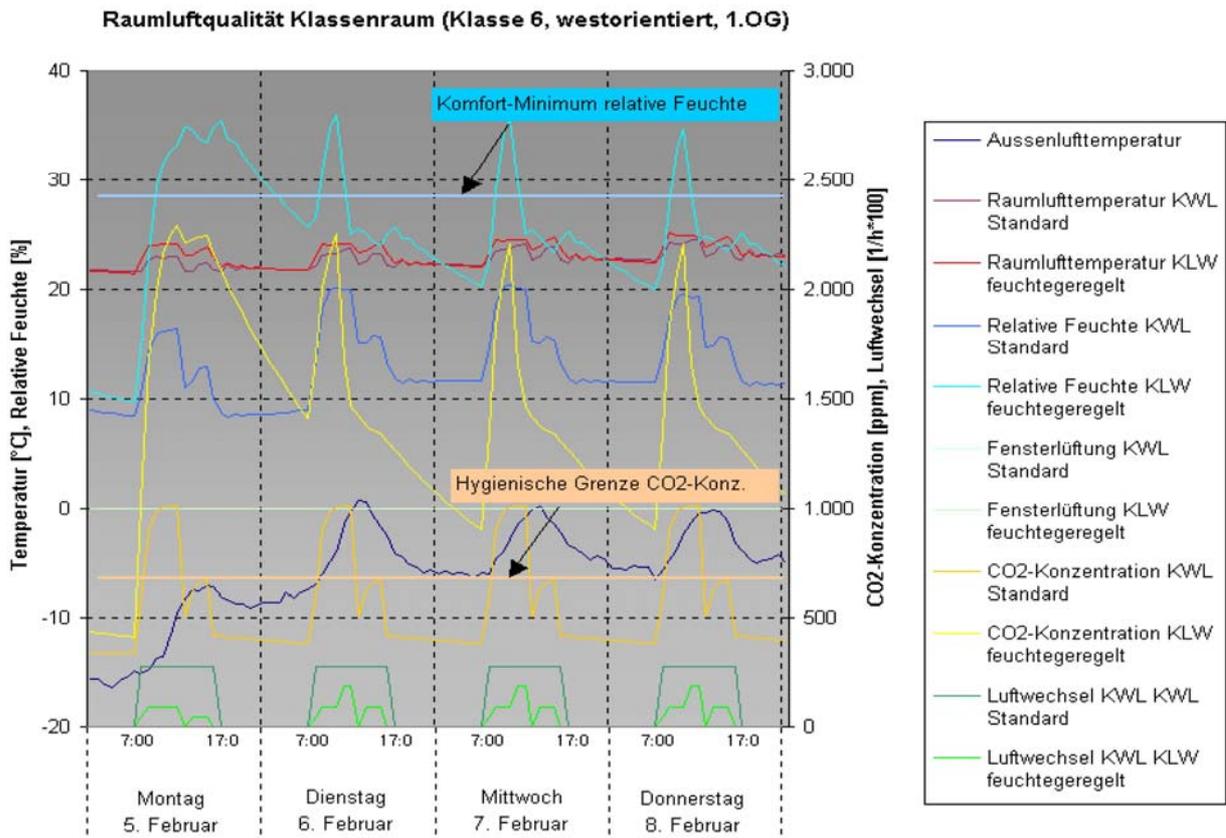


Abbildung: TRNSYS – Simulation kalte Winterwoche, dynamischer Verlauf der Kennwerte zu Außenklima und Raumklima Temperaturen, Luftfeuchten und CO2 – Konzentrationen.

### Zusammenfassung

Um angenehme Raumtemperaturen auch im Sommerfall zu erreichen ist neben einem außenliegenden effizienten Sonnenschutz eine Beachtung der Wärmegewinne in Klassen mit EDV – Nutzung bzw. mit elektrischen Geräten zu beachten. Zur Vermeidung von hohen Raumtemperaturen bzw. von Kühltischgeräten in EDV – Räumen wird ein stromsparendes EDV – Konzept, z.B. Laptopklassen, Flachbildschirme o.ä. sowie die Platzierung der EDV – Räume im Bestand (höhere Speichermasse) empfohlen. Damit und über eine natürliche Nachtbelüftung des Gebäudekerns lassen sich die sommerlichen Raumtemperaturen in den Klassen ohne EDV – Nutzung im angenehmen Bereich um maximal 27 bis 28°C halten, die EDV - Räume liegen über wenige Stunden im Jahr bei maximal ca. 29°C.

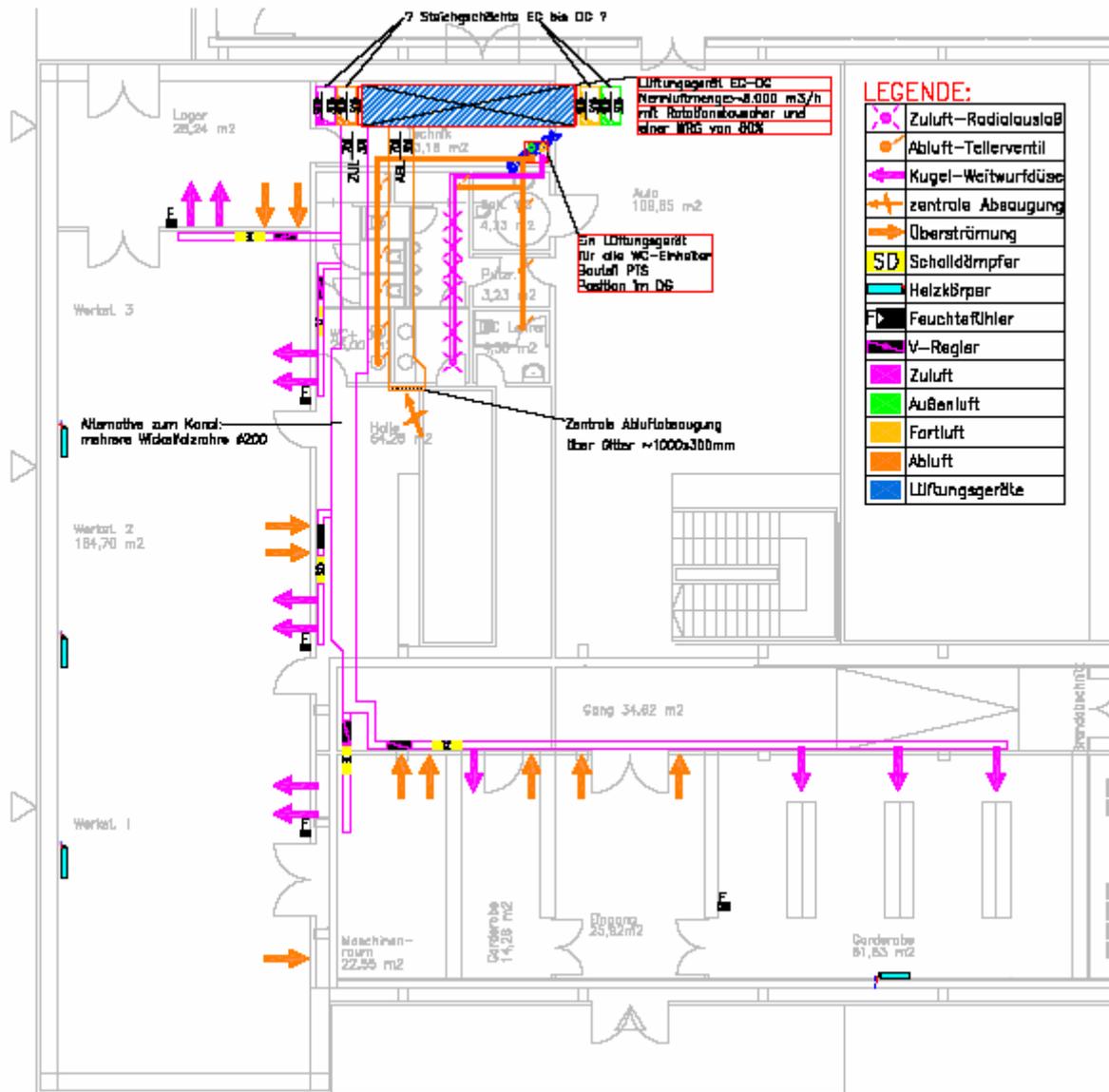
## 1.3 Untersuchte Haustechnische Optionen

### 1.3.1 Lüftungskonzepte

Für eine gute Frischluftqualität in den Klassenräumen und zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs auf kleiner 15 kWh/m<sup>2</sup>a ist die kontrollierte, mechanische Klassenbelüftung mit hoher Wärmerückgewinnung, energieeffizienten Ventilatoren und optimierter Lüftungsregelung ein unersetzlicher Bestandteil des Haustechnikkonzeptes. In der Sanierung sind im allgemeinen Varianten, die stärker in den Bestand eingreifen – zentrale oder semizentrale Lüftung – nur eingeschränkt möglich.

#### Variante 1: zentrale Lüftungsgeräte mit 15500 m<sup>3</sup>/h bzw. 8000 m<sup>3</sup>/h

- + Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumluftfeuchten im Winter.
- + Einfache Möglichkeit der Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers -> höhere Zulufttemperaturen und Wärmeeinsparungen im Winter, kühlere Zulufttemperaturen im Sommer.
- + Teilbeheizung über die Zuluft möglich, geringeres Risiko von Kälteempfinden durch zu kühle Zuluft in den Klassen, entsprechend kleineres Heizungsnetz.
- + Wärmeausgleich wärmere/kühlere Zonen durch die zentrale Abluft und die Wärmerückgewinnung.
- + Gang-/Erschließungsflächen werden automatisch mitbelüftet
- + Vergleichsweise geringer Aufwand der Wartung des zentralen Lüftungsgeräts
- Hoher, derzeit nicht im Projekt gegebener Raumbedarf für die zentralen Lüftungsgeräte und die vertikalen Steigschächte Außenluft, Fortluft, Zuluft und Abluft.
- Schwierige horizontale Luftverteilung in den Gangbereichen aufgrund der im Bestand vorgegebenen Deckenstruktur mit statisch notwendigen Unterzügen.
- Höhere Anforderungen der Lüftung bei Schallschutz, Brandschutz und Regelung im Vergleich zur semizentralen oder dezentralen Lüftung.
- Höhere Luftkanalleitungslängen in die „hinteren“ Räume bei der Horizontalerschließung insbesondere in der HS II durch den rechteckigen Grundriss mit mittigem Luftraum/Stiegenhaus.
- Aufwändige individuelle Raumregelung der zentralen Lüftung oder sehr eingeschränkte raumspezifische Regelungsmöglichkeiten.
- Risiko der Geruchsverschleppung durch die zentrale Abluft (frühzeitige Abklärung diesbezüglich nötig, geringere Flexibilität hinsichtlich Nutzungsänderungen im Betrieb).
- Sehr hoher Planungs-, Abstimmungs- und Ausführungsaufwand zur Integration der Lüftung im Bestand.

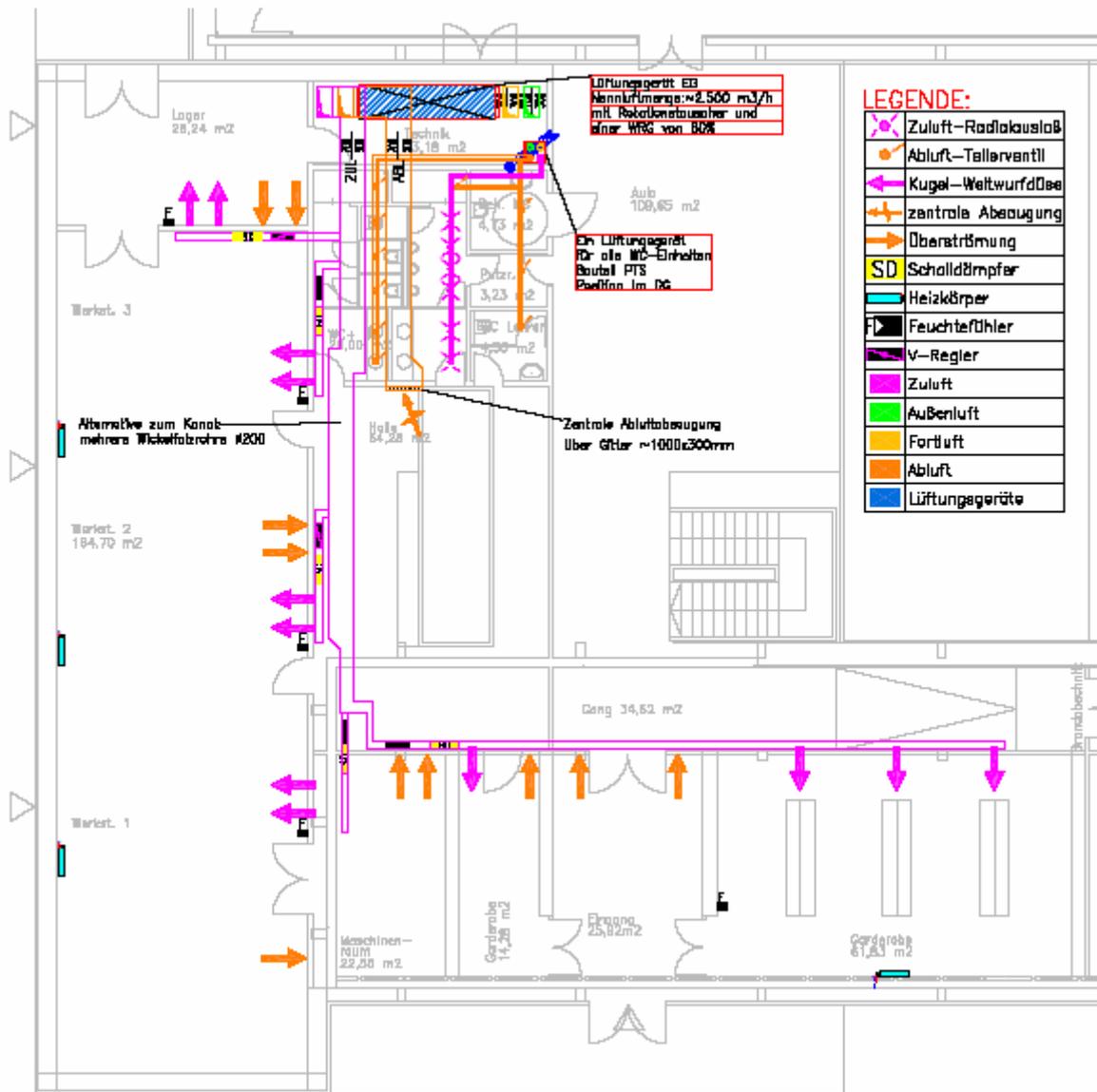


Variante 1, zentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss PTS EG. Für das zentrale Lüftungsgert sowie die Lüftungserschließung über Steigschächte sind im derzeitigen Planstand keine räumlichen Möglichkeiten gegeben.

## **Variante 2: semizentrale Lüftung mit je einem Gerät pro Geschoss mit 2500 m<sup>3</sup>/h bzw. 5000 m<sup>3</sup>/h**

### **Bewertung Variante 2, semizentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):**

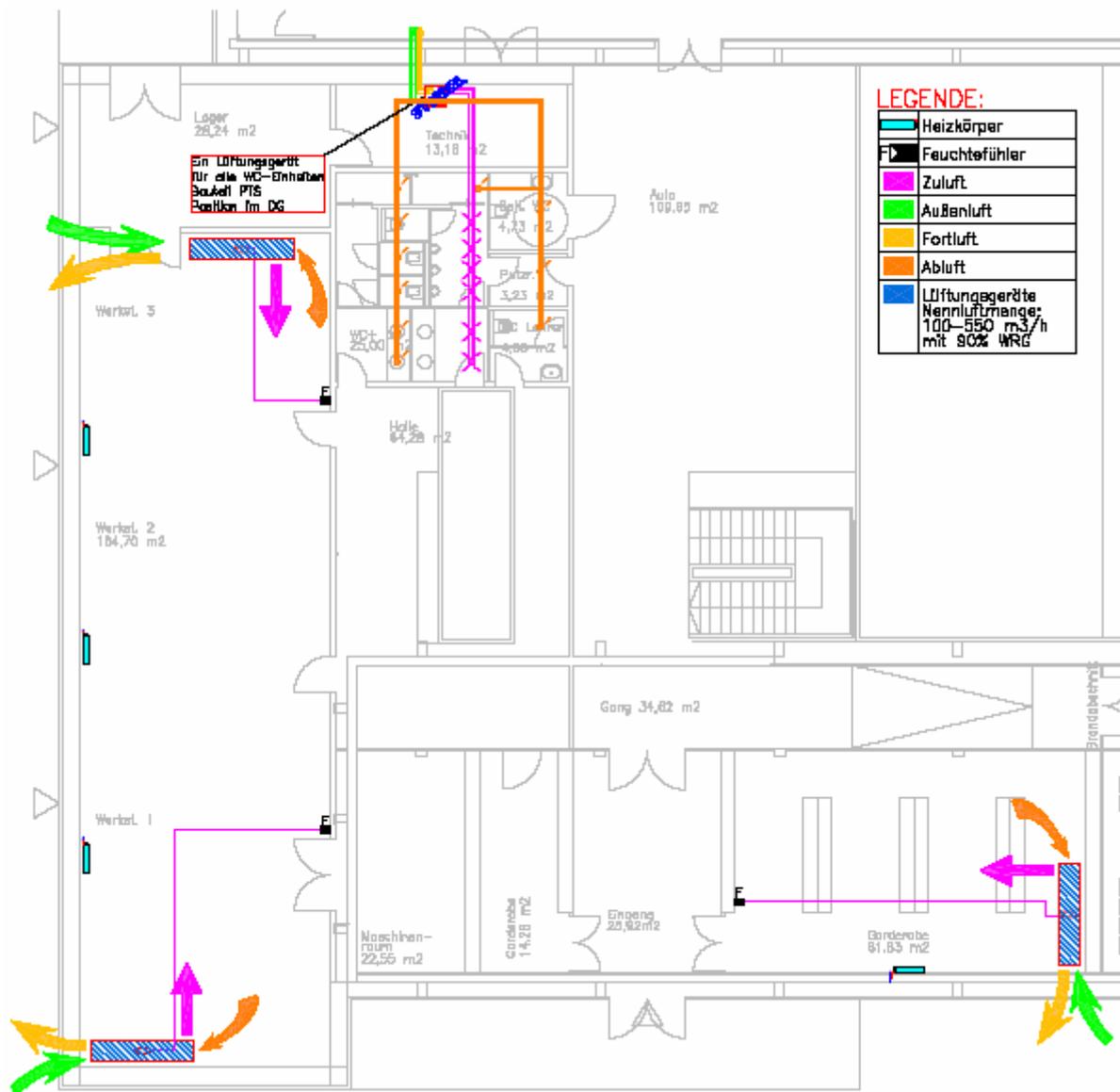
- + Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumluftfeuchten im Winter.
- + Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers mit vertretbarem Aufwand -> höhere Zulufttemperaturen und Wärmeeinsparungen im Winter, kühlere Zulufttemperaturen im Sommer.
- + Teilbeheizung über die Zuluft möglich, geringeres Risiko von Kälteempfinden durch zu kühle Zuluft in den Klassen, entsprechend kleineres Heizungsnetz.
- + Wärmeausgleich wärmere/kühlere Zonen durch die zentrale Abluft und die Wärmerückgewinnung.
- + Gang-/Erschließungsflächen werden automatisch mitbelüftet.
- + Vergleichsweise geringer Aufwand der Wartung der semizentralen Lüftungsgeräte.
- + Im Vergleich zur zentralen Lüftung kürzere Luftkanalleitungslängen und einfachere Regelung der Lüftung.
- Derzeit nicht im Projekt gegebener Raumbedarf für die semizentralen Lüftungsgeräte in den Geschossen.
- Schwierige horizontale Luftverteilung in den Gangbereichen aufgrund der im Bestand vorgegebenen Deckenstruktur mit statisch notwendigen Unterzügen.
- Höhere Anforderungen der Lüftung bei Schallschutz, Brandschutz und Regelung im Vergleich zur dezentralen Lüftung.
- Risiko der Geruchverschleppung durch die Abluft (frühzeitige Abklärung diesbezüglich nötig, geringere Flexibilität hinsichtlich Nutzungsänderungen im Betrieb).
- Relativ hoher Planungs-, Abstimmungs- und Ausführungsaufwand zur Integration im Bestand verglichen mit einer dezentralen Lüftung.



Variante 2, semizentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss PTS EG. Für die semizentralen Lüftungsgeräte sowie die vertikale Luftführung Fortluft und gegebenenfalls auch die vertikale Außenluftansaugung sind entsprechende Räumlichkeiten zu schaffen.

### **Variante 3: dezentrale Lüftungsgeräte mit variabler Luftmenge von 100 bis 500 m<sup>3</sup>/h pro Klassenraum**

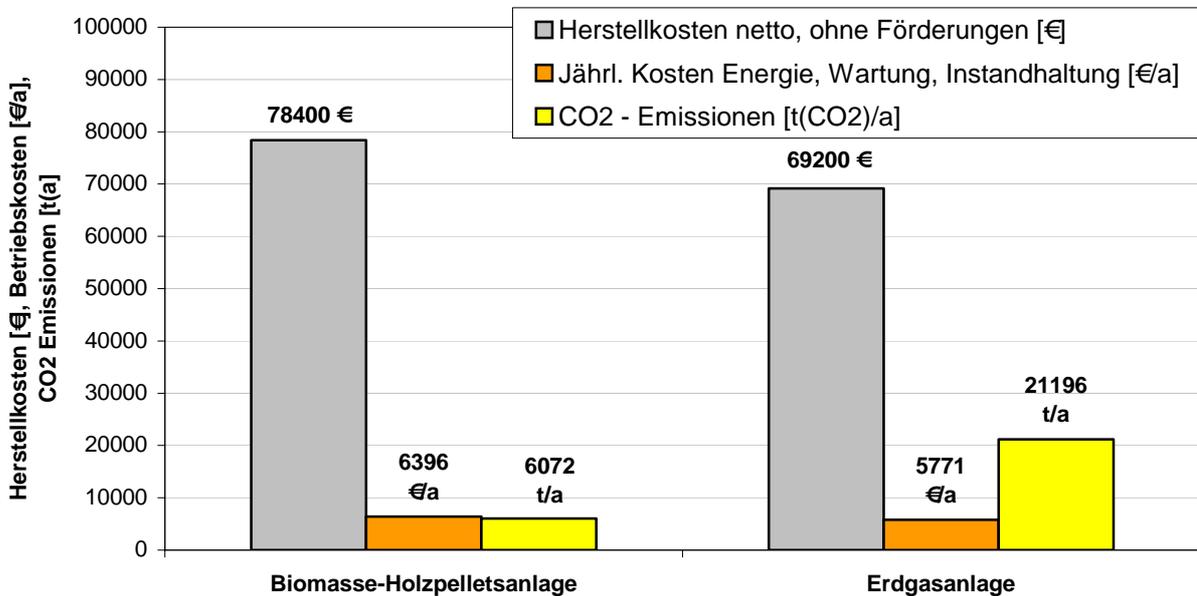
- + Einfache klassenweise Auslegung, modulweise Anwendbarkeit.
- + Geringer Koordinationsaufwand in Planung und Realisierung der Gebäudelüftung insbesondere im Gebäudeinneren: keine größeren Steigschächte, keine horizontale Luftverteilung über die Abhängedecke mit Kreuzung der Unterzüge, keine Detailabstimmung Lufterbringung in die Klassen vom Gang und Überströmöffnungen aus den Klassen.
- + Einfache klassenraumspezifische Regelung: keine aufwändige zentrale Lüftungsregelung über Volumenstromregler, hohe Flexibilität im Betrieb gemäß der klassenspezifischen Nutzung, gute Einstellbarkeit der raumspezifisch notwendigen Luftmenge ohne lufthydraulischer Abhängigkeit von einem größeren zentralen oder semizentralen Luftkanalnetz.
- + Sehr kurzes Luftkanalnetz, geringer Aufwand für hygienische Überprüfungen.
- Aufwändiges Fassadendetail für die Außenluftansaugung und Fortluftausblasung über die Fassade zu entwickeln, welches allen Anforderungen hinsichtlich Akustik, Lüftungsquerschnitten, Kondensatvermeidung, Luftdichtigkeit, Fassadendämmeigenschaften, Vermeidung von höheren Fortluftanteilen in der Zuluft etc. genügt.
- Kein Rotationswärmetauscher -> allgemein trockenere Raumluft in den Klassen im Winter.
- Aufwändigere Kondensatentwässerung für die dezentralen Lüftungsgeräte.
- Höherer Wartungsaufwand durch die Filterwechsel pro Gerät.
- Höherer Aufwand für eine ausreichend geringe Schallbelastung in den Klassen, da die Ventilatoren direkt im Raum montiert sind.
- Höheres Risiko von Kälteerscheinungen durch zu kalte Zuluft z.B. aufgrund von sehr kalten Außenluftbedingungen, verschmutzten/nicht gewechselten Abluffiltern, Geräteregelungsfehlern.
- Keine Außenluftkühlung im Sommer z.B. über Erdwärmetauscher, damit höhere Raumtemperaturen im Sommer bei sonst gleichem Gebäudeklimakonzept im Vergleich zur (semi-)zentralen Lüftung.



Variante 3, dezentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss PTS EG. Ein haustechnisch und konstruktiv funktionierendes, modulweise anwendbares Fassadendetail für die Außenluftansaugung und die Fortluftführung über die Fassade ist im weiteren Planungsverlauf im Detail zu entwickeln.

### 1.3.2 Wärmebereitstellung Heizung+ Warmwasserbereitung

Im Zuge der Studie wurden die Systeme Holzpelletsanlage und Erdgasanlage als Wärmeerzeuger auf ihre Betriebswirtschaftlichkeit und ökologischen Auswirkungen hin untersucht und verglichen. Ein Detailvergleich wird im Anhang wiedergegeben, die folgende Grafik stellt die Ergebnisse zusammengefasst dar.



Gegenüberstellung Biomasse Herstellkosten, Betriebskosten Energieverbrauch, Wartung und Instandhaltung, CO2 - Emissionen

#### Erdgasanlage:

Die Erdgasheizungsanlage ist in der Investition, auch unter Berücksichtigung der Biomasseförderung, die kostengünstigere, weist jedoch insbesondere im Vergleich mit Biomasse höhere CO2 – Emissionen auf.

#### Holzpelletsanlage:

Die Pelletsanlage hat gegenüber Erdgas die deutlich bessere CO2 – Bilanz, was für die gesamtheitliche ökologische Darstellung entsprechend Gewicht hat, weiters ergibt sich eine höhere Öffentlichkeitswirkung im Rahmen des Gesamtkonzepts. Nachteile der Holzpelletsheizung gegenüber der Erdgasanlage sind dagegen die höheren Anschaffungskosten, der größere Platzbedarf (Kesselgröße und Pelletslagerraum für ca. 30 Tonnen) und der höhere Wartungsbedarf

#### Wärmeverteilung:

Die Wärmeverteilung erfolgt über eine thermostatisch regelbare Radiatorenheizung. Durch die gute thermische Gebäudequalität und die kontrollierte Be- und Entlüftung ist ein Heizkörper pro Klasse ausreichend, welcher nicht direkt vor der Verglasung platziert werden muss, d.h. auch ebenso an der gangseitigen Wand installiert werden kann (kurze Anbindeleitung). Die Heizkörper können aber ebenso im Bereich der Brüstungen relativ einfach untergebracht werden.

#### Warmwasserbereitung:

Die Warmwasserbereitung erfolgt für den zentralen Bereich über eine Solaranlage mit 15 m<sup>2</sup> Nettofläche. Räume und Klassenzimmer, die weiter entfernt sind, sind davon ausgenommen und erhalten dezentrale elektrisch beheizte Kleinspeicher

## 2. Wohnanlage Linz- Markartstraße

### Studienschwerpunkte Haustechnikplanung

- Nachweis Passivhaustauglichkeit für den Sanierungsfall im großvolumigen Geschosswohnbau
- Rechnerische Einbindung einer Solarwabenfassade, welche im Bereich der gesamten Außenwand „vorgehängt“ werden soll.
- Planung der Wohnraumlüftung mit hochwertiger Wärmerückgewinnung
- Vergleich Wohnraumlüftung über „semizentrale Lüftungsanlage“ (zwei Geräten für jeweils 25 WE) mit „dezentralen Lüftungsanlage (mehreren Einzelgeräte pro Wohnung)
- genaue Gerätemarktanalyse für das gewählte Lüftungsprinzip (Vor- und Nachteile der Geräte hinsichtlich Funktionalität, Bedienerfreundlichkeit, Wartungsaufwand, Herstellungs- und Betriebskosten)
- Warmwasserbereitung: Untersuchungen Funktionalität der bestehenden raumluftabhängige Gasdurchlauferhitzer im Passivhaus (dichte Gebäudehülle)

### AusgangssituationAufgabenstellung

- insgesamt 50 Altbauwohnungen
- Erdgeschoss soll Niedrigstenergiestandard; Rest von Gebäude Passivhausstandard erreichen
- Wohnungen sollen mit einer Komfortlüftung ausgerüstet werden zur langfristige Vermeidung von Bauschäden und der Garantie hoher Energieeinsparung bei gleichzeitig steigendem Wohnkomfort
- Vorrangige Aufgabe der Haustechnik ist eine dauerhafte, hygienisch und bauphysikalisch ausreichende Be- und Entlüftung zu garantieren, ohne die Lüftungsgewohnheiten der jeweiligen Bewohner in das Konzept mit einbeziehen zu müssen.
- Vorgabe, dass in den Wohnungen möglichst geringe Umbaumaßnahmen unternommen werden sollen.

### PHPP- Berechnung – Passivhaustauglichkeit

- Schwerpunkt der Passivhaus-Berechnungen war die Einbindung der Solarwabenfassade.
- Insbesondere der Einfluss durch die Verschattung der Nachbargebäude und der auskragenden Bauteile, sowie der Einsatz der Solarfassade auf der Nordfassade, welche die geringsten solaren Gewinne aufweist, wurden genauestens untersucht.
- Die spezifischen Eigenschaften der Solarwabenfassade wurden bereits zu einem früheren Zeitpunkt vom ITW-Stuttgart in einer Feldmessung untersucht und veröffentlicht.

- Beachtung der Vorgaben für den Einsatz der Solarwabenfassade im „PHPP“ (Entwicklung Passivhausinstitut Darmstadt)
- Es wurden Energiekennzahlberechnungen für das Gesamtgebäude sowie für „ungünstige“ Einzelwohnungstypen, das Gesamtgebäude mit Erdgeschoß, ohne Erdgeschoß, mit Solarfassade, ohne Solarfassade, mit nur teilweiser Solarfassade süd- und ostseitig und nord, bzw. westseitig konventionell, usw., vorgenommen.
- In der letzten Variante wurde mit einem Kunststofffenstertyp anstelle des zunächst vorgesehenen Holz/Alu-Fenstertyp gerechnet.
- Ein Übersicht der Ergebnisse verschiedener „Variantenberechnungen“ stellt nachfolgende Tabelle dar:

### Ergebnisübersicht Energiestudie BV Markartstrasse; Linz

Nachfolgende Übersichtstabelle zeigt die letztgültigen Ergebnisse der PHPP-Berechnungen, abgestimmt mit dem PH-Institut Darmstadt - Stand 23.Februar 2005.

Gebäudetyp / Berechnungstyp		Heizwärme- bedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Heizlast W/m <sup>2</sup>
1.	Gebäude gesamt mit Solarwabenfassade (GAP)	18,6	14,1
2.	Gebäude gesamt wie 1. nur Nordfassde <b>ohne</b> Solarwabenfassade	18,8	14,1
3.	Gebäude gesamt komplett <b>ohne</b> Solarwabenfassade	20,3	14,4
4.	Gebäude ohne Erdgeschoss mit Solarwabenfassade (GAP)	15,4	13,2
5.	Gebäude ohne Erdgeschoss <b>ohne</b> Solarwabenfassade	16,7	13,4

Die nachfolgende Übersicht zeigt die Ergebnisse zu einer Optimierungsstudie der Variante 4. (ohne Erdgeschoss mit Solarwabenfassade). Es wurden schrittweise folgende Optimierungen vorgenommen: 1. Verbesserung Luftdichtigkeit bei 50Pa Unterdruck von 1,0-fach/Stunde auf 0,6-Fach/Stunde sowie Reduzierung des Gesamtluftwechsels von 0,38-fach/Stunde auf 0,30-fach/Stunde. 2. Verbesserung Luftdichtigkeit bei 50Pa Unterdruck von 1,0-fach/Stunde auf 0,6-Fach/Stunde; 3. Herausnehmen ("auf Null setzen") der Wärmeverluste durch unbehaute Nachbarwohnungen, da anzunehmen ist, dass Wohnungen ständig bewohnt und beheizt sind; 4. Verbesserung der Wärmerückgewinnung von 75% auf 85% durch dezentrales Lüftungssystem mit einem Gerät je Wohnung.

4.	Gebäude ohne Erdgeschoss mit Solarwabenfassade (GAP)	15,4	13,2
4A.	mit verbesserter Luftdichtigkeit von 1,0 auf 0,6-fach/Stunde sowie Luftwechsel von 0,38-fach/Stunde auf 0,3-fach/Stunde reduziert	12,7	11,1
4a.	mit verbesserter Luftdichtigkeit von 1,0 auf 0,6-fach/Stunde	13,7	11,5
4b.	wie 4a + eliminieren der Wärmeverluste an Nachbarwohnungen	13,7	10,8
4c.	wie 4b + Verbesserung Wärmerückgewinnung von 75% auf 85%	11,5	10,0

### Ergebnisbewertung PHPP- Ausführungsvariante:

- In der letztgültigen Berechnung wird eine Energiekennzahl von 14,4kWh/m<sup>2</sup>a, das heißt der Passivhausstandard für das Gesamtgebäude (ohne EG) gut erreicht.

- Sämtliche relevante Parameter, wie Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage, U-Werte der Außenbauteile, der Fenster und Türen sowie der Solarwabenfassade, können durch technische Befunde und Nachweise belegt werden, wodurch die Ergebnisse als sehr realistisch eingestuft werden können.
- Für die Gebäudedichtigkeit wurde ein Luftwechsel bei Drucktest (n50) von 0,6-fach pro Stunde angenommen, was Passivhausmindeststandard entspricht und nach Fertigstellung der Gebäudehülle durch eine blower-door-Messung überprüft und nachgewiesen werden soll.
- Bei einer, seitens der Bauherrschaft angestrebten, Unterschreitung des n50-Mindestwertes, verbessert sich das Endergebnis noch einmal, was jedoch zum jetzigen Zeitpunkt spekulativ ist und daher nicht in die Berechnung einfließen kann.

### **Ergebnisse Auswahl Lüftungsprinzip und Marktanalyse Lüftungsgeräte**

- In Sachen Umsetzbarkeit im bewohnten Zustand stellte sich rasch heraus, dass die dezentrale Lösung deutliche Vorteile mit sich bringt, da die Montagezeiten innerhalb der Wohnung nur kurz sind, wohingegen bei der semizentralen Lösung die gesamte Anlagenmontage sowohl außerhalb als auch innerhalb der (bewohnten) Wohnung deutlich komplizierter, bzw. zeitaufwendiger ist. Hinzu kommt, dass das wohnungsinterne Luftkanalnetz noch zusätzlich baulich verkleidet werden muss, durch z.B. eine Leichtbauabhängendecke.
- Aus diesem Grund fiel die Entscheidung auf die dezentrale Lösung mit „Einzelraumlüftern“.
- Bezüglich Investitionskosten ergab die Voruntersuchung nahezu Preisgleichheit mit leichten Vorteilen für die semizentrale Lösung.
- Um eine optimale Auswahl des Einzelraumlüftungsgerätes zu treffen, wurde der aktuelle Markt unter Berücksichtigung folgender Schwerpunkte untersucht:
  - Höhe der Wärmerückgewinnung,
  - maximale Schalleistung im Auslegungszustand
  - Leistungsaufnahme der Ventilatoren im Auslegungsfall,
  - Einbausituation für den Sanierungsfall
  - Preis pro Einzellüfter
  - bauaufsichtliche Zulassung+
- Aufgrund der Anforderungen zur Vorlage einer bauaufsichtlichen Zulassung iV25“ stellte sich heraus, dass lediglich zwei der untersuchten Gerätetypen diese Zulassung vorweisen können, wodurch die anderen ausgeschlossen werden mussten.
- Die beiden Gerätetypen „InVENTER“ und „Meltem“ wurden im Detail auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht.
- Relevante Unterschiede im Bereich Austauschbarkeit der Filter, Stabilität der Gerätekonstruktion (Bauart), Gerätelautstärke, Einbausituation, u.ä. konnten festgestellt werden.
- Die grundsätzlich unterschiedliche Funktionsweise der Geräte war letztendlich der ausschlaggebende Grund, warum die Wahl auf das Gerät der Fa. Meltem gefallen ist. Während das Gerät Typ InVENTER immer im Wechsel, d.h. im 70 sec-Rhythmus, Zu- und Abluft in den Raum bläst, bzw. absaugt ist das Meltem-Gerät mit einem klassischen

Kreuzstromplattentaucher ausgestattet und Zu- und Abluft werden gleichzeitig in den Raum eingeblasen, bzw. abgesaugt. Dieser gravierende technische Unterschied führt dazu, dass zur Realisierung einer balancierten Lüftung in der gesamten Wohnung beim Typ InVENTER immer eine gerade Anzahl von Geräten, also 2,4,6,..., installiert werden müssen, während beim Typ Meltem diese Anforderungen, aufgrund der bereits abgeglichenen Luftmengen je Gerät, nicht gilt.

- Nach genauer Überprüfung stellte sich heraus, dass die Grundrissituation einzelner Wohnungstypen eine gerade Anzahl von Geräten nur dann zulässt, wenn zusätzliche Geräte installiert werden, auch wenn sie „lufttechnisch“ nicht benötigt werden. Diese kostenintensive (Zwangs-)Maßnahme bewertete das Planungsteam und die Bauherrschaft als nicht durchführbar. In Folge dessen blieb als mögliche Ausführungsvariante nur noch das Gerät der Fa. Meltem übrig.
- Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisübersicht einiger relevanter Daten der Geräte InVENTER, Meltem sowie einem Gerät der Fa. Paul für die semizentrale Lösung.

Projekt:		Sanierung Makartstraße - GIWOG							
Bearbeitung:		Planungsteam E-Plus, Egg							
Gegenüberstellung von Einzelraum- Lüftungsgeräten									
Produktbezeichnung		Volumenstrom	WRG	Schallleistung	Abmessungen	Leistungsaufnahme	Bohrungen	Listenpreis	Bemerkungen:
Fabrikat	Type	Stufe [m³/h]	%	d5(A)	hxbxt [cm]	Stufe [Watt]	da [mm]	€ ohne MwSt	
InVENTer	InVENTer 14	16 bis 34	>75%	19 bis 25	innen rund dm 29, außen 28x28	2 bis 4	1x220	ca. 550,-	bauaufsichtliche Zulassung iV 25 vorhanden; Busssystem nicht möglich, jed. Betriebsstundenaufzeichnung in Zentralregler integriert; Wärmetauscher und Kunststofffilter waschbar; Preisangabe inkl. Kostenanteil Zentralregler (65 €) und Anteil Verkabelung (70 €) pro Gerät. Annahme 3-4 Geräte/WE erforderlich
Meltem	M-WRG	15 bis 60	>70%	19 bis 35	40,9/38,8/19,6	3,8 bis 12,5	2x120	ca. 770,-	bauaufsichtliche Zulassung iV 25 vorhanden; Busansteuerung nur bei Komfortmodell möglich (Einzelpreis 990,- €); pro Zimmer ein Gerät erforderlich, Einzelregelung in jedem Gerät integriert. Annahme 3-4 Geräte/WE erforderlich
Variante (semi)zentrale Lüftungsanlage - 2 Geräte für 50 WE									
Lüfta	MAX 2000	200 bis 2000	>80%	im Raum <25	ca. 360/105/78	700 W bei 1750m³/h	—	n. E.	2 ST Geräte a' 1750m³/h für je 25 WE; Einzelwohnungsregelung über dezentrale Volumenstromregler und Konstantdruckregelung der Ventilatoren im Zentralgerät. <b>Bauaufsichtliche Zulassung vorhanden</b> ; hohe WRG. Bauliche Maßnahmen: In jedem Stiegenhaus muß ein Steigschacht von je 70x35 cm errichtet werden. Die Decken in den Vorräumen der Wohnungen sollten Abgehängt werden sowie kleiner Bereiche in einzelnen Zimmer.

Alle Angaben lt. Hersteller, bzw. Prüfprotokollen

Tab. 02: Gegenüberstellung/Marktanalyse Lüftungsgeräte

## Warmwasserbereitung

- Verbesserung der Gebäudedichtigkeit auf Passivhausstandard führt zu Problemen bei den installierten, raumluftabhängigen, da im Zweifelsfall nicht mehr genügend Verbrennungsluft nachströmen kann.
- Nachströmen der Verbrennungsluft muss zu hundert Prozent gewährleistet sein, deshalb ist es erforderlich, eine technische Lösung zu erarbeiten, die dies garantiert oder alternativ dazu für die Warmwasserbereitung ebenfalls eine Komplettsanierung vorzunehmen, d.h. die Thermen auszutauschen und die Warmwassererzeugung über die

Fernwärme zu bewerkstelligen, dass heißt vom Fernwärmeanschluss im Kellergeschoß neue Anschlüsse in die Wohnungen zu verziehen.

- Da die Komplettsanierung mit Fernwärme die mit Abstand teuerste Lösung darstellt, wurde gemeinsam mit den Thermenlieferanten Fa. Vaillant und Fa. Junkers sowie dem Energieversorger (Linz AG) versucht, eine Lösung auf Basis der bestehenden Anlagen, also mit Erdgas, zu realisieren.
- Berechnungen ergaben eine notwendige Verbrennungsluft von 25m<sup>3</sup> für einen, für die Wohnanlage typischen, Gasdurchlauferhitzer mit 21 KW. In mehreren Untersuchungen wurde zunächst versucht, eine Lösung auf elektrischer Basis zu finden, d.h. z.B. durch den Einbau eines elektrischen Kontaktes im Gasgerät. Dieser reagiert auf den Gasdurchfluss und reduziert während der Warmwassererzeugung beim Küchen-Lüftungsgerät den Abluftvolumenstrom auf 15m<sup>3</sup>/h und erhöht den Zuluftvolumenstrom auf 40m<sup>3</sup>/h, womit die notwendige Verbrennungsluft von 25m<sup>3</sup> Luft pro Stunde übers Lüftungsgerät eingebracht wird. Die Fa. Meltem garantierte in diesem Zusammenhang zum einen die technische Machbarkeit, und dass es zu keinerlei Zugerscheinungen, bzw. zu keinen Vereisungs- und Kondensatproblemen kommen kann.
- Als weitere Möglichkeit wurde diskutiert, dass anstelle des Einbaus der elektrischen Kontakte, die Nachrüstung von Abgaswächtern vorgenommen wird. Die Idee war, dass in das Abgasrohr der Durchlauferhitzer Abgasthermostate eingebaut werden, welche bei einer einstellbaren Abgastemperatur z.B. von > 60 °C, wiederum das Küchen-Lüftungsgeräte so ansteuern, dass der Abluftvolumenstrom des auf 15m<sup>3</sup>/h reduziert wird und der Zuluftvolumenstrom auf 40m<sup>3</sup>/h erhöht wird.
- Letztendlich wurde aus sicherheitstechnischen Gründen allerdings entschieden, dass eine auf Strom basierende technische Lösung nicht ausgeführt werden soll, da die Gasdurchlauferhitzer theoretisch auch bei Stromausfall laufen kann und dann die Verbrennungsluftnachströmung nicht mehr zu hundert Prozent garantiert ist, obwohl über die Einzelraumlüftungsgeräte bei Stromausfall, d.h. bei Gerätestillstand, Luftnachströmflächen vorhanden sind.
- Seitens der Linz AG wird nun in jeder Wohnung eine freie Lüftungsöffnung von 40 cm<sup>2</sup> nach außen bzw. zum Stiegenhaus vorgeschrieben.
- Da im Passivhaus eine dichte Gebäudehülle unverzichtbar ist, wurde im Planungsteam die Lösung mit Lüftungsöffnungen nach außen nicht weiter diskutiert, sondern nur der thermisch weniger relevante Einbau von Überströmöffnungen zum (teilbeheizten) Stiegenhaus.
- Die Idee war, dass oberhalb der Tür eine schallgedämmte Überströmöffnung, inkl. einer Brandschutzmanschette beim Wanddurchtritt eingebaut wird. Eine technisch korrekte Lösung wurde mit der Fa. Westaflex, Deutschland ausgearbeitet.
- Nach Vorlegen des Konzeptes bei der Feuerwehr Linz wurde allerdings von dieser Seite leider keine Freigabe erteilt, womit auch dieser Lösungsvorschlag verworfen werden musste.
- Schlussendlich können also die Gasdurchlauferhitzer nicht beibehalten werden und es wird im Zuge der Sanierung eine Lösung mit Fernwärmedurchlauferhitzern geplant und ausgeführt.

### 3. Resümee

Noch sensibler als im Neubau muss in der Sanierung der Optimierung der Gebäudehülle Aufmerksamkeit geschenkt werden. Insbesondere bestehende Wärmebrücken müssen sowohl aus bauphysikalischer wie auch aus energetischer Sicht genauestens untersucht und nach Möglichkeit eliminiert werden.

Vor der Erarbeitung möglicher Haustechnikkonzepten kommt noch ein weiterer Faktor hinzu, dem gegenüber dem Neubau im Vorplanungsstadium ein grosser Stellenwert beigemessen werden muss: Die BewohnerInnen! – Denn in der Regel erfolgen Sanierungen im bewohnten Zustand, bzw. in sehr kurzen Bauphasen, was zur Folge hat, dass die Arbeiten in den bewohnten Bereichen so kurz als möglich gehalten werden sollten.

All diese Argumente führen in der Konzeptfindungsphase gegenüber dem Neubau zwangsläufig und unvermeidbar zu Kompromissen, insbesondere bei der Haustechnikplanung. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Schule Schwanenstadt, wo im Zuge der Erhebungen verschiedener Lüftungskonzeptvarianten (HDZ-Projekt) festgestellt werden musste, dass durch die bestehende Statik eine horizontale Kanalführung, wie sei bei einer zentralen oder semizentralen Lüftungsanlage erforderlich gewesen wäre, beinahe unmöglich wurde, da etliche Träger durchstoßen hätten werden müssen. Letztendlich blieb aufgrund der Bestandssituation nur die dezentrale als mögliche Lösung übrig.