

Erste Passivhaus -Schulsanierung

Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung
der Hauptschule II und Polytechnischen Schule
in Schwanenstadt
mit vorgefertigten Holzwandelementen
und Komfortlüftung

G. Lang, H. Plöderl et al

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

22/2004

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Nedergasse 23, 1190 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Erste Passivhaus-Schulsanierung

Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II
und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt
mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung

Autoren:
Ing. Günter Lang
Arch. DI. Heinz Plöderl
DI. Thomas Zelger
DI. Christoph Muss
DI. Bernd Krauß
DI. Hans Christian Obermayr

Schwanenstadt, April 2004

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der dritten Ausschreibung der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie auch in der Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret" publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.hausderzukunft.at dem Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Auftragnehmer:

ARGE Erste Passivhaus Schulsanierung

Autoren:

Ing. Günter Lang
Arch. DI Heinz Plöderl
DI Bernd Krauß
DI Thomas Zelger
DI Christoph Muss
DI Hans Christian Obermayr

Projektpartner ARGE Erste Passivhaus Schulsanierung:

| | |
|--|---|
| Obermayr Holzkonstruktionen GesmbH, Schwanenstadt | DI Hans Christian Obermayr |
| PAUAT Architekten, Wels | Arch. DI Heinz Plöderl |
| LANG consulting, Wien | Ing. Günter Lang |
| Schlossgangl GesmbH & Co KG, Steyr | Doris Schlossgangl |
| team gmi Vorarlberg - Wien | Ing. Bernhard Gasser DI Christoph Muss DI Thomas Zelger |
| Planungsteam E-Plus, Egg | DI Bernd Krauß |

Wien, April 2004



Kurzfassung

Motivation

Die thermisch nachhaltige Altbausanierung stellt mit Abstand den wichtigsten Beitrag für eine wirkungsvolle Reduktion der CO₂ - Emissionen im Kyotomaßnahmenpaket dar. Hierbei ergibt sich die Chance, sanierungsbedürftige Gebäude gleich auf einen hohen Standard hinsichtlich Energieeffizienz und Nutzerkomfort zu bringen. Die erste Sanierung eines öffentlichen Gebäudes im allgemein anerkannten und mit Richtlinien „genormten“ energetischen Spitzenstandard eines Passivhauses soll die prinzipielle Machbarkeit einer großvolumigen Passivhaussanierung zu vertretbaren Mehrkosten dokumentieren und eine entsprechende Vorbildwirkung ausüben.

Inhalt

In der vorliegenden Studie werden die für eine Passivhaussanierung nötigen Maßnahmen hinsichtlich Dämmung, Wärmebrückenreduzierung, Lüftungsintegration im Bestand, Tagesbelichtung, sommerlicher Wärmeschutz etc. sowie die damit verbundenen Kosten anhand der geplanten Sanierung mit Zubau zur 12-klassigen Hauptschule und 8-klassigen Polytechnischen Schule in Schwanenstadt untersucht. Vergleichsbasis ist die ursprünglich konventionell gemäß Mindeststandard geplante Realisierung. Davon ausgehend berücksichtigt das Forschungsprojekt alle Aspekte eines nachhaltigen und ökologischen Gesamtsanierungskonzeptes unter Einbindung zukunftsweisender Sanierungsmethoden zur maximalen Energie- und Ressourceneinsparung, sowie erheblicher Steigerung der Nutzungsqualität und Funktionalität.

Ziele

Folgende Ziele sollen mit einem sehr guten Kosten-/Nutzeffekt für Sanierung und Zubau erreicht werden:

- **Hohe Nutzungsqualität:** gute Frischluftqualität in den Klassen, verbesserte Tageslichtsituation, erheblich verbesserter thermischer Komfort. Durchführung der Sanierung ohne wesentliche Beeinträchtigung des Schulbetriebes durch Vorfertigung und kurze Montagezeiten auf der Baustelle.
- **Sehr geringer Energiebedarf:** Heizwärme- und Primärenergiebedarf gemäß Passivhausgrenzwerten um 90% geringer als Bestand und ca. 75% geringer als bei einer konventionellen Sanierung. Geringer Energiebedarf in der Gebäudeherstellung durch die Verwendung von Holzleichtbauelementen und durch bauökologische Optimierung.
- **Steigerung der Gebäudequalität:** hoher Gebäudewert durch eine nachhaltige, langfristig bestehende Sanierung, geringe Lebensdauerkosten.
- **Vorbildwirkung, Imageeffekt:** erste Passivhaussanierung eines öffentlichen Gebäudes, zukunftsweisendes Konzept in den Bereichen Energieeffizienz und moderner Schulbau, Einsatz innovativer Technologien z.B. Vakuumdämmung, Multiplikatoreffekt in der Öffentlichkeit.

Ziel der Forschungsstudie ist die Entwicklung eines entsprechenden Sanierungskonzepts mit Varianten zur weiteren Entscheidungsfindung hinsichtlich Planung und Realisierung. Darauf aufbauend soll die weitere Projektplanung und die Umsetzung als Demonstrationsprojekt erfolgen und Beispielwirkung für andere Altbautensanierungen erzielen.



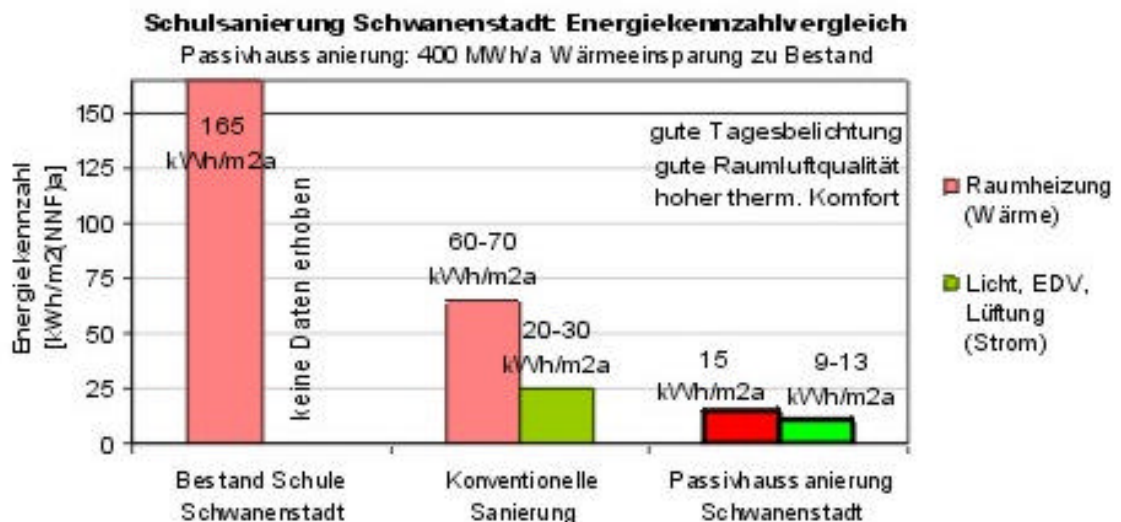
Methode der Bearbeitung

Für die ganzheitlichen Beurteilung des Projekts werden neben der konventionellen Planung Bearbeitungsschwerpunkte gesetzt und Berechnungsmethoden angewandt:

- Alternative Entwurfsplanung gemäß Passivhausanforderungen
- Vergleich und Bewertung verschiedener Lüftungskonzeptvarianten
- Analyse von speziell in der Sanierung auftretenden Wärmebrücken
- Entwurf vorgefertigter Holzbaulemente zur thermischen Sanierung
- Ausführungsvariantenanalyse mit Passivhausprojektierungspaket PHPP
- Dynamische thermische Gebäudesimulation mit TRNSYS
- Tageslichtplanung und -optimierung mit Adeline
- Ökobilanzierung der Sanierungsvarianten

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die wesentlichen Elemente des Sanierungskonzepts sind eine Erhöhung der Kompaktheit des Baukörpers mit Integration des geforderten Zubaus, eine Öffnung innenliegender Bereiche für die Tageslichtnutzung über Oberlichter, eine komplett außenseitige Sanierung bzw. Überbauung mit einer passivhaustauglichen und ökologisch hochwertigen Hülle, eine innovative thermische Sanierung der Bodenplatte mit Vakuumdämmpaneelen bei minimaler Bodenaufbauhöhe sowie die Integration dezentraler energieeffizienter Klassenlüftungsgeräte im Bestand. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt die folgende Grafik. Die Mehrkosten für eine komfortgerechte und ökologische Passivhausanierung wurden je nach Variante mit 8 bis 13% gegenüber der konventionellen Sanierung ermittelt.



Schlussfolgerungen

Trotz schwieriger energie- und komforttechnischer Rahmenbedingungen ist die Sanierung der öffentlichen Schule Schwanenstadt in Passivhausstandard möglich. Damit ergibt sich zukunftsweisend auch für andere Sanierungsfälle ein beispielhaftes Konzept mit einem sehr hohen Energieeinsparungspotential. Die Mehrkosten von 8 bis 13% je nach Variante sind nach Ansicht der Autoren vertretbar, werden durch Förderungen und niedrige Energiebetriebskosten amortisiert und führen zu einem erheblichen Mehrwert des Gebäudes hinsichtlich nachhaltig bestehender Gebäudequalität, Nutzerkomfort, Energieeffizienz und Öffentlichkeitswirkung.



Abstract

Motivation

Thermally sustainable rehabilitation of old buildings is the most significant contribution by far to effectively reduce CO₂ emissions as provided for by the Kyoto protocol. This offers a chance to immediately raise the standard of buildings in need of rehabilitation in terms of energy efficiency and user comfort. The first rehabilitation ever of a public building according to the generally acknowledged and „standardized“ energetic prime standard of passivehouses should demonstrate the feasibility of a large-scale passive house rehabilitation at reasonable additional cost and fulfil a role-model function.

Contents

The present study investigates the measures required for rehabilitation under passive house standards, such as insulation, reduction of heat bridges, integration of the ventilation system in the existing building, day-light illumination, heat-protection in summer etc as well as costs so incurred by describing the proposed rehabilitation and add-on new building of the 12-class General Secondary School and the 8-class Polytechnic at Schwanenstadt, Upper Austria. The reference basis is the implementation scheme originally conceived which was based on conventional minimum building standards. With this in mind, the research project takes into account all aspects of sustainable and ecological comprehensive rehabilitation integrating advanced rehabilitation methods for maximum energy and resource saving while at the same time substantially increasing occupational quality and functionality.

Objectives

The following objectives should be reached for rehabilitating the old and building the new school while achieving a satisfying cost/benefit ratio:

- **High occupational quality:** Good fresh air quality in the classrooms, improved daylight situation, considerably improved thermal comfort. Rehabilitation takes place without significant interference with everyday school activities due to prefabrication and short installation time on the construction site.
- **Very low energy requirement:** Heating heat and primary energy demand according to passive house limit values 90% lower than in the existing building and approx. 75% lower compared with conventional rehabilitation. Lower energy demand in building construction due to use of lightweight timber construction elements and optimisation according to ecological building principles.
- **Enhanced building quality:** High building value due to sustainable, long-term rehabilitation measures, low life-cycle cost.
- **Role-model effect:** First rehabilitation of a public building according to passive house standards, forward-looking concept in the fields of energy efficiency and modern school buildings, use of innovative technologies such as vacuum insulation, multiplier effect in the general public.

The objective of the research study is to develop an appropriate rehabilitation concept containing options for further decisions in planning and implementation. The next steps should be further project planning and implementation and to use the project as a role model for other rehabilitation projects.



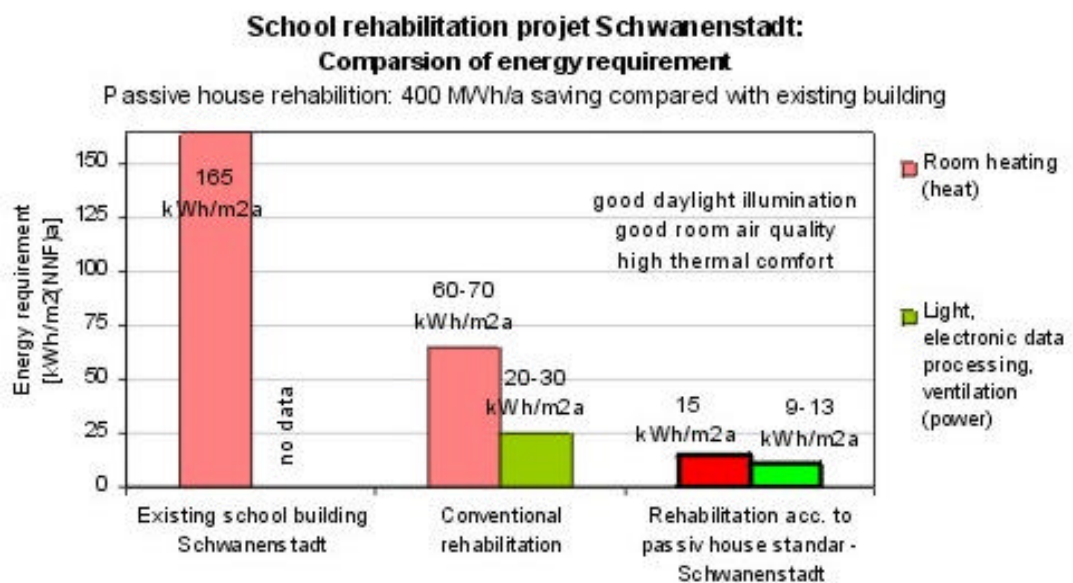
Planning method

For a holistic assessment of the project, a planning focus going beyond conventional methods is applied and calculation methods are used:

- Alternative design to achieve passive house requirements
- Comparison and evaluation of different ventilation systems
- Analysis of heat bridges occurring particularly in rehabilitation measures
- Developing prefabricated timber construction elements for thermal rehabilitation
- Analysis of design execution versions by passive house project package (PHPP)
- Dynamic thermal building simulation using TRNSYS
- Daylight planning and optimisation with Adeline
- Ecological life-cycle analysis of rehabilitation versions

Summary of results

The major elements of the rehabilitation concept are increased compactness of the building by integrating the required addition of a new building, opening interior areas for daylight use via fanlights, complete exterior rehabilitation and/or superstructure with an envelope fit for passive house use and of high ecological quality, innovative thermal rehabilitation of the floor cover by using vacuum insulation panels with minimum floor height increase and integration of decentralized, energy-efficient classroom ventilation equipment in the existing building. The results are summarized in the diagram below. Additional costs for comfortable and ecological rehabilitation according to passive house standards were determined at 8 to 13%, depending on the execution version, compared with conventional rehabilitation.



Conclusions

Despite of difficult overall conditions in energy and comfort engineering, rehabilitating the public school at Schwanenstadt to achieve passive house standards is feasible. This results in a forward-looking role-model concept offering a very high energy-saving potential for similar projects as well. In the opinion of the authors, additional costs involved amounting to 8 to 13%, depending on the execution version, are justifiable and will pay off due to subsidies and low energy operating expenses and create considerable added value of the building concerning sustainable building quality, user comfort, energy efficiency and effect on public opinion.



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 15 |
| 1.1 | Ausgangssituation – Problembeschreibung..... | 15 |
| 1.2 | Bedeutung des Projektes für die Programmlinie „Haus der Zukunft“ | 15 |
| 1.3 | Folgeabschätzungen | 16 |
| 1.4 | Schwerpunkte der Arbeit | 17 |
| 2 | Methodik und Datenerfassung..... | 19 |
| 2.1 | Alternative Entwurfsplanung auf Passivhausstandard..... | 19 |
| 2.1.1 | Analyse des bestehenden Schulgebäudes | 19 |
| 2.1.2 | Analyse der Raumanforderungen | 19 |
| 2.2 | Energieeffizienz und Komfort – Planungswerkzeuge | 19 |
| 2.2.1 | Passivhausprojektierungspaket PHPP..... | 20 |
| 2.2.2 | WAEBRU 6.0 Wärmebrückenberechnung..... | 20 |
| 2.2.3 | Tageslichtsimulation mit Adeline..... | 20 |
| 2.2.4 | Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS 15..... | 21 |
| 2.3 | Datengrundlagen | 22 |
| 2.3.1 | Lüftung in Schulen: Energieverbrauch, Komfort, Kosten..... | 22 |
| 2.3.2 | Klima..... | 22 |
| 3 | Integrales Projektmanagement..... | 24 |
| 3.1 | Allgemeine Umsetzungsansätze..... | 24 |
| 3.2 | Bestand vor Sanierung | 24 |
| 3.3 | Bauliche und nutzungstechnische Anforderungen der Sanierung | 25 |
| 3.3.1 | Standort..... | 26 |
| 3.3.2 | Sanierungskriterien | 26 |
| 3.3.3 | Arbeits- und Zeitplan für Demonstrationsprojekt..... | 27 |
| 3.4 | Nutzflächenaufstellung | 28 |
| 3.5 | Ökologisches Bauteilprofil | 31 |
| 3.5.1 | Ursprüngliche Sanierungsvariante Außenwandkonstruktion..... | 31 |
| 3.5.2 | Sanierung in Passivhausstandard mit Holzkonstruktion..... | 32 |
| 3.5.3 | Schlußfolgerung nach ökologischer Bewertungen | 33 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.6 | Öffentlichkeitsarbeit und Weiterbildung..... | 35 |
| 4 | Architektur und Gebäudekonstruktion..... | 36 |
| 4.1 | Vorentwurfspläne | 39 |
| 4.1.1 | Lagepläne | 39 |
| 4.1.2 | Grundrisse HS II - MUSIKHAUPTSCHULE | 40 |
| 4.1.3 | Grundrisse PTS – POLYTECHNISCHE SCHULE..... | 43 |
| 4.1.4 | Ansichten | 46 |
| 4.1.5 | Schnitt durch PTS, Innenhof und HS II | 48 |
| 4.1.6 | Perspektiven von HS II und PTS..... | 49 |
| 4.2 | Thermische Gebäudehülle | 50 |
| 4.3 | Sanierung und Neubau in Holzbau | 51 |
| 4.3.1 | Ziele Holzbau | 51 |
| 4.3.2 | Anforderungsprofil / Randbedingungen Bereich Sanierung | 52 |
| 4.3.3 | Konzeption der Fassadenelemente im Bereich Sanierung | 53 |
| 4.3.4 | Anforderungsprofil Holzbau im Bereich Neubau..... | 60 |
| 4.3.5 | Konzeption der Holzelemente im Neubau | 61 |
| 4.3.6 | Schlussfeststellung Holzbau | 65 |
| 5 | Energieplanung und Gebäudeklimakzept..... | 66 |
| 5.1 | Gebäudeklimakzept | 67 |
| 5.2 | Gegenüberstellung möglicher Lüftungskonzepte | 67 |
| 5.2.1 | Variante 1: zentrale Lüftung | 68 |
| 5.2.2 | Variante 2: semizentrale Lüftung..... | 73 |
| 5.2.3 | Variante 3: dezentrale Lüftung | 77 |
| 5.3 | Heizung, Warmwasserbereitung | 81 |
| 5.4 | Berechnungen mit dem Passivhausprojektierungspaket PHPP..... | 83 |
| 5.4.1 | Einfluss thermische Sanierung Bodenplatte | 83 |
| 5.4.2 | PHPP - Berechnungen Heizwärmebedarf und Heizlast..... | 84 |
| 5.5 | Wärmebrückenberechnung mit WAEBRU..... | 85 |
| 5.5.1 | Betreffende Bauteile | 86 |
| 5.5.2 | Wärmebrückenberechnung Außenwandstahlbetonstütze..... | 87 |
| 5.6 | Tageslichtberechnungen, ADELIN - Simulationen..... | 90 |
| 5.6.1 | Zielsetzungen Tageslichtkonzept..... | 90 |
| 5.6.2 | Implementierte Modelle, Empfehlungen Tageslichtmaßnahmen | 90 |
| 5.6.3 | Tageslichtkoeffizienten in den Klassenräumen..... | 91 |
| 5.6.4 | 3D Darstellungen Beleuchtungsstärke Halle EG | 93 |
| 5.6.5 | Tabellarische Darstellung Tageslichtkoeffizient Halle EG | 96 |
| 5.7 | Instationäre thermische Gebäudesimulation mit TRNSYS | 98 |
| 5.7.1 | Thermische Zonierung, Nutzung, Wärmelasten/-gewinne | 98 |
| 5.7.2 | Annahmen Wärmelasten/-gewinne durch Personen, EDV und Beleuchtung | 99 |
| 5.7.3 | Annahmen Sonnenschutz, Fensterlüftung, Beleuchtung | 99 |



| | | |
|----------|---|------------|
| 5.7.4 | Heiz-/Kühllasten und Heiz-/Kühlenergiebedarf | 101 |
| 5.7.5 | Thermischer Komfort Sommer und Winter | 101 |
| 5.7.6 | Raumluftqualität | 104 |
| 6 | Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 106 |
| 6.1 | Kostenaufstellung | 106 |
| 6.1.1 | Gegenüberstellung der Sanierungsvarianten | 106 |
| 6.1.2 | Aufschlüsselung der Mehrkosten | 107 |
| 6.1.3 | Umsetzung des Demonstrationsprojektes | 108 |
| 6.2 | Ergebnisse der Energieplanung und Gebäudeklimakonzept | 108 |
| 6.2.1 | Schlussfolgerungen Lüftungskonzept | 108 |
| 6.2.2 | Berechnungsergebnisse Heizenergiekennzahl nach PHPP | 109 |
| 6.2.3 | Wärmebrückenanalyse | 109 |
| 6.2.4 | Tageslichtberechnungen | 109 |
| 6.2.5 | TRNSYS Simulationen mit Schwerpunkt Sommertauglichkeit | 109 |
| 6.2.6 | Raumluftqualität | 110 |
| 7 | Anhang | 111 |
| 7.1 | Auszüge der Berechnungen nach PHPP | 111 |
| 7.2 | Checkliste weitere Planung und Ausführung | 115 |
| 7.3 | Allgemeine Grundlagen zur Lüftung in Schulen | 116 |
| 7.3.1 | Luftqualität in Klassenräumen - CO ₂ - Konzentration | 117 |
| 7.3.2 | Luftqualität in Klassenräumen - Raumluftfeuchte | 119 |
| 7.4 | Herstell- und Betriebskosten Heizung- Lüftung- Sanitär | 119 |
| 7.5 | Allgemeine Vorarbeiten zur Ökobilanzierung | 123 |
| 7.6 | Einführung zur Vakuumdämmung | 123 |
| 7.6.1 | Einführung in die Physik der Vakuumdämmung | 124 |
| 7.6.2 | Zeitgemäße Wärmedämm-Effizienz | 124 |
| 7.6.3 | Systemüberblick | 125 |
| 7.7 | Kleines Passivhauslexikon | 130 |



2 Einleitung

2.1 Ausgangssituation – Problembeschreibung

Die thermisch nachhaltige Altbausanierung stellt mit Abstand den wichtigsten Beitrag für eine wirkungsvolle Reduktion der CO₂-Emissionen dar. Dabei sollte allerdings auch die Chance genutzt werden, diese Gebäude gleich auf neuesten energetischen Standard und damit gesteigerten Komfort zu bringen. Während bei Wohn- und Gewerbebauten schon erste Sanierungen auf Passivhaus- und Niedrigstenergiehausstandard existieren, ist im öffentlichen Bereich hier noch ein großer Aufholbedarf – gerade jener Sektor, welcher eigentlich Vorbildwirkung darstellen sollte!

Das ökologische Passivhaus – und dies gilt auch für die Altbausanierung auf Passivhausstandard - wird in bisher kaum erreichter Qualität dem Wunsch nach Wohnqualität, Komfort und Behaglichkeit gerecht. Es stellt derzeit das konsequenteste Konzept nachhaltigen Bauens dar.

2.2 Bedeutung des Projektes für die Programmlinie „Haus der Zukunft“

Die Programmlinie „Haus der Zukunft“ hat gerade zum Passivhaus eine Vielzahl von Forschungsprojekten laufen, da es mit Abstand den zukunftsweisendsten und einen nachhaltigen Baustandard darstellt. Zudem ist das Passivhaus für den Bauherrn höchst wirtschaftlich und stellt durch seine enormen Einsparungspotentiale für die Volkswirtschaft große Vorteile dar. Während sich der Passivhausstandard im Neubau von der Pilotphase schon zum Baustandard entwickelt, steht der Passivhausstandard in der wesentlich komplexeren Altbausanierung erst ganz am Anfang. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist in diesem Bereich dementsprechend groß:

- Entwicklung praxisingerechter Systemlösungen
- Entwicklung innovativer Lüftungs- und Haustechnikkomponenten für die Altbausanierung im Passivhausstandard
- Entwicklung von Holzbauelementen für die thermische Fassadensanierung als Alternative zu bestehenden VWS-Systemen
- Thermische Altbausanierung Schwerpunkt zukünftiger Bautätigkeiten
- Großer Sanierungsbedarf auch in EU – Beitrittsländern (Exportchance)



2.3 Folgeabschätzungen

Aus der allgemeinen Untersuchung von Passivhaus – Sanierungsmöglichkeiten im Schulbau und der projektspezifischen Detaillierung am Beispiel Schwanenstadt ergeben sich folgende Perspektiven:

Folgeabschätzung in wirtschaftlicher Hinsicht

- Betriebskostensparnis sowohl bei Heizkosten als auch Stromkosten durch verbesserte Tageslichtnutzung um den Gesamtfaktor 10
- Multiplizierbarkeit des Projektes auf diverse ähnlich gelagerte Objekte aus dem öffentlichen und privaten bzw. gewerblichen Bereich..
- Neuer zukunftssträchtiger Markt für die am Projekt beteiligten Unternehmen und Planer / Konsulenten

Die Umsetzung des Niedrigenergie- und Passivhausstandards auch in der Altbausanierung ist Grundvoraussetzung zur Erreichung der politischen Klimaschutzziele und gleichzeitig eine große Chance für eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung unter voller Rücksichtnahme auf ökologische Rahmenbedingungen.

Dieser damit verbundene Wettbewerbsvorteil der österreichischen Wirtschaft soll der österreichischen Bauwirtschaft und Bauindustrie zusätzliche Exportchancen sichern, gerade auch in Hinblick auf die Osterweiterung.

Folgeabschätzungen in volkswirtschaftlicher Hinsicht

- Schaffung von Know-How und Kompetenz in Oberösterreich in einer Zukunftsbranche
- Schaffung und längerfristige Sicherung von Arbeitsplätzen durch Innovation
- Exportmöglichkeit in andere europäische Länder (bzw. ehemaliges Osteuropa / EU-Beitrittsländer) bzw. Auswirkung auf Handels- und Leistungsbilanz
- Beispiel für Reduktion des Energieeinsatzes und damit der Energieimportabhängigkeit (Öl, Gas) bei Errichtung und Nutzung eines großvolumigen Bauprojektes

Folgeabschätzung in gesellschaftlicher Hinsicht

- „ Neue Qualität des Lernens in der Schule“ (Frischluft, Tageslichtqualität...)
- Konkretes Erleben von Ökologie und Nachhaltigkeit durch die SchülerInnen, der „Baugeneration“ der Zukunft
- Das Land Oberösterreich kann eine Vorbildwirkung für diverse kommunale, gewerbliche und private Bauherren ausüben

In gesellschaftlicher Hinsicht stellt die Akzeptanzsteigerung und Beseitigung von Vorurteilen über Hygiene, Architektur, Finanzierbarkeit und technischer Machbarkeit von Niedrigenergie- und Passivhausstandard in der Altbausanierung eine Schlüsselrolle bei diesem Projekt dar. Dieses Demonstrationsprojekt zukunftsweisender und nachhaltiger Altbausanierung stellt für das Schulwesen eine enorme Bereicherung dar.



Folgeabschätzung in ökologischer Hinsicht

- Keine Verbundwerkstoffe
- Recyclierbarkeit der eingesetzten Baustoffe
- Minimierung des Energieverbrauches um Faktor 10
- richtungweisender Beitrag zum Klimaschutz
- Schaffung eines regionalen Passivhauszentrums - Wohnhäuser, Bürogebäude, Schule im Umkreis von wenigen Kilometern

Gerade mit dem Projekt „Altbausanierungen mit Passivhauskomponenten“ können die enormen Einsparungsmöglichkeiten im Bereich des Altbestandes mit über 80% Reduktionspotential die ökologischen Chancen deutlich gemacht werden. Hier ist zu erwarten, dass durch die in Umsetzung befindlichen Demonstrationsprojekte wesentliche Impulse für eine zukünftig nachhaltige Altbausanierung unter Ausschöpfung der Einsparungspotentiale ausgehen. Damit steigt auch die Chance, die internationalen Verpflichtungen des Kyoto Abkommens doch noch erfüllen zu können.

2.4 Schwerpunkte der Arbeit

Alternative Entwurfsplanung auf Passivhausstandard

Studienschwerpunkt aus architektonischer Sicht, ist die Entwicklung einer alternativen Entwurfsplanung unter Berücksichtigung der Optimierung der Kompaktheit der Gebäudekörper, die Optimierung funktionaler Abläufe für einen modernen Schulbetrieb in das Raumkonzept, eine entscheidende Verbesserung der Tageslichtnutzung, sowie die Verkörperung einer nach außen und innen zeitgemäßen Architektur.

Berechnung von Ausführungsvarianten mit PHPP

In mehreren Schritten werden in dieser Studie die unterschiedlichen Varianten für die Sanierung mit Hilfe des Passivhaus Projektierungs Paketes PHPP durchgerechnet und analysiert. Außerdem erfolgt die Analyse und Minimierung von bestehenden Wärmebrücken unter Annahme verschiedener Sanierungsvarianten.

Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS

Einen besonderen Studienschwerpunkt stellt die dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS für Heiz- und Kühllasten, thermischen Komfort im Sommer und Winter, sowie die Auswirkungen unterschiedlicher Standards für die Computerausstattung dar. Außerdem werden die Raumluftqualität und die Verbesserungen von nächtlichen Luftwechsel durch Simulationen veranschaulicht.

Tageslichtplanung und –optimierung mit Adeline



Zur Erzielung ausreichender Tageslichtnutzung in Klassen und allgemeinen Räumlichkeiten, bei gleichzeitiger Minimierung des Strombedarfs für Kunstlichtbeleuchtung und optimierten Sonnenschutz, werden mit dem Simulationsprogramm Adeline 2D- und 3D- Modelle durchgerechnet und veranschaulicht.

Vergleich und Analyse verschiedener Lüftungskonzepte

Studienschwerpunkt soll, wie eingangs erwähnt, die Erarbeitung und Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten zur Lüftung der Schulklassen sein. Gegenübergestellt werden die Vor- und Nachteile eines zentralen, semizentralen und dezentralen Lüftungssystems beim konkreten Projekt. Ergänzend wird im Anhang auf das Thema Luftqualität in Klassenräumen und die Notwendigkeit der kontrollierten Lüftung zum Erreichen einer guten Frischluftqualität eingegangen.

Entwicklung vorgefertigter Holzbaulementen

Zur Entwicklung vorgefertigter Holzbaulementen für eine nachhaltige und kostengünstige thermische Altbausanierung befasst sich ein Studienschwerpunkt mit der Ausarbeitung und Prüfung von vorgehängten hochgedämmten Fassadenelementen unter Berücksichtigung der besonderen spezifischen Kriterien beim Altbau.

Ökobilanzierung der Sanierungsvarianten

Zur ganzheitlichen Betrachtung der Sanierungsmaßnahmen werden die Varianten vor Ausführung als Demonstrationsvorhaben auch einer Ökobilanzierung unterzogen und analysiert.



3 Methodik und Datenerfassung

3.1 Alternative Entwurfsplanung auf Passivhausstandard

3.1.1 Analyse des bestehenden Schulgebäudes

- Erfassung des Gebäudebestandes und dessen Zustand
- Aufnahme der Bauschäden und –mängel
- Auffindung und Analyse der thermisch kritischen Stellen und Wärmebrücken
- Analyse des derzeitigen Schulbetriebes (z.B.: Sehr schlechte Luftqualität, da Fenster großteils nicht mehr offenbar (verschraubt) wegen Gefahr in Verzug bei Sturm)
- Erhebung der Statik speziell der Fassadenfertigteilelemente zur Analyse der Möglichkeiten der Verbesserung der Tageslichtnutzung und Wärmebrückenvermeidung

3.1.2 Analyse der Raumanforderungen

In mehreren vertiefenden Gesprächsrunden mit Schuldirektoren und Lehrern der HS II und PTS wurde ein für den Schulbetrieb optimiertes Raumanforderungsprogramms unter Berücksichtigung der Vorgaben der Landesschulbaubehörde erarbeitet. Dazu gehörte auch eine Exkursion mit den Schuldirektion zur Ökohauptschule Strasswalchen. Die Einbeziehung von Schülern in eine der Gesprächsrunden war dem Projektteam ebenfalls ein wichtiges Anliegen, um auch die Meinungen und Wünsche der betroffenen Schüler über ihre Vorstellungen einer Schulsanierung und Bedarfsanalyse zu erfahren und nach Möglichkeit einzubinden.

Daraus entwickelte sich die mit der Landesschulbaubehörde abgestimmte, im Vergleich zur ursprünglichen Sanierungsvariante abgeänderte, Nutzflächenaufstellung und Entwurfsplanung. Dabei wurde auch besonderes Augenmerk auf die Einbindung des Schulgebäudes selbst als Lern- und Übungsobjekt gelegt.

3.2 Energieeffizienz und Komfort – Planungswerkzeuge

Zur Berechnung von Energieverbrauch, thermischer Qualität der Gebäudehülle und Nutzerkomfort hinsichtlich Raumklima und Tageslicht wurden folgende Programme verwendet.



3.2.1 Passivhausprojektierungspaket PHPP

Das Passivhausprojektierungspaket PHPP ist „das“ Planungswerkzeug für die Planung von Passivhäusern. Es zielt vor allem auf eine detaillierte Berechnung der Kennwerte zu Heizung und Primärenergieverbrauch unter genauer Einbindung der Randbedingungen zu Wärmeverlusten und Wärmegewinnen im Niedrigstenergiebereich ab. Das PHPP ersetzt jedoch nicht eine Einzelraumauslegung von Heizung und Lüftung, bei komplexeren Gebäuden und bei Gebäuden außerhalb des Wohnbaus ist eine sorgfältige Hinterfragung und Kontrolle der Randbedingungen von Gebäude und Nutzung im Vergleich zu den PHPP – Annahmen notwendig. Das PHPP – Programmpaket basiert auf einem Energiebilanzverfahren, welches über Simulationen und Messungen im Anwendungsbereich Passivhauswohnbau validiert wurde, es wurde am Institut für Wohnen und Umwelt in Darmstadt entwickelt.

3.2.2 WAEBRU 6.0 Wärmebrückenberechnung

Die Berechnung und Darstellung von Leitwerten, Isothermenverläufen und Oberflächentemperaturen zu Wärmebrücken wurde mit dem Programm WAEBRU 6.0 durchgeführt. Dieses Programmpaket ermöglicht Wärmebrückenberechnungen sowohl für zwei- als auch dreidimensionale Wärmeleitung. WAEBRU wird international eingesetzt, die Entwicklung des Programms fand unter Leitung von Univ. Prof. Dr. Erich Panzhauser und Univ. Prof. Dr. Klaus Krec - Technische Universität Wien statt.

3.2.3 Tageslichtsimulation mit Adeline

Computersimulation der Raumlichtverhältnisse stellen ein unverzichtbares Instrumentarium zur Lichtplanung dar. Mit Konstruktionssystemen (computer aided design/ CAD) werden dabei dreidimensionale Modelle von Räumen und Gebäuden erstellt und die zugehörigen Materialeigenschaften der Wand- und Deckenoberflächen sowie der Verglasungen der Öffnungen, der Fensterleibungen und äußerer Verschattungen definiert. Schließlich werden verschiedene Himmelsmodelle, in denen geographische Lage und Umgebung des Planungsobjektes berücksichtigt werden, festgelegt. Anhand der Gesetze der Lichtausbreitung werden dann Beleuchtungsstärken und Tageslichtfaktoren errechnet.

Auf diese Weise kann für jeden Raum geprüft werden, ob die Lichtverhältnisse in einem Raum die gestellten Anforderungen in Hinblick auf Wohlbefinden, Gesundheit oder auch die Anforderungen für einen gut ausgeleuchteten Arbeitsplatz erfüllen. Verschiedene Planungsvarianten können durch Simulation hinsichtlich des visuellen Komforts und der zu erreichenden Tageslichtnutzungszeit verglichen werden.

Adeline (**A**dvanced **D**aylighting and **E**lectric **L**ighting **I**ntegrated **N**ew **E**nvironment) ist eines der am weitesten verbreiteten Programmpakete zur Tageslichtsimulation für die optimale Tageslichtnutzung in Gebäuden. Es wurde international unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Stuttgart entwickelt. Das Programmpaket Adeline beinhaltet unter anderem die Programme Superlite und Radiance.



3.2.3.1 Adeline - Superlite

Berechnet Beleuchtungsstärke und Tageslichtquotienten auf einer horizontalen, rechteckigen „Arbeitsfläche“ sowie die Leuchtdichte für alle Oberflächen eines relativ komplexen Raums. Superlite dient der detaillierten Tageslichtberechnung nach der Radiosity – Methode, d.h. es erfolgt eine Verteilungsberechnung von Diffusstrahlung bei verschiedenen auswählbaren Himmelsmodellen gemäß üblicher Vorgangsweise von Tageslichtberechnungen und keine direkte Berücksichtigung und Strahlverfolgung von gerichteter Strahlung.

3.2.3.2 Adeline - Radiance

Berechnet Tages- und Kunstlichtverhältnisse in Räumen unter Berücksichtigung des Verhaltens von diffuser und direkter Strahlung. Verwendet wird die Ray-Tracing-Methode, d.h. jeder einzelne Lichtstrahl wird samt seinen direkten und diffusen Reflexionen im Raum verfolgt. Aus diesem Grund können sowohl diffuse wie auch reflektierende Oberflächen, reflektierende Lichtumlenksysteme und sehr komplexe Geometrien simuliert werden.

Je nach gewünschtem Detaillierungsgrad und Implementierungsaufwand kann man damit Ergebnisse von 3 D Darstellungen der Beleuchtungsstärke oder der Belichtung in Falschfarbenskolorierung bis hin zu fotografisch realistischen Visualisierungen des Raumes, der Möblierung und der Einrichtungsgegenstände mit den berechneten Lichtverhältnissen und den entsprechenden Raumeindrücken erhalten.

3.2.4 Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS 15

Das Programmpaket TRNSYS 15 erlaubt die detaillierte instationäre Simulation des Raumklimaverhaltens eines Gebäudes, welches je nach Detaillierungsaufwand üblicherweise in ein bis 25 thermische Zonen unterteilt wird. Diese thermischen Zonen werden in ihrer interzonalen Wechselwirkung sowie unter Beachtung der dynamischen Randbedingungen von Außenklima, Nutzungsprofilen, Bauteilverhalten und Haustechnik simuliert.

Aus einer großen Anzahl von Modulen werden ebenfalls „aktive“ Komponenten wie Haustechnikbestandteile, Sonnenkollektoren, Erdwärmetauscher, Regelalgorithmen, Rechenmodule für Wetterdaten etc. in das Simulationsmodell des Gebäudes integriert. TRNSYS ist ein „open source“ Programmpaket, d.h. für spezielle Anwendungen und innovative Produkte können Module auch eigens entwickelt und in die Simulationsumgebung von TRNSYS eingebunden werden.

Berechnungsergebnisse sind z.B.:

- Raum- und Oberflächentemperaturen
- Komfortwerte (empfundene Temperaturen, PMV-, PPD-Werte)
- relative und absolute Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Räumen
- dynamische Heiz-/Kühllastverläufe
- solare Wärmegewinne
- Vor-/Rücklauftemperaturen von Haustechnikkomponenten



Übliche Zeitschrittweiten in TRNSYS – Berechnungen sind Intervalle zwischen 15 Minuten und einer Stunde, wobei das Raumklimaverhalten in Simulationsperioden von mehreren Tagen bis zu einem Klimajahr berechnet wird. Je genauer die getroffenen Annahmen über Gebäudekonstruktion, Nutzerverhalten, Klima etc. mit den tatsächlich im realisierten Gebäude gegebenen Bedingungen übereinstimmen, desto exakter stellen sich die Ergebnisse auch in der Praxis ein. Ein in der Praxis realisierbares Gebäudeklimakonzept sowie eine gute Überprüfung und Qualitätskontrolle der entsprechenden, der Simulation zugrundegelegten Annahmen und gegebenenfalls eine Adaptierung des Computermodells im Planungs- und Realisierungsprozess ist deshalb im gesamten Planungs- und Realisierungsprozess notwendig, um rechnerisch erreichte Optimierungen auch in der Praxis umzusetzen.

TRNSYS wurde ursprünglich am Solar Energy Laboratory der Universität Wisconsin – Madison Ende der 70er Jahre entwickelt, die aktuelle Version TRNSYS 15 ist aus dem Jahr 2000 und über zahlreiche Weiterentwicklungen mit internationalen Beiträgen und Validierungen entstanden.

3.3 Datengrundlagen

Die Datengrundlage zur Erstellung der Alternativen Entwurfsplanung auf Passivhausstandard und Kostenberechnungen beruht einerseits auf Bestandsplänen und der durchgeführten Bestandserfassung und andererseits auf den vorliegenden Planungen der ursprünglichen Sanierungskonzeption.

3.3.1 Lüftung in Schulen: Energieverbrauch, Komfort, Kosten

Datengrundlage zur Darstellung und Kostenberechnung der Lüftung in der Sanierung Schule Schwanenstadt sind die entsprechenden CAD - Pläne des Architekturbüros PAUAT, übermittelt am 20.2.2004. Die Herstellkostenschätzungen erfolgen anhand von Elementkostenberechnungen zum Vorentwurf HSL auf Basis von Herstellerpreisen aus durch team gmi bzw. eplus realisierten Projekten mit kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung. Weiters einbezogen sind Leistungsdaten, Dimensionen und Kosten des aktuell am Markt erschienenen passivhausgeeigneten Schullüftungsgerätes „aeroschool“ (Variante dezentrale Lüftung). Der Energieverbrauch als Grundlage der Betriebskostenberechnung wird in der vorliegenden Studie ermittelt, die Werte zu Wartung und Instandhaltung sind auf Basis der dafür notwendigen Arbeiten beziffert. Als allgemeine Datengrundlage zu Energieverbrauch, Kosten und Komfort im Schulbau ist auch die im Auftrag des österreichischen Instituts für Schul- und Sportstättenbaus ÖISS seitens team gmi erstellte Studie „Die Schule als Niedrigenergiehaus“ zu nennen (Bezugsquelle ÖISS Wien).

3.3.2 Klima

Auf der Basis von langjährigen monatlichen Mittelwerten der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur des Standorts Schwanenstadt (Österreichischer Klimadatenkatalog) wurden stündliche Wetterdaten generiert (Programmpaket METEONORM, Global meteorological database for solar energy and applied climatology, Bundesamt für Energiewirtschaft, CH). In der nachfolgenden Tabelle sind die monatlichen Mittelwerte dargestellt.



| Monat | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUNI | JULI | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ |
|-------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| TA [°C] | -2.31 | -0.75 | 3.37 | 8.43 | 12.88 | 16.14 | 17.88 | 17.25 | 13.79 | 8.48 | 3.11 | -0.82 |
| G [kWh/m ²] | 26 | 42 | 80 | 113 | 146 | 155 | 157 | 135 | 93 | 53 | 27 | 19 |

Wetterdatensatz: Monatsmittel der Außenlufttemperatur TA und Monatssumme der Globalstrahlung G auf eine horizontale Fläche.

An einem Tag im Jahr liegt die mittlere Außenlufttemperatur unter -15°C und über 25°C (statistisch gesehen). Gemäß Klimadatenkatalog des OIB treten in Schwanenstadt im Mittel 3856 Heizgradtagen auf. Die jährliche Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche des Datensatzes beträgt $1044 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, die Auslegungstemperatur für die Heizung liegt bei -14°C .

Die auf eine Fläche einfallende diffuse und direkte Einstrahlung wird gemäß Sonnenstand, Bewölkungsgrad, Orientierung und Neigung der betrachteten Fläche vom TRNSYS - eigenen Strahlungsprozessor berechnet.



4 Integrales Projektmanagement

4.1 Allgemeine Umsetzungsansätze

- Analyse des Ist-Zustandes und Konzeption der Machbarkeit einer ökologischen Passivhaussanierung
- Erarbeitung der ökologischen und baubiologischen Kriterien für das konkrete Bauvorhaben
- Analysen der Vergleichsergebnisse unter Einbeziehung des konventionellen Sanierungskonzeptes
- Berechnung der Grauen Energie
- Des Ressourcenverbrauches
- Aller Treibhausemissionen von CO₂ und HFKW
- Ökonomischen Auswirkungen
- Entwicklung von System- und Detaillösungen zur Unterstützung der Bauplanung
- Ausarbeitung von Präsentationsunterlagen
- Vorstellung des Projektes bei Gemeinde, Landesbehörden und Schulverwaltung zur Gewinnung einer ganzheitlichen Sanierung
- Vorstellung des Projektes im Rahmen der HdZ-Veranstaltungen, auf Tagungen und Messen.

4.2 Bestand vor Sanierung



Die Hauptschule und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt haben eine gemeinsame Nutzfläche von ca. 3300 m² mit einem jährlichen Verbrauch von rund 450.000 kWh für Raumwärme. Bei diesem Gebäudekomplex handelt es sich um einen typischen Baustandard von öffentlichen Bauten und Bürobauten aus den 60-iger und 70-iger Jahren in Stahlbeton Skelettbauweise im Raster von 5,0 m mit vor der Fassade angeordneten Stahlbetonstützen.



Die Fassadenelemente aus Waschbetonfertigteilen sind als durchgehende Sturz – Parapetelemente zwischen den Stützen auf die Konsolen aufgelegt. Hinter den Stahlbetonstützen ist das durchgehende Fensterband angeordnet. Die früher öffenbaren Fenster mussten zwischenzeitlich großteils wegen der Gefahr des Eindrückens in die Räume bei Sturm verschraubt werden, wodurch in den Klassen eine extrem schlechte Luftqualität vorherrscht.

Das ursprüngliche Flachdach wurde auf Grund permanenter Undichtheiten später mit einer flach geneigten Dachstuhlkonstruktion mit Blechdacheindeckung versehen.

Der Estrich ist in vielen Bereichen des ganzen Schulgebäudes gebrochen.

Der gesamte Baukörper hat durch eine Vielzahl von Erweiterungsanbauten ein schlechtes Oberflächen / Volumen Verhältnis. Gleichzeitig wurde durch die nachträgliche Dachstuhlkonstruktion und die diversen Zubauten die Tageslichtqualität erheblich verschlechtert, wodurch in weiten Bereichen durchgehend Kunstlicht benötigt wird.



4.3 Bauliche und nutzungstechnische Anforderungen der Sanierung

Basis dieses Projektes ist die bereits vorhandene Einreichplanung für die Sanierung und den Zubau der Hauptschule und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt, welche ursprünglich in konventioneller Form geplant war, und nur den Bestimmungen der Bauordnung unter dem Aspekt der kostengünstigen Sanierung gestanden ist. Darauf aufbauend bzw. als Vergleichsbasis wird dieses Projekt alle Aspekte eines nachhaltigen und ökologischen Gesamtsanierungskonzeptes unter der Einbindung zukunftsweisender Sanierungsmethoden zur maximalen Energieeinsparung bei gleichzeitiger erheblicher Steigerung der Nutzungsqualität berücksichtigen. Dazu ist es auch notwendig, den ursprünglich geplanten Zubau völlig neu nach energetischen und funktionalen Gesichtspunkten zu überarbeiten, um sich harmonisch in das Gesamtkonzept einzufügen.

Aufbauend auf diesem zukunftsweisenden Planungskonzept und Studienergebnis soll dieses Vorhaben anschließend in einer zweiten Phase rasch (Bauzeit 2004 – 2005) als Demonstrationsprojekt in die Praxis umgesetzt werden.



4.3.1 Standort

Das Objekt HS II und PTS Schwanenstadt befindet sich auf dem Grundstück Nr. 907, EZ 1258, GB 50215 Schwanenstadt (Fläche = 25.760 m²). Am Standort wird keine Änderung eintreten.

Das Grundstück liegt direkt an der Mühlfeldstraße (Gemeindestraße) bzw. ca. 150 m östlich einer direkten Anbindung an die B 135 (Gallspacher Bundesstraße). Die Entfernung zum Bahnhof Schwanenstadt beträgt in der Luftlinie ca. 400 m. Parallel der Westbahnstrecke (Entfernung ca. 200 m) wurde ein leistungsfähiges Datenkabel verlegt.

Aufgrund der Nähe zum Stadtzentrum (ca. 400 m) und kleinerer Gewerbebetriebe im direkten Umfeld ist die Nahversorgung in allen Belangen gewährleistet.

4.3.2 Sanierungskriterien

- 1. Passivhaus Altbausanierung eines öffentlichen Gebäudes
- Thermische Altbausanierung um den Faktor 10
- Energiekennzahl Reduktion von 165 kWh/m²a auf max. 15 kWh/m²a
- Einsparung von 400.000 kWh / a (beim Bestand) Bereich Raumwärme
- Ökologische Sanierung mit nachwachsenden Rohstoffen
- Moderne zeitgemäße Architektur für alte Gebäude der 70-iger Jahre
- zukunftsweisende Gebäudesanierung – höchster Vorfertigungsgrad
- Sanierung ohne Beeinträchtigung des Schulbetriebes
- Sanierung mit Minimum an Transport- und Verkehrsaufkommen
- Best Practice- und Best Quality- Altbausanierung
- Einsatz von Vakuumdämmung in den Problemzonen der Altbausanierung
- Regionale Arbeitsplätze durch nachhaltige Sanierung



4.3.3 Arbeits- und Zeitplan für Demonstrationsprojekt

| | |
|--|------------------------------------|
| Bauverhandlung Ursprungsprojekt | 30. Sept. 03 |
| Beauftragung Generalplanung durch Gemeinderat | Juli 04 |
| Entwurfsplanung | Juli 04 |
| Abstimmung mit Schulbaubehörde Land OÖ | Juli 04 |
| Einreichplanung | August 04 |
| Bauverhandlung und Baugenehmigung | Sept 04 |
| Ausführungs- und Detailplanung und Simulationen | Herbst 04 |
| Ausschreibungen und Vergaben | Herbst 04 |
| Musterklasse samt Fassadenmusterelement (Präsentationsfähige Vorzeigeeinheit für Exkursionen) | Spätherbst 04 |
| Zusage Fördergelder des EU-LIFE Programms | Sept 04 |
| Vergabe Bauaufträge | Nov. 04 |
| Baubeginn | Ab Jän. 05 |
| 1. Bauabschnitt Zubauten HS II und PTS Rohbau | bis Mai 05 |
| 2. Bauabschnitt Sanierung bestehende Fassaden + Fenster | Ostern – Ferienstart 05 |
| 3. Bauabschnitt Zubauten Ausbau – Fertigstellung | bis Schulbeginn 05 |
| 4. Bauabschnitt Atbaubestand Sanierung innen Teil 1 im 1. und 2. OG HS II und OG PTS | in Sommerferien 05 |
| 5. Bauabschnitt EG HS II und PTS (Zugang und Versorgung über die neuen Zubauten) | Sommer – Ende 05 |
| 6. Bauabschnitt Turnsaalsanierung | Schulbeginn – Semesterferien 06 |
| 7. Außenanlagen | bis Mai 06 |



4.4 Nutzflächenaufstellung

| Ursprüngliches Sanierungs-Raumkonzept HS II | | | Sanierung gem. Forschungsprojekt Raumkonzept HS II | | |
|---|---------------|-----------|--|---------------|-----------|
| SCHÜLER | | | | | |
| Klasse 1 | 56,15 | qm | Klasse 1 | 57,18 | qm |
| Klasse 2 | 58,80 | qm | Klasse 2 | 57,12 | qm |
| Klasse 3 | 57,50 | qm | Klasse 3 | 57,04 | qm |
| Klasse 4 | 57,16 | qm | Klasse 4 | 61,18 | qm |
| Klasse 5 | 57,12 | qm | Klasse 5 | 53,34 | qm |
| Klasse 6 | 53,32 | qm | Klasse 6 | 62,18 | qm |
| Klasse 7 | 57,10 | qm | Klasse 7 | 57,16 | qm |
| Klasse 8 | 57,27 | qm | Klasse 8 | 57,12 | qm |
| Klasse 9 | 57,04 | qm | Klasse 9 | 57,04 | qm |
| Klasse 10 | 60,64 | qm | Klasse 10 | 60,61 | qm |
| Klasse 11 | 62,37 | qm | Klasse 11 | 58,52 | qm |
| Integrat. Klassen | 59,76 | qm | Integrat. Klassen | 61,05 | qm |
| Integrat. Gruppenr | 36,16 | qm | Integrat. Gruppenr | 38,70 | qm |
| Zwischensumme 1 | 730,39 | qm | Zwischensumme 1 | 738,24 | qm |
| Physiklabor | 37,80 | qm | Physiklabor | 46,03 | qm |
| EDV 1 | 57,20 | qm | EDV 1 | 57,60 | qm |
| EDV 2 | 57,13 | qm | EDV 2 | 57,82 | qm |
| Physiksaal | 61,68 | qm | Physiksaal | 57,50 | qm |
| Werkraum | 52,61 | qm | Werkraum | 62,00 | qm |
| Text.Werken | 57,52 | qm | Text.Werken | 60,52 | qm |
| Text.Werken Gruppenr. | 32,85 | qm | Text.Werken Gruppenr. | 41,80 | qm |
| Mat. Lager | 21,3 | qm | Mat. Lager | 23,82 | qm |
| Zeichensaal | 61,18 | qm | Zeichensaal | 57,43 | qm |
| Musikzimmer | 57,79 | qm | Musikzimmer | 62,11 | qm |
| Musikzimmer | 57,55 | qm | Musikzimmer | 62,10 | qm |
| Bildn.Erziehung/AV LM/Audio | 30,01 | qm | Bildn.Erziehung/AV LM/Audio | 23,61 | qm |
| Bibliothek | 71,90 | qm | Bibliothek | 58,18 | qm |
| Zwischensumme 2 | 656,52 | qm | Zwischensumme 2 | 670,52 | qm |
| WC - Anlagen Schüler | 83,99 | qm | WC - Anlagen Schüler | 98,25 | qm |
| Garderobe | 159,72 | qm | Garderobe | 189,20 | qm |
| Erschließung/Pausenbereich | | | Erschließung/Pausenbereich | | |
| EG | 118,71 | qm | EG | 118,71 | qm |
| 1. OG | 216,47 | qm | 1. OG | 253,10 | qm |
| 2. OG | 133,48 | qm | 2. OG | 190,00 | qm |
| WF | 29,33 | qm | WF | 20,10 | qm |
| Lift | 17,10 | qm | Lift | 12,15 | qm |
| Zwischensumme 3 | 758,80 | qm | Zwischensumme 3 | 881,51 | qm |



| Ursprüngliches Sanierungs-Raumkonzept HS II | | | Sanierung gem. Forschungsprojekt Raumkonzept HS II | | |
|---|----------------|-----------|--|----------------|-----------|
| | | | Aula/Mehrzweckraum (76,04 m2) | 116,20 | qm |
| | | | Verbindung HS 2/PTS | 31,76 | qm |
| Zwischensumme 4 | 758,80 | qm | Zwischensumme 4 | 1029,47 | qm |
| Lehrküche | 88,02 | qm | Lehrküche | 108,61 | qm |
| Lager | 14,77 | qm | Lager | 18,88 | qm |
| Schülerausspeisung | 55,25 | qm | Schülerausspeisung | 85,88 | qm |
| Küche | 45,68 | qm | Küche/Ausgabe | 23,00 | qm |
| Lager | 13,81 | qm | Lager | 18,89 | qm |
| Zwischensumme 5 | 217,53 | qm | Zwischensumme 5 | 255,26 | qm |
| LEHRER | | | | | |
| Archiv | 8,75 | qm | Archiv | 16,88 | qm |
| LM Geo/Geschichte | 26,95 | qm | LM Geo/Geschichte | 30,21 | qm |
| LM Biologie | 23,46 | qm | LM Biologie | 30,21 | qm |
| Konferenz | 110,69 | qm | Konferenz | 110,05 | qm |
| Gard Lehrer | 17,11 | qm | Gard Lehrer | 29,33 | qm |
| Direktor | 28,13 | qm | Direktor | 19,20 | qm |
| WC - Anlagen Lehrer | 12,61 | qm | WC - Anlagen Lehrer | 43,22 | qm |
| Kopierer | 7,36 | qm | Kopierer | 12,47 | qm |
| Sozialraum | 57,95 | qm | Sozialraum | 57,97 | qm |
| Arzt/Besprechung | 18,92 | qm | Arzt/Besprechung | 18,01 | qm |
| Erschließung EG | 75,51 | qm | Erschließung EG | 30,87 | qm |
| Zwischensumme 6 | 387,44 | qm | Zwischensumme 6 | 398,42 | qm |
| | | | Serverraum | 16,88 | qm |
| | | | WF/Fluchtweg | 14,29 | qm |
| Zwischensumme 7 | 387,44 | qm | Zwischensumme 7 | 429,59 | qm |
| SCHULWART/ TECHNIK | | | | | |
| Schulwart Lager | 39,16 | qm | Schulwart Lager | 30,45 | qm |
| Schulwart Waschküche | 22,75 | qm | Schulwart Waschküche | 14,23 | qm |
| Schulwart | 6,14 | qm | Schulwart | 13,35 | qm |
| Brennofen | 12,18 | qm | Brennofen | 19,40 | qm |
| Technik/Hautechnik/Heizr. | 32,93 | qm | Technik/Hautechnik/Heizr. | 88,04 | qm |
| Zwischensumme 8 | 74,00 | qm | Zwischensumme 8 | 151,90 | qm |
| Flächen HS | 2824,68 | qm | Flächen HS | 3274,98 | qm |



| Ursprüngliches Sanierungs-Raumkonzept PTS | | | Sanierung gem. Forschungsprojekt Raumkonzept PTS | | |
|---|----------------|-----------|--|----------------|-----------|
| Klasse | 58,25 | qm | Klasse | 68,88 | qm |
| Klasse | 55,39 | qm | Klasse | 65,22 | qm |
| Klasse mit PC | 78,56 | qm | Klasse mit PC | 71,33 | qm |
| Seminarraum | 42,52 | qm | Seminarraum | 50,00 | qm |
| Sem Dienstleistung | 52,07 | qm | Sem Dienstleistung | 48,10 | qm |
| Sem Tourismus | 52,56 | qm | Sem Tourismus | 51,80 | qm |
| Sem Infotech | 41,44 | qm | Sem Infotech | 43,56 | qm |
| Sem Elektro | 40,68 | qm | Sem Elektro | 50,00 | qm |
| Infotech | 39,68 | qm | Infotech/Seminar | 44,00 | qm |
| Computer | 84,47 | qm | Computer | 80,03 | qm |
| Bibliothek | 67,22 | qm | Bibliothek | 65,20 | qm |
| WC Anlagen | 38,26 | qm | WC Anlagen | 51,58 | qm |
| Garderobe | 42,03 | qm | Garderobe | 61,83 | qm |
| Aula | 80,00 | qm | Aula | 109,65 | qm |
| Erschließung/Pausenbereich | 344,87 | qm | Erschließung/Pausenbereich | 275,16 | qm |
| WF | 15,27 | qm | Eingang/WF | 25,92 | qm |
| Zwischensumme 1 | 1133,27 | qm | Zwischensumme 1 | 1162,26 | qm |
| Leiter | 29,09 | qm | Leiter | 24,28 | qm |
| Konferenz | 44,32 | qm | Konferenz | 56,69 | qm |
| LM | 44,62 | qm | LM | 51,27 | qm |
| AR | 2,62 | qm | AR/Serverraum | 37,75 | qm |
| Zwischensumme 2 | 120,65 | qm | Zwischensumme 2 | 169,99 | qm |
| WERKSTÄTTENTRAKT | | | | | |
| Garderobe | 13,73 | qm | Garderobe | 14,28 | qm |
| Werkstätten | 157,27 | qm | Werkstätten | 164,70 | qm |
| Lager | 21,34 | qm | Lager | 28,24 | qm |
| Maschinenraum | 19,81 | qm | Maschinenraum | 22,55 | qm |
| WC Anlagen | 19,21 | qm | WC Anlagen (gemeinsame Nutzung mit Aula) | 37,26 | qm |
| Erschließung | 56,30 | qm | Erschließung Technik | 64,28 | qm |
| | | | | 13,18 | qm |
| Zwischensumme 3 | 287,66 | qm | Zwischensumme 3 | 344,49 | qm |
| Flächen PTS | 1541,58 | qm | Flächen PTS | 1676,74 | qm |



4.5 Ökologisches Bauteilprofil

Für den derzeitigen Projektstand wurde die thermische Sanierung der Außenwand einer detaillierten ökologischen Betrachtung unterzogen. Dabei sollte vorab untersucht werden, ob die geplante alternative Sanierungsvariante auf Passivhausstandard aus ökologischer Sicht im Herstellungs- und Errichtungsprozess auf Grund der doch erheblich größeren Volumina aus ökologischer Sicht gegenüber dem ursprünglichen Sanierungskonzept zu rechtfertigen ist.

| | |
|--|-------------------------|
| Vergleich zweier Außenwandkonstruktionen | U-Wert i.M. |
| - ursprüngliches Sanierungskonzept 8cm WDVS mit Steinwolle | 0,37 W/m ² K |
| - Passivhaus Leichtfassadenkonstruktion mit Zellulose | 0,10 W/m ² K |

Als Vergleichbauteil wurde jeweils über eine Achslänge von 5,0m ein Fassaden Parapet-Sturzelement mit Einbindung einer Stahlbetonsäule herangezogen.

4.5.1 Ursprüngliche Sanierungsvariante Außenwandkonstruktion



Abbildung: Vertikalschnitt

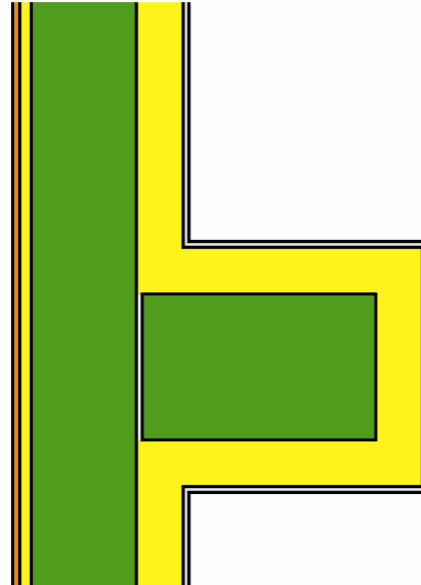


Abbildung: Horizontalschnitt Bereich Säule

| Konventionelle Sanierung Wärmedämmverbundsystem mit Steinwolle U-Wert i.M. 0,37 W/m ² K Abgewinkelte Elementfläche 11,4m ² | | | PEI Nicht erneuerbar | | Treibhauseffekt 100a CO ₂ - Äquival. | | Versäuerung SOx-Äquivalent | |
|---|-------|-------------------|-------------------------|-------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Bauteilschichten | Dicke | Masse | PEI/kg | PEI | CO ₂ /kg | CO ₂ /m ² | SOx/kg | SOx/m ² |
| Gesamtdicke | cm | kg/m ² | MJ/kg | MJ/m ² | kg/kg | Kg/m ² | g/kg | g/m ² |
| Sanierungsbauteil 9,0cm | | | | | | | | |
| Mineralischer Kleber | 0,5 | 10,0 | 1,4 | 14,0 | 0,2 | 2,0 | 0,7 | 7,0 |
| Steinwolle Fassaden- dämmplatten | 8,0 | 12,0 | 17,5 | 210,0 | 1,2 | 14,4 | 5,2 | 62,4 |
| Silikatputz mit Kunstharzzusatz | 0,7 | 12,6 | 5,1 | 64,3 | 0,25 | 3,2 | 1,5 | 18,9 |
| Glasfaserarmierung | | 0,2 | 22 | 4,4 | 1,2 | 0,2 | 3,6 | 0,7 |
| Summe / m ² | | | | 292,7 | | 19,8 | | 89,0 |
| Summe je Fassadenelement | | | | 3336,8 | | 225,7 | | 1014,6 |

Tabelle Ökolog. Bauteilprofil: Ursprüngliches Sanierungskonzept Fassadendämmung



4.5.2 Sanierung in Passivhausstandard mit Holzkonstruktion

Um die geplante Fassadenkonstruktion Wärmebrückenfrei zu konstruieren wird die vor der Fassade stehende Stahlbetonsäule überdämmt, sodass die gesamte Fassade mit den Fensterbändern in einer Ebene vor den Säulen vorbeigeführt wird. Damit ergibt sich eine Dämmstärke von 50 cm mit einem U-Wert 0,08 W/m²K und über eine Achslänge von 5,0 m mit eingebundener Stahlbetonsäule als reduzierende Wärmebrücke ein gemittelter U-Wert von 0,10 W/m²K.

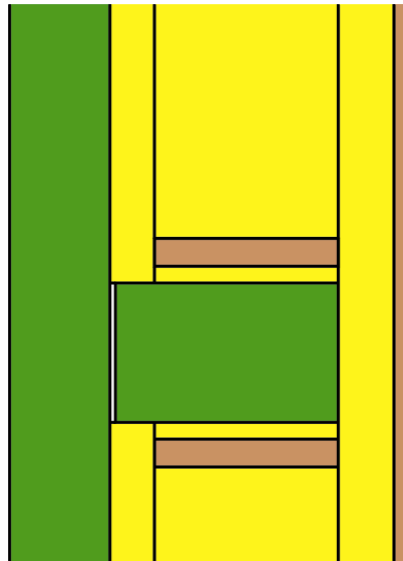


Abbildung: Horizontalschnitt Bereich Säule

| Holztragkonstruktion mit Zellulose in Passivhausstandard U-Wert i.M. 0,10 W/m ² K Elementfläche 8,7m ² | | | PEI Nicht erneuerbar | | Treibhauseffekt 100a CO ₂ - Äquival. | | Versäuerung SOx-Äquivalent | |
|---|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Bauteilschichten | Dicke | Masse | PEI/kg | PEI | CO ₂ /kg | CO ₂ /m ² | SOx/kg | SOx/m ² |
| Gesamtdicke | cm | kg/m ² | MJ/kg | MJ/m ² | kg/kg | kg/m ² | g/kg | g/m ² |
| Sanierungsbauteil 9,0cm | | | | | | | | |
| Stahlanker + Dübel | | 0,7 | 43 | 30,1 | 3,0 | 2,1 | 14 | 9,8 |
| Einhängstahlteile | | 1,3 | 60 | 78,0 | 4,1 | 5,3 | 21 | 27,3 |
| Holztragkonstruktion 6% Holzanteil | 0,25m ³ gesamt | 12,9 i.M./m ² | 4,7 | 60,6 | -1,55 | -20,0 | 2,2 | 28,4 |
| Zellulosedämmung geblasen | 50cm 3,89m ³ | 24,6 i.M./m ² | 4,2 | 103,3 | 0,2 | 4,9 | 2,5 | 61,5 |
| Dampfbremse PE-Folie Fensteranschlüsse | 0,2 | 0,2 | 115 | 23,0 | 3,6 | 0,7 | 23 | 4,6 |
| Fassadenschalung Thermobuche | 2,0 | 13,2 | 4,7 | 62,0 | -1,55 | -20,5 | 2,2 | 29,0 |
| Summe / m ² | | | | 357,0 | | -27,5 | | 160,6 |
| Summe je Fassadenelement | | | | 3105,9 | | -239,3 | | 1397,2 |

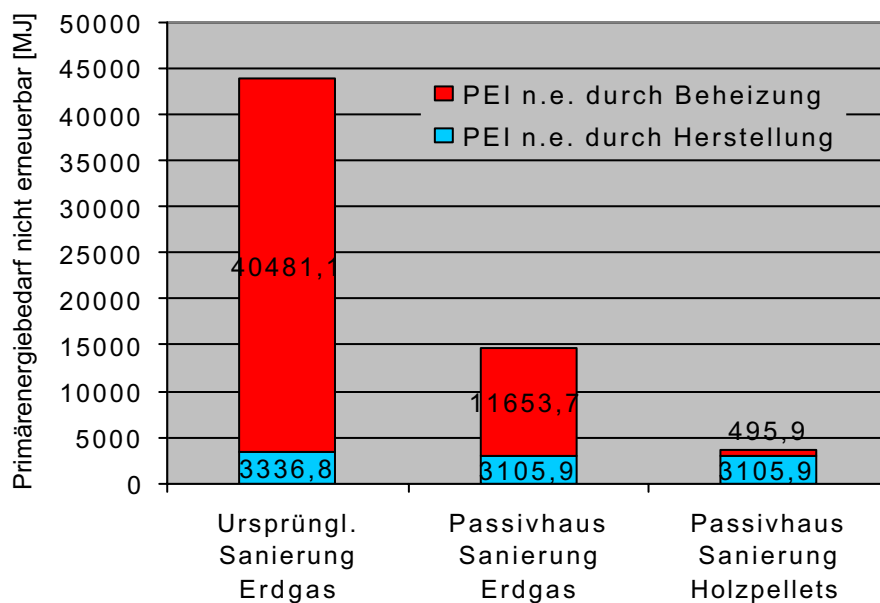
Tabelle ökologisches Bauteilprofil: Sanierungskonzept auf Passivhausstandard mit Fassadendämmung in vorgefertigter Holzrahmenbauweise
Quelle für die Bewertung durch Baustoffe: Ökologischer Bauteilkatalog/IBO, Donau Uni Krems



4.5.3 Schlußfolgerung nach ökologischer Bewertungen

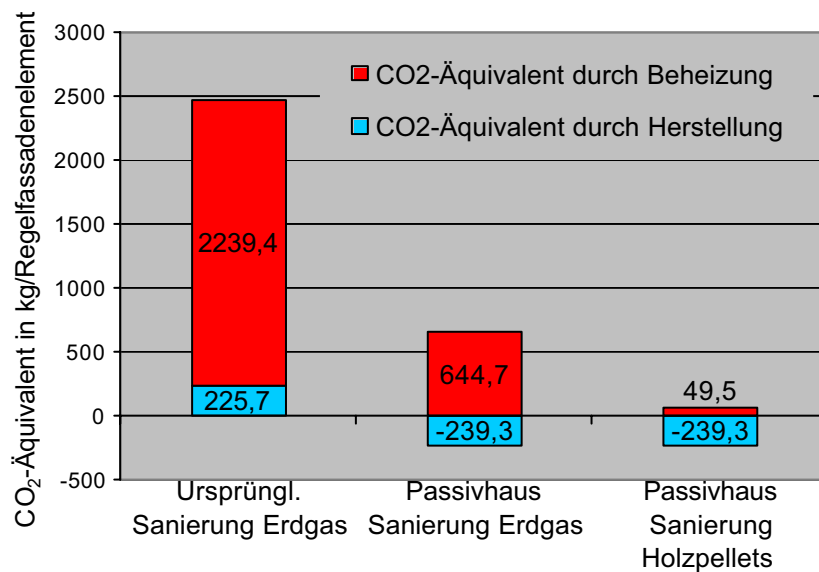
Bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Sanierungsvarianten für den Bauteil thermische Außenwandsanierung zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer ökologischen Bauteilsanierung mit größtenteils nachwachsenden Rohstoffen, eine Sanierung auf Passivhausstandard – trotz rund sechsfachen Volumen, eine bessere Ökobilanz schon alleine bei der Herstellung aufweisen kann, als die heute üblichen konventionellen Sanierungsmaßnahmen. Unter Beziehung der Beheizung – gerechnet auf 30 Jahre – schneidet die ökologische Passivhausanierungsvariante ganz erheblich besser ab. Eine nochmalige entscheidende Reduzierung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Äquivalenten Treibhausemissionen wurde durch die Umstellung des Restheizenergiebedarfes von Erdgas auf Holzpellets erzielt.

Quelle für die Bewertung durch Beheizung: Ökologie der Dämmstoffe/IBO, Donau Uni

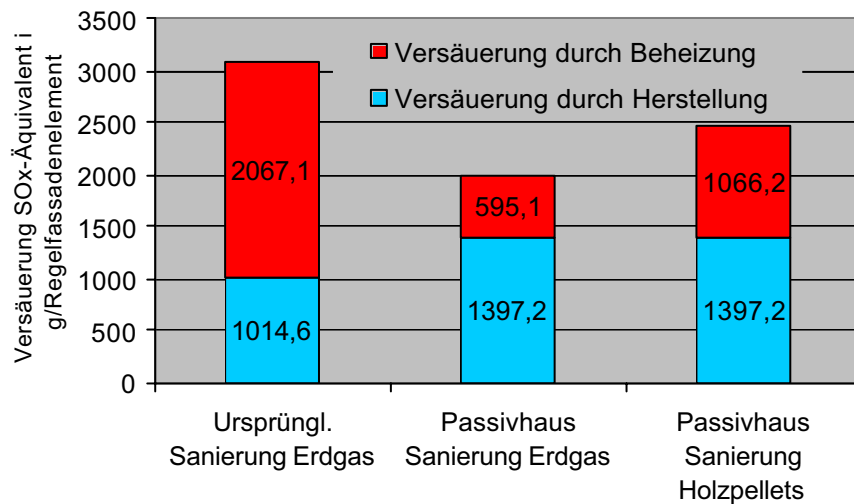


Grafik: Vergleich Primärenergiebedarf bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten für den Bauteil Außenwand unter Berücksichtigung des Restheizmediums, bezogen auf ein Regelfassadenelement mit 8,7m² Ansichtsfläche





Grafik: Vergleich des CO₂-äquivalenten Treibhauspotentials bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten für den Bauteil Außenwand unter Berücksichtigung des Restheizmediums, bezogen auf ein Regelfassadenelement mit 8,7m² Ansichtsfläche



Grafik: Vergleich der Versäuerung in SO_x-äquivalenten Treibhauspotentials bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten für den Bauteil Außenwand unter Berücksichtigung des Restheizmediums, bezogen auf ein Regelfassadenelement mit 8,7m² Ansichtsfläche



4.6 Öffentlichkeitsarbeit und Weiterbildung

Passivhausexkursion 08.02.2003

Bei dieser Passivhausexkursion unter dem Motto: „Leben im Passivhaus – Vision oder Realität“ wurde auch das Forschungsprojekt Erste Schulsanierung auf Passivhausstandard in Schwanenstadt besichtigt, und den 91 Teilnehmern die geplanten Maßnahmen und Überlegungen nahegebracht.

Passivhaus Objektdatenbank 31.12.2003

Das Sanierungsprojekt Schule Schwanenstadt ist das erste in der Datenbank „1000 Passivhäuser in Österreich“ dokumentierte Altbausanierungsprojekt auf Passivhausstandard. Im Zuge deren Öffentlichkeitsarbeit ist dabei mehrmals auch dieses Projekt in den in- und ausländischen Medien präsentiert worden.

Pressekonferenz 27.01.2004

Bei der gemeinsamen Pressekonferenz von Umwelt- und Energielandesrat Anschober, Dr. Wolfgang Feist und Günter Lang, GF der IG Passivhaus OÖ wird u.a. erstmals bekannt gegeben, dass das Land Oberösterreich die Realisierung des richtungsweisenden Demonstrationsprojektes voll unterstützen wird.

8. Europäische Passivhaustagung 17.04.2004

Referent Arch. DI Heinz Plöderl stellt bei der wichtigsten europäischen Passivhaustagung die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes vor.

Klimaschutzaktionsprogramm 2004 des Landes OÖ 03.05.2004

Die Sanierung der HSII und PT Schwanenstadt auf Passivhausstandard wird als Leitprojekt in das „Gebäudevorbildprogramm“ der OÖ. Landesregierung aufgenommen, um die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand zu signalisieren.

Lehrerfortbildungsveranstaltung 10.-11.05.2004

In Kooperation mit dem Pädagogischen Institut wird dem Lehrkörper bei der diesjährigen Fortbildungsveranstaltung am Solartag auch das Forschungs- und Demonstrationsprojekt „Erste – Passivhaus Schulsanierung Schwanenstadt“ vorgestellt.

500. Klimabündnisgemeinde 05.06.2004

Schwanenstadt wird am 05.06.2004 zur 500. Klimabündnisgemeinde gekürt. Einen besonderen Klimaschutzbeitrag nimmt dabei die Passivhaus Schulsanierung ein.

Energiesparmesse 2005 03.2005

2005 wird bei der Welser Energiesparmesse der Themenschwerpunkt „Altbausanierung mit Passivhauskomponenten“ im Vordergrund stehen. Für dieses geplante Rahmenprogramm wird das Forschungs- und Demonstrationsprojekt „Erste – Passivhaus Schulsanierung Schwanenstadt“ eine Highlight Funktion einnehmen.



5 Architektur und Gebäudekonstruktion



Die Moderne der Architektur hat als „Bauwirtschaftsfunktionalismus“ bis in die siebziger Jahre eine böse Spur in den Städten und den Köpfen hinterlassen, deren Tiefe einige exaltierte Umwege zur Befreiung benötigen. Die Hauptschule II in Schwanenstadt, ein Paradebeispiel dieser Epoche, bedarf nicht nur räumlicher, funktioneller und gestalterischer Erneuerung, sondern vor allem einer ökologischen, ressourcenschonenden und energiebewussten Sanierung und Erweiterung. Eine Neustrukturierung und Generalsanierung des Baubestands soll alte Strukturen wieder freilegen und Lichtführungen und Sichtbeziehungen wesentlich verbessern.

Sparsame, aber effektvolle Umbaumaßnahmen lassen zusammen mit Erweiterungsbauten ein neues, schlüssiges und wirtschaftlich umsetzbares Ganzes entstehen. Um keine nutzbaren Freiräume zu verbauen, werden durch den Erweiterungsbau für die Polytechnische Schule der Innenhof geschlossen sowie gemeinsam genutzte Sonderunterrichtsräumen auf die erdgeschossige Verbindungsebene gelegt. Um zu überschaubaren und ablesbaren Einheiten zu gelangen, wird der Komplex in Hauptschule und Polytechnische Schule gegliedert. Die beiden Schulen erhalten gemeinsame Übergangsbereiche, die das sogenannte „Info-Zentrum“, die Cafeteria, den Schulwart und eine großzügige Schulküche beherbergen. Die Benutzer können über die Foyer- und Pausenbereiche verschiedene Wege nehmen, vergleichbar einer Stadt mit Gasse, Straße, Brücke, Sitztreppe, Schulhof, Platz und Atrium.

Wesentlich zur Attraktivierung wird der neuangelegte geschützte Innenhof beitragen, der für eine entscheidende Verbesserung der Pausenfreiflächen sorgen wird.

Im zweihüftigen bestehenden Hauptbaukörper – Hauptschule II sind sämtliche 12 Klassenzimmer untergebracht. In einem Erweiterungsbau sind alle Sonderunterrichtsräume, eine AULA und im Erdgeschoss die Verwaltung angeordnet, die Erschließung erfolgt über einen dreigeschossigen, von oben belichteten Raum.

Die Gebäude bilden sinnvolle Einheiten und bleiben zugleich autonome Solitäre, die sich vom übrigen klar absetzen und nicht von überdachter Wegearchitektur oder verbindenden Annexen hierarchisiert werden. Beide Gebäude sind so placiert, dass

sie den Kontext und die orthogonale Anordnung der bestehenden Gebäude weiterführen. Die Erweiterungen sind dreigeschossig präzise ausformuliert und treten in einen dialektischen Dialog mit dem alten.

Alt und Neu fallen nicht auseinander. Die unterschiedlichen Bauteile verschmelzen im äußeren Erscheinungsbild durch eine alle Baukörper umfassende Außenhaut zu einem Ganzen.

Ein innenräumliches Kontinuum wird durch eine durchgehende Behandlung von Fußboden Decke, Farb- und Materialwahl erreicht. Innerhalb der neuen Einheit verweisen differenzierte Materialien und Detailausbildungen einzelner Bauteile auf die jeweiligen Raumqualitäten. Bei der Auswahl von Materialien und Farben wird auf Einfachheit und Gediegenheit geachtet.

Weist der Altbau ein modulares Raster auf, aus dem sich die horizontale und vertikale Struktur ergibt, «entflechten» bei der Erweiterung und Sanierung die Verfasser die Rasterstruktur; alternierende horizontale Fensterbänder erscheinen unregelmäßig, die Geschosse sind verschieden hoch, und die unterschiedlich geschnittenen Brüstungsverkleidungen versagen sich dem Raster.

Die nähere Betrachtung der beiden neuen Gebäude - das eine beherbergt die Hauptschule, das andere neu dazugebaute die Polytechnische Schule - lässt das Bemühen spüren, ein Gleichgewicht zu finden zwischen dem am Ort Vorhandenen und dem, was ihn in Zukunft prägen soll. Es ging aber auch darum, Assoziationen an vertraute Strukturen zu vermitteln und zugleich eine neue Wirklichkeit zu schaffen. Präzise Planungsarbeit und eine überaus sorgfältige Detaillierung, lassen eine hohe räumliche und gestalterische Qualität der beiden Schulen in Passivhausstandard erwarten.

Da sich in dieser Schule der Zukunft das 'Modell einer recycling- und energiebewussten Gesellschaft' konkretisieren soll, wird für die Sanierung und Erweiterung der Baustoff HOLZ vorgeschlagen und als Material des Alltäglichen und integrierter Bestandteil des Projektes eingesetzt.

In die logistische Kette des Bauablaufes wird der Baustoff so eingegliedert, dass die Vorteile der Vorfertigung und der Trockenbauweise, in Verbindung mit anderen Baustoffen und Bauteilen als Komposition vorgefertigt, die Terminplanung der Baustelle günstig beeinflussen.

Die gesamte Außenhülle erreicht einen sehr hohen Wärmedämmstandard, die Verschränkung der beiden Schulen mit der bestehenden Turnhalle in einem kompakten Entwurf erzielt eine wirtschaftliche Lösung im Passivhaus-Standard.

'Es solle eine Schule entstehen, in der man täglich lernen kann, dass es keine Normen für Lebensbewältigung gibt, dass nur erfolgreich sein kann, wer Altes kennt, für Neues offen ist und die Qualitäten vom einen und anderen filtert und verbindet.'

So einheitlich sich die neu strukturierte Anlage von außen präsentiert, so unterschiedlich ist die Raumeinteilung im Inneren. Sinnfällig stehen bei beiden Schulen die Zu- und Eingänge im Mittelpunkt der Gesamtanlage. Während der offene Foyercharakter die Erweiterung für die Polytechnische Schule mit den seitlich angeordneten Werkstätten Aufenthaltsräumen und Gängen dominiert, verdichten sich die Räume der bestehenden Hauptschule mit seiner neuen raffinierten Lichtführung zur Mitte hin.



Die zentralen Erschließungsflächen werden über die neu angelegten Oberlichten belichtet.

Mit seiner kontrollierten Be- und Entlüftung sowie entsprechenden Dämmwerten durch Optimierung der Hüllflächen entspricht das Gebäude mit seinem raffinierten Tages- und Kunstlichtmanagement den Passivhausrichtlinien, wobei die Mehrkosten gegenüber der ursprünglich konventionellen Sanierung maximal 8% betragen.

Mit diesem Pilotprojekt übernimmt die Stadtgemeinde Schwaneinstadt ihre Verantwortung gegenüber der Umwelt und die Mitgliedschaft beim Klimabündnis mit der Verpflichtung verknüpft, ihre Gebäude ressourcen-schonend zu errichten und zu betreiben. Dass dies im Einklang mit hohen baukünstlerischen Maßstäben geschieht, ist der ARGE Passivhaus Sanierung und dem Architekten zu danken.



5.1 Vorentwurfspläne

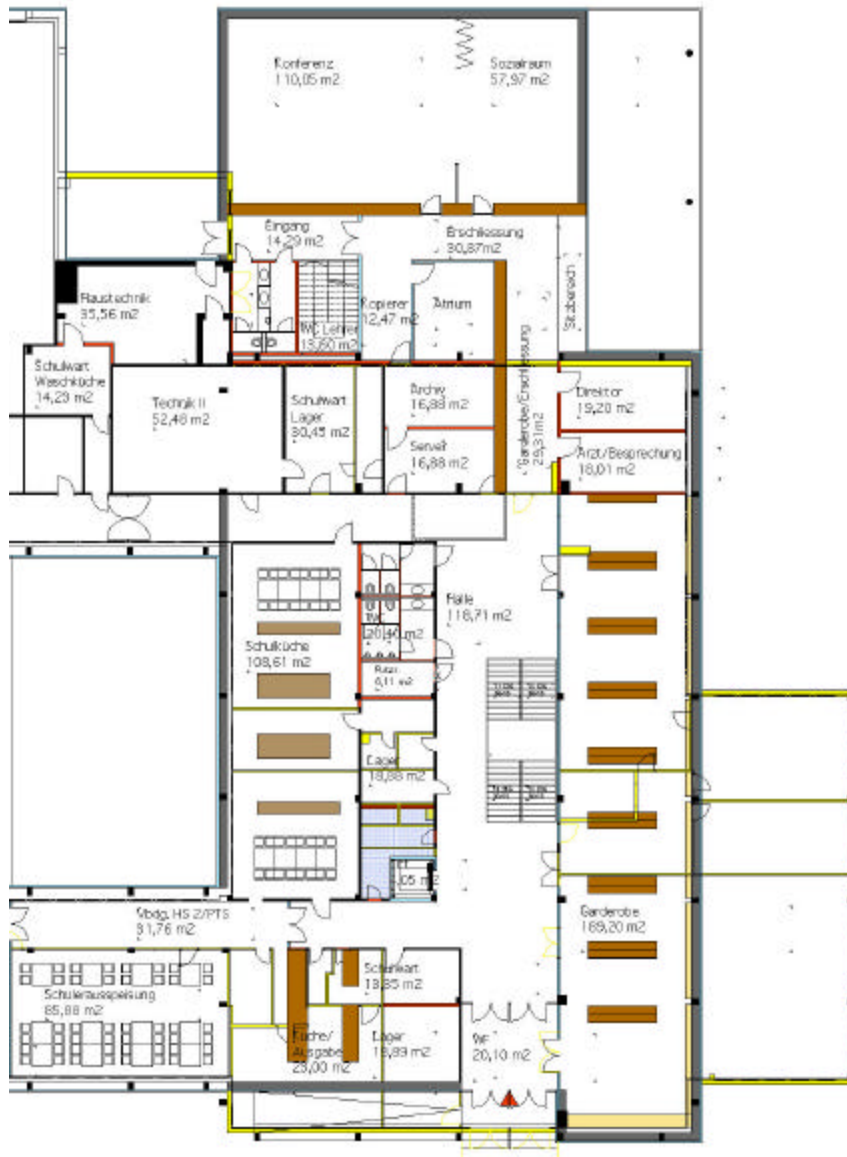
5.1.1 Lagepläne



5.1.2 Grundrisse HS II - MUSIKHAUPTSCHULE

Neben der bautechnischen und thermischen Sanierung auf Passivhausstandard stehen die optimierte räumliche Nutzung und Tageslichtnutzung im Vordergrund, sowie die verbesserte Nutzung als Musikhauptschule.

5.1.2.1 Grundriss Erdgeschoss HS II

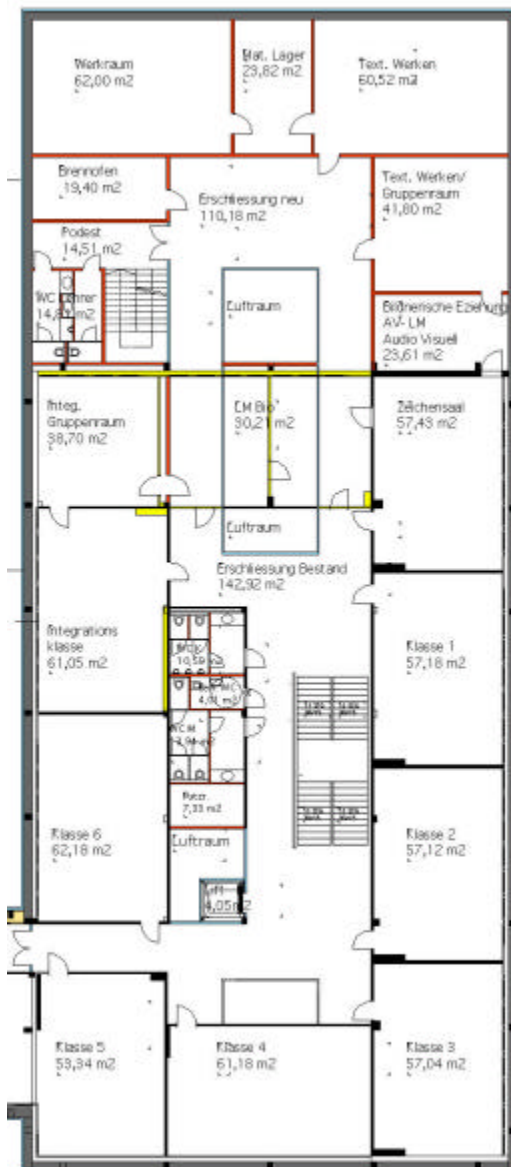


Sanierungsmaßnahmen HS II, Erdgeschoss:

- Abbruch des bestehenden Erker mit Garderobe/Konferenzzimmer
- neue lichtdurchflutete Garderobe
- Eingangshalle mit Tageslichtqualität
- gemeinsame Funktionen am Atrium
- Zubau mit Fluchttiegenhaus
- Konferenz/Direktor - Ausbildung



5.1.2.2 Grundriss 1. Obergeschoss HS II



Sanierungsmaßnahmen HS II, 1. Obergeschoss

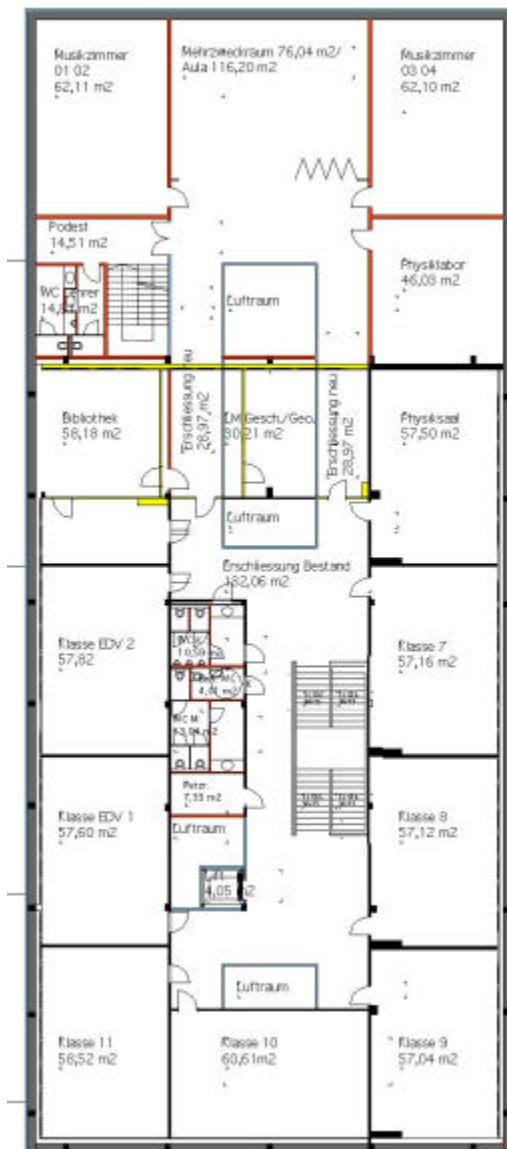
- Akustische Sanierung der bestehenden Klassenzimmer
- Neue WC-Anlagen
- Lehmittel an der Zäsur

Zubau:

- Technisches und textiles Werken Zeichensaal
- Dazugehörige Nebenräume



5.1.2.3 Grundriss 2. Obergeschoss HS II



Sanierungsmaßnahmen HS II, 2. Obergeschoss

- Akustische Sanierung der bestehenden Klassenzimmer
- Neue WC-Anlagen
- Physiksaal und Physiklabor
- Lehrmittel an der Zäsur
- Schulbibliothek

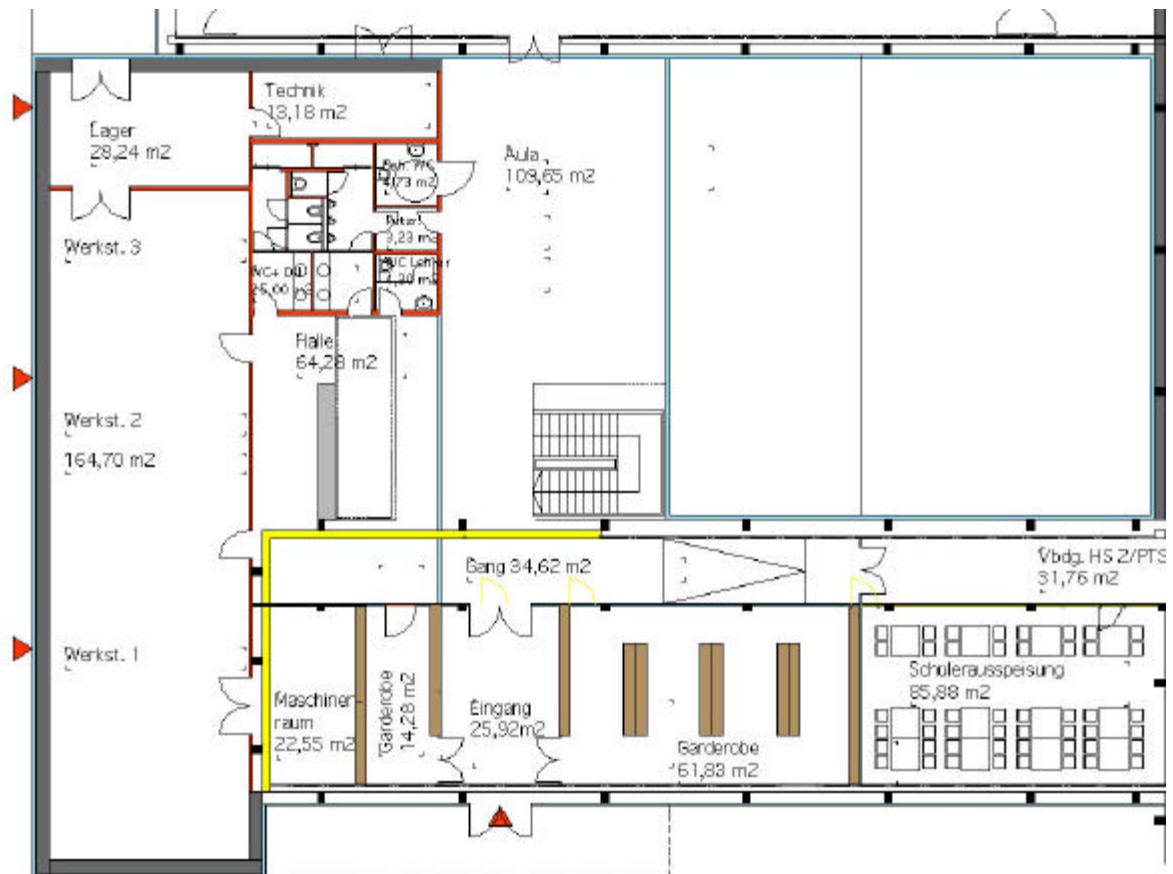
Zubau:

- Musikzimmer
- Aula - in Funktion eines Mehrzweckraumes



5.1.3 Grundrisse PTS – POLYTECHNISCHE SCHULE

5.1.3.1 Grundriss Erdgeschoss PTS

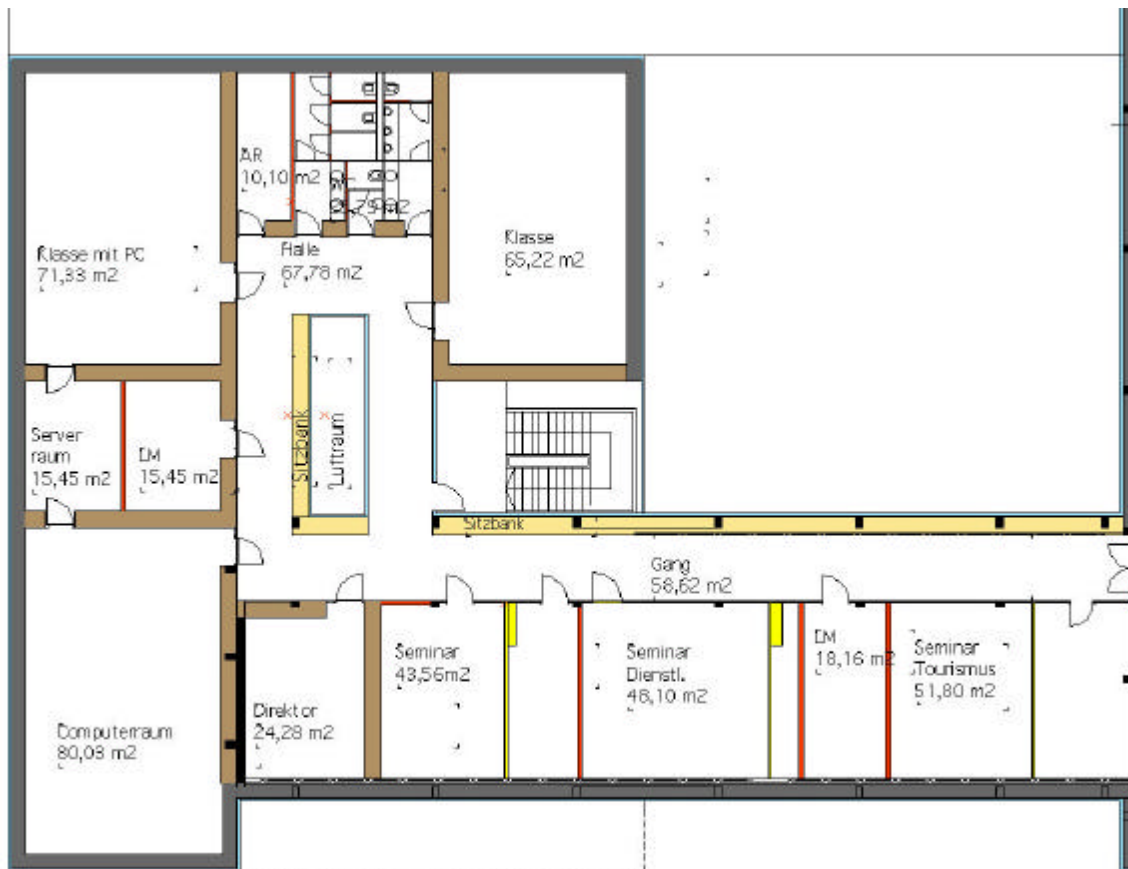


Sanierungs- und Zubaumaßnahmen PTS, Erdgeschoss

- Ein gemeinsamer Eingang für alle Funktionen
- Zentrale lichtdurchflutete Garderobe
- Große Aula
- 3 Werkstättenräume teilbar
- Eigener Technikraum
- Sanitärräume



5.1.3.2 Grundriss 1. Obergeschoss PTS



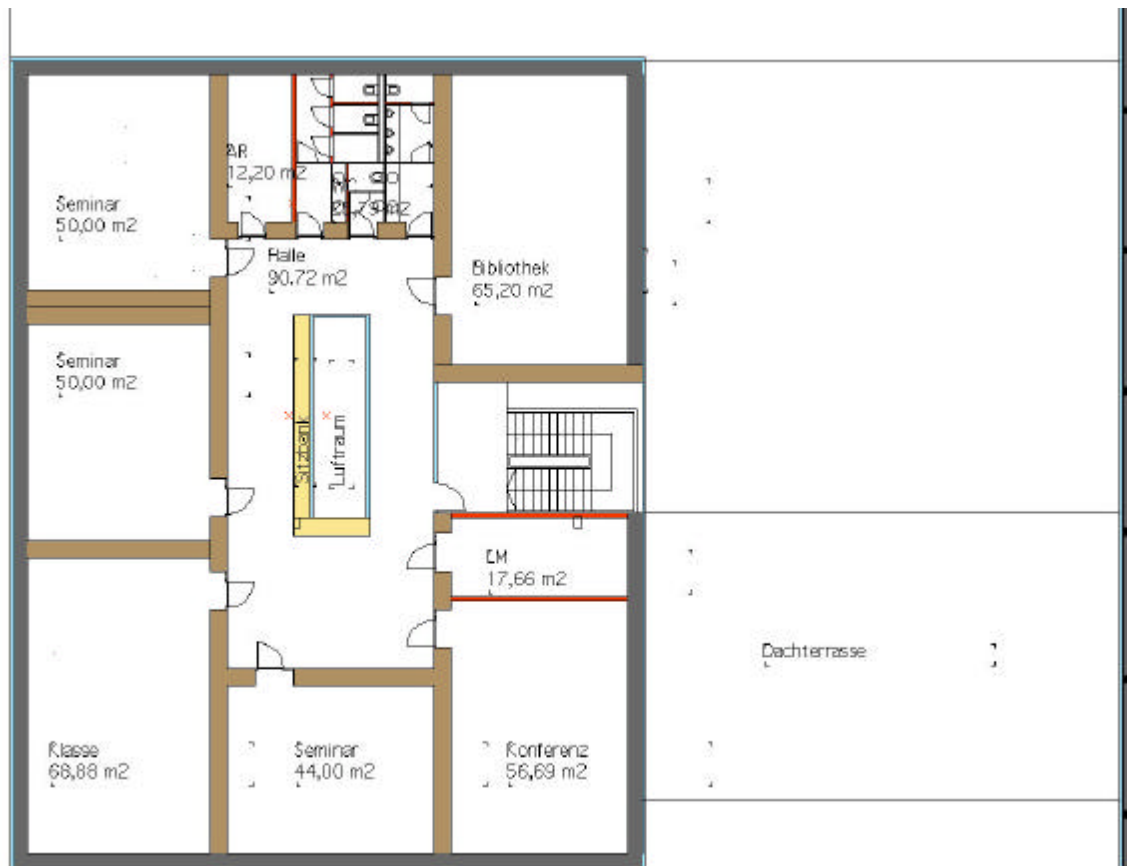
Sanierungs- und Zubaumaßnahmen PTS, Erdgeschoss

- 1 Klasse
- 3 Seminarräume
- EDV-Zentrum
- Direktion

- Kompakter Baukörper
- Lichtdurchflutete Halle



5.1.3.3 Grundriss 2. Obergeschoss PTS



Aufstockungsmaßnahmen PTS, Erdgeschoss

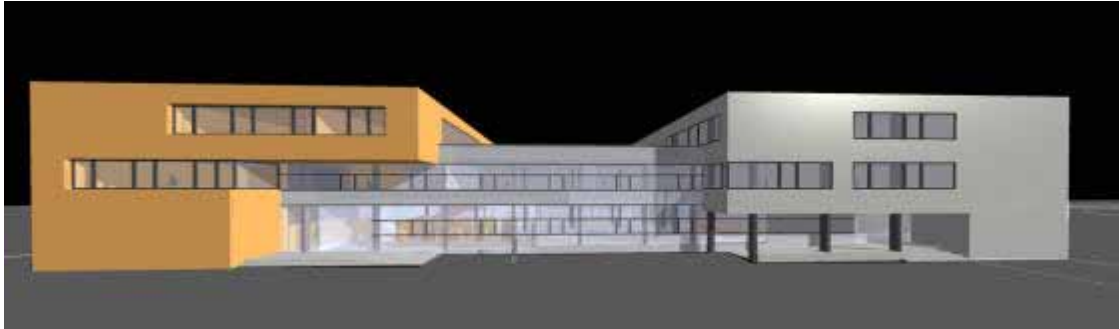
- 1 Klasse
- Seminarräume
- Bibliothek
- Lehrmittel
- Konferenzzimmer
- Ausgang auf Dachterrasse HS II

- kompakter Baukörper
- lichtdurchflutete Halle



5.1.4 Ansichten

5.1.4.1 Südansicht von der Straßenseite



5.1.4.2 Süd - Ostante des Komplexes HS II



5.1.4.3 Nord - Ostansicht mit HS II und Turnsaal



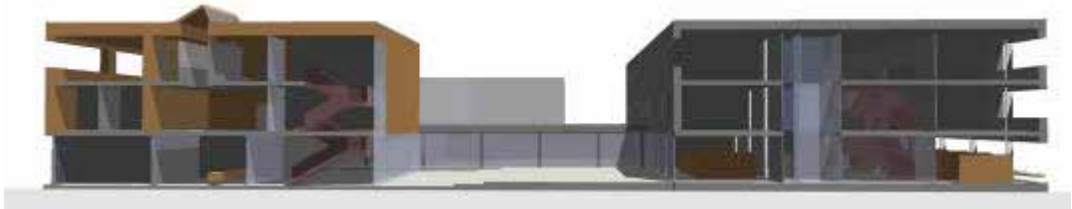
5.1.4.4 Nord - Westansicht mit Turnsaal und PTS als Luftaufnahme



5.1.4.5 Ausschnitt Westansicht Seiteneingang Turnhalle



5.1.5 Schnitt durch PTS, Innenhof und HS II



5.1.6 Perspektiven von HS II und PTS



5.2 Thermische Gebäudehülle

Nachfolgend sind die U-Werte für den derzeitigen Planungsstand zusammengefasst:

| Bauteil | U-Wert | Beschreibung |
|--------------------------------|--------------------|---|
| Einheit | W/m ² K | |
| Außenwand Altbau | 0.12 | Vorgefertigte Leichtbaufassade auf Bestand (Wärmebrückenberechnung), s.u. |
| Außenwand neu | 0.11 | Rahmenbauweise |
| Dach Altbau | 0.10 | Stahlbetondecke, Warmdachaufbau |
| Dach Neubau | 0.12 | Warmdach in Rahmenbauweise |
| Bodenplatte Altbau | 0.21 | Trockenestrich auf Vakuumdämmplatten, Bestand s.u. |
| Bodenplatte Neubau | 0.17 | Trockenestrich auf Dämmung und Bodenplatte |
| Decke gegen Außenluft Altbau | 0.14 | Leichtbauelement auf Stahlbetonbestanddecke |
| Decke gegen Außenluft Neubau | 0.13 | Rahmenbauweise |
| Terrasse | 0.10 | Warmdach auf Stahlbetondecke |
| Fenster | 0.80 | Passivhausfenster, g=0.55 |
| Zwischengeschossdecke Altbau | 1.04 | Stahlbetondecken |
| Zwischengeschossdecke neu | 0.43 | Massivholzdecke mit Verbundbeton |
| Innenwand alt Zimmer zu Gang | 1.59 | Gipsdielen |
| Innenwand alt Zimmer zu Zimmer | 1.59 | Gipsdielen |
| Innenwand neu Zimmer zu Gang | 0.53 | Gipskarton-Ständerwand |
| Innenwand neu Zimmer zu Zimmer | 0.53 | Gipskarton-Ständerwand |

Anmerkung: Der genaue Aufbau einiger Bauteile im Bestand (insbesondere Bodenplatte) muss noch im Detail geklärt werden

Die U-Wertberechnungen sind im Detail im Anhang dargestellt

Detaillierte Anforderungen an die Fensterflächen:

Gesamtfenster $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
 3-Scheibenverglasung $U_g \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
 g-Wert > 50%
 Kunststoffabstandhalter
 Thermisch optimierter Randverbund und Einbau
 Sonnenschutz außenliegend und hinterlüftet



5.3 Sanierung und Neubau in Holzbau

5.3.1 Ziele Holzbau

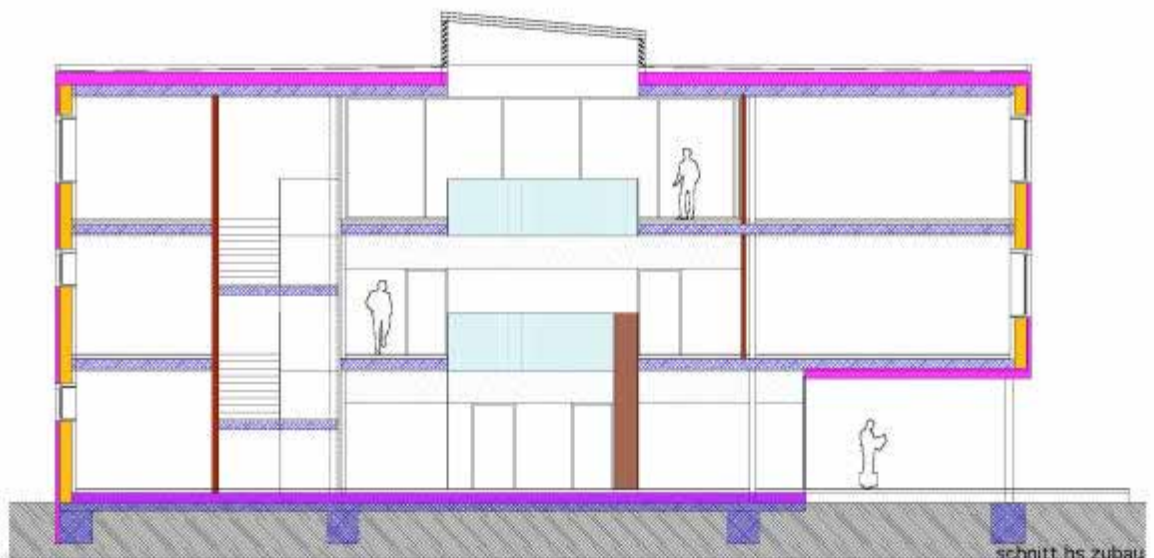
Bereich Sanierung:

Im Gegensatz zu bisherigen Sanierungen sollen vorgefertigte Holz-Wandelemente in Passivhausqualität zum Einsatz kommen. Diese werden den bestehenden Stahlbeton-Fertigteilwänden außen vorgesetzt.

Wesentliche Vorteile und Innovationen: Reduktion der Bauzeit, Erhöhung der Qualität durch strenge werkseitige Qualitätskontrolle, gerüstlose Montage mit minimiertem Zeitaufwand und damit minimierter Benutzerbeeinträchtigung (stark reduzierte Lärm- und Staubemissionen, stark reduzierte Unfallgefahr, minimierter Lagerflächenbedarf, keine Beeinträchtigung der Sichtverhältnisse durch Gerüstung, Schutznetz, und dergleichen). Eine weitere Neuentwicklung ist in punkto Montage- und Befestigungstechnik gedacht. Die Befestigungspunkte sollen flexibel nach Maßgabe der örtlichen Gegebenheiten ohne exaktes Einmessen montiert werden (rasche, kostengünstige Montage ohne Gerüst und ohne wesentliche Benutzerbeeinträchtigung möglich).

Bereich Neubau:

Es gilt ein Tragsystem sowie Wand-, Decken- und Dachelemente zu konzipieren, die einerseits die Anforderungen des Passivhausstandards erfüllen und andererseits den speziellen Erfordernissen von Schulbauten genügen (hohe Lasten bei gleichzeitig hohen Spannweiten (Raumgrößen), marktübliche Systeme für Einfamilienhäuser und Wohnbauten in Passivhausqualität sind nicht in der Lage die gestellten Anforderungen bei Schulbauten zu erfüllen).



Schnitt Zubau Hauptschule II



5.3.2 Anforderungsprofil / Randbedingungen Bereich Sanierung

5.3.2.1 Architektur

Es kommen sowohl Brüstungselemente im Bereich der durchlaufenden Fensterbänder, als auch geschoßhohe Elemente im Bereich der „Lochfassade“ zur Ausführung. Die Fassade läuft im Bereich der außenliegenden tragenden Stahlbetonstützen vor diesen durch, ebenso die Fensterebene. Die Fenster sollen möglichst bündig an der Fassadenaußenseite situiert werden. Der Sturzbereich ist zur Verbesserung der Tageslichtsituation gegenüber dem bestehenden Sturz der Stahlbetonelemente höher zu legen. Bei der Fassadengestaltung soll keine hinterlüftete Fassade zur Ausführung gelangen (siehe Brandschutzanforderungen), Anstrichmittel sollen aus ökologischen und Wartungsgründen, der klassische Vergrauungseffekt der Lärchenholzfassade aus Akzeptanzgründen vermieden werden.

5.3.2.2 Haustechnik

Seitens der Haustechnik besteht bei der dezentralen Lüftungsvariante das Erfordernis in jeder Klasse eine Zu- und Abluftöffnung auszuführen. Die Öffnungen werden vorzugsweise rund ausgebildet, um ein einfaches Ausbilden der Durchbrüche in den bestehenden Stahlbetonelementen zu ermöglichen.

5.3.2.3 Bauphysik

Der für die Außenwand angesetzte U-Wert von $U_{\text{Mittel}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (lt. Berechnung mittels Wärmebrückenprogramm) ist einzuhalten. Ebenso Tauwasserfreiheit, sommerlicher Wärmeschutz bzw. Wärmespeicher.

5.3.2.4 Brandschutz

Bezüglich Flammenüberschlag ist ein Prüfwert von W60 erforderlich (von Geschoss zu Geschoss). Bezüglich Brandschutz des Bauteiles selbst ist aufgrund des bestehenden Brandschutzes des Stahlbetonbauteiles nur im Bereich der Parapete und Stürze eine F60-Anforderung gegeben. Die Fassadenoberfläche ist in B1 auszuführen, ebenso die Dämmung. Darüber hinaus soll der Einsatz von diversen PE- oder Papierfolien als Windbremsen und dergleichen vermieden werden, um eine zusätzliche Brandlast zu vermeiden (Tropfgefahr). Bei der Fensterwahl sollte Kunststoff vermieden werden und Holz-Alu-Konstruktionen bevorzugt werden.

Aufgrund der Brandfortleitungs-Problematik ist auf eine Hinterlüftung möglichst zu verzichten, allenfalls ist diese entsprechend abzuschotten. Im Bereich der Lochfassade ist die Wandkonstruktion Geschossweise zu trennen und die Fuge zwischen Bestand und Holzrippen mit Steinwolle auszustopfen, um einen Durchbrand von Geschoss zu Geschoss hintan zu halten. Bezüglich der Fensterbänke wurde seitens der Brandverhütungsstelle (kurz BVS) Linz angemerkt, dass Aluminium nach Möglichkeit vermieden werden soll, da es zur Vermeidung der Brandfortleitung nur einen geringen Beitrag leistet (niedriger Schmelzpunkt). Die im Bereich der Stützen eingesetzte Vakuumdämmung ist brandschutztechnisch auf ihre Eignung zu überprüfen.



5.3.2.5 Statik

Abtragung sämtlicher Vertikallasten (zufolge Eigengewicht) sowie von Windsog- und –druckkräften (gemäß ÖNorm B 4010 und B 4014). Die Verformung einschließlich Kriecheinfluss ist auf 1/300 der Stützweite zu begrenzen. Die Standsicherheit ist für den Brandfall zu gewährleisten.

5.3.2.6 Befestigungstechnik

Es gilt eine unsichtbare Befestigung für werkseitig komplett vorgefertigte Fassaden ohne jede Zugänglichkeit im Montagezustand zu entwickeln.

5.3.3 Konzeption der Fassadenelemente im Bereich Sanierung

5.3.3.1 Fassadengestaltung

Die aus brandschutztechnischen Gründen nicht erwünschte Hinterlüftung verhindert den Einsatz von klassischen Fassadenbaustoffen wie zB Faserzementplatten, Bakelitplatten (zB Max, Prodema, usw.). Diese Platten dürfen lt. Verarbeitungsrichtlinien nur mit Hinterlüftung eingesetzt werden, um ein Verwölben der Platten aufgrund unterschiedlicher Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse an Vorder- und Rückseite zu verhindern. Aufgrund der Vergrauungs- und Anstrichproblematik wurden diverse Fassadengestaltungsmöglichkeiten mit Fichten- oder Lärchenschalungen sowie –platten verworfen. Von Seiten der Architektur war ein grauer zurückhaltender Baukörper erwünscht, der dem ursprünglichen Charakter des sichtbaren Stahlbetons Rechnung trägt.

Als mögliche Lösungen wurden ausgearbeitet:

Putzfassade mit Putzträgerplatten:

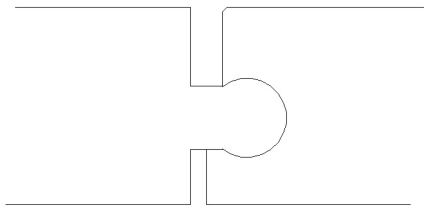
Die Fassade besteht aus dünnen Putzträgerplatten (zB Sto Ventec, Bluclad,...), welche auf Holzrippen befestigt werden und je nach Produkt bereits eine Grundarmierung inkludieren. Der Grundputz samt sämtlicher Anschluss- und Abschlussprofile wird bereits werkseitig aufgebracht, um die sofortige Witterungsbeständigkeit der Fassade gewährleisten zu können. Der Deckputz wird unmittelbar nach der Montage von Arbeitsbühnen aus aufgebracht. Ist bei der Detailabstimmung mit der Architektur ein großmaschiger Fugenraster denkbar, so kann auch der letzte Deckputz bereits werkseitig aufgebracht werden. Dies hätte den Vorteil, dass die Fassade komplett flächenfertig auf die Baustelle geliefert wird und somit die Bauzeit weiter reduziert werden kann und die Benutzerbeeinträchtigung auf ein absolutes Minimum reduziert wird. Bei Werksvorfertigung des letzten Deckputzes ist auch mit einer Kostensenkung zu rechnen. Die Großflächigkeit des Gebäudes legt das Erfordernis von Dehnfugen nahe, welche durch die Elementierung mit Abschlussprofilen unterstützt werden würde. In brandschutztechnischer Hinsicht ist eine hinterlüftungsfreie Fassadenkonstruktion gegeben, welche zu dem nur einen geringen Beitrag zur Brandausbreitung leistet (unbrennbare Putzträgerplatte).



Holzfassade mit Thermobuche:

Die zweite Fassadengestaltungsmöglichkeit wurde in Form einer Holzfassade aus sogenannter Thermobuche ausgearbeitet. Diese Fassade wird ebenfalls ohne Hinterlüftung ausgeführt. Dies ist möglich, da zum einen die Stahlbetonbrüstung einen sehr hohen Dampfdiffusionswiderstand besitzt und somit eine allfällige Kondensatproblematik hinten gehalten wird. Weiters ist die Thermobuche ætfrei, wodurch eine Durchfeuchtung des hinter der Fassade liegenden Dämmmaterials zufolge ausgefallener Äste ausgeschlossen wird. Nicht zuletzt verfügt das wärmebehandelte Holz über ein wesentlich reduziertes Schwind- und Quellverhalten, welches wiederum die Dichtheit der Fassadenschalung verbessert.

Die Thermobuche ist grundsätzlich dunkelbraun und verändert ihre Farbe sehr rasch in Richtung grau (innerhalb eines wesentlich kürzeren Zeitraumes als bei Lärche. Der geringere Farbunterschied von Anfangs- und Endzustand und der wesentlich rascher eintretende Endzustand lassen eine höhere Akzeptanz erwarten. In brandschutztechnischer Hinsicht weist die Thermobuche als Hartholz Vorteile gegenüber Weichholzarten auf. In einem Versuch beim IBS Linz wird demnächst die Entflammbarkeit überprüft. Ziel ist eine Einstufung in die Klasse B1. Die Fassade ist als vertikale Nut-Feder-Schalung mit minimaler Fasenausbildung angedacht, um einen möglichst flächenhaften Charakter zu erzielen.



Detailabbildung:
Nut-Feder Ausbildung der Fassadenschalung

5.3.3.2 Haustechnikeinbindungen

Die Durchbrüche werden werkseitig komplett fertiggestellt und mit den innen bzw. im Bereich der Betonbrüstung liegenden Teilen mittels Steckverbindung gekoppelt, wobei die Durchführung durch den Beton geodätisch markiert wird und erst unmittelbar vor Montage der Holzwandelemente ausgeführt wird, um die Benutzbarkeit und Witterungsdichtheit der Bestandsfassade möglichst lange aufrecht zu erhalten. Allfällige Toleranzen werden durch ein Übermaß des Bohrdurchmessers aufgenommen. Die Durchführung durch den Stahlbeton ist aus Brandschutzgründen mit Steinwolle auszustopfen und aus bauphysikalischen Gründen innen mittels einer Manschette dauerhaft luft- und dampfdicht abzuschließen.

5.3.3.3 Wärmedämmung, Wärmebrücken

Um eine Minimierung der Wärmebrücken zu erzielen, werden im Bereich der Elemente keine durchgehenden Rippen ausgeführt. Es kommt ein Raster aus kreuzweise angeordneten Rippen zum Einsatz. Um die Wärmedämmung an die Unebenheiten und Fugen des Bestandes anpassen zu können, wird eine Einpassdämmung vor Ort ausgeführt, wobei grundsätzlich die Möglichkeit einer Steinwolle- oder Zelluloseausblasdämmung in Erwägung gezogen wurde. Aus ökologischen Gründen wurde einer Zellulosedämmung der Vorzug gegeben und die Vorgangsweise mit der BVS Linz akkordiert.



Um ein vorschriftsmäßiges Einblasen der Zellulosedämmung zu gewährleisten, ist die Breite der horizontalen Rippen auf eine Breite von ca. 10 cm zu beschränken, da bei zu großen Breiten unmittelbar unter den horizontalen Rippen Hohlräume oder Bereiche zu geringen Verdichtungsgrades entstehen können. Das Einblasen erfolgt aufgrund der untereinander verbundenen „Kammern“ mittels „Vorsteckschlauch“. Die Einblasöffnungen werden oberseitig werkseitig gebohrt (Durchmesser 10 – 12 cm, ein Stück je „Kammer“) und nach dem Einblasvorgang vor Ort verschlossen. Der Abstand der vertikalen Rippen ist auf max. 1 m zu beschränken. Auf eine Hinterlüftung kann verzichtet werden. Zur Gewährleistung der Wärmebrückenfreiheit wird im Bereich der Stützen sowohl seitlich als auch stirnseitig Vakuumdämmung eingesetzt.

5.3.3.4 Dampfdiffusion

Die bestehende Betonbrüstung eignet sich als Dampfbremse; die Fassade selbst wird vergleichsweise diffusionsoffen ausgeführt. Das Erfordernis einer zusätzlichen Dampfsperre entfällt somit. Die Dampfdichtigkeit im Sturz- und Parapetbereich wird über bituminöse Klebefolien erreicht, welche mittels Voranstrich an den bestehenden Betonbrüstungen fixiert werden. Durch die Abdeckung mit zweilagigen Gipskarton-Feuerschutzplatten besteht in brandschutztechnischer Hinsicht gegen die Klebefolien seitens der BVS Linz kein Einwand. Die außenseitige Winddichtigkeit wird über die geringfügige Verzahnung in der Holzschalung bzw. über den Dünnschichtputz erreicht.

5.3.3.5 Brandschutz

Die Zellulosedämmung wird in B1-Qualität ausgeführt; sowohl Thermobuchenfassade und verputzte Fassade haben B1-Qualität aufzuweisen.

Der Sturz- und Parapetbereich wird mittels doppelter Gipskartonfeuerschutzplatten-Beplankung, Materialstärke 15 mm, ausgeführt, wobei beide Plattenlagen gespachtelt werden. Die dahinterliegende Rippenkonstruktion wird in ihrer Fuge zum Bestand mit Steinwolle ausgestopft. Die Klebebänder zur Erreichung der Dampfdichtigkeit zwischen Fensterstock und Betonbrüstung bzw. -sturz dürfen lt. Absprache mit der BVS Linz mit bitumenhaltigen Klebebändern ausgeführt werden.

Die Fassade wird hinterlüftungsfrei konstruiert, auf den Einsatz von Windbremsen wird verzichtet. Der Einsatz eines luftdichten „Klick“-Nut-Feder-Profiles ist anhand des Musterelementes auf seine Langzeiteignung zu überprüfen. Zur Erreichung der vorgeschriebenen Brandüberschlagsdauer wird die Fassade selbst in B1-Qualität ausgeführt, auf (wie bereits erwähnt) eine allfällige Hinterlüftung verzichtet und Holz/Alu-Fenster eingesetzt.

5.3.3.6 Statik

Eigengewicht

Dieses wird in den vertikalen Rippen mittels Überplattung auf Querdruck in horizontale Aufhängerrippen eingeleitet, an welchen die Aufhängesteile im Abstand von ca. 2 m fixiert sind. In der Höhe sind je Brüstungselement zwei horizontale Rippen mit Aufhängesteilen angeordnet (höhenmäßige Situierung im oberen bzw. unteren Viertel des Brüstungselementes).



Winddruck bzw. –sog

Die Horizontalkräfte werden von der Fassade in die horizontalen Tragrippen eingeleitet und von dort mittels zugfester Verschraubung in den Kreuzungspunkten in die Vertikalrippen eingeleitet. Die Horizontalkräfte aus den Fensterstöcken werden in den Parapet- bzw. Sturzriegel eingeleitet und über Stahlwinkel oder Einzapfung in die vertikalen Rippen übertragen. Die vertikalen Rippen übertragen die kumulierten Horizontalkräfte über Verschraubung im Bereich der Überplattung in die horizontalen Aufhängerrippen mit den Aufhängestahlteilen.

5.3.3.7 Befestigungstechnik und Montage

Gemeinsam mit einem Geodäsiebüro wurden zunächst die geodätischen Möglichkeiten der Fassadenvermessung erörtert. In Frage kommen im Wesentlichen:

- Fotogrammetrie
- Terrestrische Vermessung
- Scannen der Fassade

Conclusio in wirtschaftlicher Hinsicht:

Die fotogrammetrische Fassadenvermessung bedeutet ca. den doppelten finanziellen Aufwand gegenüber der terrestrischen Vermessung.

Conclusio in technischer Hinsicht:

Basis für die Bildorientierung (Triangulation) der fotogrammetrischen Aufnahme ist eine terrestrische Passpunktbestimmung (4 Punkte je Aufnahme). Die terrestrischen Passpunkte sind in gleicher Genauigkeit wie die gesamten Vermessungspunkte bei der Variante Terrestrische Vermessung erfassbar. Durch die fotografische Aufnahme mit der EDV-technischen Entzerrung und Anpassung an die terrestrischen Passpunkte entsteht eine zusätzliche Ungenauigkeit, welche durch die begrenzte Bildauflösung zusätzlich erhöht wird.

Aus Genauigkeitsgründen wird daher die „konventionelle“ terrestrische Vermessung der fotogrammetrischen Fassadenaufnahme vorgezogen. Ein Grund für eine anderwärtige Entscheidung zugunsten der fotogrammetrischen Aufnahme wäre gegeben, wenn eine fotografische Aufnahme des Bestandes vor der Sanierungsmaßnahme erwünscht ist (in der Regel nur bei denkmalgeschützten Bauwerken).

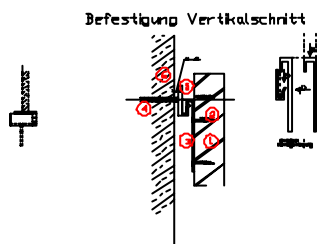
Auf den vormontierten Befestigungsmitteln wird zur genauen und einfachen Lagevermessung entweder ein Fadenkreuz angebracht oder eine einfache Vorrichtung konstruiert, mit welcher das direkte Aufstecken des „Spiegels“ bei der Vermessung ermöglicht wird. Hinsichtlich Verankerung der Befestigungsmittel im Bestand wurden folgende Möglichkeiten untersucht:

- Spreizanker
- Klebeanker
- Klebung



Aufgrund der verschiedenen möglichen Untergründe mit divergierenden Oberflächenbeschaffenheiten sowie unterschiedlichen Materialeigenschaften im Bauteil selbst wird der Verankerung mittels Klebeankern der Vorzug gegeben (Anwendbarkeit bei Stein, Ziegel, Beton, usw.). Bloß bei Anwendung in gerissenen Zugzonen von Betonbauteilen sind selbstnachspannende Segmentanker vorzuziehen. Ein weiterer Vorteil der Klebeanker besteht in der Möglichkeit durch das Eindrehen des Dübels eine exakte Ausrichtung des Dübels in Fassadenebene zu erreichen, womit durch die Vermessung nur mehr 2 Dimensionen zu erfassen sind. Dies erleichtert auch die erforderliche Beschaffenheit der Befestigungsmittel, da die erforderliche Variabilität der Befestigungsmittel in 3 Achsen auf 2 Achsen und damit ein ebenes (2D) Problem zurückgeführt werden kann.

Bei der weiteren Konzeption der Befestigungsmittel wurden die bevorzugten / sinnvollen Montagerichtungen /-abfolgen berücksichtigt. Aus diesen Überlegungen hat sich folgender Montageablauf ergeben: Die Brüstungselemente werden zunächst vom LKW mittels Mehrpunktaufhängung zur Fassade gehoben und durch Andrücken an die Befestigungsmittel in eine fassadenparallele Lage gebracht. Anschließend wird das Element abgesenkt, wobei eine leicht zur Horizontalen geneigte Elementaufhängung das Einfädeln der Befestigungspunkte in kontinuierlicher Folge erleichtert. Ist das Element in vertikaler Richtung abgesenkt, so hält es in 2 Richtungen ohne weitere Befestigung (senkrecht zur Fassade – Windsog/-druck und in vertikaler Richtung – Eigengewicht). Anschließend ist ein horizontales Justieren in fassadenparalleler Richtung mit einer abschließenden Lagefixierung möglich, die jedoch im Gebrauchszustand keine Belastung erfährt. Erreicht wird diese Montageabfolge durch ein zweigeteiltes Befestigungsmittel, welches – wie bereits erwähnt – im Bestand mittels Klebeanker fixiert wird und über eine U-förmige Einhängemöglichkeit verfügt. Der zweite Teil des Befestigungsmittels wird am Element fixiert (mittels Verschraubung) und verfügt über einen U-förmigen Aufhängeteil (siehe zeichnerische Darstellung).



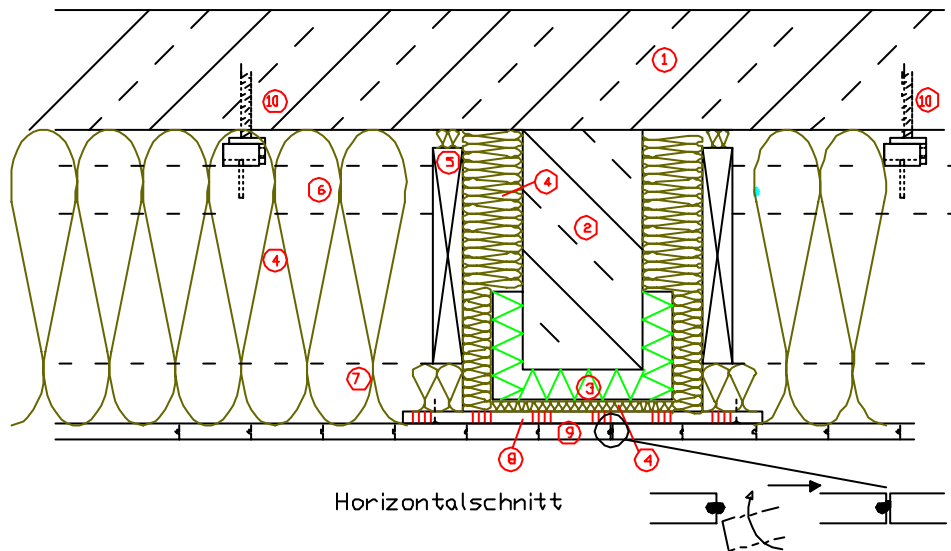
Legende zum Befestigungsdetail

- 1 Horizontale Aufhängerippen (Vollholz)
- 2 Verschraubung
- 3 U-förmiger Aufhängestahlteil
- 4 Klebeanker
- 5 U-förmiger Einhängestahlteil
- 6 Stahlbetonbrüstung

Die exakte Lage der beiden Teile der Befestigungsmittel zueinander wird über terrestrische Vermessung ermittelt, wobei die Lage der Teile, welche am Bestand vormontiert sind, ermittelt werden und mittels CAD in die Elementwerkpläne übertragen wird. Eventuelle Ungenauigkeiten in Fassadenlängsrichtung werden durch die U-förmige und damit verschiebliche Ausbildung der Befestigungsmittel aufgenommen, eventuelle vertikale Ungenauigkeiten führen dazu, dass einzelne Befestigungspunkte rein geometrisch keine Vertikalkräfte übertragen können. Daher wird das Befestigungsmittel auf die dreifache Vertikallast bemessen. Anzumerken ist, dass bei „Ausfallen“ einzelner Befestigungsmittel im Element eine geringfügige Verformung auftritt, welche wiederum eine teilweise Auflage auf den zunächst ausgefallenen Befestigungsmittel ermöglicht und so die stärker beanspruchten Befestigungsmittel entlastet. Jedoch sind hier die Verformungswege aufgrund der erforderlichen Gebrauchstauglichkeit in Abhängigkeit vom Fassadentyp stark



begrenzt (Putzfassade lässt nur minimale Bewegungen zu, eine Holzschalung besitzt ein fehlertoleranteres Verhalten).



Legende zu Horizontal- und Vertikalschnitte:

- 1 Stahlbetonbrüstung
- 2 Stahlbetonstütze
- 3 Vakuumdämmpaneel aufgeklebt oder mechanisch fixiert
- 4 Zellulosedämmung (B1)
- 5 Vertikalrippen (Vollholz e = 1 m)
- 6 Horizontale Aufhängerrippen (Vollholz)
- 7 Horizontale Fassadenrippen (Vollholz)
- 8 3-S-Platten Schutzbeplankung im Stützenbereich (vor Ort)
- 9 Fassadenschalung (im Bereich Stütze / Schutzbeplankung vor Ort)
- 10 Befestigungsmittel

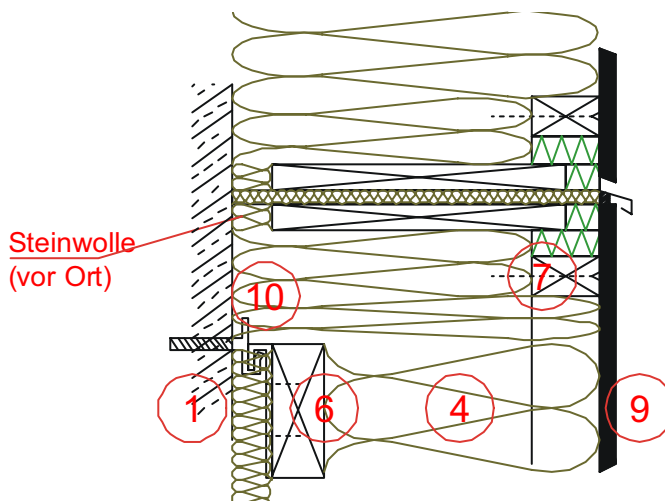
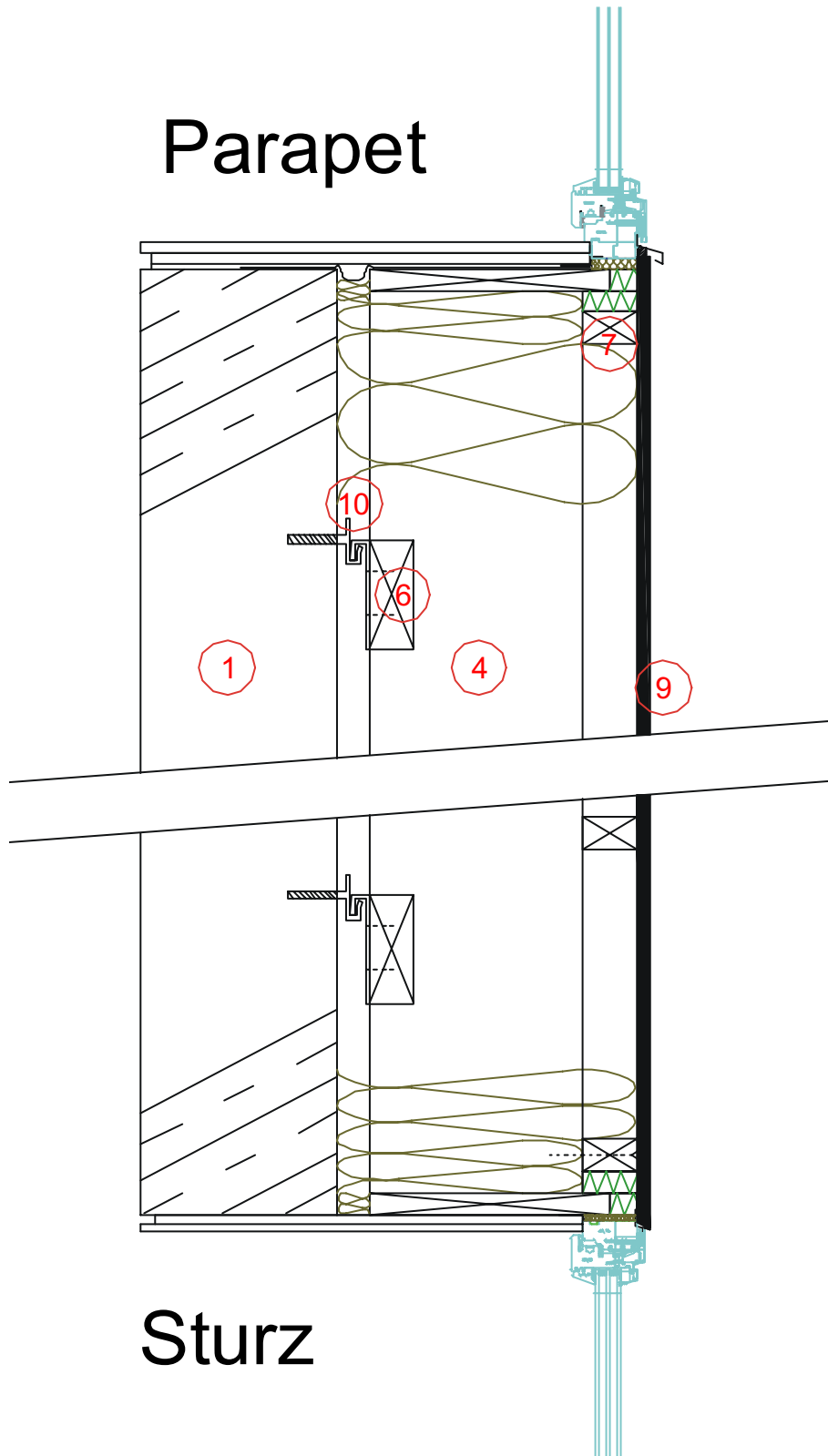


Abbildung: Vertikalschnitt Detail Elementstoß



Parapet



Sturz

Abbildung: Vertikalschnitt im Parapet- und Sturzbereich
(Legende siehe Horizontalschnitt)



5.3.4 Anforderungsprofil Holzbau im Bereich Neubau

5.3.4.1 Architektur

Fassadengestaltung: Es ist eine dauerhaft helle Farbgestaltung mit möglichst flächenhafter Wirkung gewünscht. Hinsichtlich der Decken- und Dachuntersichten sind sichtbare Holzflächen denkbar. Die vertikale Tragwirkung kann in Form von Stützen erfolgen, welche im Rauminneren sichtbar bleiben.

5.3.4.2 Bauphysik

Die geforderten U-Werte von $0,114 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Außenwand und $0,119 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Dach sind einzuhalten.

Es sind nach Möglichkeit diffusionsoffene Aufbauten zu verwenden, die geforderten U-Werte sind einzuhalten. Bei den Zwischengeschosdecken sind die gemäß ÖNorm geforderten Schalldämmwerte für Luft- und Körperschall einzuhalten.

5.3.4.3 Brandschutz

Bedingt durch die Dreigeschossigkeit und ein in Massivbauweise ausgeführtes Fluchttiegenhaus, welches eventuell um den Sanitärtrakt erweitert wird, besteht die generelle Brandschutzanforderung von R_{60} für tragende und raumabschließende Bauteile. Holzuntersichten bei Dach und Decke sind zulässig, wobei jedoch eine Einstufung der Untersicht in die Euro-Brandklasse C gegeben sein muss. Dies wird durch eine Materialstärke von mindestens 22 mm erreicht, wobei der Fugenanteil durch großflächige Platten zu minimieren ist.

5.3.4.4 Statik

Die horizontalen Bauteile (Decke, Dach) sind mit ebener Untersicht, d.h. unterzugsfrei zu konstruieren; Das vertikale Tragsystem hat beliebige Fassadenöffnungen zu ermöglichen (Lochfassade, Fensterbänder). Die Aussteifung des Gebäudes kann über den massiven Stiegenhauskern und über weitere geschlossene Holzwandscheiben erfolgen. Durch Erhöhung der Steifigkeit ist die, bei Holzdecken teilweise gegebene Schwingungsanfälligkeit zu minimieren.



5.3.5 Konzeption der Holzelemente im Neubau

5.3.5.1 Außenwände

Eine dauerhaft helle Farbgestaltung von Holzfassaden ist ohne wiederholten Anstrich aus heutiger Sicht nicht denkbar. Als optimale Lösung bietet sich eine geputzte Fassade mit Holzweichfaserplatten als Putzträger an.

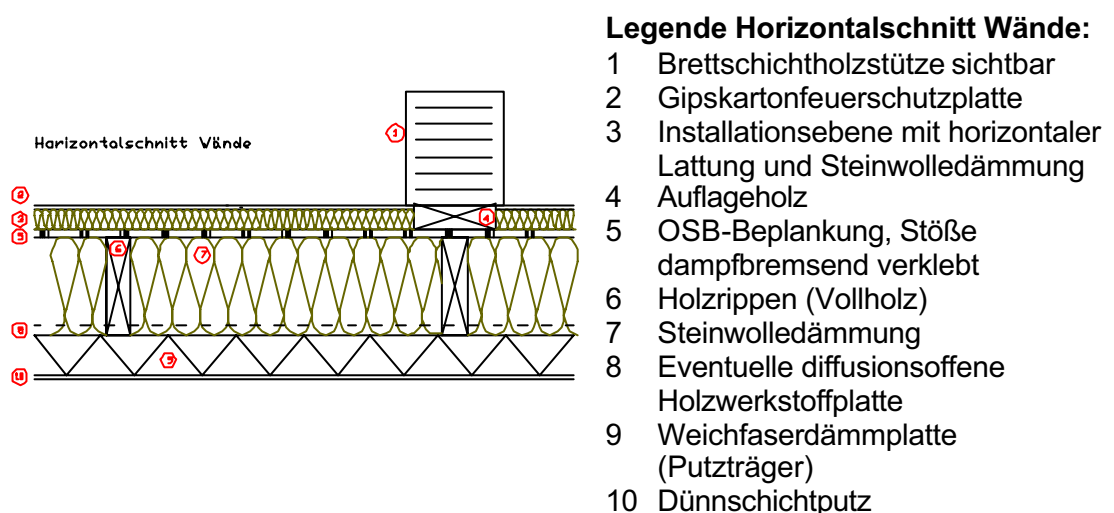
Vorteile:

- beliebige Farbgestaltung
- flächige optische Wirkung
- vergleichsweise lange Wartungsintervalle
- wärmebrückenfreie Überdämmung der Holzkonstruktion

Hinsichtlich des Brandschutzes bestehen folgende Anforderungen:

Die Stöße in den Weichfaserplatten sind zu versetzen, durchgehende Vertikalfugen (an Elementstößen) sind mit Steinwolle zu dämmen, um eine rasche Brandfortleitung hinten zu halten. Weiters ist von einem Systemhersteller die Einordnung in die Brennbarkeitsklasse B1 mittels Prüfzeugnis nachzuweisen.

Aufgrund der Beliebigkeit der Fassadengestaltung (Lage und Größe von Fensterflächen) werden die Außenwände nichttragend (für vertikale Lasten) ausgeführt. Sie werden in statischer Hinsicht lediglich für die horizontale Aussteifung herangezogen, wobei in diesem Fall aus Brandschutzgründen der Aufbau um eine diffusionsoffene, statisch wirksame äußere Beplankung unter der Weichfaserplatte zu ergänzen ist oder innen eine zweite Lage Gipskartonfeuerschutzplatten anzubringen ist.



5.3.5.2 Decken

Die gewünschte ebene Untersicht, welche eine sichtbare Tramdecke ausschließt, legt zwei Deckenvarianten nahe:

- Hohlkastendecke
- Brettstapel- bzw. Holzbetonverbunddecke

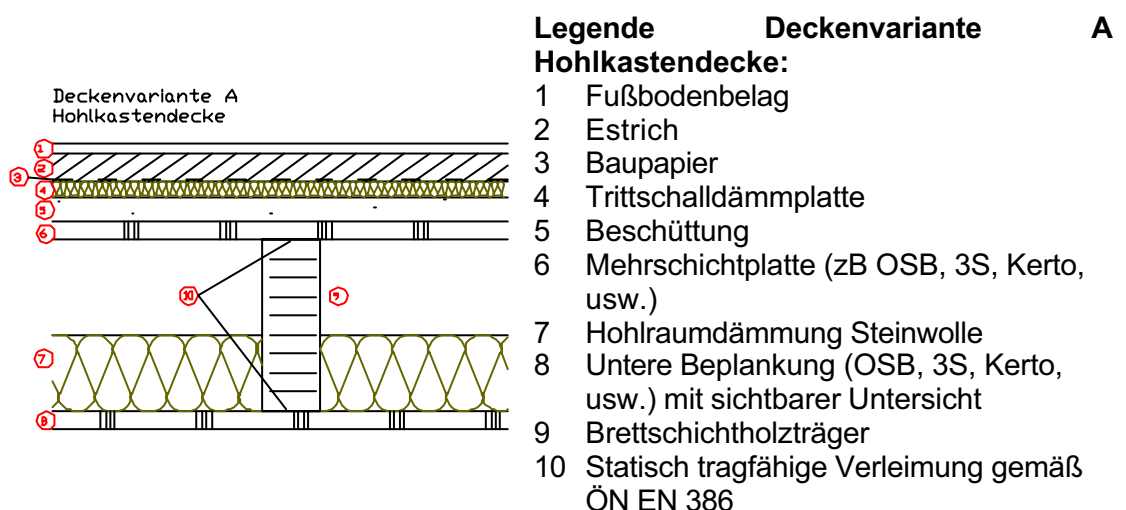
Hohlkastendecke

Diese besteht aus Brettschichtholzträgern in Deckenspannrichtung verlaufend mit ober- und unterseitig angeordneten Beplankungen, welche sinnvollerweise mit den Trägern verleimt sind, um eine statische Mitwirkung zu erzielen, welche eine Erhöhung der Steifigkeit bzw. eine Reduktion der Deckenhöhe ermöglicht. Die Verleimung ist grundsätzlich auf zwei Arten möglich:

1. Nagelpressleimung: Hierbei wird der für die Verleimung erforderliche Pressdruck mittels Nagelung oder Verschraubung der untereinander zu verleimenden Bauteile erzielt. Nachteil: enger Raster der Befestigungsmittel erforderlich, damit Beeinträchtigung der Optik der Untersicht.

2. Aufbringen eines Pressdruckes mit Hilfe eines Pressbettes. Dies kann z.B. mittels Vakuumpressen oder pneumatischer bzw. hydraulischer Spindelpressen erfolgen. Nachteil: Erfordernis einer entsprechenden maschinellen Ausstattung sowie in der Regel begrenzte Breite des Pressbettes und damit der verpressten Elemente.

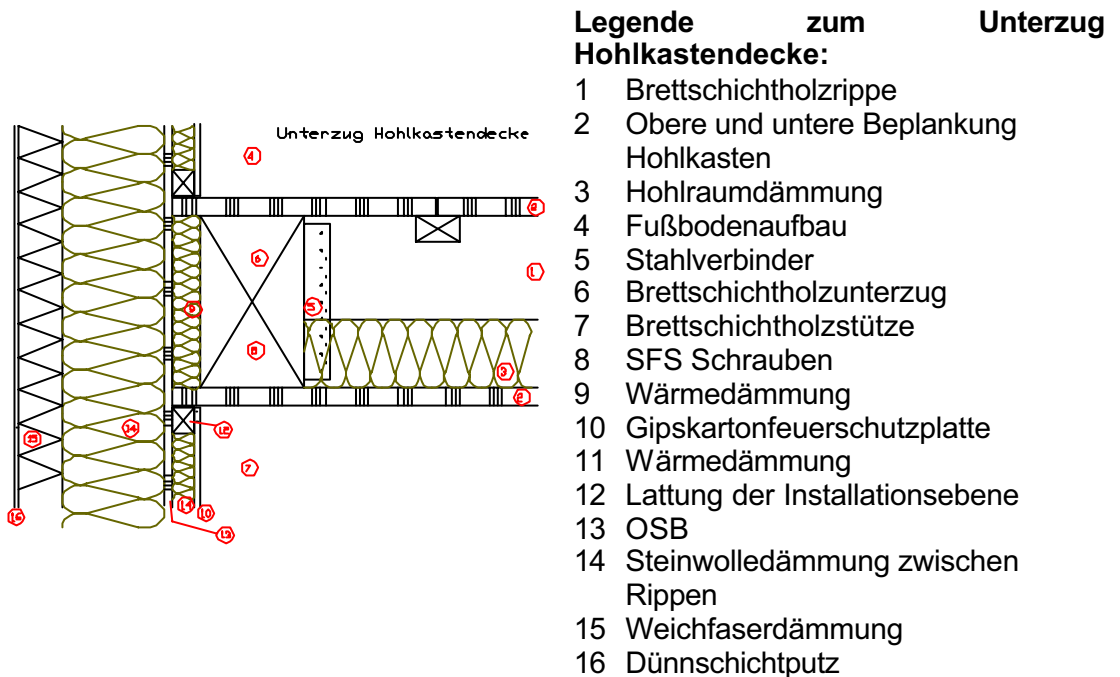
Die Entscheidung zwischen den beiden Varianten fiel zugunsten der im Pressbett verleimten Hohlkastendecke, da diese eine höhere optische Qualität aufweist (vergleichsweise geringe Raumhöhen in Schulgebäude im Gegensatz zu Industrieobjekten) und der möglichen Automatisierung mit wirtschaftlichem Einsparungspotential.



Deckengleiche Unterzüge ermöglichen einen größeren Stützenraster als durch die Elementbreite vorgegeben. Diese Möglichkeit bedingt jedoch den Einsatz von Einfeld-Deckensystemen. Um eventuelle Setzungserscheinungen bedingt durch Belastung



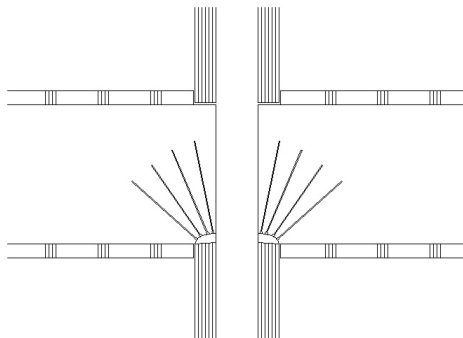
und/oder Schwind- und Quellverhalten des Holzes zu minimieren, werden über alle Geschosse durchlaufende Brettschichtholzstützen eingesetzt.



Der Nachteil dieser Konstruktionsvariante besteht in der fehlenden Möglichkeit der Auflage der Deckenelemente.

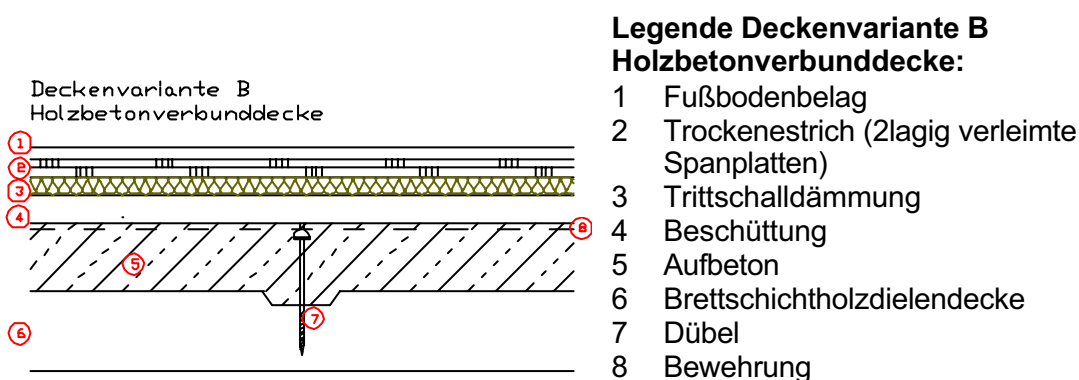
Lösungsvarianten:

1. Stahlauflageteile (unerwünscht aus brandschutztechnischen Gründen sowie der hohen gebundenen grauen Energie)
2. Konsolen (Nachteil: optisches Erscheinungsbild)
3. Verstärktes Auflager: Die für die Durchleitung der Normalkräfte der Obergeschosse benötigte Stützenfläche bleibt erhalten, der frei bleibende Querschnitt wird für die Auflagerung der Unterzüge verwendet, wobei die Brettschichtholzträger aufgrund der sonst überschrittenen Querdruckspannung mit Schrauben des Fabrikates SFS verstärkt werden. Die Kraftüberleitung von Unterzug in die Stütze erfolgt mittels einer kleinen gefrästen Stahlbeilage. In hochbelasteten Bereichen wird das Brettschichtholz aus Weichholz (Fichte) durch Hartholz (Robinie) substituiert.



Brettstapel-/Holzbetonverbunddecke

Die reine Brettstapeldecke mit aneinander gereihten vernagelten oder verdübelten Brettern und die Brettschichtholzdielendecke (verleimte Bretter, Fuge mit doppelter Nut-Feder) sind in ihrer ausführbaren Höhe beschränkt (ca. 24 cm). Für die größeren Spannweiten und Belastungen, wie sie in Schulen vorherrschen, wird der oft als „tote Masse“ verwendete Aufbeton zur Erhöhung des Schallschutzes der Decke statisch mittragend ausgeführt. Dies geschieht durch Verdübelung mit der Brettstapeldecke und Bewehrung des Aufbetons.



Vorteile dieses Deckensystems sind hoher Brandschutz, guter Schallschutz und geringe Deckenkonstruktionshöhe.

Der Nachteil dieses Deckensystems besteht in der Linearität der Tragwirkung, d.h. als Auflager ist ein lineares Auflager erforderlich.

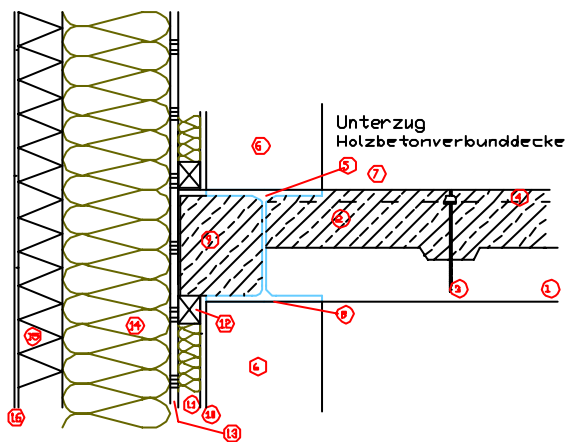
Hierzu gibt es im wesentlichen 3 Varianten:

1. Unterzug: architektonisch meist nicht erwünscht, da keine ebene Deckenunterseite gegeben

2. Überzug: technisch vergleichsweise aufwändig

3. Deckengleicher Unterzug: Dieser ist jedoch aufgrund der geringen Konstruktionsstärke der Holzbetonverbunddecke nicht in Holz und somit mit einem nachwachsenden Baustoff ausführbar. Es muss auf den Baustoff Stahl zurück gegriffen werden.





Legende zum Unterzug Holzbetonverbunddecke

- 1 Brettschichtholzdielen
- 2 Aufbeton
- 3 Dübel
- 4 Bewehrung
- 5 Stahlunterzug
- 6 Brettschichtholzstütze
- 7 Fußbodenaufbau
- 8 Brandschutzanstrich
- 9 Vergussbeton
- 10 Gipskartonfeuerschutzplatte
- 11 Wärmedämmung
- 12 Lattung der Installationsebene
- 13 OSB
- 14 Steinwolldämmung zw. Rippen
- 15 Weichfaserdämmung
- 16 Dünnschichtputz

Nachteile: hoher Einsatz „grauer Energie“, unökologische Brandschutzanstriche erforderlich. Um den Brandschutzanstrich möglichst weitgehend zu reduzieren, wird der Stahlträger einbetoniert, sodass bloß die Unterseite des Flansches mit einem Brandschutzanstrich zu versehen ist. Die Oberseite wird mit einer brandschutztechnisch wirksamen Dämmung geschützt.

5.3.6 Schlussfeststellung Holzbau

In technischer Hinsicht konnten für sämtliche gestellten Anforderungen Lösungen gefunden werden, die letztendlich auszuführenden Varianten sind aus einer Bewertung der architektonischen und benutzerspezifischen Wünsche sowie der ökonomischen und ökologischen Vor- und Nachteile zu ermitteln.

Weiterer Forschungsbedarf besteht im Bereich der ökologisch optimierten punktgelagerten Holzbetonverbunddecke für Skelettbauten wie sie zB bei Schulen oder Bürogebäuden zum Einsatz kommen. Es bestehen bereits konkrete Ansätze, welche jedoch noch einer rechnerischen und versuchstechnischen Bestätigung bedürfen.

Nach Klärung des Brandverhaltens der erst vor kurzem am Markt eingeführten Thermobuche im W60-Brandversuch steht einer Realisierung des Projektes aus Sicht des Holzbaues nichts im Wege.



6 Energieplanung und Gebäudeklimakonzept

Auf Basis von bereits vorhandenen Studien zum Thema Energieeffizienz und Luftqualität im Schulbau, von Referenzprojekten und von Berechnungen zu Energieverbrauch, Tageslichtnutzung, Sommergehalten und Luftqualität wird für die Sanierung Schule Schwanenstadt ein Gebäudeklimakonzept mit hohem Nutzerkomfort, hoher Lern- und Lehrqualität bei niedrigen Betriebskosten und niedrigem Energieverbrauch gemäß Passivhausstandard konzipiert.

Der Studienschwerpunkt aus haustechnischer Sicht ist die Erarbeitung der verschiedenen Möglichkeiten zur Lüftungsausführung. Es werden die Lösungsansätze „zentrale Lüftung“, „semizentrale Lüftung“ und „dezentrale Lüftung“ aufgezeigt und beschrieben (Lüftungsprinzip, Grundriss, allgemeine Vor- und Nachteile, Herstell- und Betriebskosten, Umsetzungsmöglichkeit und jeweils kritische Punkte im spezifischen Sanierungsprojekt). Darüber hinaus werden verschiedene Kombinationen der Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien, aktiver und passiver Solarnutzung etc. untersucht.

Hinsichtlich Komfort- und Energieverbrauchsberechnungen liegen die Schwerpunkte zum einen bei der projektspezifisch schwierigen wärmetechnischen Sanierung des Bodenaufbaus und der Außenwand mit Stahlbetonstützen.

Zum anderen ergeben sich hohe Anforderungen an eine Sanierung mit guter Tageslichtnutzung, da im Vergleich zum modernen, hellen Schulbau relativ geringe Fenstergrößen durch den Bestand vorgegeben sind und die (thermisch günstigen) tiefen Baukörper dunkle innere Erschließungs- und Aufenthaltsflächen erzeugen können. Ein geeignetes Tages- und Kunstlichtkonzept soll hier ausreichend helle Räume gewährleisten und verhindern, dass die Passivhauseinsparungen im Wärmebereich durch einen hohen Stromverbrauch beim Kunstlicht konterkariert werden.

Als drittes Thema neben der thermischen Sanierung in Passivhausqualität und der Tageslichtnutzung wird die Sommertauglichkeit behandelt. Die Einhaltung von angenehm kühlen sommerlichen Raumtemperaturen ist aufgrund der dichten Personenbelegung in den Klassen und der zunehmenden EDV - Ausrüstung ebenfalls ein wichtiger Punkt zum Raumklimakomfort im Schulbau.

Die durchgeführten Berechnungen zu Energieplanung und Gebäudeklimakonzept sind in den nachfolgenden Abschnitten detailliert dargestellt.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse erfolgt im Abschnitt „Ergebnisse und Schlussfolgerungen“ im Unterkapitel 6.2 „Ergebnisse Energieplanung und Gebäudeklimakonzept“.



6.1 Gebäudeklimakzept

Ausgangsbasis zum Gebäudeklimakzept ist das thermisch und lichttechnisch optimierte Gebäude, das aufgrund von Gebäudekonstruktion, Wärmedämmung, Verglasungen, Sonnenschutz, Speichermassen, baulichen Tageslichtmaßnahmen etc. von vornherein nur mehr sehr wenig Energie zum Erreichen eines guten Raumklimakomforts benötigt. Die wesentlichen Komponenten des geplanten Gebäudeklimakonzepts ergeben sich wie folgt:

Passivhaustaugliche Gebäudehülle:

- Thermisch hochwertige Qualität der Gebäudehülle, insbesondere:
 - Hohe Dämmstärken Außenwand, Dächer, U – Werte 0.1 bis 0.14 W/m²K, Vermeidung bzw. Reduzierung von Wärmebrücken.
 - 3 – Scheibenverglasung Weißglas mit hohem g – Wert (Verglasung U = 0.6 bis 0.7 W/m²K, g = 50 bis 55%). Kunststoffabstandhalter, thermisch optimierter Rahmen und Scheibenrandverbund, Fenster inklusive Rahmen und Randverbund gesamt U = 0.8 W/m²K.
 - Konsequenter in Planung und Realisierung durchgeführtes Luftdichtigkeitskonzept, messtechnische Überprüfung mittels Blowerdoor Test.

Lüftung mit Wärmerückgewinnung:

Kontrollierte Be- und Entlüftung zur Herstellung einer optimalen Raumluftqualität in den Klassen (CO₂ – 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.

6.2 Gegenüberstellung möglicher Lüftungskonzepte



Für eine gute Frischluftqualität in den Klassenräumen und zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs auf kleiner 15 kWh/m²a ist die kontrollierte, mechanische Klassenbelüftung mit hoher Wärmerückgewinnung, energieeffizienten Ventilatoren und optimierter Lüftungsregelung ein unersetzlicher Bestandteil des Haustechnikkonzeptes. Bei einem Neubau ergeben sich grundsätzlich 3 Möglichkeiten der Lüftungsausführung: zentrale Lüftung des gesamten Gebäudes, semizentrale Lüftung von Gebäudeabschnitten und dezentrale Lüftung der einzelnen Räume. Gebäude- und Standortbedingungen, Nutzeranforderungen, Standort, Kostenrahmen und die projektspezifisch mögliche Qualität von Planung und Ausführung führen hier zur Variantenentscheidung zwischen den im Prinzip hinsichtlich Vor-/Nachteilen ähnlich zu bewertenden Varianten.

In der Sanierung sind im allgemeinen Varianten, die stärker in den Bestand eingreifen – zentrale oder semizentrale Lüftung – nur eingeschränkt möglich. Nichtsdestoweniger erfolgt hier eine Untersuchung auch dieser Varianten, um die Allgemeingültigkeit der Studie beizubehalten und generell die 3 Möglichkeiten aufzuzeigen. Ein allgemeiner Abschnitt zum Thema Lüftung in Schulen wird im Anhang wiedergegeben.

6.2.1 Variante 1: zentrale Lüftung

Lüftungsgeräte, Lüftungsanlagen

Über je ein zentrales Lüftungsgerät mit 15500 m³/h bzw. 8000 m³/h Nennluftmenge werden die gesamten Baukörper „Hauptschule II“ und „Polytechnische Schule (PTS)“ versorgt. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher (> 80% Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten energieeffizienten Ventilatoren. Die Situierung der Geräte erfolgt z.B. jeweils im EG für die Hauptschule im Nordtrakt „Technik“, für die PTS ebenfalls im nördlichen Bereich „Technikraum“. Die Schulküche der Hauptschule II wird über ein eigenständiges Gerät mit Standort Nordtrakt „Technik“ belüftet.

Luftführung, Luftkanalnetz

Zu den bzw. ausgehend von den zentralen Lüftungsgeräten ergeben sich die Lüftungskomponenten und die Luftverteilung im Gebäude wie folgt:

- Außenluftansaugung HS II direkt über Dach Technikraum, PTS über Fassade Abstellraum 1.OG, Außenluftschächte zu zentralen Lüftungsgeräten.
- Zuluftverteilung vertikal im Gebäude über Steigschächte, horizontal in der abgehängten Decke in den Gangzonen über Luftkanäle ca. 70 cm auf 30 cm Innenlichte oder einzelne Wickelfalzrohre lichter Durchmesser 20 bis 22 cm, entsprechende Kreuzungen und Durchbrechungen der im Bestand gegebenen Deckenunterzüge abzuklären.
- Belüftung der Klassenräume, Seminar- und Konferenzräume, Werkräume und Garderobenbereiche z.B. über Luftauslässe im Bereich oberhalb der Raumeingangstüre, Mischlüftungsprinzip, Telephonieschalldämpfer zwischen den Klassen.
- Volumenstromregelung der Zuluft für die einzelnen Räume dezentral in der Zuluftrohrstrecke für den jeweiligen Raum.



- Überströmung der Raumluft durch haustechnisch realisierte schallisolierte Überströmöffnungen aus den Klassenräumen in den Gangbereich.
- Zentrale Abluftabsaugung gesammelt im Gangbereich am Steigschacht oder deckenstirnseitig zu Lufträumen, zentrale Volumenstromregelung in der Abluft.
- Fortluftführung HS II direkt aus dem Technikraum, PTS über Vertikalschacht in WC-Bereichen über Dach.

Die WC-Anlagen werden in beiden Bautrakten über je ein separates, kleines Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Gleichstromventilatoren be- und entlüftet. Die Gerätesituierung befindet sich im Technikraum. Die Rohrführung Sanitärbelüftung erfolgt über vertikale Steigschächte und teilweise in den Gangbereichen. Sonderräume mit speziell möglichen Geruchsentwicklungen z.B. Brennofen, Werkstätten sind hinsichtlich Geruchsentwicklungen und Anschlussmöglichkeit der Lüftung an die Sanitärbelüftung oder Installation einer eigenen Lüftungsanlage abzuklären.

Ein wasser- oder luftgeführtes Erdkollektorsystem zur Frischluftvorwärmung im Winter und zur Außenluftkühlung im Sommer könnte unter der Bodenplatte des Neubaus (PTS) und unter dem Pausenhof auf rund 800 m² angeordnet sein.



Bewertung Variante 1, zentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):

- Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumlufffeuchten 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.
- Bauzeitverlängerung durch aufwendige Leitungsführung und Herstellung von Durchbrüchen in bestehende Unterzüge

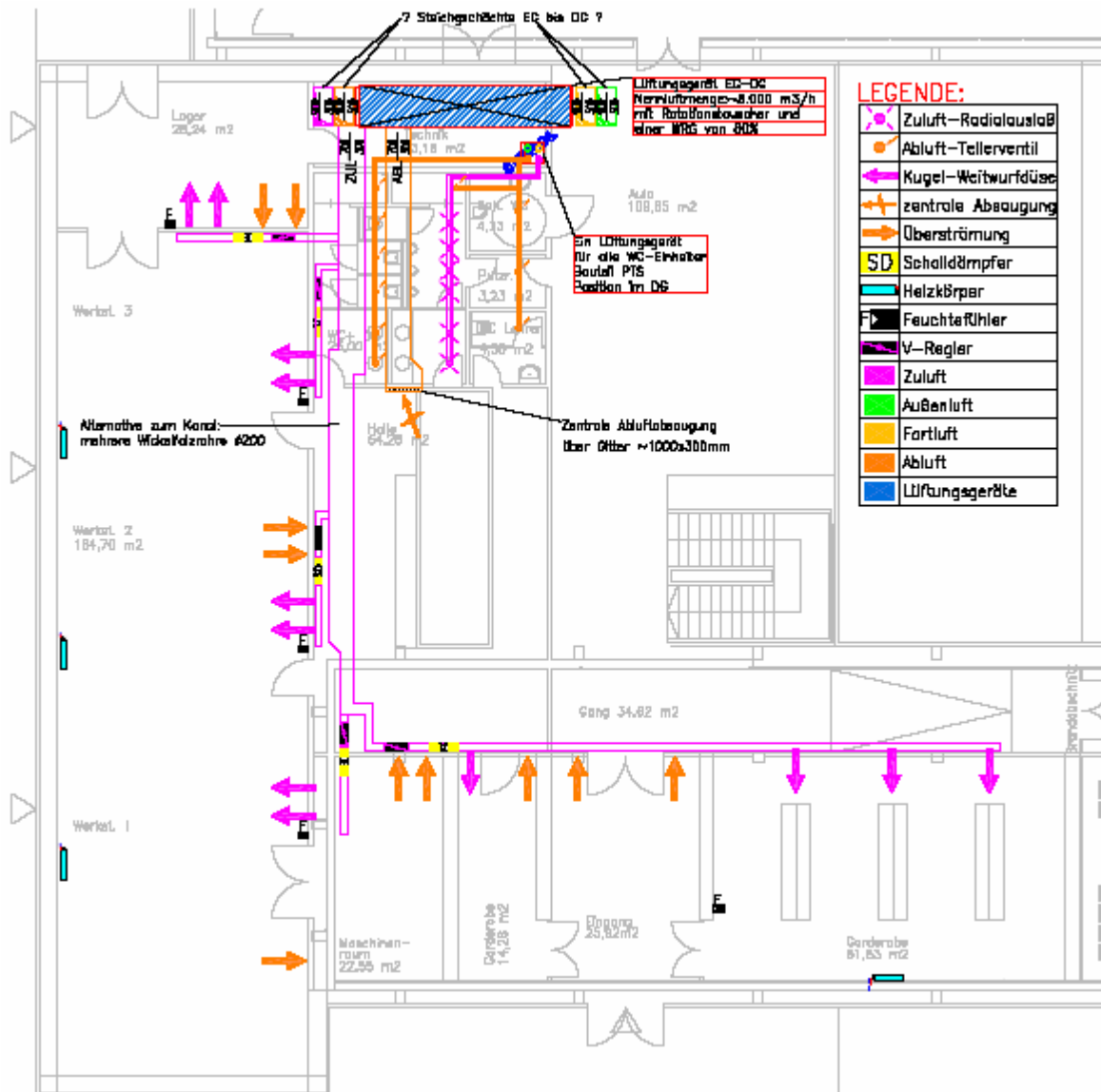
Kosten Variante 1, zentrale Lüftung:

Eine detaillierte Berechnung der Herstell- und Betriebskosten wird im Anhang wiedergegeben, zusammengefasst ergibt sich:

- Herstellkosten Lüftung gesamt: 356.046,- € netto (inkl. Lüftungstechnisch realisierte Überströmöffnungen, ohne bauliche Kosten ib. Durchbrüche Unterzüge, zentrale Technikräume, vertikale Schächte, ohne „Küche“)
- Jährliche Kosten Energie, Wartung, Instandhaltung: 9.080,- €/a netto, davon:
 - Energieverbrauch: 2.910,- €/a netto
 - Wartung: 4.390,- €/a netto
 - Instandhaltung: 1.780,- €/a netto

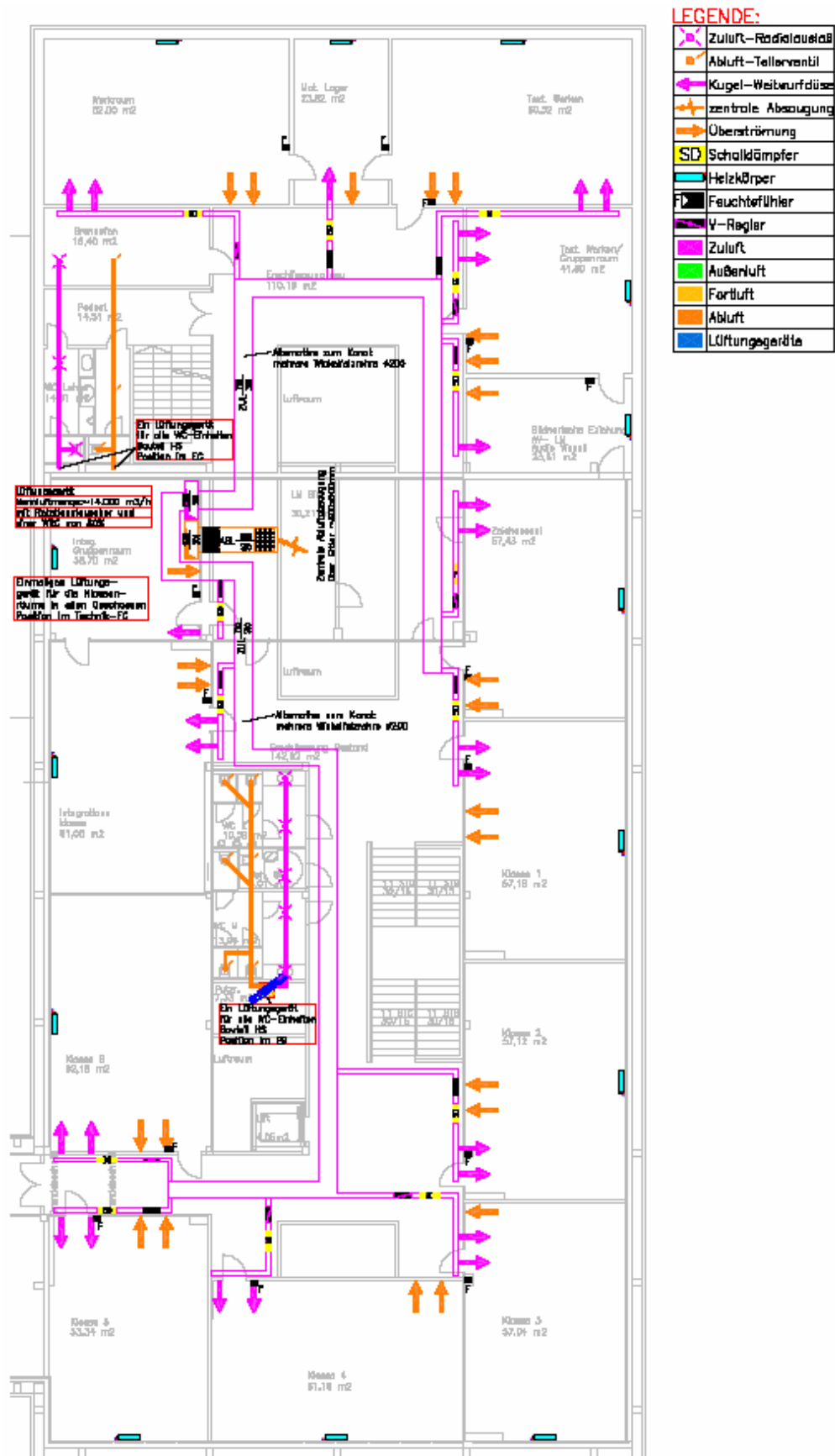


Die nachfolgenden Plandarstellungen zeigen die Lüftungsintegration einer zentralen Lüftung in der geplanten Sanierung Schule Schwanenstadt beispielhaft am Grundriss PTS und am 1.OG HS2 (andere Geschosse analog).



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





Variante 1, zentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss HS 2 OG (Lüftungsgerät im EG).



6.2.2 Variante 2: semizentrale Lüftung

Lüftungsgeräte, Lüftungsanlagen

Über je ein Lüftungsgerät pro Geschoss mit 2500 m³/h bzw. 5000 m³/h werden die Baukörper „Hauptschule II“ und „Polytechnische Schule (PTS)“ versorgt. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher (> 80% Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten energieeffizienten Ventilatoren. Die Situierung der Geräte erfolgt für beide Baustrakte in den nördlichen Bereichen. Außer den bereits vorgesehenen Technikräumen im EG müssen für beide Gebäude im 1.OG und 2.OG noch Räumlichkeiten zur Unterbringung der Geräte geschaffen werden. Die Schulküche der Hauptschule II wird über ein eigenständiges Gerät mit Standort Nordtrakt „Technik“ belüftet.

Luftführung, Luftkanalnetz

Zu den bzw. ausgehend von den semizentralen Lüftungsgeräten ergeben sich die Lüftungskomponenten und die Luftverteilung im Gebäude wie folgt:

- Außenluftansaugung über Dach in einen vertikalen Steigschacht oder direkt über die Fassade im Bereich des jeweiligen Lüftungsraums.
- Zuluftverteilung horizontal in der abgehängten Decke in den Gangzonen über Luftkanäle ca. 70 cm auf 30 cm Innenlichte oder einzelne Wickelfalzrohre lichter Durchmesser 20 bis 22 cm, entsprechende Kreuzungen und Durchbrechungen der im Bestand gegebenen Deckenunterzüge abzuklären.
- Belüftung der Klassenräume, Seminar- und Konferenzräume, Werkräume und Garderobenbereiche z.B. über Luftauslässe im Bereich oberhalb der Raumeingangstüre, Mischlüftungsprinzip, Telefonieschalldämpfer zwischen den Klassen.
- Volumenstromregelung der Zuluft für die einzelnen Räume dezentral in der Zuluftrohrstrecke für den jeweiligen Raum.
- Überströmung der Raumluft durch haustechnisch realisierte schallisolierte Überströmöffnungen aus den Klassenräumen in den Gangbereich.
- Zentrale Abluftabsaugung gesammelt im Gangbereich am Steigschacht oder deckenstirnseitig zu Lufträumen, zentrale Volumenstromregelung in der Abluft.
- Fortluftführung mittels vertikalem Steigschacht über Dach.

Die WC-Anlagen werden in beiden Baustrakten über je ein separates, kleines Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Gleichstromventilatoren be- und entlüftet. Die Gerätesituierung befindet sich im Technikraum. Die Rohrführung Sanitärbelüftung erfolgt über vertikale Steigschächte und teilweise in den Gangbereichen. Sonderräume mit speziell möglichen Geruchsentwicklungen z.B. Brennofen, Werkstätten sind hinsichtlich Geruchsentwicklungen und Anschlussmöglichkeit der Lüftung an die Sanitärbelüftung oder Installation einer eigenen Lüftungsanlage abzuklären.



Ein wasser- oder luftgeführtes Erdkollektorsystem zur Frischluftvorwärmung im Winter und Außenluftkühlung im Sommer könnte unter der Bodenplatte des Neubaus (PTS) und unter dem Pausenhof auf rund 800 m² angeordnet sein.

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

- + Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumlufffeuchten 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 Geruchsverschleppung 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.

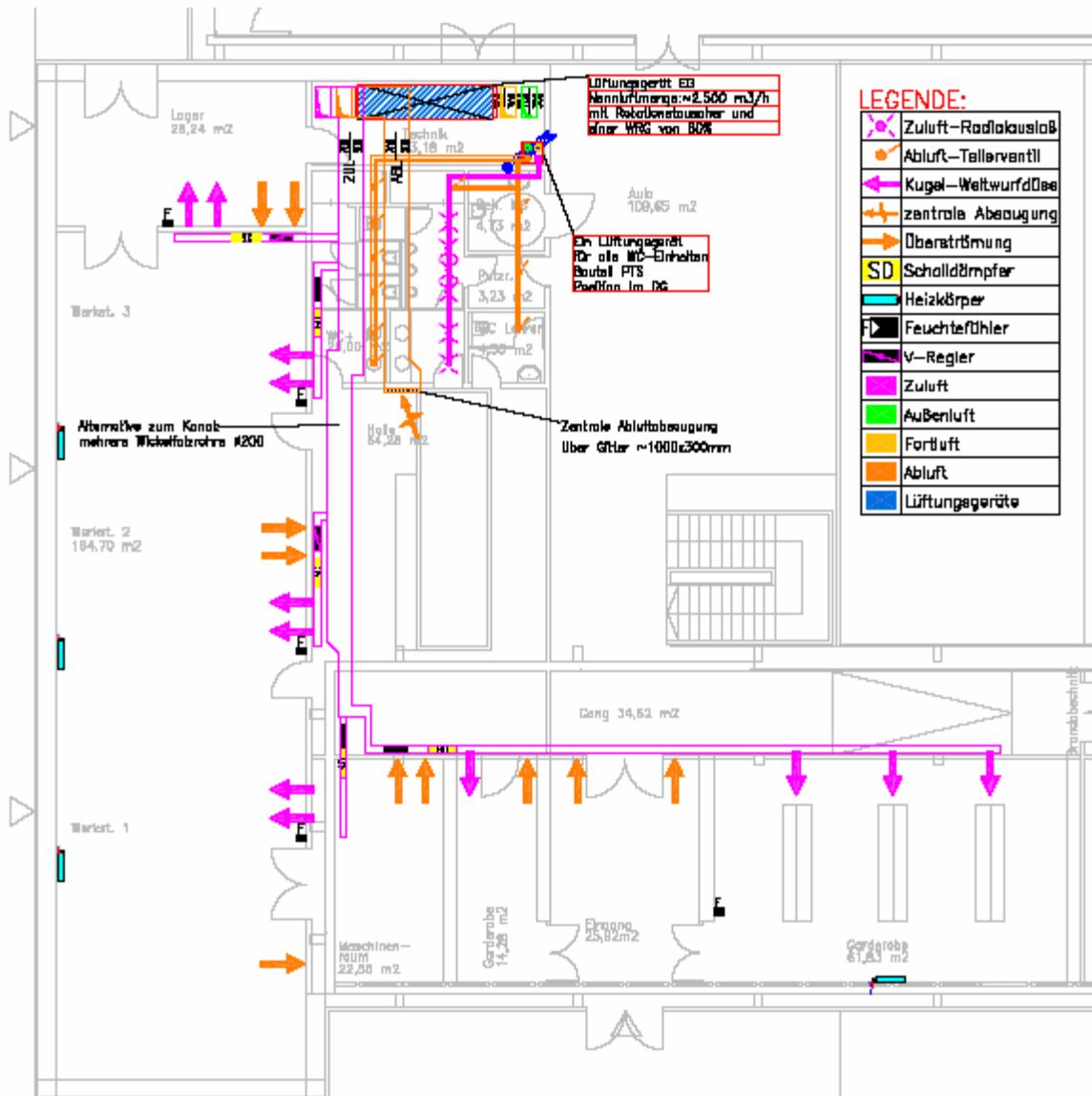
Kosten Variante 2, semizentrale Lüftung:

Eine detaillierte Berechnung der Herstell- und Betriebskosten wird im Anhang wiedergegeben, zusammengefasst ergibt sich:

- Herstellkosten Lüftung: 385.257,- € netto ((inkl. Lüftungstechnisch realisierte Überströmöffnungen, ohne bauliche Kosten ib. semizentrale Technikräume, vertikale Schächte, ohne „Küche“)
- Jährliche Kosten Energie, Wartung, Instandhaltung: 10.226,- €/a netto, davon:
 - Energieverbrauch: 2.790,- €/a netto
 - Wartung: 5.510,- €/a netto
 - Instandhaltung: 1.926,- €/a netto

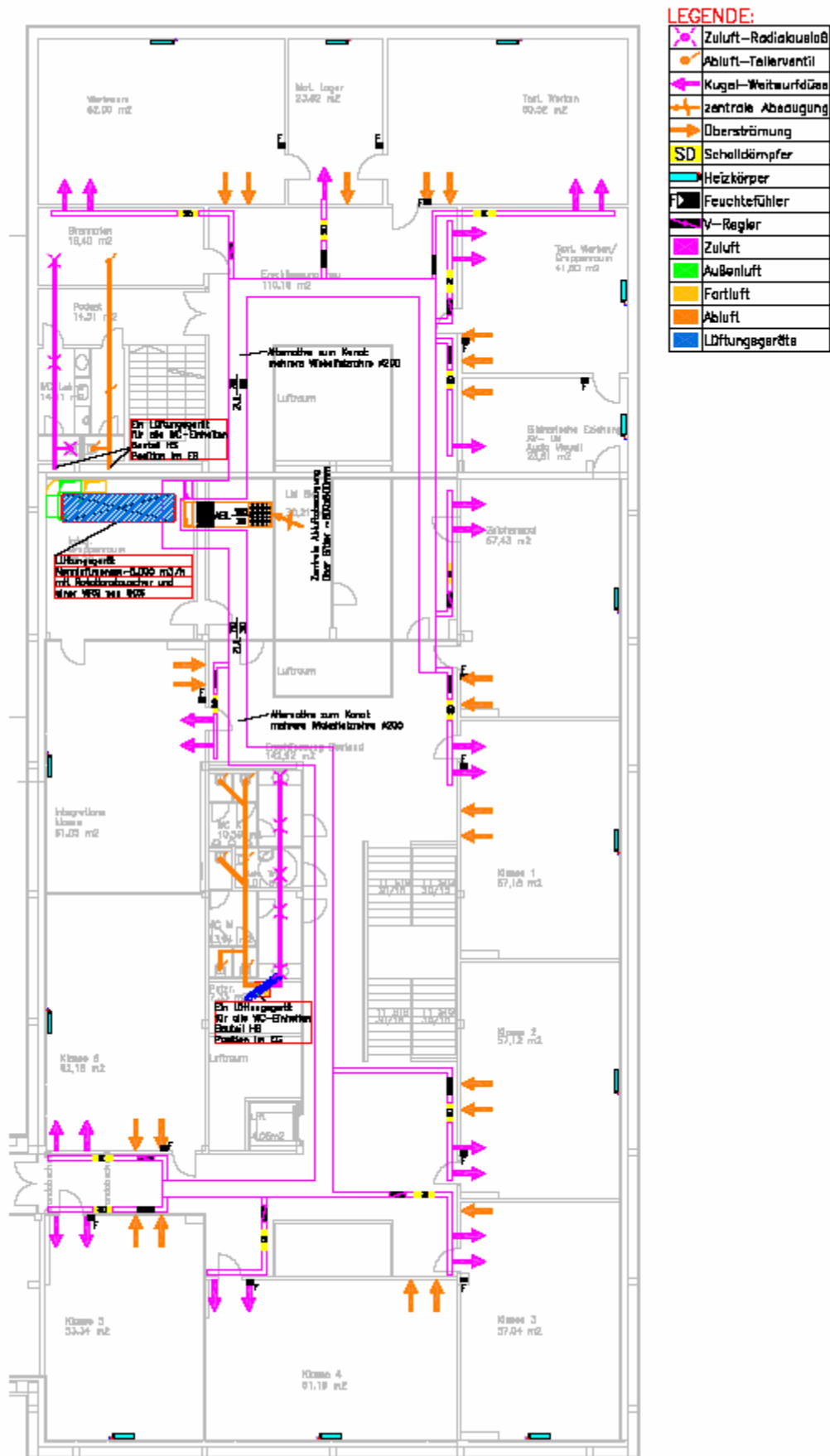


Die nachfolgenden Plandarstellungen zeigen die Lüftungsintegration einer semizentralen Lüftung in der geplanten Sanierung Schule Schwanenstadt beispielhaft am Grundriss PTS und am 1.OG HS2 (andere Geschosse analog).



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 2, semizentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss HS 2 OG



6.2.3 Variante 3: dezentrale Lüftung

Lüftungsgeräte, Lüftungsanlagen:

Die Be- und Entlüftung erfolgt über dezentrale Lüftungsgeräte mit variabler Luftmenge von 100 bis 500 m³/h pro Klassenraum. Für größere Bereiche werden zwei Geräte oder Geräte mit einer höheren Luftmenge gewählt, kleinere Bereiche können zusammen mit einem Gerät belüftet werden.

Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung (80 – 90%) sowie stufenlos geregelten Gleichstromventilatoren, die Geräteabmessungen liegen bei ca. H x B x T = 48 x 58 x 290 cm pro Gerät inklusive Luftkanalnetz und Zubehör. Die Situierung der Geräte erfolgt pro Raum jeweils an der Decke im Bereich der Außenwand oder im Bereich eines Klassenraummöbels.

Die Schulküche der Hauptschule II wird über ein eigenständiges Gerät mit Standort Nordtrakt „Technik“ belüftet, Außenluft- und Fortluftführung für dieses Gerät über Dach „Technikraum“.

Die WC-Anlagen werden in beiden Bautrakten über je ein separates, ebenfalls im Technikraum befindliches Lüftungsgerät be- und entlüftet. Die Rohrführung der Sanitärbelüftung erfolgt über vertikale Steigschächte und teilweise über die Gangbereiche. Darüber hinaus sind keine eigenen Räume, Raumerweiterungen oder Schächte für Lüftungsgeräte außerhalb der Klassenräume notwendig.

Luftführung, Luftkanalnetz

- Die Außenluft- und Fortluft wird pro Raum direkt an die Außenwand geführt und dort über Gitter angesaugt bzw. ausgeblasen. Ein entsprechendes haustechnisch und konstruktiv funktionierendes Fassadendetail ist zu entwickeln.
- Zuluft- und Abluftkanalnetz sowie Schalldämpfer sind genauso wie Wärmerückgewinnungseinheit, energieeffiziente Ventilatoren und dezentrale, individuelle Klassenraumlüftungsregelung im Gerät bereits integriert und nicht auf der Baustelle herzustellen.
- Sämtliche über dezentrale Geräte erschlossene Räume erhalten jeweils Zuluft- und Abluftauslässe in Abstimmung mit der innenarchitektonischen Integration der Lüftungsgeräte in den Klassenräumen.
- Ein Erdkollektorsystem zur Außenluftvorwärmung im Winter bzw. Zuluftkühlung im Sommer entfällt, da die Erschließung in die einzelnen Räume nicht wirtschaftlich ausgeführt werden kann.

Bewertung Variante 3, dezentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):



- + 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 Lufteinbringung 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.
 - + Keine erhöhte Schallbelastung durch langes Lüftungsrohrsystem mit reduzierten Lüftungsquerschnitten bei Durchdringungen von Unterzügen
-
- 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 Abluftfiltern, Geräteregeleungsfehlern.
 - Keine Außenluftkühlung im Sommer z.B. über Erdwärmetauscher, damit höhere Raumtemperaturen im Sommer bei sonst gleichem Gebäudeklimakonzept im Vergleich zur (semi-)zentralen Lüftung.

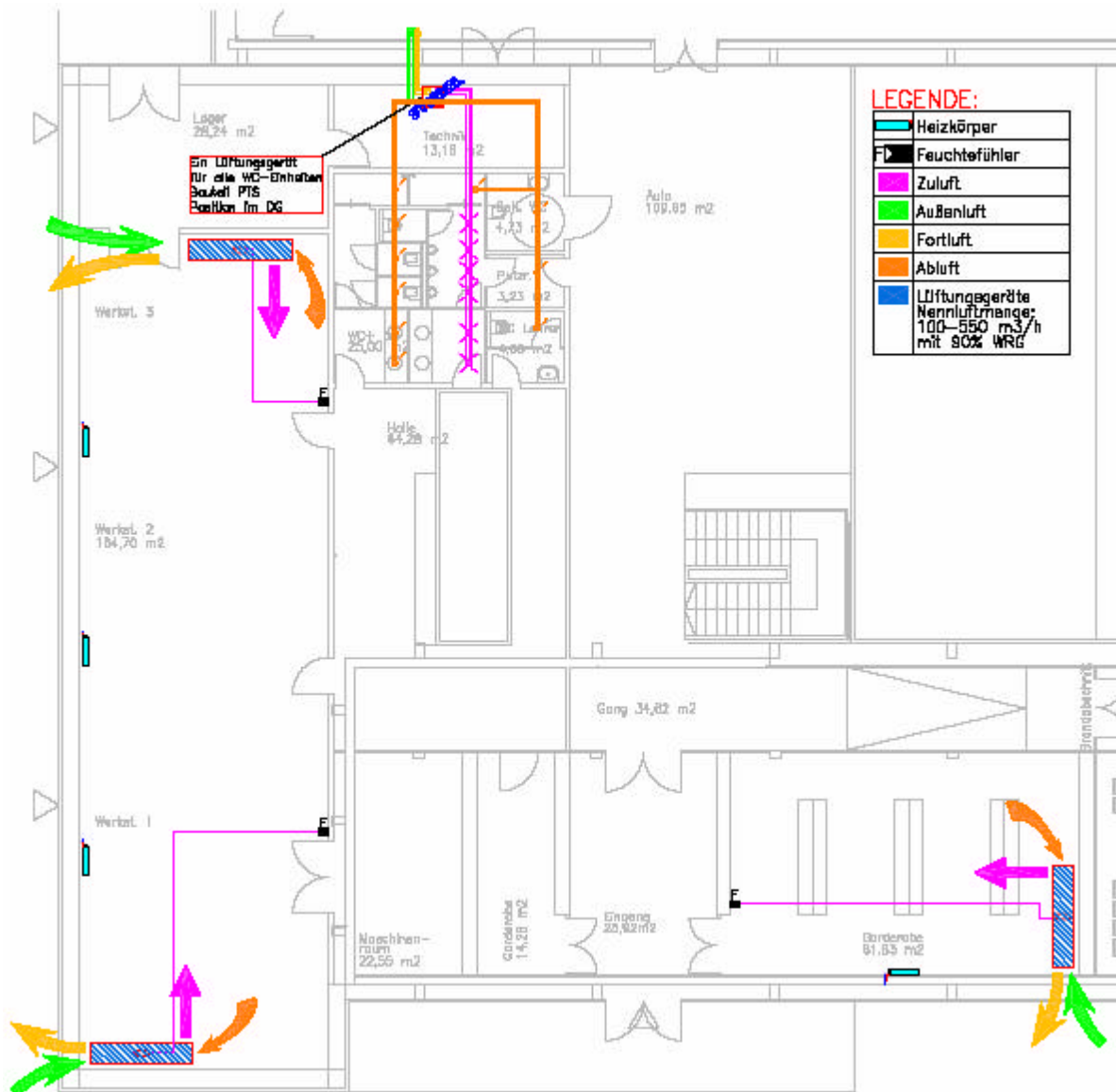
Kosten Variante 3, dezentrale Lüftung:

Eine detaillierte Berechnung der Herstell- und Betriebskosten wird im Anhang wiedergegeben, zusammengefasst ergibt sich:

- Herstellkosten Lüftung: 384.207,- € netto (ohne bauliche Kosten ib. ohne bauseitig notwendige Arbeiten dezentrale Außenluftansaugung und Fortluftausblasung über die Fassade)
- Jährliche Kosten Energie, Wartung, Instandhaltung: 12.545,- €/a netto, davon:
 - Energieverbrauch: 2.731,- €/a netto
 - Wartung: 7.896,- €/a netto
 - Instandhaltung: 1.921,- €/a netto

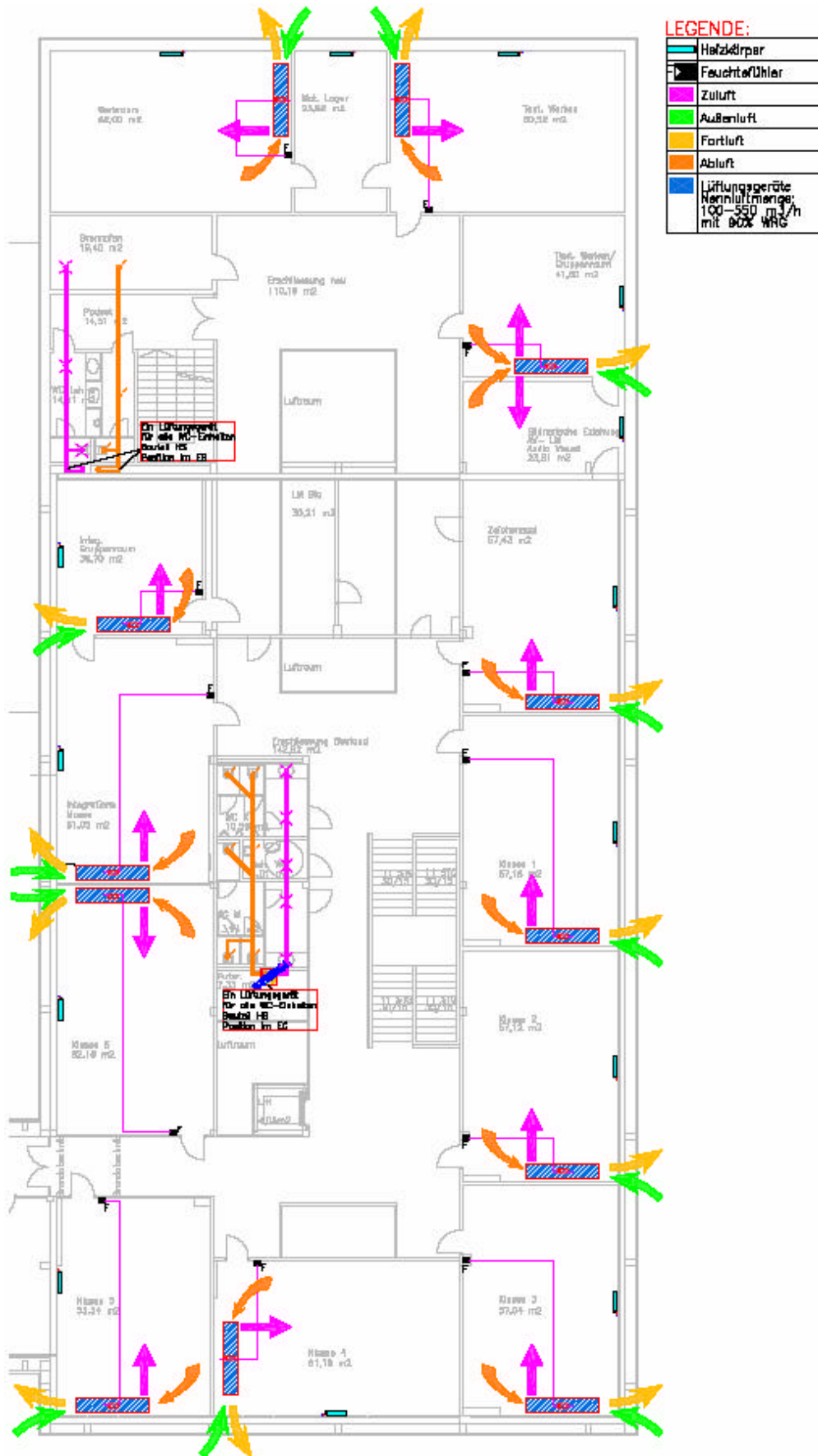


Die nachfolgenden Plandarstellungen zeigen die Lüftungsintegration einer dezentralen Lüftung in der geplanten Sanierung Schule Schwanenstadt beispielhaft am Grundriss PTS und am 1.OG HS2 (andere Geschosse analog).



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.





Variante 3, dezentrale Lüftung: Prinzipdarstellung Grundriss HS 2 OG



6.3 Heizung, Warmwasserbereitung

Wärmeerzeugung:

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.

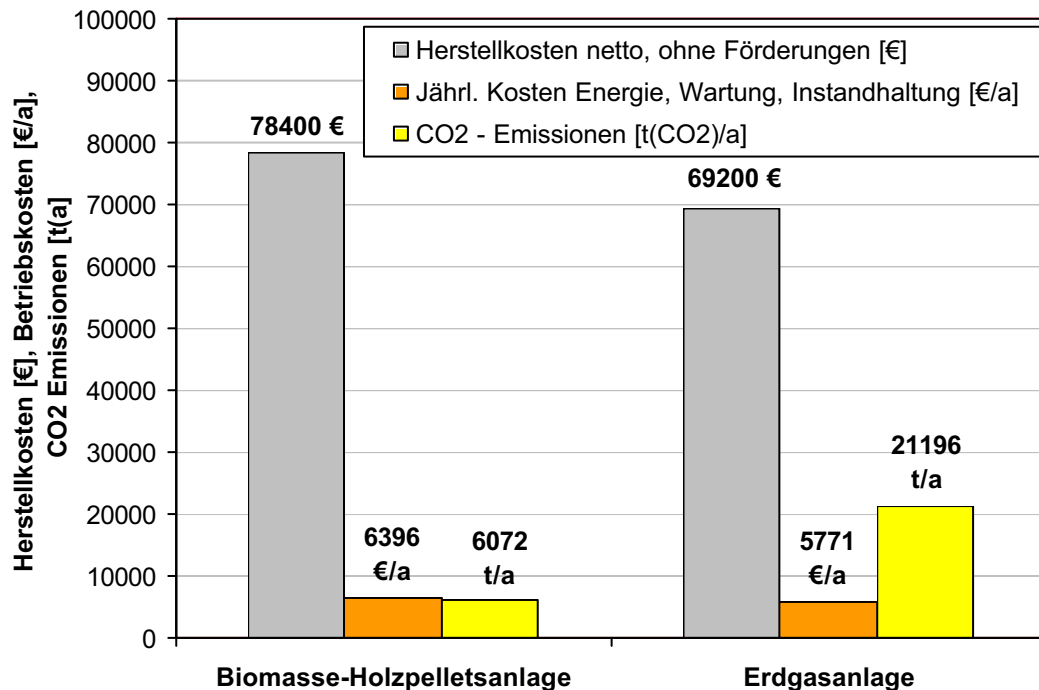


Abbildung Gegenüberstellung Biomasse – Holzpelletsanlage und Erdgasanlage: Herstellkosten ohne Berücksichtigung von Förderungen, Betriebskosten Energieverbrauch, Wartung und Instandhaltung, CO2 - Emissionen

Es ergibt sich wie folgt:

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. Nichtsdestoweniger ergibt sich im Passivhausstandard auch bei Gasheizung eine deutlich niedrigere CO₂ – Gesamtbelastung im Vergleich zu konventionellen Schulbauten. Die Energiepreise für Erdgas sind gegenüber Biomasse deutlich größeren Schwankungen unterworfen. Es ist auch zu bedenken, dass bei Erdgas eine Zwischenlagerung und somit eine gezieltes „Nachfüllen“ bei guter Preislage nicht möglich ist, was sich zukünftig vermutlich noch stärker auf die Wirtschaftlichkeit eines Energieträgers auswirkt (Stichwort „Preisstabilität“).



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. Eine ausschließliche Abdeckung des Restwärmebedarfs Heizung/Warmwasser über erneuerbare Energieträger ist z.B. mit einer Erdgasheizung nicht möglich. 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. Darüber hinaus ist lokal insbesondere eine Realisierung ohne das Risiko von Überschwemmungen herzustellen.

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 m² Nettofläche. Räume und Klassenzimmer, die weiter entfernt sind, sind davon ausgenommen und erhalten dezentrale elektrisch beheizte Kleinspeicher, falls überhaupt eine Warmwasserentnahme dort notwendig ist.



6.4 Berechnungen mit dem Passivhausprojektierungspaket PHPP

6.4.1 Einfluss thermische Sanierung Bodenplatte

Die Raumhöhe im Erdgeschoss beschränkt den Bodenaufbau inklusive Wärmedämmung auf maximal 10 cm. Neben der Dämmung mittels Vakuumdämmplatten wurden auch Trockenestrichlösungen mit Trittschallfilzen aus Schaf- oder Glaswolle angedacht. Zu klären ist besonders die thermische Wirkung des nur ca. 50 cm unter Niveau liegenden Grundwasserspiegels. Die thermische Isolierung der Bodenplatte wurde mit den folgenden Bodenaufbauten untersucht:

| | | |
|---|---|--|
| Ausgangsvariante 1: 2 cm Vakuumdämmplatten, Fußbodenaufbau Sanierung gesamt 7.1 cm | Holzbelag Trittschallfilz OSB-Platte Vakuumdämmung Abdichtung Bestand | 2.0 cm 0.3 cm 1.8 cm 2.0 cm 1.0 cm |
| Variante 2: 4 cm Trittschalldämmung, Fußbodenaufbau Sanierung gesamt 9.1 cm | Holzbelag Trittschallfilz OSB-Platte Trittschallfilz Schafwolle Abdichtung Bestand | 2.0 cm 0.3 cm 1.8 cm 4.0 cm 1 cm |

Da bis dato keine quantitativen Unterlagen zum Grundwasserverhalten vorliegen, wird durch eine Sensitivitätsanalyse die Auswirkung von zwei Extremfällen untersucht (Bandbreitenberechnung best case - worst case):

- Grundwasser ruhend (best case)
- Grundwasser fließend (worst case): Isotherme Randbedingung unter der Bodenplatte, mittlere Grundwassertemperatur zwischen Jahresdurchschnittstemperatur Außenluft und Durchschnittstemperatur der Außenluft während der Heizsaison

| Bodenplatte Altbau | Reduktionsfaktor | | Transmissionsleitwert | | |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| | U-Wert | Ruhendes Grundwasser | Fließendes Grundwasser | Ruhendes Grundwasser | Fließendes Grundwasser |
| Einheit | W/m ² K | - | - | W/m ² K | W/m ² K |
| Variante 1: Vakuumdämmung 2cm | 0.206 | 0.371 | 0.85 | 0.08 | 0.18 |
| Variante 2: Trittschallfilz 4cm | 0.48 | 0.257 | 0.85 | 0.12 | 0.41 |

Tabelle: PHPP - Berechnungsergebnisse Reduktionsfaktor und Transmissionsleitwert je nach Bodenaufbau und Grundwasserverhalten.



Es lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Für ruhendes Grundwasser kommt auch die konventionell gedämmte Bodenplatte mit mindestens 4 cm Dämmstärke in Frage. Der resultierende U – Wert der Bodenplatte entspricht zwar nicht den Passivhausanforderungen (Probleme Zertifizierung?), es sind allerdings hinsichtlich Einhaltung der Heizenergiekennzahl $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und thermischem Komfort keine größeren Schwierigkeiten zu erwarten.
- Bei fließendem Grundwasser ist bei vorgegebener Aufbauhöhe nur eine Vakuumdämmung sinnvoll für Passivhaus - Bauweise einsetzbar (eventuell in 2 Lagen, Detailkonstruktion zu untersuchen).

Für den Bodenaufbau hinsichtlich Wärme- und Feuchteschutz zusätzlich zu beachten sind die über tragende Wände und Säulen entstehenden Wärmebrücken und die entsprechende Gefahr der Tauwasserbildung an den Wärmebrücken (> im weiteren Planungsverlauf zusammen mit der Wärmebrückenberechnung zu planen).

6.4.2 PHPP - Berechnungen Heizwärmebedarf und Heizlast

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:

| Berechnungs-variante | Aufbauten |
|----------------------|--|
| Ausgangsvariante 1 | Bodenaufbau und Stützen Außenwand mit Vakuumdämmung, Grundwasser fließend |
| Variante 2 | Wie 1, jedoch Außenwand 3cm stärker, auch Wärmebrücke mit Zellulosedämmung |
| Variante 3 | Wie 1, jedoch Grundwasser stehend |
| Variante 4 | Wie 1, jedoch Bodenaufbau mit Trittschallfilz |
| Variante 5 | Wie 2, jedoch Bodenaufbau mit Trittschallfilz |

Tabelle: über PHPP verglichene Varianten Bodenaufbau und Stützendämmung Außenwand

Die nachfolgende Abbildung und Tabelle zeigen die Wärmebilanz der Ausgangsvariante sowie die Berechnungen zu Heizwärmebedarf, Heizenergiekennzahl und Heizlasten zu den verschiedenen Bodenaufbauten und Grundwasserannahmen. Da der genaue Einbau der Fenster noch nicht geklärt wurde, wurden für die Reduktionsfaktoren Minderung Einstrahlung die eher ungünstigen Standardannahmen gemäß PHPP getroffen. Ein demgegenüber geringerer Rahmen- und Sprossenanteil in der Detailplanung wird zur besseren Nutzung von Tageslicht und Sonneneinstrahlung empfohlen. Zusammengefasst ergibt sich wie folgt:

- 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 Passivhausschule Schwanenstadt

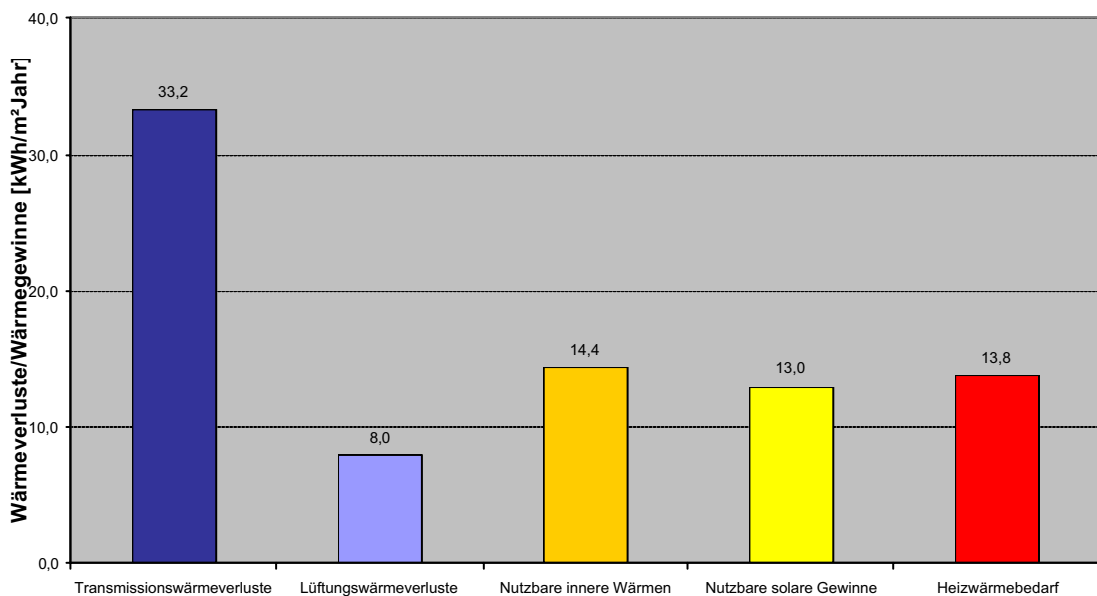


Abbildung: Wärmebilanz Ausgangsvariante gemäß Passivhausprojektierungspaket

| Berechnungsergebnisse mit dem PHPP Passivhausprojektierungspaket | Heizwärmebedarf Heizenergiekennzahl | | Heizlast | |
|---|--|---------|----------|------|
| | kWh/a | kWh/m²a | kW | W/m² |
| Einheiten | | | | |
| Ausgangsvariante 1: AW und BO mit Vakuumdämmung, Grundwasser fließend | 78'651 | 13.8 | 71 | 12.5 |
| Variante 2: Wie 1, AW 3cm stärker, Zellulosedämmung | 79'196 | 13.9 | 71 | 12.5 |
| Variante 3: Wie 1, Grundwasser stehend | 59'480 | 10.4 | 63 | 11.1 |
| Variante 4: Wie 1, Boden mit Trittschallfilz | 115'297 | 20.2 | 86 | 15.1 |
| Variante 5: Wie 2, Boden mit Trittschallfilz | 115'885 | 20.3 | 86 | 15.1 |

Tabelle: PHPP – Ergebnisse Heizwärmebedarf, Heizlast und Heizenergiekennzahl. Gesamtgebäude HS2, PTS und Turnhalle saniert in Passivhausstandard.

6.5 Wärmebrückenberechnung mit WAEBRU



6.5.1 Betreffende Bauteile

Die bauphysikalische Untersuchung mittels Wärmebrückenberechnung ist eine wesentliche Grundlage für die kostenmäßige Beurteilung von Sanierungsvarianten. Die Sanierung der Gebäudehülle in hoher thermischer Qualität stellt für die folgenden Konstruktionen eine besondere Herausforderung dar:

Anschluss Außenwand - Bodenplatte

Durchdringung der thermischen Hülle durch Stahlbetonstützen: Die Stahlbetonstützen durchdringen die thermische Hülle im Randbereich der Bodenplatten und gründen im Grundwasser. Die thermische Auswirkung dieser Wärmebrücken gilt es im weiteren Projektverlauf in Abhängigkeit von den Grundwassereigenschaften (Temperatur, Fließgeschwindigkeiten) und der Ausführung der Perimeterdämmung zu untersuchen.

Außenwand Bestand, Stahlbetonstützen

Die vertikale statische Funktion wird durch Stahlbetonstützen gewährleistet, an die raumseitig sowohl die Stahlbetondecken als auch die Brüstungselemente befestigt sind. Die Dämmung der Außenhülle muss die 40 cm nach außen ragenden Stahlbetonstützen derart integrieren, dass die Wärmebrückenwirkung des Stahlbetonelementes wesentlich eingeschränkt wird. Der erforderliche Wärmeschutz wird von vorgefertigten Leichtbauelementen gewährleistet, die mit Zellulosefaserflocken ausgeblasen werden. Für die thermische Schwachstelle direkt an den Stahlbetonpfosten wurden die folgenden Maßnahmen angedacht:

- Überdämmung mit Vakuumplatten
- 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 Neubauponstruktionen kann mit vergleichsweise konventionellen Maßnahmen hergestellt werden.



6.5.2 Wärmebrückenberechnung Außenwandstahlbetonstütze

Es wurden verschiedene Varianten zur thermischen Sanierung im Bereich der Stahlbetonstützen untersucht. Aus den entsprechenden Wärmebrückenberechnungen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit lediglich 2 cm Vakuumdämmplatten ist bereits ein sehr niedriger Transmissionsleitwert erreichbar.
- Der Ersatz der Vakuumdämmung mit nur 2 cm Dämmstoff $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ (z.B. Schaf- oder Glaswolle Trittschallfilz) führt zu einer starken Erhöhung des mittleren U-Wertes um 22%.
- Die Aufstockung der Konstruktionsstärke um 3 cm auf 5 cm Dämmstoff $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ bis $0,04 \text{ W/mK}$ vor der Stahlbetonstütze führt zu einer Erhöhung des Wärmedurchgangs um nur 2-4% gegenüber der Vakuumdämmung.

Die folgende Tabelle zeigt die gegenübergestellten Varianten, die folgenden Abbildungen zeigen eine grafische Gegenüberstellung der empfohlenen Varianten mit mindestens 2 cm Vakuumdämmplatten oder mindestens 5 cm Dämmstoff Wärmeleitgruppe WLG040 (λ max. $0,04 \text{ W/mK}$).

| Wärmebrückenberechnung Waebru | Beschreibung | Leitwert 5m Breite | Äquivalenter U-Wert | Veränderung |
|----------------------------------|--|-----------------------|------------------------|-------------|
| Einheit | | W/mK | W/m ² K | % |
| Ausgangsvariante | 2cm Vakuumdämmung auf Stahlstütze, 30cm breite Dämmplatte | 0,6004 | 0,120 | 0 |
| Variante 1 | Statt Vakuumdämmung 2 cm Dämmstoffe $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ (Trittschallfilz Schaf- oder Glaswolle) | 0,7333 | 0,147 | 22,1% |
| Variante 2 | Wie Variante 1, jedoch 3cm stärkere Konstruktion außen | 0,6107 | 0,122 | 1,7% |
| Variante 3 | Wie Variante 2, nur Zellularwolle $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ | 0,6262 | 0,125 | 4,3% |
| Vergleichsvariante | Wie Ausgangsvariante, ohne Stahlbetonstütze und Vakuumdämmung | 0,5098 | 0,102 | -15,1% |

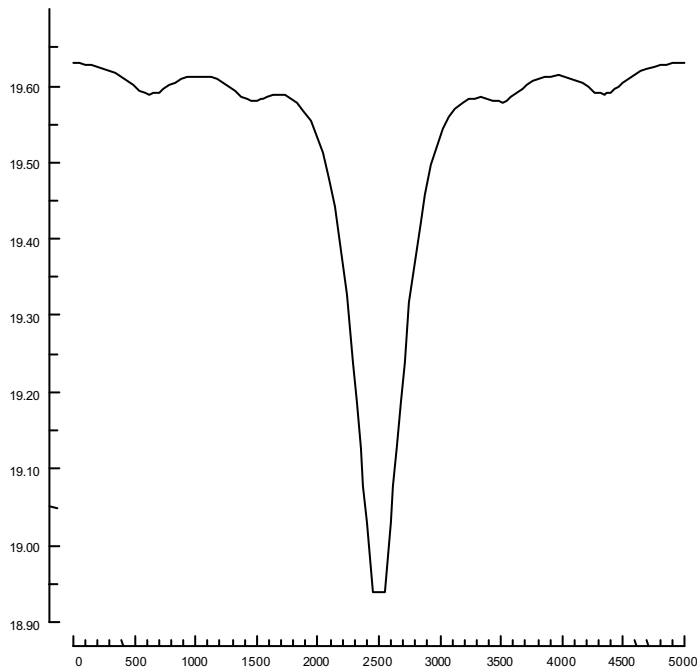
Tabelle: Gegenüberstellung der Sanierungsvarianten im Bereich der Stahlbetonsäulen und berechnete Ergebnisse zum Leitwert bei 5 m Breite (Achsenmaß Stahlbetonsäulen) bzw. zum gesamten U – Wert der Wandkonstruktion inklusive Wärmebrücke. Ausgangsvariante gemäß Skizze DI Obermayr.



WAEBOUT
V6.00 97-06-14
Datum: 29.08.2003
Zeit : 22:41:19

Raum 0; Temp= 20°C
Temp. min= 18.93786°C Temp. max= °C
Grenzfeuchte= 93.60567%

OBERFLAECHEMTEMPERATU



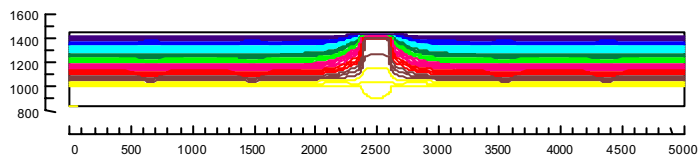
Datei: C:\WAEBRU\SCHWA0AW
Schwanenstadt AW gemaess Skizze Hans Christian Obermayr

Programmpaket WAEBRU; Copyright: E.Panzhauser & K.Krec

WAEBOUT
V6.00 97-06-14
Datum: 29.08.2003
Zeit : 22:41:11

+X+Y Z= 500
Temp. min=-9.89°C Temp. max= °C
Intervall= .984 K

ISOTHERME



Datei: C:\WAEBRU\SCHWA0AW
Schwanenstadt AW gemaess Skizze Hans Christian Obermayr

Programmpaket WAEBRU; Copyright: E.Panzhauser & K.Krec

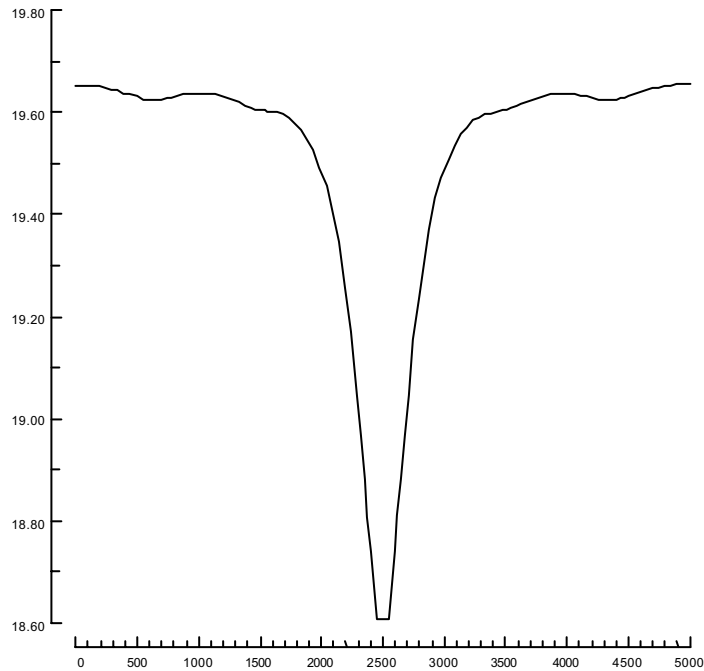
Abbildung: Darstellung Wärmebrückenberechnung Ausgangsvariante



WAEBOUT
V6.00 97-06-14
Datum: 29.08.2003
Zeit : 23:11:52

Raum 0; Temp= 20°C
Temp. min= 18.60665°C Temp. max= °C
Grenzfeuchte=91.68636%

OBERFLAECHENTEMPERATU



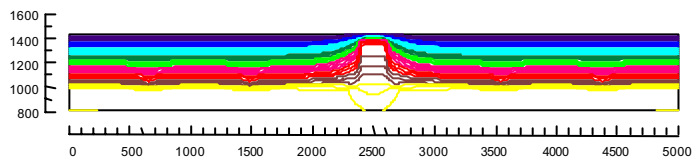
Datei: C:\WAEBRU\SCHWA3AW
Schwanenstadt AW gemaess Skizze Hans Christian Obermayr
5cm Zellulosedaeimmung ausserhalb Stahlbetonstuetze

Programmpaket WAEBRU; Copyright: E.Panzhauser & K.Krec

WAEBOUT
V6.00 97-06-14
Datum: 29.08.2003
Zeit : 23:11:42

+X+Y Z= 500
Temp. min=9.9°C Temp. max= °C
Intervall= .985 K

ISOTHERME



Datei: C:\WAEBRU\SCHWA3AW
Schwanenstadt AW gemaess Skizze Hans Christian Obermayr
5cm Zellulosedaeimmung ausserhalb Stahlbetonstuetze

Programmpaket WAEBRU; Copyright: E.Panzhauser & K.Krec

Abbildung: Darstellung Wärmebrückenberechnung Variante 3



6.6 Tageslichtberechnungen, ADELINE - Simulationen

6.6.1 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.

6.6.2 Implementierte Modelle, Empfehlungen Tageslichtmaßnahmen

Implementiert wurde ein Modell in Adeline/Superlite für die Berechnung zweier Beispielklassen (Klasse 1, Klasse 6) sowie ein Adeline/Radiance Modell für die Berechnung der Halle EG mit Berücksichtigung des Lichteinfalls über die Lichtschächte und die oberen Geschosse. Auf Basis der berechneten Tageslichtkoeffizienten erfolgte eine Abschätzung des Kunstlichtstromverbrauchs bei üblichem Schulbetrieb. Es lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Tageslichtkoeffizienten TLQ in den Klassen, Fensterdetail, Sonnenschutz:

Eine zufriedenstellende Tagesbelichtung in den Klassen $> 2\%$ TLQ lässt sich nur durch eine sorgfältige, im weiteren Planungsverlauf beachtete Tageslichtplanung bewerkstelligen. Neben grundsätzlichen Maßnahmen wie eine möglichst vollständige Nutzung des statisch vorgegebenen Öffnungsanteils ohne höheren Anteil von einschränkenden Profilen und Dämmungen, Fenstersituierung möglichst weit außen, Brüstung/Parapet hell reflektierend ist vor allem eine Reflexionswand im hinteren Raumbereich sinnvoll.

Damit kann für die dortigen Sitzplätze ein entsprechender Tageslichtkomfort $> 2\%$ TLQ erreicht werden (vergleiche Abbildungen des folgenden Abschnitts). Die 3 – Scheibenverglasung ist als Weissglas mit hohem g - τ – Wert auszuführen, die übliche argongefüllte Floatglasverglasung ($g = 42\%$, $\tau = 64\%$ unverschmutzt bei 4 mm Scheiben) ist nicht möglich.

Der notwendige Sonnenschutz ist so zu situieren, dass er den Tageslicheinfall nicht stört, ein entsprechendes Fensterdetail Dämmung, Profile, Sonnenschutz, Brüstung etc. ist zu entwickeln und durch team gmi freizugeben. Für den Sonnenschutz werden generell helle Jalousien empfohlen, welche im Oberlichtbereich durch eine nicht geschlossene Lamellenstellung (45° bei blendender Direkteinstrahlung, horizontal sonst) Tageslicht in die Raumtiefe lassen. Eine entsprechende automatische Jalousiensteuerung z.B. über EIB – Bus ist hinsichtlich Sonnenschutz und Tageslichteintrag nötig.



Oberlichten Halle, Farbgebung Halle/Gangflächen:

Im Unterschied zur 3-D Visualisierung ist oberhalb des Luftschachts im Liftbereich ebenfalls ein Oberlicht für eine ausreichende Tagesbelichtung Halle EG notwendig. Hinsichtlich Sonnenschutz und Tagesbelichtung werden die Oberlichtdetails wie folgt empfohlen bzw. wurden entsprechend berechnet: 15° geneigte Glasoberfläche, Entlüftungsklappen in senkrechter Fläche rechts/links, Sonnenschutz unterhalb Entlüftungsklappen, Oberlicht mit möglichst geringem Sprossenanteil, Oberlichtöffnung > Lichte Öffnung Betondecke.

Zur verbesserten Tageslichtlenkung in die höheren Raumtiefen der Erschließungsflächen wird ein entsprechend gut reflektierender Bodenbelag empfohlen (50% einberechnet), nicht in die aktuelle Berechnung einbezogen wurden rückwärtige Reflexionswände auch im Hallenbereich.

Stromverbrauch 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 wie folgt:

| Tageslichtplanung | Klassenräume: | Strom Kunstlicht |
|-------------------|------------------------------------|------------------|
| Ungünstig | energiesparendes Kunstlicht | 4.9 kWh/m2a |
| Ungünstig | „normales“ Kunstlichtkonzept | 8.2 kWh/m2a |
| Gut | energiesparendes Kunstlichtkonzept | 2.5 kWh/m2a |
| Gut | „normales“ Kunstlichtkonzept | 4.1 kWh/m2a |
| Tageslichtplanung | Gangflächen: | Strom Kunstlicht |
| Ungünstig | energiesparendes Kunstlicht | 4.8 kWh/m2a |
| Ungünstig | „normales“ Kunstlichtkonzept | 11.2 kWh/m2a |
| Gut | energiesparendes Kunstlichtkonzept | 1.8 kWh/m2a |
| Gut | „normales“ Kunstlichtkonzept | 4.2 kWh/m2a |

Tabelle: Kunstlichtstromverbrauch bei verschiedenen Konzepten zu Tageslichteintrag und Kunstlichtregelung. Zwischen „ungünstigen“ und „günstigen“ Lichtkonzepten ist ein deutlicher Unterschied des Stromverbrauchs und damit auch des Primärenergieverbrauchs bzw. der entsprechenden Energiekennzahlen gegeben.

6.6.3 Tageslichtkoeffizienten in den Klassenräumen

Die folgenden Darstellungen zeigen die Adeline/Superlite-Berechnung der Tageslichtkoeffizienten in den Klassenräumen mit und ohne rückwärtige Reflexionswand. Die berechneten Klassen 1 und 6 unterscheiden sich hierbei nur geringfügig und werden nicht separat dargestellt. Annahme Verglasungen bezogen auf die planlich übermittelten Fassadenöffnungen: generell 65% Transmission, 80% Glasanteil bzw. 20% Sprossenanteil. Übliche Reflexionswerte Boden 30%, Wände 50%, Decke 70%. Rückwand Variante 2 in hellweiß 80% Reflexion. Tageslichtkoeffizienten zum Vergleich:



Tageslichtkoeffizienten zum Vergleich:

- Im Freien, unverbauter Fläche, horizontal: 100%
- Auf unverbauter Fläche senkrechte Fläche: 50%
- Im Raum auf waagrechter Fläche hinter Fenster unter günstigen Umständen: 20%
- Im Raum auf waagrechter Fläche hinter Fenster unter ungünstigen Umständen: 5%
- In Schulen/Klassenräumen ausreichend bis gut: > 2% auf Arbeitsflächen auch in höheren Raumtiefen (-> Normanforderung 300 lx für Kunstlichtbeleuchtung ausreichend, ansonsten 500 lx Leistung Kunstlichtbeleuchtung notwendig)
- In Raumtiefe Richtwert Büroarbeitsräume: > 1% (übliche „gute“ Dimensionierung: 2-3% in Raumtiefe 2 bis 3 m), in Wohnräumen üblich oft herunter bis 0.5%

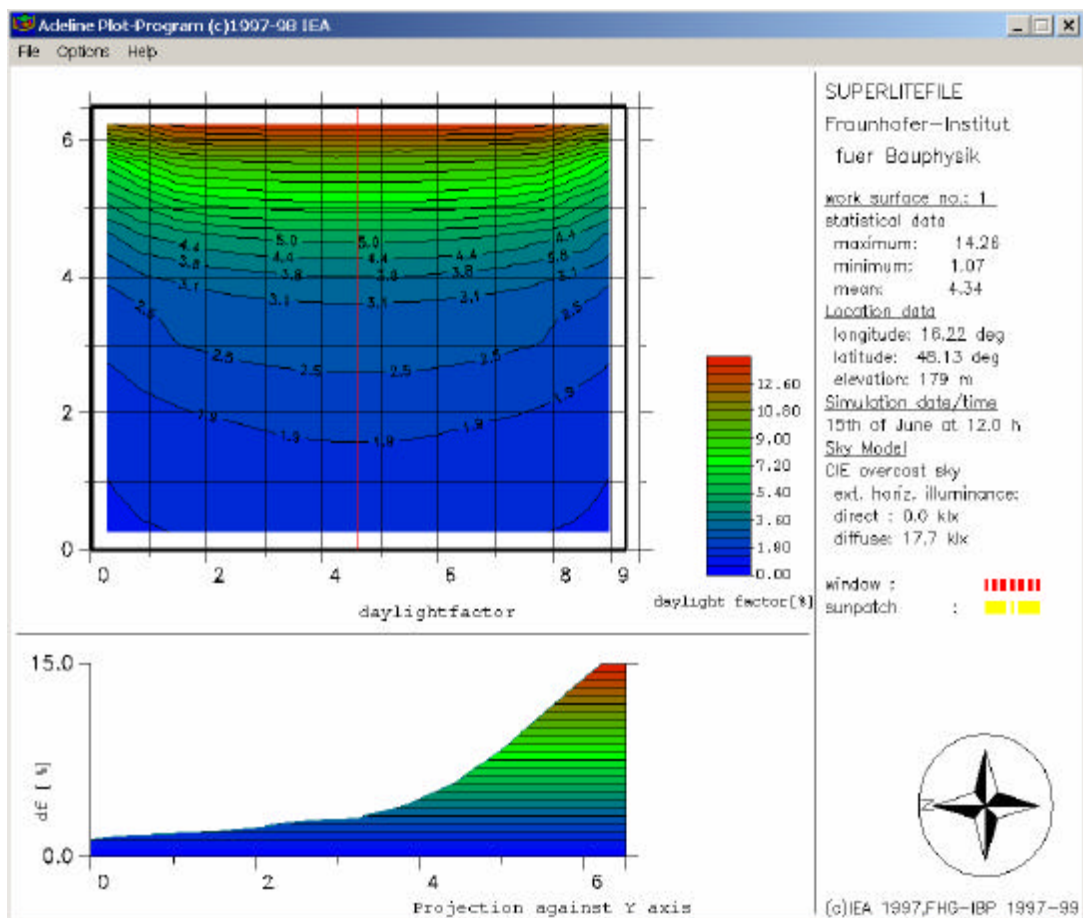


Abbildung: Berechnung Tageslichtkoeffizient mit ADELINe – Superlite:
Klasse 1, „übliche“ Helligkeit rückwärtige Wand 50% Reflexion.



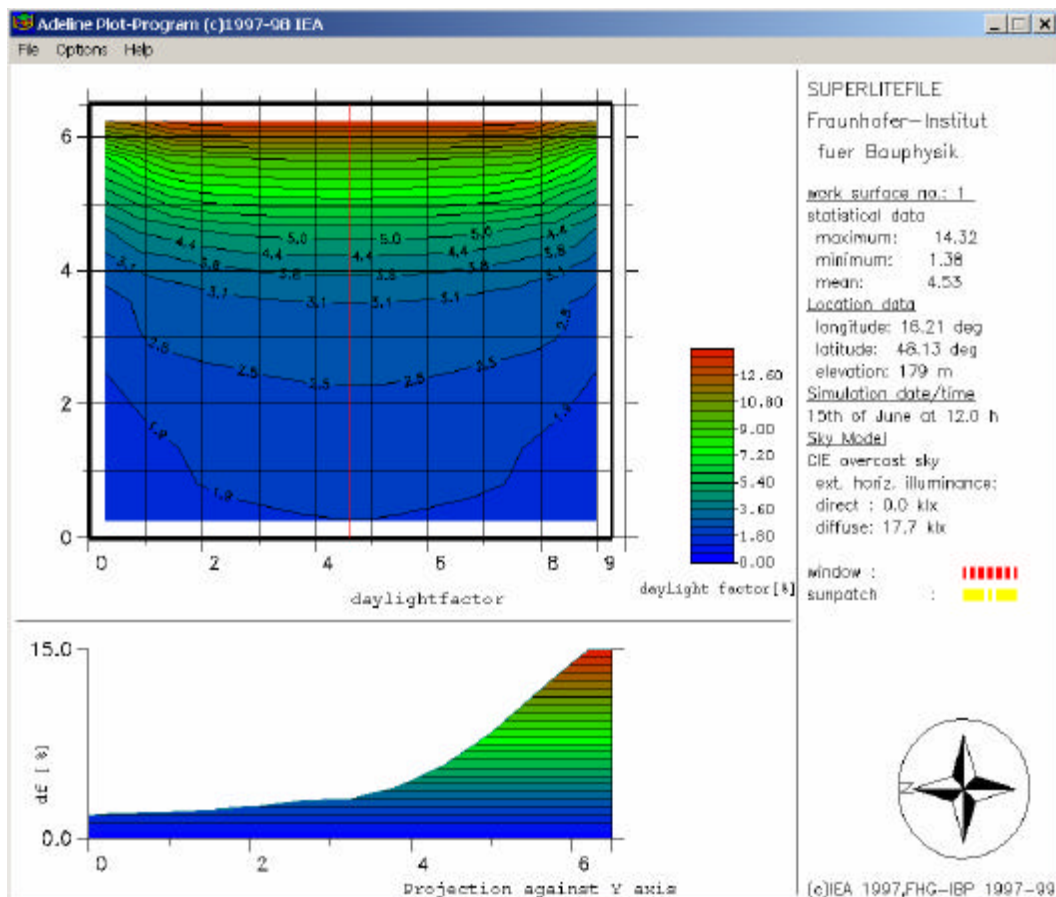


Abbildung: Berechnung Tageslichtkoeffizient mit ADELINE – Superlite:
Klasse 1, hohe Helligkeit rückwärtige Wand 80% Reflexion.

6.6.4 3D Darstellungen Beleuchtungsstärke Halle EG

Die folgenden Seiten zeigen die Ergebnisse der 3 – D Tageslichtberechnungen des in Adeline/Radiance implementierten 3 D Modells zur Eingangshalle. Es wurden 4 Blickwinkel bzw. Beobachtungspunkte berechnet und dargestellt:

Beobachtungspunkt 1:

Vom Gang zum Konferenzraum in die Halle, Stiege und Garderobe mit Glaswand dann links.

Beobachtungspunkt 2:

In den Gang zum Konferenzraum, rechts Raum Direktor, hinten Sitzbereich verglast.

Beobachtungspunkt 3:

Von Garderobe unterhalb Luftraum mit vollverglastem Oberlicht (!) in den entsprechenden Gangabschnitt zur Schulküche, links WC Anlagen.

Beobachtungspunkt 4:

Von Garderobe in die Halle beim Bereich Lift mit vollverglastem Oberlicht (!), Lifteinbau dzt. nicht berücksichtigt.



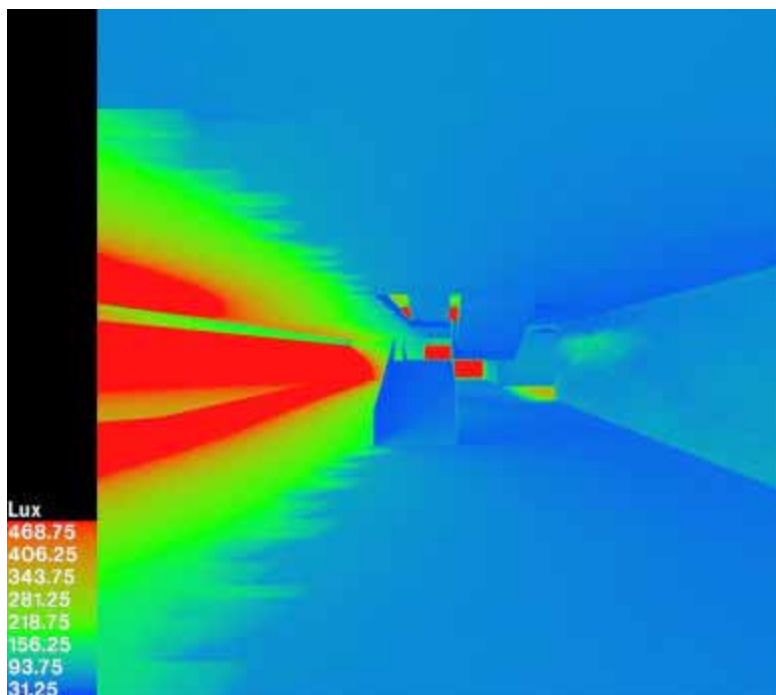
Es wurde die Darstellung in Beleuchtungsstärke [lx] gewählt, da diese gegenüber der für die Helligkeitsempfindung maßgeblichen Größe Leuchtdichte [cd/m²] die allgemein verständlichere Größe darstellt (aus der Normierung von Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz etc.). Die Berechnung der Darstellungen erfolgte bei diffusem Himmel mit 10000lx. Eine entsprechende Berechnung der Tageslichtkoeffizienten wird im Anhang tabellarisch wiedergegeben. Der Boden wurde eher hell mit 50% Reflexion, Decke und Wände mit üblichen Reflexionswerten 50% Wände und 70% Decke angenommen.

Anhaltswerte zum Vergleich (Situation, Beleuchtungsstärke):

- Vollmond: 1 lx
- Straßenbeleuchtung nachts: ca. 10 lx
- Gangflächen: 50 lx
- Arbeitsplatz/Nebenflächen bei geringen Ansprüchen an die Sehleistung: 100 lx
- Kunstlicht in Schulklassen bei normaler Schulnutzung: 300 lx (500 lx bei Veranstaltungsnutzung oder wenn Tageslichtkoeffizient auf Arbeitsflächen in Klassen < 2%)
- Arbeitsplatz bei hohen Ansprüchen an die Sehleistung: 1000 lx
- Operationsbeleuchtung: 10000 lx
- Von Sonne aus 60° Höhe mit klarem Himmel: 100000 lx

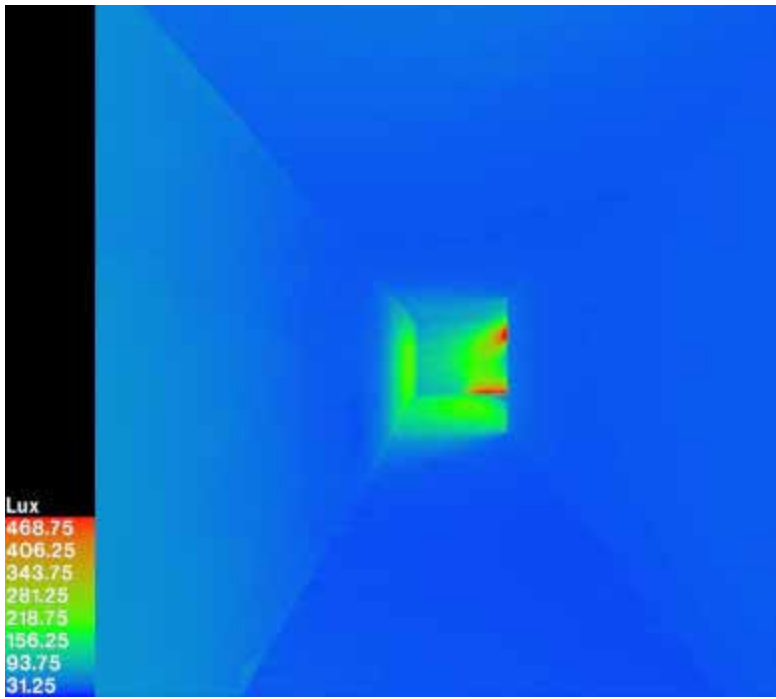
Für die Darstellungen wurde eine gleiche Skalierung zur besseren Vergleichbarkeit gewählt. Es erfolgte eine Begrenzung der Skalierung bei > 500 lx (rot), Anteile > 500 lx sind durchgehend in rot dargestellt.

In der jetzigen Implementierung wurden die Stiege und die Verglasung zur Garderobe berücksichtigt. Nicht einberechnet ist der eingebaute Lift sowie eine allfällige größere Verschattungswirkung durch die Garderobenmöbel bzw. die darin hängende Kleidung (dzt. 50% Transmission von Garderobe in die Halle durch Möbel, Glas und Sprossen gesamt zugrundegelegt).

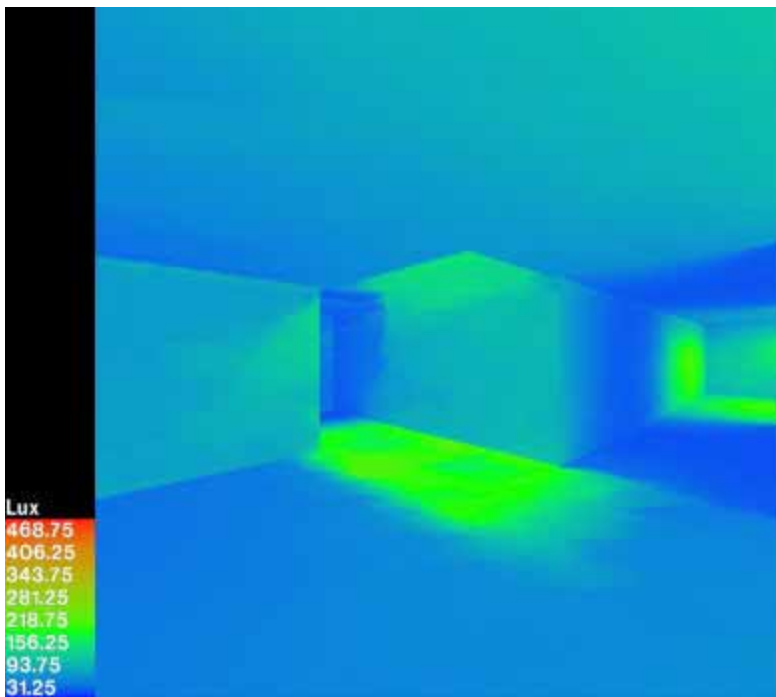


Halle EG, Beobachtungspunkt 1: Vom Gang zum Konferenzraum in die Halle, Stiege und Garderobe mit Glaswand links.



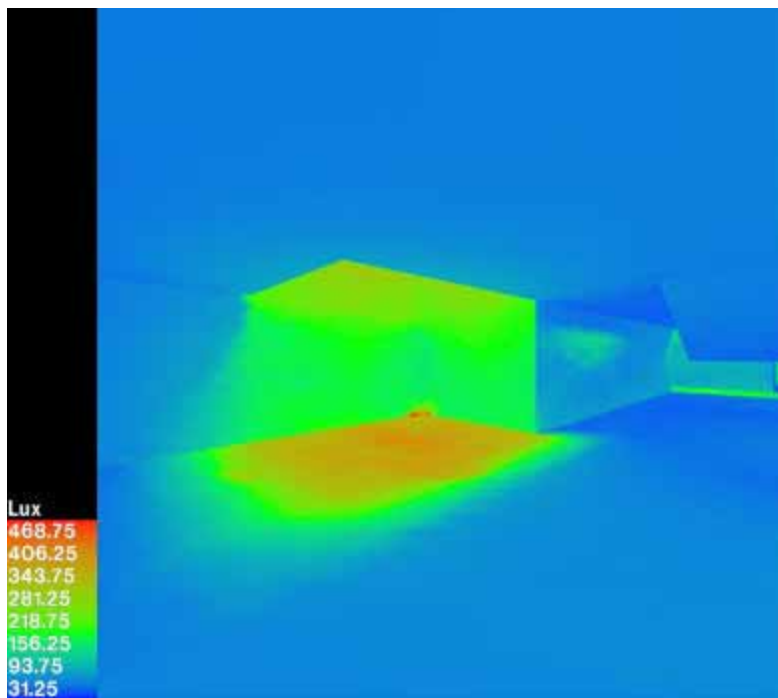


Halle EG, Beobachtungspunkt 2: In den Gang zum Konferenzraum, rechts Raum Direktor, hinten Lichteintrag durch Sitzbereich - Glasfassade (Anmerkung: der „dunklere“ Gang ist hier kein Problem, gute Inszenierung).



Halle EG, Beobachtungspunkt 3: Von Garderobe unterhalb Luftraum mit vollverglastem Oberlicht (!) in Gang zur Schulküche, links WC Anlagen, rechts Gang zum Konferenzzimmer.





Halle EG, Beobachtungspunkt 4: Von der Garderobe in die Halle beim Bereich Lift mit vollverglastem Oberlicht (!), rechts Stiegenlauf. Lifteinbau dzt. nicht berücksichtigt.

6.6.5 Tabellarische Darstellung Tageslichtkoeffizient Halle EG

Die folgende Abbildung zeigt eine tabellarische Darstellung der Tageslichtkoeffizientverteilung in der Eingangshalle, ermittelt über Adeline/Radiance.

Annahmen:

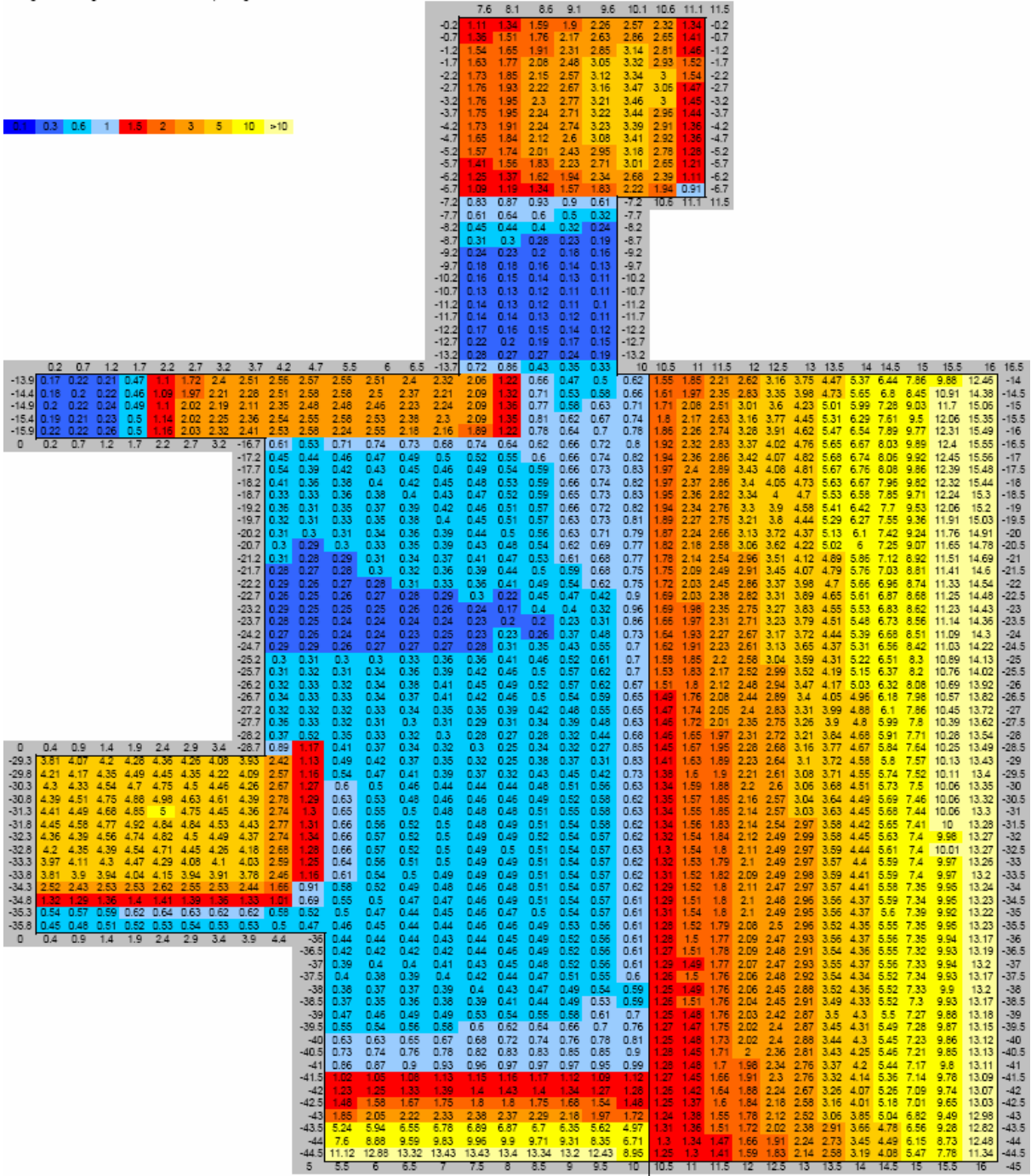
- Verglasungen generell 65% Transmission, 80% Glasanteil bzw. 20% Sprossenanteil.
- Heller Boden 50% Reflexion Boden bei Betrieb (inklusive Verschmutzung), ansonsten übliche Reflexionswerte Wände 50%, Decke 70%.
- Aufenthaltsbereich vor Gang/Erschließung zum Konferenzraum (in der Darstellung „oben“) dzt. mit Oberlicht und ohne Vordach einberechnet, ohne Lifteinbau (> mit Projektfortschritt genauer zu rechnen).



Passivhausschule Schwanenstadt

Berechnung Tageslichtkoeffizienten Halle/Garderobe EG

team gmi Vorarlberg - Hecht Licht- und Elektroplanung Rankweil, 27.8.2003



Bereich Halle/Gang | Bereich Garderoben

Abbildung: Adeline – Tageslichtsimulation Passivhausschule Schwanenstadt: Verteilung Tageslichtkoeffizienten TLQ in Halle EG, oben Bereich vor Konferenzzimmer, rechts Garderobe verglast. Oberlichten vollverglast über Luftraum und über Liftbereich angenommen. Skalierung hellere Blauwerte TLQ 0.3% – 1%, rot TLQ 1.5%, helles orange TLQ 3% bis 5%, Gelbtöne TLQ 5% bis > 10% (siehe auch Grafik oben links).



6.7 Instationäre thermische Gebäudesimulation mit TRNSYS

6.7.1 Thermische Zonierung, Nutzung, Wärmelasten/-gewinne

Grundlagen TRNSYS, thermische Zonen

Es wurde eine TRNSYS – Mehrzonensimulation zum Gebäudeteil Hauptschule 2 inklusive geplantem Zubau nordseitig mit 18 thermischen Zonen durchgeführt. Eine thermische Zone repräsentiert hierbei einen oder mehrere Räume, die aufgrund ihrer ähnlichen Nutzung und ihren ähnlichen thermischen Eigenschaften (Orientierung, Verglasung, Speichermassen etc.) zusammen modelliert werden. Je gewünschter physikalischer Zielgröße und Zeitschritt ergibt sich pro Zone und pro Zeitschritt (z.B. jede Stunde im Testreferenzklimajahr) ein Datensatz Raumtemperatur, Raumlufffeuchte, Heizlast, Oberflächentemperatur von Verglasungen etc.

| | Hauptschule, Räume | Stock | Vol- umen | Nutz- fläche | Pers Max. | Durch- schnitts- belegung | Luft- volumen max. | Luft- wechsel |
|----|------------------------------------|-------|----------------|-----------------|--------------|---------------------------------|--------------------------|------------------|
| | Einheiten | | m ³ | m ² | Pers | Pers. | m ³ /h | 1/h |
| 1 | Garderobe Ost | EG | 679,2 | 226,4 | 396 | 0 | 792 | 1,17 |
| 2 | Ausspeisung Süd | EG | 518,6 | 172,9 | 48 | 0 | 1.440 | 2,78 |
| 3 | Schulküche West | EG | 325,8 | 108,6 | 32 | 6,4 | 720 | 2,21 |
| 4 | Technik inkl. Serverraum | EG | 456,8 | 152,3 | 2 | 0 | 0 | 0,00 |
| 5 | Konferenz Nord | EG | 504,1 | 168,0 | 30 | 1,5 | 900 | 1,79 |
| 6 | 2 Klassen Süd | 1.OG | 343,6 | 114,5 | 64 | 48 | 900 | 2,62 |
| 7 | 3 Klassen, Zeichensaal, Textil Ost | 1.OG | 882,5 | 294,2 | 144 | 76,32 | 2.025 | 2,29 |
| 8 | 3 Klassen West | 1.OG | 485,8 | 161,9 | 96 | 72 | 1.350 | 2,78 |
| 9 | Werkräume Nord | 1.OG | 439,0 | 146,3 | 64 | 12,8 | 900 | 2,05 |
| 10 | 2 Klassen Süd/West | 2.OG | 357,4 | 119,1 | 64 | 48 | 900 | 2,52 |
| 11 | 2 EDV-Räume | 2.OG | 346,3 | 115,4 | 64 | 30 | 900 | 2,60 |
| 12 | Bibliothek | 2.OG | 174,5 | 58,2 | 10 | 2 | 40 | 0,23 |
| 13 | Musikzimmer West | 2.OG | 186,3 | 62,1 | 16 | 3,2 | 240 | 1,29 |
| 14 | Musikzimmer Physiklabor Ost | 2.OG | 324,4 | 108,1 | 32 | 6,4 | 480 | 1,48 |
| 15 | 3 Klassen Physiksaal Ost | 2.OG | 686,5 | 228,8 | 128 | 78,4 | 1.800 | 2,62 |
| 16 | Gang EG inkl. WC etc. | EG | 866,4 | 288,8 | 132 | 0 | 0 | 0,00 |
| 17 | Gang 1.OG inkl. WC etc. | 1.OG | 969,7 | 323,2 | 132 | 0 | 0 | 0,00 |
| 18 | Gang 2.OG inkl. WC etc. | 2.OG | 951,5 | 317,2 | 132 | 0 | 0 | 0,00 |
| | Gesamt | | 9.498,3 | 3.166,1 | | 391 | 13.387 | 1,41 |

Tabelle: TRNSYS – Simulation HS 2 inklusive geplantem Zubau nordseitig: implementierte thermische Zonen, Lüftungsauslegung und Personenbelegung.



6.7.2 Annahmen Wärmelasten/-gewinne durch Personen, EDV und Beleuchtung

- Personenwärmeabgabe durchschnittlich 75 W pro Person, Personenfeuchteabgabe durchschnittlich 40 g/h pro Person.
- Schulküche: 1000 W thermisch wirksam pro Kochstelle (entspricht 2/3 der insgesamt abgegebenen Wärme, im weiteren Planungsverlauf hinsichtlich Wärmelasten und Betriebszeiten im Detail zu überprüfen!).
- EDV-Ausstattung, 3 Varianten:
 - Variante 1 „Standard EDV“: Röhrenbildschirm 120 W, PC 60 W, PC durchgehend eingeschaltet, Bildschirm außerhalb der Betriebszeiten aus.
 - Variante 2 "energiesparende EDV“: Flatscreen ca. 50 W, PC 60 W, (softwaremäßige) Bildschirmabschaltung in Pausen, nachts vollkommene Abschaltung EDV.
 - Variante 3 „passivhaustaugliche EDV“: Laptopklasse mit 20 oder 30 Laptops. Je Laptop werden 30 bis 50 W abgegeben (berechnet: 30 W), nachts und in den Pausen sind sie abgeschaltet.
- Beleuchtung: max. 12 W/m² installierte Kunstlichtleistung mindestens 2 – stufig schaltbar und automatisch oder händisch gemäß Tageslichtverhältnissen geschaltet.

6.7.3 Annahmen Sonnenschutz, Fensterlüftung, Beleuchtung

Sonnenschutz, Fensterlüftung, Beleuchtung, Regelung HLE

6.7.3.1 Sonnenschutz

Für den Sonnenschutz ist eine nach Orientierung einstrahlungsgeregelte Automatik erforderlich, welche Raumweise durch den Nutzer über Taster mit Nachlaufzeit übersteuert werden kann (Verdunkelung, Wunsch nach offenem Sonnenschutz o.ä.). Automatisch wird der Sonnenschutz ab 300 W/m² Globalstrahlung geschlossen, unter 200 W/m² wieder geöffnet.

Geprüft wird im weiteren Projektverlauf, inwieweit eine raumtemperaturgeregelte Schließung zu 50% im Kühlfall (Raumtemperaturen über 24°C) stattfinden soll. Generell ist mindestens 2 – stufige automatische Schließmöglichkeit des Sonnenschutzes z.B. über Laufzeitmessung Sonnenschutzmotoren herzustellen (50% mit Aussichtsmöglichkeit geschlossen, 100% geschlossen).

Für den Sonnenschutz wurde ein außenliegender Screen mit einem g - Wert von 12% oder eine vergleichbare Jalousie angenommen.

6.7.3.2 Fensterlüftungsregelung

Automatisch öffnende 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. Bei tieferen Außentemperaturen in Heizperiode und Übergangszeit kann dieser Fensterflügel nicht geöffnet werden (Ausnahme: EDV-Räume, Schulküche, Serverraum).



Diese Lüftung außerhalb der Betriebszeiten kann für den angenommenen Grundluftwechsel nachts von 2/h auch von den Lüftungsgeräten übernommen werden. Damit kann jedoch das entsprechende Potential hinsichtlich lüfterstromsparender natürlicher Lüftung und höherer Kühlwirkung durch Fensterlüftung mit Luftwechsel 3/h bis 4/h nicht genutzt werden.

6.7.3.3 Heizungsregelung

Raumluft Solltemperaturen liegen in allen Zonen bei 20°C. Außerhalb der Betriebszeiten wird auf maximal 18°C Raumluft Solltemperatur abgesenkt. Für die Wiederbeheizung nach sehr kalten Wochenenden ist die hohe Speicherkapazität des Gebäudes zu berücksichtigen (Dynamische Heizlast wurde mit 8 Stunden Vorlauf Heizungsstart berechnet). In der warmen Saison (Annahme Anfang April bis Anfang Oktober) wurde kein Heizbetrieb einberechnet.

6.7.3.4 Regelung Klassenlüftung

Die Klassenlüftung wird in der Betriebszeit (7.30-16.00) mit dem eingestellten Nennluftwechsel zugrundegelegt. Ab Außentemperaturen von 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. Es fand keine simulationstechnische Differenzierung der unterschiedlichen Lüftungskonzepte statt.

6.7.3.5 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/m², so wird die gangseitige Beleuchtung aktiviert, unter 75 W/m² wird auch im fensternahen Bereich das Kunstlicht eingeschaltet. Gemäß Tageslichtsimulation sind bei 150 W/m² Globalstrahlung auf die Horizontale ca. 300 lx auf einer Arbeitsfläche im hinteren Raumbereich zu erreichen. Die installierte maximale Lichtleistung wurde mit 12 W/m² angenommen.



6.7.4 Heiz-/Kühllasten und Heiz-/Kühlenergiebedarf

Für die hinsichtlich angenehmem Sommerverhalten und niedrigem Primärenergieverbrauch „optimale“ EDV – Variante mit Laptop-Computern in den EDV-Räumen ergeben sich die folgenden Heizlasten bzw. folgender Heizwärmebedarf:

| Ausgewählte Raumzonen | Gard- erobe Ost | 2 Klassen Süd | 3 Klassen West 1.OG | 3 Klassen + Physik saal Ost | 2 EDV- Räume | Gang 2.OG inkl. WC etc. | Gesamt Gebäude alt |
|---|-----------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| Nutzfläche [m²] | 226.4 | 114.5 | 161.9 | 228.8 | 115.4 | 317.2 | 3166.1 |
| Zuluftmenge [m³/h] | 792 | 900 | 1350 | 1800 | 900 | 0 | 9498.3 |
| Heizlast stat. [kW] | 4.8 | 2.8 | 3.6 | 6.1 | 2.9 | 5.1 | 58.0 |
| Heizlast stat. [W/m ²] | 21.1 | 24.5 | 22.4 | 26.6 | 25.1 | 16.1 | 18.3 |
| Heizlast dyn. [kW] | 6.2 | 2.3 | 1.1 | 5.5 | 1.5 | 9.1 | 54.5 |
| Heizlast dyn. [W/m ²] | 27.2 | 20.3 | 7.0 | 24.1 | 12.7 | 28.6 | 17.2 |
| Heizwärmebedarf [kWh/a] | 2808.2 | 171.6 | 25.3 | 842.3 | 60.4 | 2250.2 | 16973.5 |
| Heizwärmebedarf [kWh/m²a] | 12.4 | 1.5 | 0.2 | 3.7 | 0.5 | 7.1 | 5.4 |

Tabelle: HS2, Kenndaten Heizung/Lüftung. Annahmen: EDV – Variante 3 (Laptopklassen in EDV Räumen), Solltemperatur Heizung bei Unterricht 20°C, Absenkung bis auf 18°C außerhalb der Unterrichtszeiten.

Es zeigt sich:

- Der simulierte Heizwärmebedarf liegt deutlich unter dem Passivhausgrenzwert von 15 kWh/m²a. 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).

6.7.5 Thermischer Komfort Sommer und Winter

Gebäude mit hohen inneren Lasten wie Schulen können in der warmen Jahreszeit relativ leicht zur Überhitzung neigen.



6.7.5.1 Simulation für Standardklassen und Standard Computerausstattung

In der Ausgangsvariante 1 wurde von einer Standard – EDV - Ausstattung und Computernutzung ausgegangen, der nächtliche Luftwechsel zur Nachtkühlung wurde mit 2/h angenommen, was auch durch die Lüftungsgeräte herstellbar ist. Die Jahresverteilung der Raumlufttemperaturen ist für ausgewählte Raumgruppen in der folgenden Tabelle angegeben:

| Jahresverteilung Temperaturen | | | | Ausgewählte Raumgruppen | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|--------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|------------------|------------------|
| | Außenluft-temp. | Zuluft-temp. | Mittlere Raum-temp. | Schulküche West | 3 Klassen + Physiksaal Ost | 3 Klassen West 1.OG | 2 EDV-Räume | Musikzimmer West | EDV-Räume Neubau |
| Min.: | -16.4 | 15.8 | 19.1 | 19.0 | 18.0 | 19.6 | 21.1 | 18.0 | 20.3 |
| Max.: | 32.1 | 32.0 | 29.1 | 47.5 | 27.7 | 30.0 | 35.8 | 31.9 | 37.6 |
| T [°C] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] |
| 15 | 389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 387 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 357 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 258 | 160 | 0 | 0 | 162 | 0 | 0 | 1108 | 0 |
| 19 | 220 | 289 | 168 | 5 | 805 | 0 | 0 | 925 | 0 |
| 20 | 171 | 459 | 1329 | 26 | 1368 | 23 | 0 | 1674 | 7 |
| 21 | 139 | 520 | 1773 | 335 | 1143 | 410 | 40 | 993 | 236 |
| 22 | 135 | 593 | 3175 | 1272 | 2083 | 2113 | 532 | 2057 | 754 |
| 23 | 96 | 440 | 1120 | 1539 | 2060 | 2478 | 1105 | 1049 | 795 |
| 24 | 76 | 231 | 691 | 1564 | 847 | 2453 | 1045 | 336 | 1163 |
| 25 | 80 | 74 | 353 | 1457 | 240 | 888 | 726 | 229 | 1702 |
| 26 | 36 | 33 | 116 | 700 | 41 | 306 | 2052 | 176 | 1749 |
| 27 | 21 | 21 | 21 | 344 | 10 | 66 | 1046 | 91 | 661 |
| 28 | 12 | 7 | 13 | 244 | 1 | 15 | 842 | 59 | 563 |
| 29 | 6 | 3 | 1 | 189 | 0 | 6 | 528 | 27 | 444 |
| 30 | 6 | 0 | 0 | 1085 | 0 | 2 | 844 | 36 | 686 |

Tabelle: Raumtemperaturverteilung Variante 1 „Standard EDV“.

Die Ergebnisse Variante 1 „Standard EDV“ 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



6.7.5.2 Simulation für EDV-Räume mit stromsparender Computerausstattung

Zur Verbesserung der sommerlichen Situation in den EDV-Räumen wurde das EDV-Equipment durch energiesparende Geräte und Nutzung ersetzt. Die verschiedenen untersuchten Varianten sind in Abschnitt 6.7.2 beschrieben.

| Jahresverteilung Temperaturen | | Varianten EDV-Ausstattung / Nutzung | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Computerstandard, Nutzung | | Standard | | Stromsparend | | Passivhaustauglich | |
| | Außenlufttemperatur | EDV-Räume Altbau | EDV-Räume Neubau | EDV-Räume Altbau | EDV-Räume Neubau | EDV-Räume Altbau | EDV-Räume Neubau |
| <i>Min.:</i> | -16.4 | 21.1 | 20.3 | 19.6 | 16.1 | 19.1 | 16.0 |
| <i>Max.:</i> | 32.1 | 35.8 | 37.6 | 32.1 | 33.4 | 29.1 | 30.5 |
| T [°C] | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> | <i>Std.[h]</i> |
| 15 | 389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 387 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 87 |
| 17 | 357 | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 188 |
| 18 | 258 | 0 | 0 | 0 | 221 | 0 | 325 |
| 19 | 220 | 0 | 0 | 0 | 378 | 26 | 482 |
| 20 | 171 | 0 | 7 | 23 | 532 | 508 | 694 |
| 21 | 139 | 40 | 236 | 756 | 1139 | 1144 | 1263 |
| 22 | 135 | 532 | 753 | 2159 | 1948 | 2343 | 2320 |
| 23 | 96 | 1104 | 795 | 1881 | 1503 | 2180 | 1545 |
| 24 | 76 | 1045 | 1163 | 1513 | 987 | 1634 | 882 |
| 25 | 80 | 726 | 1702 | 1086 | 721 | 643 | 606 |
| 26 | 36 | 2052 | 1749 | 689 | 567 | 234 | 252 |
| 27 | 21 | 1046 | 661 | 407 | 373 | 33 | 76 |
| 28 | 12 | 842 | 563 | 164 | 175 | 8 | 26 |
| 29 | 6 | 528 | 444 | 54 | 72 | 6 | 8 |
| 30 | 6 | 844 | 686 | 27 | 60 | 0 | 5 |
| Nutzfl. [m²] | 5696 | | | | | | |
| STROM EDV/GERÄTE | | | | | | | |
| Standby | | 5119 h/a | | 0 h/a | | 0 h/a | |
| Vollbetrieb 100%: | | 2153 h/a | | 2153 h/a | | 2153 h/a | |
| Strombedarf EDV: | | 49667 kWh/a | | 16839 kWh/a | | 6504 kWh/a | |
| E-Kennzahl EDV: | | 8,7 kWh/m²a | | 3,0 kWh/m²a | | 1,1 kWh/m²a | |

Tabelle: Variantengegenüberstellung Raumtemperaturen und EDV - Stromverbrauch für verschiedene Varianten EDV – Ausrüstung mit Schwerpunkt Untersuchung Sommertauglichkeit (Anmerkung: Standby gilt nicht für Server).

Es ergibt sich wie folgt:

- Die Anzahl an Stunden über 26°C sinkt beträchtlich, mit passivhaustauglichen Arbeitshilfen können fast über das gesamte Sommerhalbjahr von angenehmen Raumlufftemperaturen erreicht werden
- Der Strombedarf sinkt bei Verwendung stromsparender EDV – Ausrüstung deutlich um bis zu ca. 85%, die EDV steuert in diesem Fall nur mehr geringfügig zum Primärenergiebedarf bei.



6.7.5.3 Weitere Verbesserung durch nächtlichen Luftwechsel

Eine weitere Verbesserung des Sommerverhaltens kann durch die Erhöhung des nächtlichen Luftwechsels erzielt werden. Insbesondere wird in Verbindung mit der thermischen und tageslichttechnischen Sanierung der Hallen- und Erschließungsbereiche eine natürliche Querlüftung dieser inneren Gebäudeteile durch automatisch geregelte Fenster empfohlen.

6.7.6 Raumlufthqualität

Für eine gute Raumlufthqualität ist eine möglichst schadstofffreie, frische Innenraumlufth und eine ausreichend hohe Raumlufthfeuchte erforderlich. In der kalten Jahreszeit führen allerdings hygienische Luftwechselraten zu unzulässig niedrigen Raumlufthfeuchten. Umgekehrt erhöhen abgesenkte Luftwechselraten die Schadstoffkonzentrationen im Gebäude.

| Klasse 6 | Relative Luftfeuchte | | | | Klasse 6 | CO ₂ -Konzentration | | |
|--------------|----------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------------|
| | Außen | Zuluft | hygienisch | Feuchte-reguliert | | Außen | hygienisch | Feuchte-reguliert |
| Min. | 32,5 | 7,3 | 7,9 | 14,4 | Min. | 330,0 | 330,0 | 407,3 |
| Max. | 100,0 | 88,2 | 68,3 | 68,1 | Max. | 330,0 | 1012,6 | 1012,6 |
| rF[%] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] | ppm | Std.[h] | Std.[h] | Std.[h] |
| < 15 | 0 | 501 | 52 | 0 | < 700 | 8760 | 1044 | 264 |
| 20 | 0 | 1896 | 397 | 17 | 800 | 0 | 854 | 1080 |
| 25 | 0 | 1081 | 414 | 315 | 1000 | 0 | 451 | 350 |
| 30 | 0 | 870 | 267 | 585 | 1200 | 0 | 0 | 150 |
| 35 | 65 | 775 | 261 | 421 | 1400 | 0 | 0 | 267 |
| 40 | 143 | 811 | 288 | 283 | 1600 | 0 | 0 | 50 |
| 45 | 255 | 925 | 330 | 393 | 1800 | 0 | 0 | 32 |
| 50 | 383 | 833 | 207 | 209 | 2000 | 0 | 0 | 42 |
| 55 | 442 | 525 | 100 | 90 | >2100 | 0 | 0 | 114 |
| 60 | 521 | 234 | 17 | 22 | Summe | Akzeptabel | 2349 | 1844 |
| 65 | 602 | 132 | 14 | 13 | | Problematisch | 0 | 505 |
| 70 | 877 | 88 | 2 | 1 | | | | |
| 75 | 1148 | 49 | 0 | 0 | | | | |
| 80 | 1397 | 20 | 0 | 0 | | | | |
| 85 | 1439 | 18 | 0 | 0 | | | | |
| 90 | 980 | 2 | 0 | 0 | | | | |
| > 95 | 508 | 0 | 0 | 0 | | | Tolerabel | |
| Summe | | Akzeptabel | 1484 | 2016 | | | Hoher Komfort | |
| | | Problematisch | 863 | 332 | | | problematisch | |

Tabelle: Jahresverteilung relative Luftfeuchte ohne Berücksichtigung einer allfälligen Feuchterückgewinnung der Lüftung und ohne feuchtegeführte Lüftungsregelung.

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

- Standard: Der Luftwechsel entspricht einer durchschnittlichen Klassenbelegung (450m³/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 $\frac{1}{4}$ 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 CO₂ - Konzentration kann nur durch Mediziner erfolgen, detailliertere Angaben sind dem Autor nicht bekannt.
- Eine möglichst dichte Gebäudehülle kommt jedenfalls einer Bewahrung der Feuchte im Raum zugute.

6.7.6.1 Dynamischen Verlauf der Kenngrößen in einer sehr kalten Winterperiode

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

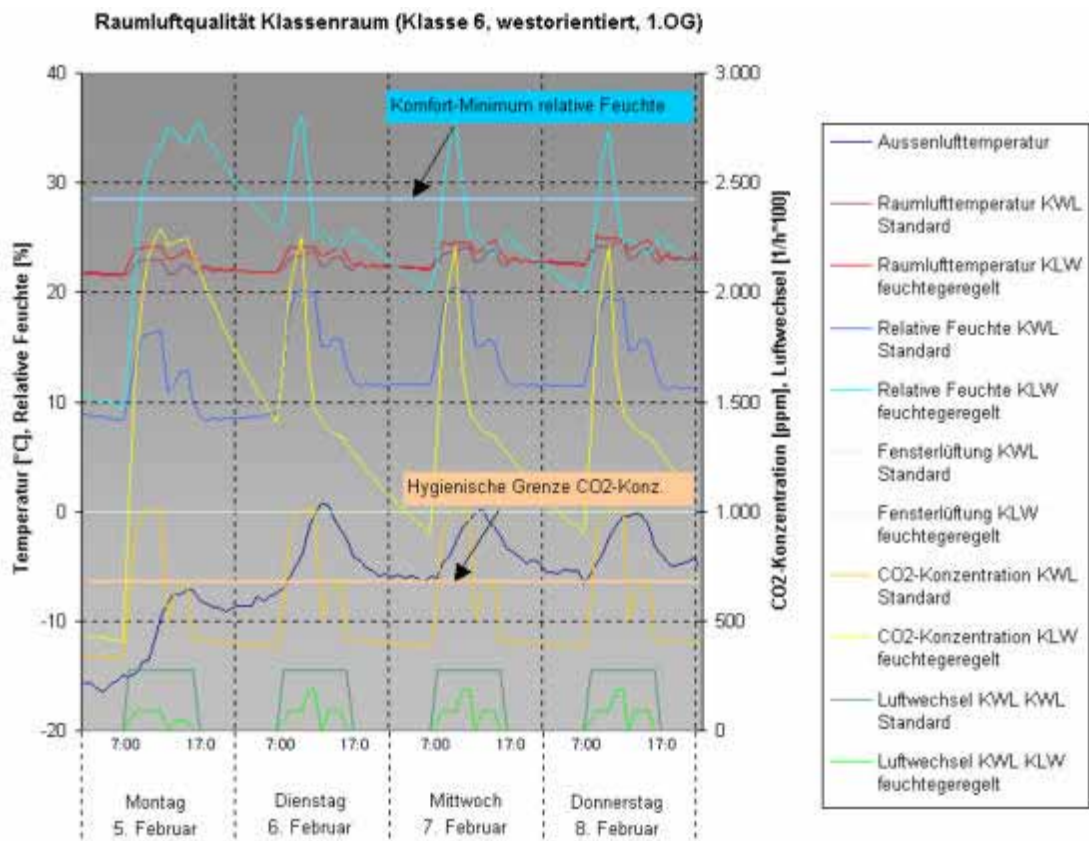


Abbildung: TRNSYS – Simulation kalte Winterwoche, dynamischer Verlauf der Kennwerte zu Außenklima und Raumklima Temperaturen, Luftfeuchten und CO₂ – Konzentrationen.



7 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

7.1 Kostenaufstellung

7.1.1 Gegenüberstellung der Sanierungsvarianten

| Gegenüberstellung der Kosten der Sanierungsvarianten des Bauvorhabens HS 2 und PTS - Schwanenstadt | | | |
|---|----------------------|---|--|
| Baukosten (1 - 6) bzw. Errichtungskosten (1 - 9) gem. ÖNORM B 1801-1 In Euro | | | |
| Schule | Kostenbereich | Ursprüngliches Sanierungskonzept gem. Mindeststandards | Haus der Zukunft Nachhaltige Schulsanierung |
| Musikhauptschule | 1-9 | 3.375.000,00 | 4.151.855,00 |
| | 1-6 | 3.014.000,00 | 3.681.912,50 |
| PTS | 1-9 | 1.933.000,00 | 2.367.500,00 |
| | 1-6 | 1.713.000,00 | 2.073.137,50 |
| Gesamt netto: | 1-9 | 5.308.000,00 | 6.519.355,85 |
| | 1-6 | 4.727.000,00 | 5.755.050,00 |
| 20% Mwst | 1-9 | 1.061.600,00 | 1.303.871,17 |
| | 1-6 | 945.400,00 | 1.151.010,00 |
| Bruttokosten verglichen | 1-9 | 6.369.600,00 | |
| | +4% | 6.467.882,00 | 7.823.230,50 |
| Differenz | | | 1.350.000,00 |

Basis dieses Projektes ist die ursprüngliche Einreichplanung für die Sanierung und den Zubau der Hauptschule und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt, welche ursprünglich in konventioneller Form geplant war, und nur den Bestimmungen der Bauordnung unter dem Aspekt minimaler Sanierungskosten gestanden ist.

Darauf aufbauend bzw. als Vergleichsbasis berücksichtigt dieses Projekt alle Aspekte eines nachhaltigen und ökologischen Gesamtsanierungskonzeptes unter der Einbindung zukunftsweisender Sanierungsmethoden zur maximalen Energieeinsparung bei gleichzeitiger erheblichen Steigerung der Nutzungsqualität. Dazu ist es auch notwendig, den ursprünglich geplanten Zubau völlig neu nach energetischen und funktionalen Gesichtspunkten zu überarbeiten, um sich harmonisch in das Gesamtkonzept einzufügen.

Ein Projekt mit weltweiter Pionierleistung nachhaltiger Altbausanierung und somit Aushängeschild vorbildlicher österreichischer Baukultur der öffentlichen Hand darf nicht nur dem Anspruch nachhaltigen und energiesparenden Bauens entsprechen. Vielmehr verpflichtet es auch in funktionaler, architektonischer und bautechnischer Hinsicht dem neuesten Stand der Technik zu entsprechen. Erst dadurch wird dieses Vorreiter und Vordenkerprojekt auch zum Architektur Tourismusmagneten und zum gern präsentierten Vorzeigeprojekt.



7.1.2 Aufschlüsselung der Mehrkosten

| Mehrkostenaufschlüsselung | Einzelmaßnahmen | Einzelkosten | Zwischensummen |
|---|--|--------------|---|
| Passivhaustechnologie | Wärmedämmung | 125.000.- | Ca. 8,1% zu Referenzkosten 525.000.- |
| | Passivhausfenster | 150.000.- | |
| | Haustechnik mit kontrollierter Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung | 250.000.- | |
| | | | |
| Tages- und Kunstlichtmanagement | Inkl. Solar- und Tageslicht optimierter Sonnenschutz | 125.000.- | Ca. 1,9% 125.000.- |
| Ökologische Maßnahmen | Holzbautechnologie für Fassade aus nachwachsenden Rohstoffen anstatt Polystyrolfassade | 175.000.- | Ca. 2,7% zu Referenzkosten 175.000.- |
| Zusätzliche bautechnische Sanierungen | Neue konstruktive Dacheindeckung über gesamten Bestand zur Vermeidung regelmäßiger Sturmschadensanierungen | 175.000.- | 275.000.- |
| | Zusätzliche Böden und Nebenräume, spez. Im Turnsaalbereich | 100.000.- | |
| Zusätzliche bauliche Maßnahmen für Nutzungsfunktionen | Mehrzweckraum Musikhauptschule | 145.000.- | 250.000.- |
| | 2. Fluchtstiegenhaus + Brandabschnitt | 105.000.- | |
| Gesamtsumme Mehrkosten | | | 1,350.000.- |

Ökologische Maßnahmen:

Die Entwicklung neuer Holzbautechnologien für die thermische Fassadensanierung fördert nicht nur die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, sondern sichert auch:

- Holz hat kurze Transportwege
- Beitrag zum Klimaschutz
- Lokale Wertschöpfung und schafft regionale Arbeitsplätze

Zusätzliche bautechnische Sanierungen:

Mit den geplanten zusätzlichen bautechnischen Sanierungen werden zukünftig zwangsläufige Sanierungsmaßnahmen und laufende Sturmschadenbehebungen, welche in Summe wesentlich teurer kommen würden, vermieden – und gleichzeitig auch einer laufenden Lärm- und Staubbelastung durch zukünftig fortwährenden Sanierungsarbeiten vorgebeugt. Bereits die bisherigen laufenden Sanierungskosten des bestehenden Daches mit einem schlecht montierten und ausgeführten Gleitbügeldach aus verzinkt beschichtetem Blech haben bereits beträchtliche Kosten verursacht.



7.1.3 Umsetzung des Demonstrationsprojektes

Seitens des BMVIT wird dieses Forschungsprojekt in weiterer Folge als Demonstrationsprojekt unterstützt, und stellt im Rahmen des Impulsprogramms „Nachhaltig Wirtschaften“ im Bereich Altbausanierung eines der Leitprojekte der Programmlinie „Haus der Zukunft“ dar.

Vom Land Oberösterreich wurde am 03.05.2004 dieses Sanierungsprojekt im Klimaschutzaktionsprogramm 2004 in das „Gebäudevorbildprogramm“ aufgenommen, und wird als „Best Practice Beispiel“ für thermische Altbausanierungen vom Land Oberösterreich finanziell zusätzlich unterstützt. Damit sollen im Bereich der thermischen Sanierung von öffentlichen Gebäuden Pilotprojekte richtungsweisend umgesetzt werden, um die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand zu signalisieren.

Die Gemeinde Schwanenstadt hat sich im Gemeinderat einstimmig für die Umsetzung der Variante als „Erste Schulsanierung auf Passivhausstandard“ ausgesprochen. Mit dem Beitritt als 500. Klimabündnisgemeinde am 25.06.2004 wird mit dieser vorbildhaften Sanierung gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz gesetzt.

Auf europäischer Ebene wurde dieses Projekt beim EU-LIFE Programm eingereicht, und befindet sich zum Zeitpunkt des Endberichtes in der Vorentscheidungsphase.

7.2 Ergebnisse der Energieplanung und Gebäudeklimakonzept

Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Berechnungen zu Energieplanung und Gebäudeklimakonzept lassen sich wie folgt zusammenfassen:

7.2.1 Schlussfolgerungen Lüftungskonzept

Die Installation jeweils einer zentralen Lüftungsanlage für die Hauptschule 2 und für die polytechnische Schule scheidet aufgrund der schwierigen baulichen Integration im Bestand aus. Die Variantenentscheidung zwischen einer semizentralen Lüftung mit einem Lüftungsgerät pro Geschoss und einer dezentralen Lüftung mit einem Lüftungsgerät pro Klasse ist vor allem aufgrund der baulich notwendigen Maßnahmen zu treffen: mit einem Lüftungsgerät pro Geschoss sind geschossweise Technikräume zu schaffen und eine horizontale Zuluftverteilung in den Gängen des Bestands zu installieren. Für ein Lüftungsgerät pro Klasse ist dagegen pro Klasse ein Fassadendetail für die Außenluftansaugung und die Fortluftausblasung direkt aus der Klasse über die Fassade zu realisieren.

Hinsichtlich Herstellkosten Haustechnik sind beide Varianten im vorliegenden Projekt in etwa gleich zu bewerten, Kostenvorteile der semizentralen Lüftung durch eine viel geringere Lüftungsgeräteanzahl werden durch Mehrkosten bei Luftkanalnetz und bei der Regelung in etwa kompensiert. Die wesentlichen Vorteile der dezentralen Lüftung liegen in einer einfachen Lüftungsregelung und einer einfacheren modulweisen Realisierung im Bestand, die semizentrale Lüftung hat Vorteile hinsichtlich geringerem Wartungsbedarf, höheren Raumluftfeuchten und der Möglichkeit der Zuluftnachbehandlung (z.B. Zuluftnachheizung Winter, Außenluftkühlung Sommer über wassergeführten Erdwärmetauscher).



7.2.2 Berechnungsergebnisse Heizenergiekennzahl nach PHPP

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 W/m^2 bis 12.5 W/m^2 geringfügig über dem Passivhauszielwert von 10 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.

7.2.3 Wärmebrückenanalyse

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. Die Überdämmung dieser Wärmebrücken ist ohne großen Unterschieden sowohl mit 2 cm Vakuumdämmplatten oder 5 cm konventionelle Überdämmung maximal WLG040 ausführbar.

7.2.4 Tageslichtberechnungen

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.

7.2.5 TRNSYS Simulationen mit Schwerpunkt Sommertauglichkeit

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.

7.2.6 Raumlufqualität

Im Hochwinter ist eine optimale Raumlufqualität ohne Feuchterückgewinnung/bzw. Befeuchtung nicht möglich: hygienische Luftwechsel führen zu sehr niedrigen relativen Feuchten, durch Reduktion des Zuluftstroms erhöhte relative Feuchten führen zu ungenügender Raumlufgüte. Die Möglichkeit einer Feuchterückgewinnung wird derzeit von Herstellern dezentraler Geräte noch nicht kostengünstig angeboten. Die Tauglichkeit von Lüftungsgeräten für differenzierte Regelstrategien (z.B. Luftwechsel außentemperaturgesteuert) ist jedenfalls zu prüfen. Die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sollte deutlich unter $n_{50}=0.3/h$ liegen, um die Austrocknung über Nacht zu verringern. In den Klassenräumen wären zumindest für das Winterhalbjahr möglichst diffusionsdichte Innenoberflächen günstig, da es im Falle von Schulklassen nicht um eine Dämpfung von Feuchtespitzen geht, sondern darum, die von den Schülern abgegebene Feuchte sofort und möglichst vollständig zu nutzen.



8 Anhang

8.1 Auszüge der Berechnungen nach PHPP

Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

| | | | | |
|-----------|---|---------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Klima: | Schwanestadt_00 | Innentemperatur: | 20,0 | °C |
| Objekt: | Schulgebäude Schwanestadt (mit Turnhalle) | Gebäudetyp/Nutzung: | Schulgebäude | |
| Standort: | Schwanestadt | Energiebezugsfläche A _{EB} : | 5696,2 | m ² |
| Variante: | Ausgangsvariante (Vakuumdämmung) | Standard-Personenbelegung: | 0 | Pers pro m ² |

| Bauteile | Temperaturzone | Fläche m ² | U-Wert W/(m ² K) | Reduktionsfaktor f _t | G _t kWh/a | kWh/a | Energie-bezugsfläche | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|-------|----------------------|------|
| 1. Außenwand Altbau | A | 1373,6 | 0,120 | 1,00 | 92,5 | 15254 | | |
| 2. Außenwand neu | A | 962,3 | 0,114 | 1,00 | 92,5 | 10152 | | |
| 3. Dach Altbau | A | 1731,4 | 0,097 | 1,00 | 92,5 | 15542 | | |
| 4. Dach Neubau | A | 1053,1 | 0,119 | 1,00 | 92,5 | 11598 | | |
| 5. Bodenplatte Neubau | X | 841,0 | 0,174 | 0,85 | 92,5 | 11509 | | |
| 6. Decke gegen Außenluft Altbau | A | 42,1 | 0,143 | 1,00 | 92,5 | 557 | | |
| 7. Decke gegen Außenluft Neubau | A | 84,5 | 0,129 | 1,00 | 92,5 | 1009 | | |
| 7. Terrasse | A | 170,0 | 0,097 | 1,00 | 92,5 | 1526 | | |
| 7. Bodenplatte Altbau | X | 1900,6 | 0,206 | 0,85 | 92,5 | 30792 | | |
| 8. Fenster | A | 1232,9 | 0,800 | 1,00 | 92,5 | 91279 | | |
| 9. Wbrücken außen (Länge/m) | A | | | 1,00 | | | | |
| 10. Wbrücken Boden (Länge/m) | B | | | 0,37 | | | | |
| Summe aller Hüllflächen | | 9391,5 | | | | | | |
| | | | | | | Summe | 189218 | 33,2 |

Transmissionswärmeverluste Q_T

| | | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------|---|------------------------|
| Lüftungsanlage: | wirksames Luftvolumen V _L | A _{EB} m ² | lichte Raumhöhe m | m ³ |
| effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung ? eff | 8,5% | 5696,2 | 3,00 | 17088,5 |
| Wärmebereitstellungsgrad des Erdschichtwärmetauschers ? EWT | | | | |
| | n _{L,Anlage} 1/h | ? WRG | n _{L,Rest} 1/h | 1/h |
| energetisch wirksamer Luftwechsel n _L | 0,300 | (1 - 0,85) | 0,042 | 0,087 |
| | V _L m ³ | n _L 1/h | C _{Luft} Wh/(m ² K) | G _t kWh/a |
| | 17088 | 0,087 | 0,33 | 45403 |
| | | | | kWh/a |
| | | | | kWh/(m ² a) |
| | | | | 8,0 |

Lüftungswärmeverluste Q_L

| | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|---|--------|------------------------|
| Summe Wärmeverluste Q _V | Q _T kWh/a | Q _L kWh/a | Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | (189218 + 45403) | | 1,0 | 234621 | 41,2 |

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

| Ausrichtung der Fläche | Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster | g-Wert (senkr. Einstr.) | Fläche m ² | Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a) | kWh/a | kWh/(m ² a) |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|-------|------------------------|
| 1. Ost | 0,44 | 0,50 | 349,12 | 279 | 21376 | |
| 2. Süd | 0,43 | 0,50 | 221,56 | 461 | 21796 | |
| 3. West | 0,43 | 0,50 | 302,73 | 279 | 18025 | |
| 4. Nord | 0,43 | 0,50 | 303,71 | 177 | 11575 | |
| 5. Horizontal | 0,45 | 0,50 | 55,80 | 462 | 5753 | |
| Summe | | | | | 78524 | 13,8 |

Interne Wärmequellen Q_I

| | | | | |
|-------|---|--------------------------------|-------|------------------------|
| kh/d | Länge Heizzeit spezif. Leistung q _I d/a W/m ² | A _{EB} m ² | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| 0,024 | 228 | 2,8 | 87274 | 15,3 |

Freie Wärme Q_F

| | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------|------------------------|
| Freie Wärme Q _F | Q _S + Q _I | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | | 165798 | 29,1 |

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten | Q _F / Q _V | |
| | 0,71 | |

Nutzungsgrad Wärmegewinne ?_G

| | | |
|--|---|--|
| Nutzungsgrad Wärmegewinne ? _G | (1 - (Q _F /Q _V) ⁵) / (1 - (Q _F /Q _V) ⁶) | |
| | 94% | |

Wärmegewinne Q_G

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|--------|------------------------|
| Wärmegewinne Q _G | ? _G * Q _F | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | | 156009 | 27,4 |

Heizwärmebedarf Q_H

| | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------|------------------------|
| Heizwärmebedarf Q _H | Q _V - Q _G | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | | 78613 | 13,8 |

Grenzwert kWh/(m²a) **15** **Anforderung erfüllt?** **ja** (ja/nein)



Passivhaus-Projektierung

HEIZWÄRMELAST

Objekt: Schulgebäude Schwanenstadt (mit Turnhalle) Gebäudetyp/Nutzung: Schulgebäude Innentemperatur: 20
 Standort: Schwanenstadt Energiebezugsfläche A_{EB}: 5696 m²
 Wetterregion (01 - 12): 8 Donau Becken und Alpenvorland bis ca. 600 m Höhe, z.B. Augsburg Klima: Donau Becken und Alpenvorland bis ca. 600 m

| Bauteile | Temperaturzone | m ² | U-Wert W/(m ² K) | Faktor immer 1 (außer "X") | TempDiff 1 K | TempDiff 2 K | zugehörige Klimaregion bitte selbst auswählen | |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|---|--------------------------|
| | | | | | | | P _{T 1} Watt | P _{T 2} Watt |
| 1. Außenwand Altbau | A | 1373,6 | 0,120 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 4780 | 3791 |
| 2. Außenwand neu | A | 962,3 | 0,114 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 3181 | 2523 |
| 3. Dach Altbau | A | 1731,4 | 0,097 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 4870 | 3863 |
| 4. Dach Neubau | A | 1053,1 | 0,119 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 3634 | 2882 |
| 5. Bodenplatte Neubau | X | 841,0 | 0,174 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 4244 | 3366 |
| 6. Decke gegen Außenluft A | A | 42,1 | 0,143 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 175 | 139 |
| 7. Bodenplatte Altbau | X | 1900,6 | 0,206 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 11354 | 9005 |
| 8. Fenster | A | 1232,9 | 0,800 | 1,0 | 29,0 | 23,0 | 28604 | 22686 |
| 9. Wbrücken außen (Länge/m) | A | | | 1,0 | 29,0 | 23,0 | | |
| 10. Wbrücken Boden (Länge/m) | B | | | 1,0 | 7,1 | 7,1 | | |
| 11. Haus/Wohnungstrennwand | I | | | 1,0 | 3 | 3 | | |

Transmissionswärmelast P_T

Summe = **60842** bzw. **48254**

Lüftungsanlage:
 Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers ?_{WRG} 85%
 Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers ?_{EWT} 0%
 wirksames Luftvolumen V_L = A_{EB} * lichte Raumhöhe = 5696 * 3,00 = 17088 m³
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_L = (1 - ?_{WRG}) * n_{L,Anlage} + ?_{EWT} * n_{L,Rest} = (1 - 0,85) * 0,300 + 0 * 1,105 = 0,150

Lüftungswärmelast P_L
 17088,5 * 0,150 * 0,33 * 29,0 bzw. 23,0 = **24530** bzw. **19455**

Summe Wärmelast P_V
 P_T + P_L = **85373** bzw. **67710**

| Ausrichtung der Fläche | Fläche m ² | g-Wert (senkr. Einstrahlung) | Reduktionsfaktor (vgl. Blatt Fenster) | Strahlung 1 W/m ² | Strahlung 2 W/m ² | P _{S 1} W | P _{S 2} W |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1. Ost | 349,1 | 0,50 | 0,44 | 15,0 | 5,0 | 1149 | 383 |
| 2. Süd | 221,6 | 0,50 | 0,43 | 60,0 | 5,0 | 2837 | 237 |
| 3. West | 302,7 | 0,50 | 0,43 | 15,0 | 5,0 | 969 | 323 |
| 4. Nord | 303,7 | 0,50 | 0,43 | 5,0 | 5,0 | 327 | 327 |
| 6. | | | | | | 0 | 0 |

Wärmeangebot Solarlast P_S
 Summe = **5344** bzw. **1332**

Interne Wärmelast P_I
 spez. Leistung W/m² 1,6 * A_{EB} m² 5696 = **9114** bzw. **9114**

Wärmegewinne P_G
 P_S + P_I = **14458** bzw. **10446**

P_V - P_G = **70915** bzw. **57264**

Heizwärmelast P_H = **70915** W

wohnflächenspezifische Heizwärmelast P_H / A_{EB} = **12,4** W/m²

Zulufttemperatur ohne Nachheizung ?_{zu,Min} 16 °C Zulufttemperatur Max. ?_{zu,Max} 52 °C
 zum Vergleich: Wärmelast, die von der Zuluft transportierbar ist P_{Zuluft,Max} = **61495** W spezifisch: **10,8** W/m²



PASSIVHAUS-PROJEKTIERUNG

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

MONATSVERFAHREN

(auf dieser Seite dargestellt werden die Ganzjahressummen des Monatsverfahrens)

| | |
|---|--|
| Klima: <u>Schwanenstadt OÖ</u> | Innentemperatur: <u>20</u> °C |
| Objekt: <u>Schulgebäude Schwanenstadt (mit Turnhalle)</u> | Gebäudetyp/Nutzung: <u>Schulgebäude</u> |
| Standort: <u>Schwanenstadt</u> | Energiebezugsfläche A _{EB} : <u>5696,2</u> m ² |
| spez. Kapazität: <u>204</u> Wh/(m ² K) (Eingabe in "Sommer") | Standard-Personenbelegung: <u>0</u> Pers pro m ² |

| Bauteile | Temperaturzone | Fläche m ² | U-Wert W/(m ² K) | Red.Fak. Mon. | G _T kWh/a | kWh/a | Energiebezugsfläche kWh/(m ² a) |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|----------------------|-------|--|
| 1. Außenwand Altbau | A | 1373,6 | 0,120 | 1,00 | 96 | 15833 | |
| 2. Außenwand neu | A | 962,3 | 0,114 | 1,00 | 96 | 10537 | |
| 3. Dach Altbau | A | 1731,4 | 0,097 | 1,00 | 96 | 16132 | |
| 4. Dach Neubau | A | 1053,1 | 0,119 | 1,00 | 96 | 12038 | |
| 5. Bodenplatte Neubau | X | 841,0 | 0,174 | 0,85 | 96 | 11945 | |
| 6. Decke gegen Außenluft Altb. | A | 42,1 | 0,143 | 1,00 | 96 | 579 | |
| 7. Bodenplatte Altbau | X | 1900,6 | 0,206 | 0,85 | 96 | 31961 | |
| 8. Fenster | A | 1232,9 | 0,800 | 1,00 | 96 | 94743 | |
| 9. Wbrücken außen (Länge/m) | A | | | 1,00 | | | |
| 10. Wbrücken Boden (Länge/m) | B | | | 1,00 | | | |

Transmissionswärmeverluste Q_T

Summe 193766 34,0 kWh/(m²a)

| | | | | | | |
|--|-------|-----|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------|
| Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmeübertragers | ? WRG | 85% | wirksames Luftvolumen V _L | A _{EB} m ² | lichte Raumhöhe m | m ³ |
| | | | 5696 | 5696 | 3,00 | 17088 |

| | | | | | | | |
|---|-------|----|--|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers | ? EWT | 0% | energetisch wirksamer Luftwechsel n _L | n _{L,Anlage} 1/h | ? WRG | n _{L,Infiltr.} 1/h | 1/h |
| | | | 0,300 | 0,300 | 85% | 0,042 | 0,087 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|---|----------------------|-------|------------------------|
| Lüftungswärmeverluste Q _L | V _L m ³ | n _L 1/h | c _{Luft} Wh/(m ³ K) | G _T kWh/a | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | 17088 | 0,087 | 0,33 | 96 | 47126 | 8,3 |

Summe Wärmeverluste Q_V

| | | | | |
|----------------------|----------------------|---|--------|------------------------|
| Q _T kWh/a | Q _L kWh/a | Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenendaussenkung | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| 193766 | 47126 | 1,0 | 240892 | 42,3 |

| Ausrichtung der Fläche | Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster | g-Wert (senkr. Einstr.) | Fläche m ² | Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a) | kWh/a |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|-------|
| 1. Ost | 0,44 | 0,50 | 349,1 | 581 | 44514 |
| 2. Süd | 0,43 | 0,50 | 221,6 | 760 | 35932 |
| 3. West | 0,43 | 0,50 | 302,7 | 581 | 37537 |
| 4. Nord | 0,43 | 0,50 | 303,7 | 357 | 23345 |
| 5. Horizontal | 0,45 | 0,50 | 55,8 | 962 | 11978 |

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

Summe 153307 26,9 kWh/(m²a)

| | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|--------|------------------------|
| Innere Wärmequellen Q _I | Länge Heizzeit kh/d | spezif. Leistung q _I W/m ² | A _{EB} m ² | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | 0,024 | 365 | 2,8 | 5696,2 | 139715 |

| | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------|------------------------|
| Freie Wärme Q _F | Q _S + Q _I | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | 293022 | 293022 | 51,4 |

| | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|------|
| Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten | Q _F / Q _V | = | 1,22 |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|------|

| | | |
|--|---|-----|
| Nutzungsgrad Wärmegewinne ? _G | = | 58% |
|--|---|-----|

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|--------|------------------------|
| Wärmegewinne Q _G | ? _G * Q _F | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | 170892 | 170892 | 30,0 |

| | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------|------------------------|
| Heizwärmebedarf Q _H | Q _V - Q _G | kWh/a | kWh/(m ² a) |
| | 70000 | 70000 | 12 |

| | | | | |
|-----------|------------------------|----|----------------------|----|
| Grenzwert | kWh/(m ² a) | 15 | Anforderung erfüllt? | ja |
|-----------|------------------------|----|----------------------|----|



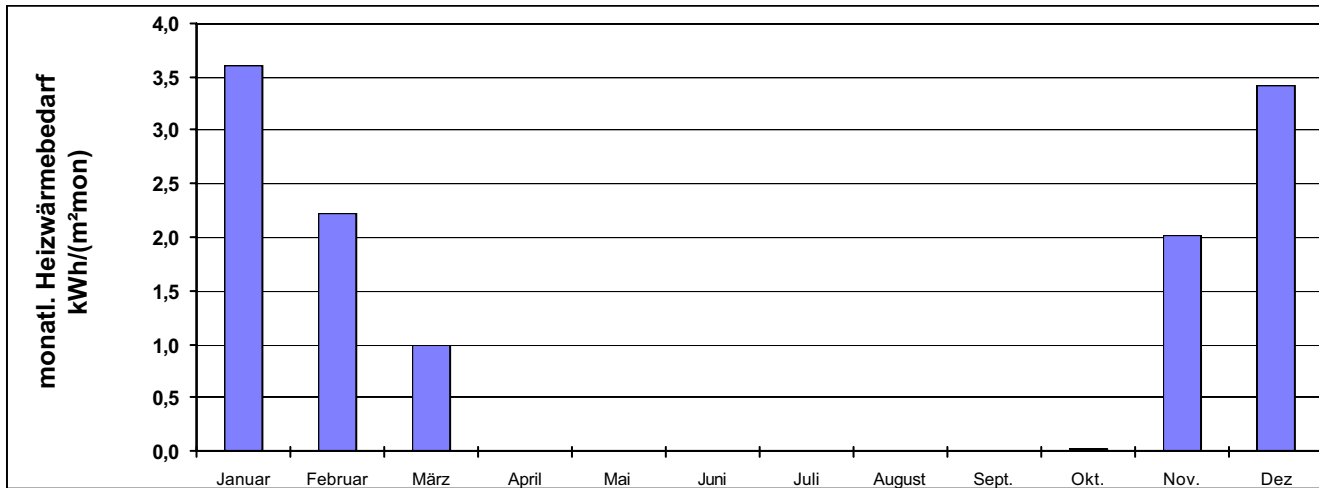
PASSIVHAUS-PROJEKTIERUNG

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME MONATSVERRFAHREN

Klima: Schwanestadt_00
 Objekt: Schulgebäude Schwanestadt (mit Turnhalle)
 Standort: Schwanestadt

Innentemperatur: 20 °C
 Gebäudetyp/Nutzung: Schulgebäude
 Energiebezugsfläche A_{Es}: 5696 m²
 Standard-Personenbelegung: 0 Pers

| | Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Heizgr.Std. Außen | 14,6 | 12,6 | 11,6 | 8,4 | 5,3 | 2,7 | 1,8 | 2,2 | 4,4 | 7,9 | 11,0 | 13,7 |
| Heizgr.Std. Grund | 4,9 | 4,7 | 5,3 | 5,0 | 4,9 | 4,4 | 4,2 | 3,8 | 3,6 | 3,8 | 3,9 | 4,5 |
| Verluste Außen | 36570 | 31515 | 29107 | 20946 | 13247 | 6681 | 4478 | 5598 | 11014 | 19778 | 27626 | 34331 |
| Verluste Grund | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Solare Gewinne Ost | 1034 | 2069 | 3256 | 5095 | 6321 | 6168 | 6359 | 5670 | 4099 | 2528 | 1188 | 728 |
| Solare Gewinne Süd | 1371 | 2789 | 3120 | 3924 | 4019 | 3593 | 3782 | 4066 | 3782 | 2979 | 1513 | 993 |
| Solare Gewinne West | 872 | 1744 | 2746 | 4296 | 5330 | 5201 | 5362 | 4781 | 3456 | 2132 | 1001 | 614 |
| Solare Gewinne Nord | 654 | 981 | 1700 | 2420 | 3270 | 3597 | 3597 | 2877 | 1962 | 1177 | 654 | 458 |
| Solare Gewinne Horiz. | 261 | 498 | 809 | 1345 | 1768 | 1756 | 1793 | 1569 | 1083 | 623 | 286 | 187 |
| Innere Wärmequellen | 11866 | 10718 | 11866 | 11483 | 11866 | 11483 | 11866 | 11866 | 11483 | 11866 | 11483 | 11866 |
| Solarer Ausnutzungsgrad | 100% | 100% | 100% | 73% | 41% | 21% | 14% | 18% | 43% | 92% | 100% | 100% |
| Heizwärmebedarf | 20511 | 12715 | 5616 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 170 | 11501 | 19486 |
| spez. Heizwärmebedarf | 3,6 | 2,2 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 3,4 |



| Heizwärmebedarf: Vergleich | | | |
|-----------------------------|---------|-------|--|
| EN 832 Monatsverfahren | 69999,9 | kWh/a | 12,3 kWh/(m²a) Bezugsfläche ist die Wohnfläche |
| PHPP, Heizperiodenverfahren | 78612,6 | kWh/a | 13,8 kWh/(m²a) Bezugsfläche ist die Wohnfläche |
| Wert WSVO | 76184,3 | kWh/a | 0,0 kWh/(m²a) Achtung! andere Bezugsfläche: A _N nach EnEV |
| Wert EnEV | 83942,5 | kWh/a | 0,0 kWh/(m²a) Achtung! andere Bezugsfläche: A _N nach EnEV |

| Monat | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tage | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| AußenTemp | 0,40 | 1,30 | 4,40 | 8,40 | 12,90 | 16,30 | 17,60 | 17,00 | 13,90 | 9,40 | 4,70 | 1,60 |
| BodenTemp | 13,48 | 13,07 | 12,89 | 13,00 | 13,36 | 13,88 | 14,42 | 14,83 | 15,01 | 14,90 | 14,54 | 14,00 |
| Thimm | fehlt | | | | | | | | | | | |
| Strahl Süd | 29,0 | 59,0 | 66,0 | 83,0 | 85,0 | 76,0 | 80,0 | 86,0 | 80,0 | 63,0 | 32,0 | 21,0 |
| Strahl Ost | 13,0 | 26,0 | 41,0 | 67,0 | 83,0 | 81,0 | 83,0 | 75,0 | 52,0 | 32,0 | 15,0 | 9,0 |
| Strahl Nord | 10,0 | 15,0 | 26,0 | 37,0 | 50,0 | 55,0 | 55,0 | 44,0 | 30,0 | 18,0 | 10,0 | 7,0 |
| Strahl West | 14,0 | 28,0 | 44,0 | 66,0 | 82,0 | 80,0 | 83,0 | 73,0 | 55,0 | 34,0 | 16,0 | 10,0 |
| Strahl Hori | 21,0 | 40,0 | 65,0 | 108,0 | 142,0 | 141,0 | 144,0 | 126,0 | 87,0 | 50,0 | 23,0 | 15,0 |



8.2 Checkliste weitere Planung und Ausführung

| Nr | Inhalt | Zuständig |
|----------|--|---------------------|
| 1 | Integrales Projektmanagement | |
| 1.1 | Ökobilanzen | Lang consulting |
| Nr | Inhalt | Zuständig |
| 2 | Architektur, Gebäudekonstruktion | |
| 2.1 | Holzbau | Architekt, |
| 2.1.1 | B1-Versuch Thermobuche am IBS Linz, W60-Versuch Brüstungselemente am IBS Linz, Brandschutztechnische Überprüfung der Vakuumdämmung, Montage eines Musterelementes für eine „Musterklasse“ | Obermayr |
| 2.2 | Sanierung Turnhalle offen | Bauherr, Architekt |
| 2.3 | Konstruktionen – Gebäudeklimakonzept | |
| 2.3.1 | Außenwand Altbau: Praktikabilität und bautechnische Eignung der untersuchten Außenwandvarianten, Anpassbarkeit an die Leichtbau-Fertigteilbauweise, Anschluss Fenster (thermisch, Luftdichtigkeit, statisch) | Architekt |
| 2.3.2 | Bodenplatte Altbau: Detaillierter Bestandsaufbau, Bodengutachten (Fließgeschwindigkeit, Temperaturen etc.), möglicher Einsatz von Vakuumplatten | Architekt |
| 2.3.3 | Wärmebrücken: Thermische Wirkung der die Passivhaushülle durchdringenden Stahlbetonstützen im Anschlussbereich Bodenplatte-Außenwand | Architekt, team gmi |
| 2.3.4 | Einfluss der Feuchtepufferung der inneren Bauteilschichten auf die relative Raumluftfeuchte untersuchen | Architekt, team gmi |
| 2.4 | Sommertauglichkeit | |
| 2.4.1 | Bauliche Möglichkeiten zur Verstärkung des nächtlichen Luftwechsels (Automatisch öffnende Fensteröffnungen, Lüftung über Gangbereich, Nutzung von Querlüftung und Kamineffekt). | Architekt |
| 2.4.2 | Abstimmung Energiedurchlässigkeit Verglasung mit Tageslichtsimulation | Architekt |
| 2.4.3 | Serverräume an Außenwand mit Fenster legen, um die natürliche Kühlung mittels Außenluft zu nutzen (hohe Einsparung Kühlung, ggf. Ausführung bei hohen Speichermassen o.ä. überhaupt ohne Kühlgerät für Serverraum möglich) | Architekt, Bauherr |
| 2.4.4 | Überprüfung, ob EDV-Räume an Nordfassade möglich (solare Lasten, Blendung) | Architekt, Bauherr |



| Nr | Inhalt | Zuständig |
|------------|---|----------------------------|
| 3 | Energieplanung, Gebäudeklimakonzept | |
| 3.1 | Nutzung | |
| 3.1.1 | Wärmeabgabe in der Schulküche und in den Werkräumen (Geräte, Betriebszeiten, maximale und durchschnittliche Wärme- bzw. Nennleistungen). | Schulleitung E-Planer |
| 3.1.2 | Durchschnittliche Personenanzahl in Sonderräumlichkeiten und typische Betriebszeiten | Schulleitung |
| 3.1.3 | Abklärung, inwieweit passivhaustaugliche EDV - Geräte und EDV - Nutzung möglich wäre (Laptopklasse, Flachbildschirme, energiesparende Software, ...) | Schulleitung E-Planer |
| 3.1.4 | Abklärung Räumlichkeiten mit besonderer Geruchsentwicklung aufgrund der Nutzung: Brennofen, Werkstätten etc.: Art und Dauer der Nutzung, Lüftungsmöglichkeiten | Schulleitung HLS-Planer |
| 3.2 | Haustechnik HSLE | |
| 3.2.1 | Abklärung Wärmeerzeugung auf Basis der vorliegenden Berechnungen unter Zuziehung der Fördersituation und der Öffentlichkeitswirkung | G.Lang |
| 3.2.2 | Tauglichkeit von Lüftungsgeräten für differenzierte Regelstrategien hinsichtlich Luftmenge, Raumlufffeuchte und Nachtlüftung | team gmi, HSL-Planer |
| 3.2.3 | Recherche über optimale Betriebspunkte Hygiene/Raumlufffeuchte, um Luftwechsel im Winter entsprechend regeln zu können. | team gmi, HSL-Planer |
| 3.2.4 | Recherche Auswirkungen eines Heizbetriebes ohne Absenkung auf Heizwärmebedarf und Heizlasten | team gmi, HSL-Planer |
| 3.2.5 | Überprüfung Notwendigkeit von dezentralen Kühlgeräten in Bereichen mit höheren Wärmelasten (EDV, Server, Küche, Werkstätten). | team gmi, HSL-Planer |
| 3.2.6 | Thermische Simulation und Qualitätskontrolle weitere Planung, grafische Darstellung simulierte Bereiche | team gmi |
| 3.3 | Tageslicht-/Kunstlichtkonzept | |
| 3.3.1 | Entwicklung Tageslichtkonzept auf Basis bisherige Ergebnisse, i.b. Fassaden, Klasseninnenraum und Halle zusammen mit Architekt, Neuberechnung Tageslichtverhältnisse und Sommertauglichkeit | team gmi, Lichtplaner |
| 3.3.2 | Entwicklung energiesparendes, passivhaustaugliches Kunstlichtkonzept mit Beachtung der Ansprüche hinsichtlich Funktionalität und Architektur/Raumgestaltung | team gmi, E-Planer |

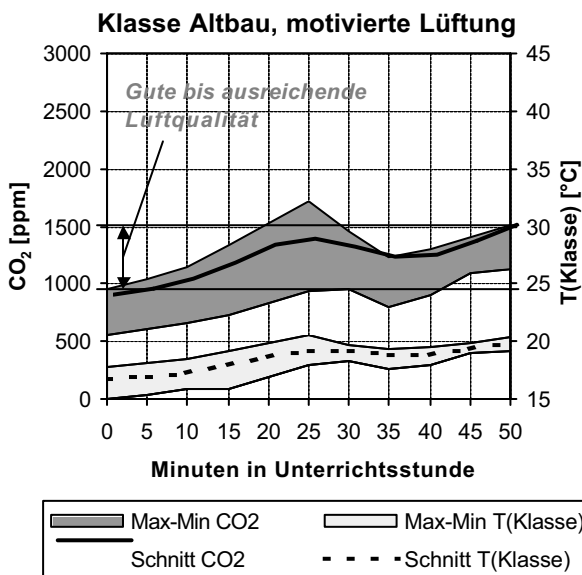
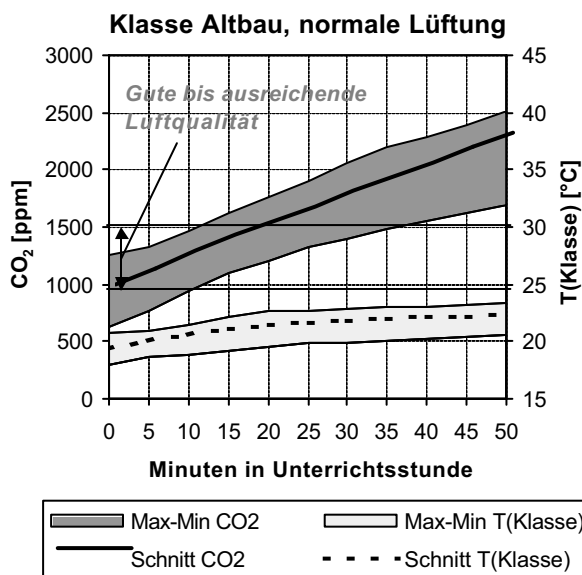
8.3 Allgemeine Grundlagen zur Lüftung in Schulen

Zum Verständnis „warum Lüftung im Schulbau“ werden im folgenden kurz zusammengefasst entsprechende Argumente aus Studien und Luftqualitätsmessungen wiedergegeben (Quelle: team gmi Studie im Auftrag des Österreichischen Institut für Schul- und Sportstättenbau (OISS): „Die Schule als Niedrigenergiehaus“, Bezugsquelle gesamt Studie: ÖISS Wien).



8.3.1 Luftqualität in Klassenräumen - CO₂ - Konzentration

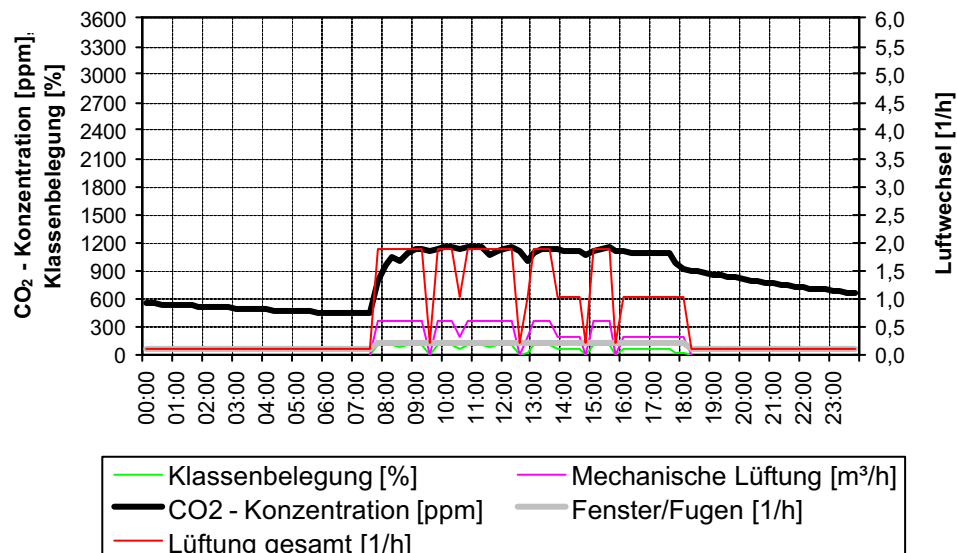
In einer dichtbesetzten Klassenraumsituation ist die Luftqualität primär durch die Menschen und die Lüftung beeinflusst. Die durch Atmung abgegebene Menge CO₂ korreliert mit den sonstigen menschlichen Geruchsstoffen und Ausdünstungen und ist damit ein guter Messwert für die durch Menschen bestimmte Luftqualität in Räumen. Der CO₂ – Gehalt von „reiner Naturluft“ liegt bei etwa 330 ppm (0.033 %). Eine zunehmende Geruchsempfindlichkeit tritt ab 800 ppm CO₂ auf. Richtwerte für CO₂ – Konzentrationen in Räumen liegen bei 1000 ppm (Pettenkofer-Zahl, Luftqualität noch im Komfortbereich) bis 1500 ppm (maximale Grenzwerte in Räumen bei Normalbetrieb). In stark besetzten Klassenräumen steigt selbst bei höherem Fenster/Fugenluftwechsel von 1/h bereits nach 10 bis 15 min die CO₂ – Konzentration über 1000 ppm, nach 45 min bis auf 2500 ppm. Regelmäßig in Messungen auftretende Spitzenwerte für die CO₂ – Konzentrationen in Klassen liegen im Schnitt bei etwa 2500 bis 3000 ppm, bei 2 – stündig durchgehendem Betrieb wurden bis zu 6500 ppm CO₂ – Konzentration gemessen, was bereits über dem gesundheitsschädlichen MAK – Wert von 5000 ppm liegt.



Abbildungen: Messwerte CO₂ – Konzentration und Raumlufttemperaturen in Schulklassen am Bundesgymnasium Dornbirn bei „normalem“, unmotiviertem Lüftungsverhalten und bei motiviertem Lüftungsverhalten. Durchschnitt aus Messwerten in einer Klasse „Altbau“ mit hohen Räumen und undichten Fenstern und in einer Klasse „Neubau“ mit relativ dichten Fenstern (vergleichbare Messungen auch aus ca. 20 Schulen in Oberösterreich, Quelle: IBO – Wien, bzw. aus Schulen in der Schweiz).

Die oben angegebenen Abbildungen berücksichtigen noch nicht, dass im Niedrigenergiehausbau und speziell im Passivhaus eine noch höhere Dichtheit der Fenster aus Gründen des Wärmeschutzes und der Vermeidung von Feuchteschäden gegeben ist. Nichtsdestoweniger zeigen Berechnungen und Messungen, dass eine ausreichende Luftqualität in Schulklassen ohne sonstige lüftungstechnische Maßnahmen auch nicht über sehr undichte Fenster möglich ist bzw. entspricht dieser Ansatz auch nicht einer zeitgemäßen Technik zum Wärmeschutz und zur nachhaltigen Vermeidung von Sanierungsmaßnahmen im Fensterbereich.

Durch kontrolliertes Lüftung über eine mechanische Lüftungsanlage kann der CO₂-Gehalt gezielt, das heißt geregelt über einen CO₂-Fühler, unter den Grenzbereich von 1000ppm gehalten werden, was nachfolgende Grafik zeigt:



Grafik:

Kontrollierte Be-/Entlüftung mit Wärmerückgewinnung: Typisches Lüftungsverhalten und berechnete CO₂ – Konzentration an kälterem Wintertag im Klassenraum bei Lüftungsregelung gemäß CO₂ – Konzentration.

Um Zielwerte < 1000 ppm CO₂ auch unter kritischen Randbedingungen wie mehrstündige durchgehende dichte Belegung mit Höchstschülerzahlen einhalten zu können ist eine Auslegung mit sehr hohen Luftwechselzahlen und einer entsprechend aufwändigeren Lüftungsanlage notwendig. Außerdem ergeben sich damit größere Schwierigkeiten im Winter hinsichtlich trockener Raumlufte im Sommer hinsichtlich Überwärmungsrisiko durch Außenluftwärmeinträge. Ein möglicher und seitens der Nutzer durchwegs akzeptierter Weg ist eine Auslegung, in der im Schnitt die CO₂ Werte bei „normaler“ Nutzung zwischen 800 bei Unterrichtsbeginn und ca. 1100 ppm CO₂ bei Stundenende liegen und im kritischen Fall mehrstündige Schularbeit auf maximal etwa 1500 ppm CO₂ steigen (vergleiche Messwerte bei Fensterlüftung um 3000 bis 4000 ppm CO₂ bei vergleichbarer Situation!).



8.3.2 Luftqualität in Klassenräumen - Raumlufffeuchte

Die relative Luftfeuchtigkeit liegt idealerweise zwischen 40 und 55% und sollte im Winter möglichst nicht unter 30% sinken. Messungen zeigen, dass durch den zur Einhaltung der CO₂ - Grenzen erforderlichen erhöhten Luftwechsel bereits des öfteren dieser Grenzbereich erreicht wird. In dieser Hinsicht ist an kalten Wintertagen, will man eine aktive Zuluftbefeuchtung vermeiden, ein Kompromiss zwischen möglichst niedriger CO₂ – Konzentration und möglichst hoher Raumlufffeuchte zu treffen. Möglichkeiten ergeben sich hierbei durch eine Feuchterückgewinnung in der Lüftung und/oder durch eine möglichst bedarfskonforme Regelung mit reduzierten Zulufthemengen bei kalten Außentemperaturen.

8.4 Herstell- und Betriebskosten Heizung- Lüftung- Sanitär

| Investitionskosten HLS Schulsanierung Schwanenstadt | | |
|--|---|-------------------|
| Für die Investitionskostenschätzung HSL gesamt für die Hauptschule und das PTS wird für die Lüftungsanlage die Variante 1 "dezentrale Lüftungsgeräte" und für die Heizungsanlage die Biomasselösung "Pelletsanlage" angenommen. Bei den Kosten der Sanitäranlage sind die Duschanlagen der Turnhalle sowie die Kücheanschlüsse der Hauptschule nicht beinhaltet. | | |
| Anzahl | Investitionskosten HLS-Anlage HS+PTS | Summe [EUR] |
| 1 | Sanitäranlage PTS lt. Detailaufstellung Investitionskosten Sanitäranlage | 60.704,00 |
| 1 | Sanitäranlage HS lt. Detailaufstellung Investitionskosten Sanitäranlage | 110.459,00 |
| 1 | Lüftungsanlage PTS lt. Detailaufstellung Investitionskosten "Lüftungsanlage dezentral" | 137.662,50 |
| 1 | Lüftungsanlage HS lt. Detailaufstellung Investitionskosten "Lüftungsanlage dezentral" | 246.544,00 |
| 1 | Heizungsanlage HS+ PTS lt. Detailaufstellung Investitionskosten "Pelletsanlage" inkl. WW-Bereitung | 110.459,00 |
| Summe HSL- Anlage gesamt netto | | 665.828,50 |
| Summe spezifisch pro m ² Nutzfläche | | 134,51 |



Investitionskosten Sanitäranlage Schulsanierung Schwanenstadt

In der Investitionskostenschätzung werden sämtliche Einrichtungsgegenstände inkl. Verrohrung und Anschluß ans Kanalnetz berücksichtigt. Nicht beinhaltet ist die Warmwasserbereitung und Solaranlage (siehe Kosten Heizungsanlage).
Nicht beinhaltet sind die sanitären Anlage der Küche sowie der Turnhalle.

| a.) Sanitäreinrichtung PTS | | | | |
|--------------------------------------|---|---------|----------|------------------|
| Anzahl | Sanitäranlage PTS | | Material | Summe |
| | | ST/m/m² | [EUR] | [EUR] |
| 14 | WC- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 900,00 | 12.600,00 |
| 1 | WC- Anlagen - behindertengerecht Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.300,00 | 1.300,00 |
| 9 | Pissoir- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 900,00 | 8.100,00 |
| 16 | WT- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.000,00 | 16.000,00 |
| 15 | Schul - WT- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.100,00 | 16.500,00 |
| 2 | Duschenanlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.100,00 | 2.200,00 |
| 616 | Dachentwässerung über Unterdrucksystem Geberit "Pluvia" inkl. gesamtem Zubehör und Verrohrung | m² | 6,50 | 4.004,00 |
| Summe Sanitäranlage PTS netto | | | | 60.704,00 |
| Summe spezifisch pro m² Nutzfläche | | | | 36,22 |

| b.) Sanitäranlage Hauptschule (ohne Küche) | | | | |
|--|--|---------|----------|-------------------|
| Anzahl | Sanitäranlage HS | | Material | Summe |
| | | ST/m/m² | [EUR] | [EUR] |
| 24 | WC- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 900,00 | 21.600,00 |
| 18 | Pissoir- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 900,00 | 16.200,00 |
| 30 | WT- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.000,00 | 30.000,00 |
| 30 | Schul - WT- Anlagen - Mittelklassestandard; inkl. komplettem Zubehör sowie Verrohrung | ST | 1.100,00 | 33.000,00 |
| 1486 | Dachentwässerung über Unterdrucksystem Geberit "Pluvia" inkl. gesamtem Zubehör und Verrohrung | m² | 6,50 | 9.659,00 |
| Summe Sanitäranlage HS netto | | | | 110.459,00 |
| Summe spezifisch pro m² Nutzfläche | | | | 33,74 |

Kostenschätzung PTS+Hauptschule "Sanitäranlage" (ohne Küche, ohne Turnsaal) **gesamt netto** **171.163,00**

Kostenschätzung pro m² NNF für PTS + Hauptschule (ohne Küche, ohne Turnsaal) **gesamt netto** **34,58**



Investitionskosten Lüftungsanlage Schulsanierung Schwanenstadt

Variante 1 - hygienische Lüftungsanlage dezentral

bestehend aus dezentralen Lüftungsgeräten mit WRG und DC-Ventilatoren je Klasse, Werkstatt, etc.

Volumenstromregelung 4-stufig - feuchtegeführt

WC-Anlagen für PTS und HS jeweils über ein zentrales Zu- und Abluftgerät für alle Geschosse mit WRG und DC-Ventilatoren

Investitionskostenschätzung

a.) Lüftungsanlage PTS

| Anzahl | dezentrale Lüftungsanlage | ST/m/m² | Material | Lohnanteil | Summe |
|------------------------------------|---|---------|----------|------------|-------------------|
| | | | [EUR] | [EUR] | [EUR] |
| 17 | Lüftungsgerät 500 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, Schalldämpfer, Wetterschutzgitter für AUL und FOL; Abluft und Zuluftgitter sowie 3m² isolierter Kanalanschluß für AUL und FOL, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen | ST | 7.000,00 | 0,00 | 119.000,00 |
| 1 | Lüftungsgerät 500m³/h für WC-Anlagen mit WRG, DC-Ventilatoren | ST | 4.300,00 | 100,00 | 4.400,00 |
| 30 | Kanalnetz verzinkt, 0.7mm | m² | 35,00 | 22,00 | 1.710,00 |
| 15 | Formstücke, verzinkt 0,7mm | m² | 45,00 | 25,00 | 1.050,00 |
| 45 | Rohrleitungen verzinkt DN 100-160 | m | 18,00 | 12,00 | 1.350,00 |
| 30 | Formstücke, wie Bogen, Abweiger, Red., etc., DN 100-160 | ST | 22,00 | 13,50 | 1.065,00 |
| 45 | Kanal- und Formstückisolierung | m² | 12,00 | 8,00 | 900,00 |
| 15 | Luftleinlässe RA 125 | ST | 80,00 | 25,00 | 1.575,00 |
| 25 | Ablufttellerventile DN 100-150 | ST | 17,00 | 12,00 | 725,00 |
| 40 | Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile | ST | 15,00 | 15,00 | 1.200,00 |
| 1 | Wetterschutzgitter Frischluft | ST | 250,00 | 35,00 | 285,00 |
| 1 | Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 300 | ST | 350,00 | 120,00 | 470,00 |
| 20 | Rohr- und Telefonie Schalldämpfer | ST | 75,00 | 15,00 | 1.800,00 |
| 6 | Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC | ST | 280,00 | 30,00 | 1.860,00 |
| 15 | Messstopfen | ST | 5,00 | 4,50 | 142,50 |
| 3 | Thermometer | ST | 16,00 | 9,00 | 75,00 |
| 5 | Bezeichnungsschilder | ST | 6,50 | 4,50 | 55,00 |
| Summe Lüftungsanlage PTS netto | | | | | 137.662,50 |
| Summe spezifisch pro m² Nutzfläche | | | | | 82,14 |

b.) Lüftungsanlage Hauptschule (ohne Küche)

| Anzahl | dezentrale Lüftungsanlage | ST/m/m² | Material | Lohnanteil | Summe |
|------------------------------------|---|---------|----------|------------|-------------------|
| | | | [EUR] | [EUR] | [EUR] |
| 31 | Lüftungsgerät 500 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, Schalldämpfer, Wetterschutzgitter für AUL und FOL; Abluft und Zuluftgitter sowie 3m² isolierter Kanalanschluß für AUL und FOL, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen | ST | 7.000,00 | 0,00 | 217.000,00 |
| 1 | Lüftungsgerät 500m³/h für WC-Anlagen mit WRG, DC-Ventilatoren | ST | 4.300,00 | 100,00 | 4.400,00 |
| 30 | Kanalnetz verzinkt, 0.7mm | m² | 35,00 | 22,00 | 1.710,00 |
| 15 | Formstücke, verzinkt 0,7mm | m² | 45,00 | 25,00 | 1.050,00 |
| 165 | Rohrleitungen verzinkt DN 100-160 | m | 18,00 | 12,00 | 4.950,00 |
| 50 | Formstücke, wie Bogen, Abweiger, Red., etc., DN 100-160 | ST | 22,00 | 13,50 | 1.775,00 |
| 45 | Kanal- und Formstückisolierung | m² | 12,00 | 8,00 | 900,00 |
| 30 | Luftleinlässe RA 125 | ST | 80,00 | 25,00 | 3.150,00 |
| 46 | Ablufttellerventile DN 100-150 | ST | 17,00 | 12,00 | 1.334,00 |
| 76 | Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile | ST | 15,00 | 15,00 | 2.280,00 |
| 1 | Wetterschutzgitter Frischluft | ST | 250,00 | 35,00 | 285,00 |
| 1 | Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 300 | ST | 350,00 | 120,00 | 470,00 |
| 35 | Rohr- und Telefonie Schalldämpfer | ST | 75,00 | 15,00 | 3.150,00 |
| 12 | Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC | ST | 280,00 | 30,00 | 3.720,00 |
| 20 | Messstopfen | ST | 5,00 | 4,50 | 190,00 |
| 5 | Thermometer | ST | 16,00 | 9,00 | 125,00 |
| 5 | Bezeichnungsschilder | ST | 6,50 | 4,50 | 55,00 |
| Summe Lüftungsanlage HS netto | | | | | 246.544,00 |
| Summe spezifisch pro m² Nutzfläche | | | | | 75,30 |

Kostenschätzung PTS + Hauptschule "Lüftungsanlage" (ohne Küche) gesamt netto

384.206,50

Kostenschätzung pro m² Nutzfläche für PTS + Hauptschule (ohne Küche) gesamt netto

77,62

Kostenschätzung pro m³ Luftmenge für PTS + Hauptschule (ohne Küche) gesamt netto

17,08



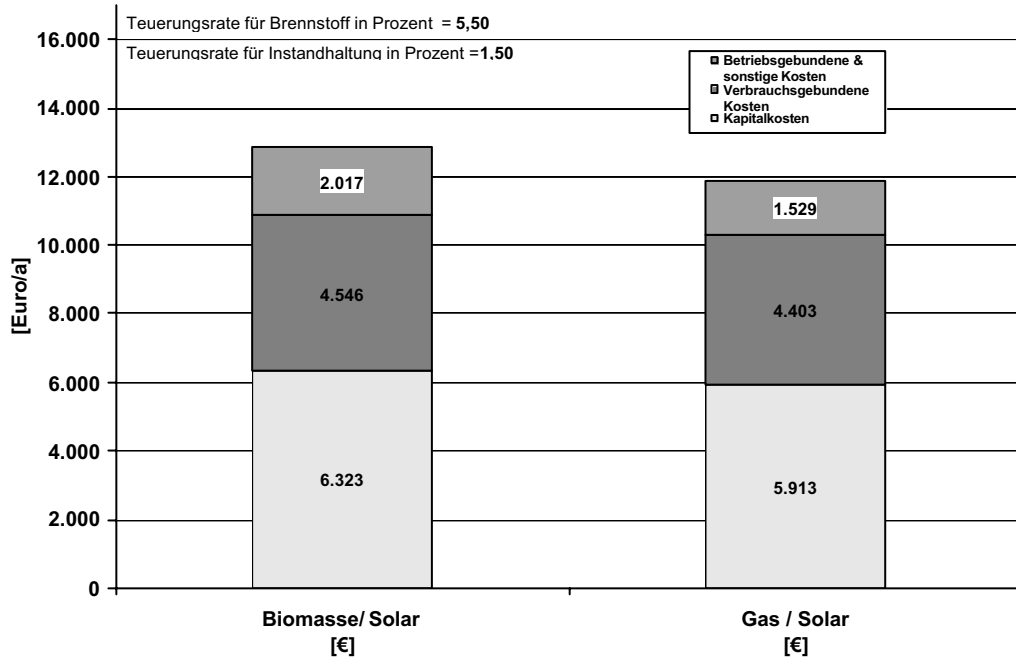
| Investitionskostenvergleich Wärmeerzeugung / Warmwasserbereitung | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|
| Variantenvergleich Biomasse / Erdgas | | |
| | Biomasse/ Solar [€] | Gas / Solar [€] |
| Wärmeerzeuger/Wärmeverteilung | | |
| Gaskondensationskessel 90 kW inkl. Inbetriebnahme inkl. Kaminanlage V2A inkl. Zubehör wie Gasfilter, Druckregler, Neutralisation, etc. inkl. Hausanschluß und Grabarbeiten | | 13.300 |
| Pelletsessel 90 kW inkl. Rundarmaustragung und Inbetriebnahme inkl. Kaminanlage V2A inkl. Zubehör wie Einblasstutzen, Prallmatte, Feuerlöscher, etc. Erstellung Pelletlagerraum bauseits | 22.500 | |
| Wärmeverteilung: ca. 75 Radiatoren mit 0,9 kW - 1,2kW inkl. gesamtem Rohrnetz, Pumpen, Ausdehnung und Verteiler | 36.000 | 36.000 |
| Regelungsanteil DDC ca. 20 Datenpunkte | 8.000 | 8.000 |
| <i>Summe Wärmeerzeuger/Wärmeverteilung in €</i> | <i>66.500</i> | <i>57.300</i> |
| Warmwasserbereitung / Solaranlage | | |
| Solaranlage (15m2 selektiv beschichtet) | 4.400 | 4.400 |
| Pufferspeicher 2500 Liter | 5.000 | 5.000 |
| Leitungsnetz Solar, Armaturen, Isolation und Zubehör - aufwendig | 2.500 | 2.500 |
| <i>Summe Warmwasserbereitung / Solaranlage in €</i> | <i>11.900</i> | <i>11.900</i> |
| Netto-Gesamtinvestition Wärmeerzeuger/Warmwasserbereitung in € | 78.400 | 69.200 |

Heizkostenvergleich in Anlehnung an den VDI 2067 Standard

| | Einheit | Biomasse/ Solar [€] | Gas / Solar [€] |
|--|----------------|--------------------------------|----------------------------|
| Wärmeerzeuger | [€] | 66.500,00 | 57.300,00 |
| Solaranlage | [€] | 11.900,00 | 11.900,00 |
| Gesamtinvestition | [€] | 78.400,00 | 69.200,00 |
| <i>Investition abzüglich Förderung</i> | <i>[€]</i> | <i>72.520,00</i> | <i>67.820,00</i> |
| Annuität | [€] | 6.322,62 | 5.912,86 |
| Kapitalkosten | [€/a] | 6.323 | 5.913 |
| Brennstoffkosten | [€/a] | 4.380,51 | 4.242,73 |
| Verbrauchsgebundene Kosten | [€/a] | 4.546 | 4.403 |
| Instandhaltungskosten | [€/a] | 1.116,50 | 978,50 |
| Rauchfangkehrer | [€/a] | 700,00 | 400,00 |
| Service, Wartung | [€/a] | 200,00 | 150,00 |
| Versicherung, sonstige Kosten | [€/a] | 0,00 | 0,00 |
| Betriebsgebundene & sonstige Kosten | [€/a] | 2.017 | 1.529 |
| Gesamtkosten pro Jahr | [€/a] | 13.039 | 11.961 |
| Gesamtkosten pro MWh | [€/kWh] | 0,14 | 0,13 |



Gesamtkosten pro Jahr



8.5 Allgemeine Vorarbeiten zur Ökobilanzierung

- Ökologischer Bauteilkatalog des IBO
- Gebäude Gesamtköobilanzierung gemäß Projekt „Passivhausscheibe Salzkammergut“ aus der 1. Auszeichnung von Projekten durch „Haus der Zukunft“
- Mischek - Ökopass

8.6 Einführung zur Vakuumdämmung

Der Einsatz von Vakuumdämmung spielt bei diesem Projekt durch seinen verhältnismäßig großflächigen Einsatz eine wesentliche Rolle.

Bodendämmung:

Zum einen hat der bestehende Fußbodenaufbau des nicht unterkellerten Erdgeschosses einschließlich Estrich maximal 10cm Aufbauhöhe, und kann daher in konventioneller Ausführung nicht annähernd den Passivhausanforderungen entsprechen, da auch die vorhandene Raumhöhe keine zusätzliche Aufbauhöhe zulässt.

Fassadendämmung:

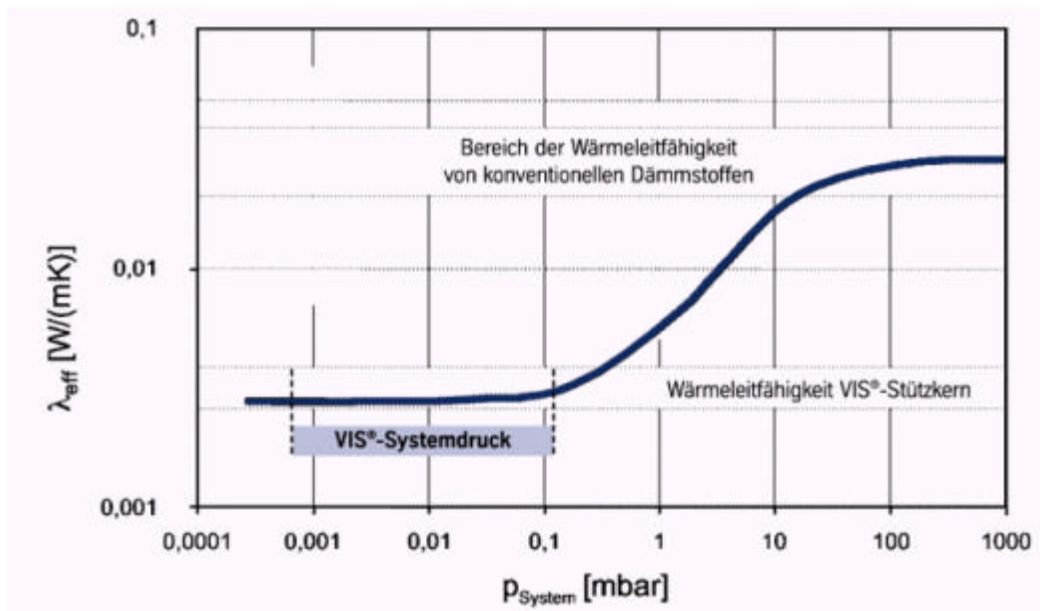
Im Bereich der derzeit vor der Fassade angeordneten Stahlbetonsäulen müssen diese zwischen den vorgefertigten hochgedämmten Brüstungselementen stirnseitig entweder mit Vakuumdämmung oder durch stärkere konventioneller Überdämmung zur Verminderung von Wärmebrücken im Fassadenbereich gedämmt werden.



8.6.1 Einführung in die Physik der Vakuumdämmung

Der integrale Wärmeübertragungsvorgang in porösen Medien lässt sich differenzieren hinsichtlich Wärmeleitung im gasförmigen Medium (Poreinhalt) sowie im festen Medium (Porenwänden), Wärmestrahlung zwischen den Porenwänden und Konvektion in den Poren – der Anteil der Konvektion geht hier jedoch sehr deutlich gegen Null und kann in diesem Zusammenhang somit vernachlässigt werden.

In einem üblichen Wärmedämmstoff (z.B. Mineralfaser der WLG 040) lässt sich das Verhältnis von Luftleitung : Strahlung : Festkörperleitung mit 25 : 13 : 2 definieren. Die Substitution der in den Poren eingeschlossenen Luft [Wärmeleitfähigkeit $\lambda \approx 0,25 \text{ W/(mK)}$] durch ein Stützgas [z.B. Pentan mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \approx 0,13 \text{ W/(mK)}$] reduziert die Wärmeleitung im gasförmigen Medium, woraus dann für den Wärmedämmstoff bessere Wärmeleitfähigkeiten resultieren; so erreicht Polyurethan mit diffusionsdichten Deckschichten z.B. die WLG 025.



Grafik : Die Wärmeleitung eines Vakuum-Dämmelements
Quelle: ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Emden

Wenn es nun gelingt, in einer *mikroporösen* Struktur ein Vakuum zu erzeugen, wird die Wärmeleitung im gasförmigen Medium vollständig unterbunden und die Wärmestrahlung durch die Mikroporenstruktur minimiert, die Wärmeleitung im festen Medium erhöht sich nur geringfügig. Für diesen wärmeschutztechnisch optimierten Zustand stellt sich das Verhältnis von Gasleitung : Strahlung : Festkörperleitung dar zu 0 : 1 : 3.

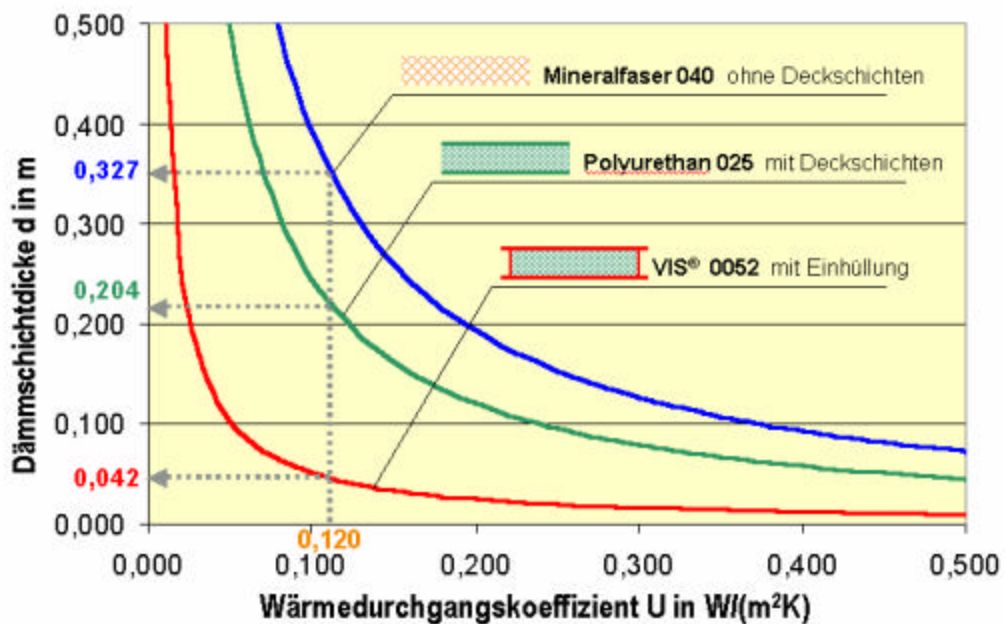
8.6.2 Zeitgemäße Wärmedämm-Effizienz

Im Rahmen der Anforderungen für den Passivhausstandard steigen die erforderlichen Schichtdicken konventioneller Wärmedämmstoffe auf ein sehr hohes Niveau. Die nachstehende Grafik zeigt beispielhaft die Dämmschichtdicken unterschiedlicher planparalleler Wärmedämmschichten in Abhängigkeit



vorgegebener U-Werte. Der Einfluß der Randausbildung der jeweiligen Dämmelemente auf den effektiven U-Wert wird in der Regel auf der Basis von Finite Elemente Berechnungen (FEM) ermittelt und dann durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten erfasst. Da dieser von der jeweiligen Einbausituation abhängt und somit nicht pauschalierbar ist, wird er hier vernachlässigt.

Im Diagramm wird die Effizienz der Vakuumdämmung am für Passivhäuser realistischen Beispiel mit $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ sehr deutlich: während sich für eine Mineralfaserdämmschicht erf $d_{MF} = 33 \text{ cm}$ und für eine PUR-Dämmschicht immerhin noch erf $d_{PUR} = 20 \text{ cm}$ ergibt, erfüllt ein tempsafe®- Element die Anforderung mit einem erf $d_{ts} = 4 \text{ cm}$!



Grafik : Der Vergleich mit anderen Dämmstoffen
Quelle: ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Emden

8.6.3 Systemüberblick

Zur Zeit existieren zwei unterschiedliche Typen von Vakuumdämmelementen:

- Dämmelemente mit einer Hülle aus Folie. Dieser Typ wird im Allgemeinen als VIP bezeichnet, wobei dieses Akronym für **V**acuum **I**solation **P**anel (oder auch Vakuum Isolations Paneele) steht.
- Dämmelemente mit einer Hülle aus Edelstahl. Dieser Typ wird im Allgemeinen als VIS bezeichnet, wobei dieses Akronym für **V**acuum **I**nsulating **S**andwich steht.



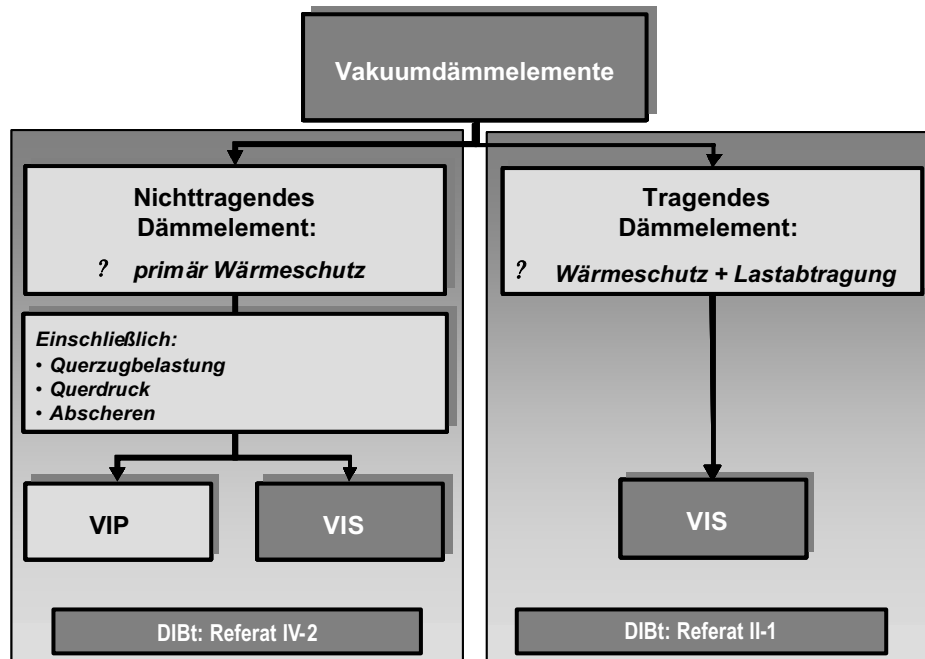


Bild zeigt eine Differenzierung dieser zwei Systeme hinsichtlich der an sie gestellten bauphysikalischen und statischen Anforderungen.
Quelle: ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Emden

8.6.3.1 Vakuumdämmelemente mit Folienkaschierung VIP

VIP sind plattenförmige Dämmungen mit extrem niedriger Wärmeleitfähigkeit. VIP bestehen aus einem plattenförmigen, druckstabilen Kernmaterial (z.B. verpresste Pulver). Die Kerne sind mit einer Hochbarrierefolie unter Anwendung einer speziellen Technik gasdicht verpackt und evakuiert.



VIP als Fußbodendämmung mit 15 mm Dämmstärke;
Fugenabklebung mit Alu-Klebeband

Entfernen des alten Fußbodenaufbaues, danach:

Aufbauvariante mit VIP:

- Selbstnivellierende Ausgleichsschicht
- 2 mm Bituminöse Feuchtigkeitsabdichtung
- 15 mm Vakuumdämmplatten
- 15 mm Vakuumdämmplatten, stoßversetzt
- Fugenabdichtung mit Aluklebeband
- 12 mm Weichfaserplatte
- 25 mm Gipsfaserplatten 2 x 12,5mm
- Bodenbelag

Bei dieser Ausführungsvariante ist eine sehr sorgfältige Verlegung mit sofortiger Zug um Zug-Verlegung der Schutz- und Decklagen unter ständig begleitender Bauaufsicht unbedingt erforderlich, um den schadfreien Einbau der Vakuumdämmpaneele sicher zu stellen. Durch die zweilagige stoßversetzte Verlegung kann mit Standardformaten das Auslangen gefunden werden, und die



Restfelder mit PU-Schaumplatten ausgefüllt werden. Die Verklebung der Stoßstellen mit einem Alu-Klebeband sichert die Dampfdiffusionsdichtheit.

Diese Ausführung stellt derzeit die kostengünstigste Variante mit Vakuumdämmelementen dar.

8.6.3.2 Vakuumdämmelemente VIP mit beidseitiger Plattenkaschierung

Polywert-THERMOSILENT[®]-Boden besteht aus einem WDS[®] Vacupanel der WACKER-CHEMIE GmbH das beidseitig mit einer Polyester-Faser-Platte der Polywert GmbH verklebt ist. Dieses Sandwich-Element besitzt eine hohe Steifigkeit und stellt einen mechanisch hoch belastbaren Vakuumdämmpanel-Trocken-Estrich mit vollwertiger Schall- und Wärmedämmung dar.

Die Polywert-THERMOSILENT[®]-Boden Platten können entweder am Untergrund verklebt oder schwimmend verlegt werden. Durch die bereits werksseitig aufgebrauchten beidseitigen Decklagen, ist das Vakuumdämmelement vor Beschädigungen auf der Baustelle relativ gut geschützt. Als lastverteilende Lage ist aber unbedingt eine zweite stoßversetzt angeordnete Plattenlage aus nicht brennbarem Material vollflächig verklebt erforderlich.

Preislich liegt diese Variante bei gleicher Dämmstärke im Mittelfeld.

8.6.3.3 Vakuumdämmelemente mit einer Edelstahlhülle VIS

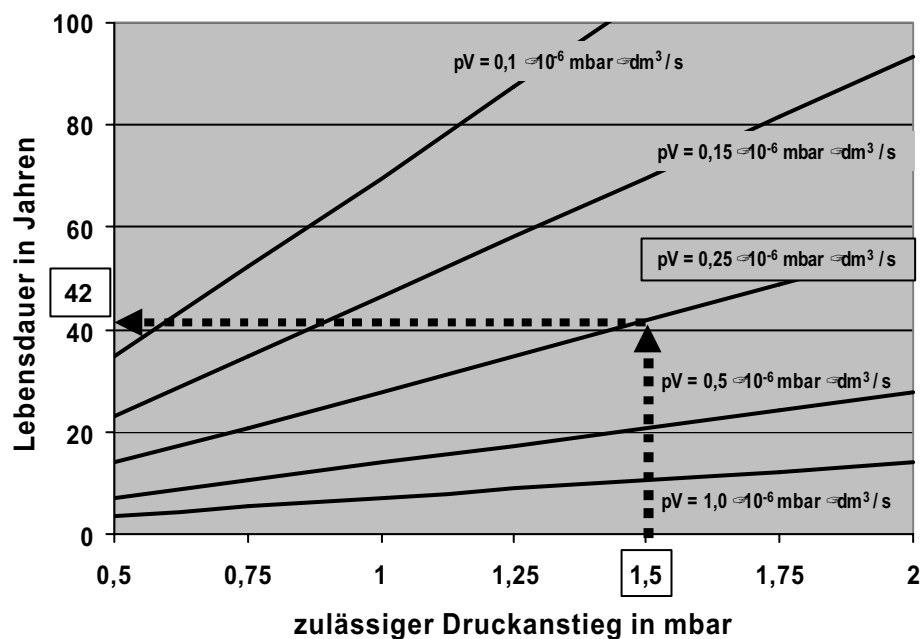
Die ThyssenKrupp tempsafe GmbH bedient sich dieses physikalischen Prinzips zur Fertigung (lastabtragender) Vakuum-Sandwichelemente: Ein Stützkern aus mikroporösem Material wird von einer gasdicht verschweißten Edelstahlhülle, die aus zwei planparallelen Deckblechen mit $d = 0,8$ mm und einem umlaufenden Membranprofil besteht und eine äußerst geringer Permeationsfähigkeit aufweist, umschlossen und - je nach Stützkernmaterial - auf einen atmosphärischen Druck von bis zu 10^{-2} Millibar evakuiert. Diese Vakuum-Isolationelemente (tempsafe[®] Elemente) erzielen damit eine (gemessene) Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,0052$ W/(mK).

Lebensdauer und mechanische Resistenz

Die Lebensdauer von Vakuumdämmelementen hängt in erster Linie ab von den Permeationsraten der Elementhülle. Grundsätzlich gilt: Je mehr Gasmoleküle in das Element eindiffundieren können, desto höher steigt der Innendruck und desto schlechter werden die Dämmeigenschaften. Diese – physikalisch mit keinem Material vermeidbare – Permeationsrate läßt sich durch Messungen in einem integralen Heliumlecktest sehr genau bestimmen. Bei den hier beschriebenen



Vakuumelementen mit Edelstahlhülle wird im Rahmen der Qualitätssteuerung für *alle* hergestellten Elemente die individuelle Permeationsrate mittels des oben genannten integralen Heliumlecktestes ermittelt, sodaß in Abhängigkeit dieses Wertes in Verbindung mit den jeweiligen geometrischen Abmessungen die jeweils approximierte Lebensdauer bestimmt werden kann (als Lebensdauer wird im Allgemeinen der Zeitraum des Anstieges des Innendruckes um 10-3 bar definiert, der korrelierende Anstieg der Wärmeleitzahl beträgt $\lambda \approx 0,0028 \text{ W/(mK)}$). Durch die äußerst geringen Permeationsraten von Edelstahl liegt die Lebensdauer der üblichen tempsafe®-Elemente damit deutlich über 25 Jahren.



Grafik : Ermittlung der rechnerischen Lebensdauer eines VIS-Elementes mit einem Stützkern aus mikroporösem XPS für folgende Randbedingungen:

- Übliches Fassadenelement mit den Abmessungen (Länge x Breite x Dicke) von 2750 x 2000 x 40 mm \approx Volumen 220 dm³
- Zulässiger Druckanstieg zul. $\Delta p = 1,5 \text{ mbar}$ bei $\lambda_{\text{grenz}} = 7 \text{ mW/(mK)}$ und einem Initialdruck von 0,1 mbar entsprechend Bild 3.4-1
- In der Dichtheitsprüfung nach [4] ermittelte Leckagerate $pV = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3 / \text{s}$

Quelle: ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Emden

In zweiter Linie hängt die Lebensdauer von Vakuumdämmelementen von ihrer Resistenz gegenüber mechanischen Belastungen ab. Diese Belastungen resultieren zum Einen aus den planmäßigen Transport-, Lagerungs- und Bauzuständen und zum Anderen aus unplanmäßigen Zusatzlastfällen, im Extremfall bis hin zu vorsätzlicher Destruktion. Die planmäßigen Belastungen sind durch die werkmäßige Dimensionierung der Deckbleche und die ausführliche Handhabungsbeschreibung mit ausreichender Sicherheit abgedeckt. Bild 2 zeigt vor diesem Hintergrund beispielhaft die plastische Verformung eines tempsafe®-Elementes in seinem Randbereich, ohne das sich eine Perforation der Edelstahlhülle einstellt. Der Verformungsweg beträgt rund 40% der Ausgangsdicke, die Versuche wurden durchgeführt am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum. Dort wurde dem Prüfkörper zwei



Wochen nach Versuchsdurchführung ein Konstantbleiben des Innendruckes (und damit die vollständige thermische Funktionsfähigkeit) attestiert!

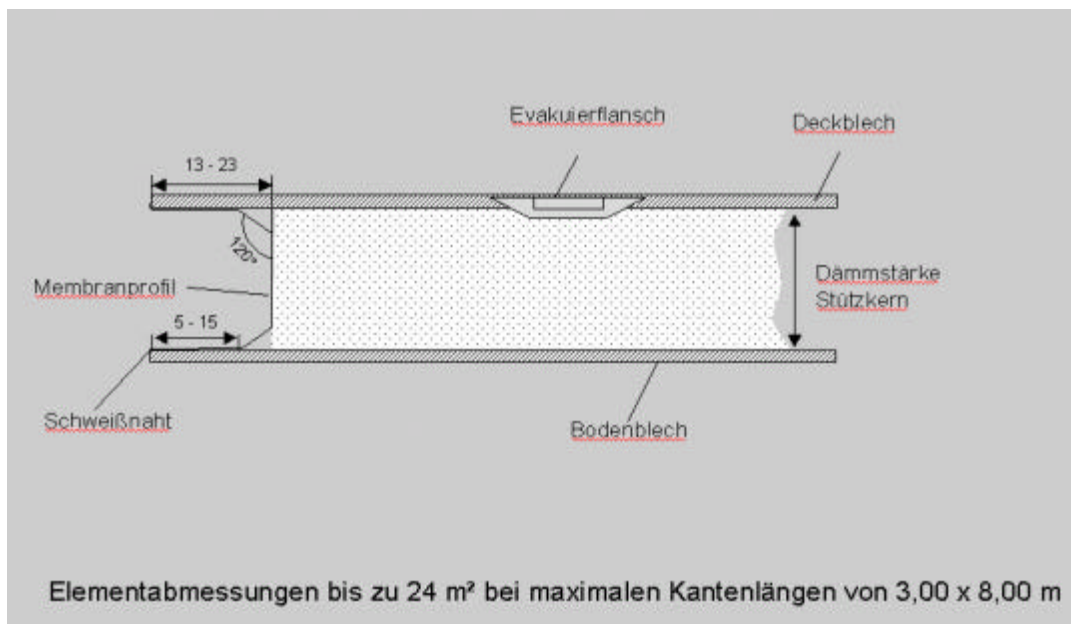


Bild : Der schematische Aufbau des tempsafe® - Paneels

Quelle: W. Willems, E. Nowara, Ch. Keitzl, ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Emden, „Vakuum: Hocheffiziente Wärmedämmung der Gebäudehülle“

Diese Ausführung stellt für das gegenständliche Projekt die kostenintensivste Variante dar.



8.7 Kleines Passivhauslexikon

Abluft

Aus einem Raum oder Gebäude abgesaugte Luft

Bemerkung: Wird oft zwecks Wärmerückgewinnung zuerst durch einen Wärmetauscher geleitet und gelangt dann als Fortluft ins Freie

Abluftdurchlass, Abluftöffnung

Lüftungstechnisches Bauteil oder Öffnung in einer Wand oder in einem Kanal zwecks Abtransport von Raumluft.

Bemerkung: Gemäß Schallschutz, Brandschutz, Lüftungstechnischen Erfordernissen etc. auszulegen. Bei größeren Luftmengen oft „Abluftgitter“, bei kleineren Luftmengen „Ablufttellerventile“

Abluftanlage, Abluftsystem

Lüftungssystem, bei dem Abluft aus einem oder mehreren Räumen abgesaugt wird, die Zuluft strömt über zufällige oder speziell vorgesehene Fassadenöffnungen nach.

Bemerkung: Eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft kann über Wärmetauscher und Wärmepumpe erfolgen.

Abluftkamin zu natürlichen Lüftung

Kamin bzw. Schacht in welchem die Abluft durch thermischen Auftrieb aus dem Gebäude geleitet wird.

Bemerkung: Dient gegebenenfalls auch zur Ansaugung der Zuluft z.B. über die Fassade.

Außenluft

Zu Lüftungszwecken von der Umgebung entnommene Luft mit „Außenluftqualität“ je nach Außenluftansaugung

Automatisierte Fensterlüftung

Lüftung über motorisch betätigte Fenster

A/V-Verhältnis

Die Kompaktheit des Gebäudes wird durch das Verhältnis der einhüllenden Gebäudeoberfläche A [m²] zu dem umbauten Volumen V [m³] definiert. Ein kompaktes Gebäude hat ein möglichst kleines A/V-Verhältnis und mithin eine möglichst kleine Oberfläche, über die Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Ein kompaktes Gebäude ist damit auch kostengünstig zu realisieren, denn die bauliche Hülle macht einen großen Anteil an den Kosten eines Gebäudes aus. Reihenhäuser und Geschosswohnungen haben hier einen geometrischen Vorteil gegenüber frei stehenden Einfamilienhäusern.

Baukosten

[€/m²]

Baukosten gemäß ÖNORM B 1801-1

Blower Door, „Gebläsetür“

Meßeinheit zur Messung der Luftdichtigkeit in einem Raum oder in einem Gebäude. Besteht aus einem Ersatztürblatt mit Ventilator, welcher dann einen Unter- oder Überdruck im Raum erzeugt.

CO₂ – Konzentration

Siehe Kohlendioxid



Drucktest

Drucktest mit der 'Blower-Door' (engl. für Gebläsetür), damit wird die luftdichte Hülle eines Gebäudes geprüft.

Mit dem Gebläse wird in der Wohnung ein kleiner Über- bzw. Unterdruck von 50 Pa erzeugt. Gleichzeitig wird der Luftvolumenstrom [m³/h] gemessen, der bei dieser Druckdifferenz vom Gebläse gefördert wird.

Erdwärmetauscher

Meist als 20 – 35m lange PE – Rohre im Erdreich ausgeführte Zuluftführung. Ein richtig dimensionierter Erdwärmetauscher kann die Frostschutzfunktion erfüllen, er erwärmt die zuströmende kalte Außenluft ohne zusätzlichen Energieverbrauch, so dass der Wärmeüberträger immer frostfrei bleibt.

Bemerkung: Zur Zuluftvorwärmung im Winter und Zuluftkühlung und Entfeuchtung im Sommer. Auch wassergeführte Erdwärmetauscher z.B. über Wasserregister in statisch notwendigen Piloten (Pfähle im Boden) oder unter der Fundamentplatte

Energiekennzahl Heizwärmebedarf (HBW)

[kWh/m²a]

Das Passivhaus setzt voraus, dass der Jahresheizwärmebedarf unter 15 kWh/m²a liegt. Zur Berechnung des Passivhauses nach den Kriterien des Passivhaus Institutes ist das PHPP zu Grunde zu legen (siehe PHPP).

Fortluft

Ins Freie geleitet Luft nach dem Lüftungsgerät bzw. nach der Wärmerückgewinnungseinheit des Lüftungsgerätes.

Bemerkung: Im Winter Fortlufttemperaturen < 0°C möglich, entsprechend gut zu dämmen + Kondensatgefahr zu beachten!

Freie Lüftung/Kühlung

Lüftung über die Fenster im Kühlfall, wenn außen kühlere Temperaturen als im Raum

Frequenzumformer, FU-geregelter Ventilator

Gemäß Bedarf hinsichtlich Luftmenge dynamisch stetig regelbarer Ventilator

g-Wert

[%]

Gesamtenergiedurchlassgrad durch transparente Bauteile nach EN 67507. Der Zielwert soll größer gleich 50% für das Passivhaus sein.

Haushaltsstrom

Für Passivhäuser wurde nach eingehender Untersuchung der Einsparpotenziale und Erprobung in Referenzobjekten ein oberer Zielwert für den Haushaltsstromverbrauch von 18 kWh/m²a Endenergie bzw. 55 kWh/m²a Primärenergie empfohlen. Durch die Anschaffung von besonders Energieeffizienten Geräten lassen sich Einsparungen von 50% und mehr in der Praxis gegenüber heutigen Durchschnittsgeräten erzielen. Durch die Installation einer Photovoltaikanlage kann dieser Strombedarf auch noch ökologisch aus Sonnenenergie selbst erzeugt werden.

Heizlast

[W/m²]

Ein Passivhaus sollte möglichst eine Heizlast von unter 10 W/m² erreichen. Zur Berechnung des Passivhauses nach den Kriterien des Passivhaus Institutes ist das PHPP zu Grunde zu legen (siehe PHPP).



Kamineffekt

Vertikale Luft-/Gasbewegungen, die durch thermisch bedingte Dichteunterschiede (thermischen Auftrieb) verursacht werden.

Klimatisierung, Voll-/Teilklimatisierung

Unter Vollklimatisierung wird im allgemeinen eine Heizung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung über die Lüftung verstanden, meist inklusive Umluftanteil.

Eine Teilklimatisierung erfüllt entsprechend über die Lüftungsanlage nur Teilfunktionen, z.B. Heizen morgens und Kühlen ohne Umluftbetrieb.

Kohlendioxid

= CO₂. Leitgröße für die durch den Menschen an die Raumluft abgegebenen Körpergerüche.

Komfort-Wohnungslüftung

Im Passivhaus ist eine Komfort-Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft unumgänglich, um die Lüftungswärmeverluste auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Der Wärmebereitstellungsgrad der WRG von mindestens 75% ist der Grenzwert für das Passivhaus.

Die Lüftung darf akustisch nicht stören und muss dauerhaft hygienisch einwandfrei sein. Ein Schallpegel von 25 dB(A) als oberer Grenzwert hat sich in Passivhäusern bewährt.

Kompaktaggregat

Für die Beheizung von Passivhäusern und Wohnungen können sogenannte Kompaktaggregate eingesetzt werden. Diese Geräte heizen die Zuluft und erwärmen das Brauchwarmwasser mit einem integrierten kleinen Wärmeerzeuger, z.B. einer Wärmepumpe. Sie bieten sich für Passivhäuser an, weil die gesamte Haustechnik in einem Gerät vereinigt ist und somit der Installationsaufwand gering ist.

Kriterien für das Passivhaus (Neubau und Altbau)

Heizlast kleiner als 10 W/m² (gerechnet nach PHPP)

Heizwärmebedarf kleiner als 15 kWh/m²a (gerechnet nach PHPP)

n₅₀ < 0,6 gemessen

PH-Fenster U_w < 0,85 W/m²k (PH-Institut zertifiziert)

U-Glas < 0,7 W/m²k gem. deutschen Bundesanzeiger

Kriterien für „Altbausanierung mit Passivhauskomponenten“

Alle Gebäudetypen bzw. -nutzungen

Heizwärmebedarf bis 30 kWh/m²a gem. PHPP oder 20 kWh/m²a gem. Energieausweis

n₅₀ < 0,6 gemessen

Lüftungseffektivität, Lüftungswirksamkeit

Maß für die Funktion einer Lüftung hinsichtlich Luftaustausch und Abtransport von Verunreinigungen. Je höher die Lüftungseffizienz eines Lüftungssystems, desto direkter werden Schadstoffe abgeführt bzw. desto geringere Luftwechselzahlen sind für eine ausreichende Belüftung notwendig. Beispiel siehe „Quelllüftung“

Lüftungswärmeverlust

Wärmeverlust durch Zu- respektive Abströmung von Luft aus einem Raum

Luftwechselzahl

Luftstrom der in einen oder mehrere Räume eintritt bzw. diese verlässt dividiert durch das Nettoraumvolumen



Bemerkung: Ein Luftwechsel von 1/h (eins pro Stunde) bedeutet, dass das gesamte Raumluftvolumen innerhalb einer Stunde als Zuluft zu- und als Abluft abgeführt wird. Dies heißt jedoch nicht unbedingt, dass im gesamten Raum die Luft ausgetauscht wurde (siehe Lüftungseffizienz)

Mechanische Lüftung

Lüftung mittels Ventilatoren.

Mischlüftung

Mechanische Lüftung, bei der sich die Zuluft mit der Raumlufte vermischt.

Modulare Systeme

Werden Lüftungsgeräte mit WRG mit separaten Heizsystemen kombiniert, spricht man von „Modularen Systemen“.

Dazu bieten sich Erd- oder Grundwasserwärmepumpen, kleine Pellets- bzw. Holzheizungen oder Gas-/Öl-Brennwert-Geräte an. Wegen des sehr geringen Leistungsbedarfs von etwa 1,5 kW für eine typische Wohnung sind die bislang am Markt verfügbaren Geräte für Einfamilienhäuser jedoch meist zu groß dimensioniert. Bei großvolumigen Bauten bieten sich Semi-Zentrale Lösungen an, die mit gängigen Geräten im unteren Leistungsbereich versorgt werden können. In Siedlungen werden oft Nahwärmenetze mit Blockheizkraftwerken realisiert. In jedem Fall sollten die Möglichkeiten am Standort ausgelotet werden und ein auf die konkrete Situation abgestimmtes Energie-Konzept erarbeitet werden.

Nachtkühlung

Nächtliche Raumkühlung z.B. über Fensterlüftung oder nachts aktives Kühlsystem. Zur Abkühlung von Speichermassen und morgens kühlere Raumtemperaturen.

n_{50} -Wert

[1/h]

Luftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz von 50 Pa beim Drucktest, bezogen auf das Nettovolumen des Gebäudes, gibt ein Maß für die Luftdichtheit eines Gebäudes. Als Zielwert für die Luftdichtheit von Passivhäusern sollte man $n_{50} = 0,3$ 1/h anstreben, um den Grenzwert von $n_{50} = 0,6$ 1/h dauerhaft und sicher zu unterschreiten. Wie die zahlreichen gebauten und messtechnisch begleiteten Häuser zeigen, ist dieser Wert bei guter Planung und konsequenter Ausführung von Details bei allen Bauarten gut erreichbar.

Notlüftung

Lüftung bei außerordentlichen, selten auftretenden Geruchs- oder Schadstoffemissionen.

Passivhaus allgemein

Das Passivhaus steht an der Spitze der Entwicklung nachhaltiger Bauweisen im mitteleuropäischen Klima. Der Schlüssel hierzu ist eine ganz erheblich verbesserte Energieeffizienz. Um diesen Baustandard zu erreichen ist das Zusammenspiel von sehr guter Wärmedämmung, Luftdichtheit, Wärmebrückenfreiheit, Passivhausfenstern und einer Komfortlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung, Haustechnik mit niedrigen Aufwandszahlen und stromsparende Geräte nötig.

Damit wird es möglich, Häuser im mitteleuropäischen Klima so zu bauen, dass der verbleibende Heizenergieverbrauch verschwindend gering ist und die Heizung eine funktionale Verbindung mit der Lüftung eingehen kann – mit Synergieeffekten für beide Bereiche, aber vor allem mit einer erheblichen Steigerung der Behaglichkeit und der Bau- und Wohnqualität.



Wie die zahlreichen in dieser Passivhaus Objektdatenbank dokumentierten Beispiele von Passivhäusern zeigen, lässt sich dabei Architektur, Ökologie und Ökonomie gleichermaßen zufriedenstellend berücksichtigen. Außerdem ist der Passivhausstandard in jeder Konstruktionsweise und für jeden Objekttyp und –nutzung möglich.

PHPP

Passivhaus Projektierungs Paket, Heizenergiebilanz nach EN 832, mit zusätzlichen Randbedingungen, die speziell auf das Passivhaus zugeschnitten sind. Mit dem PHPP steht dem Planer ein Berechnungsverfahren für Passivhäuser zur Verfügung, mit dem die Energiebilanz und mithin die Funktionstüchtigkeit des entstehenden Passivhauses vom ersten bis zum letzten Planungsschritt verfolgt werden kann. Hier fließen alle energetisch relevanten Information über das entstehende Gebäude zusammen.

Plattenwärmetauscher

Wärmetauscher im Lüftungsgerät, bei welchem der Wärmeaustausch zwischen Abluft und Außenluft über Metall- oder Kunststoffplatten funktioniert.

Bemerkung : Doppelpplattenwärmetauscher: zwei hintereinander geschaltete Einfachplattenwärmetauscher.

PMV – Wert

„Predicted Mean Vote“, Komfortmaßstab für den thermischen Komfort auf einer Bewertungsskala von –3 (kalt) über 0 (neutral) bis +3 (heiss)

PPD – Wert

„Percentage of People Dissatisfied“, Komfortmaßstab, zeigt an, wie viele Personen statistisch mit einem bestimmten Klimazustand zufrieden sind.

Bemerkung: PPD ist minimal 5%, auch bei „optimaler“ Klimasituation kann keine vollständige Zufriedenheit aller erreicht werden.

Primärenergie-Kennwert

[kWh/m²a]

Der Primärenergie-Kennwert für die Summe aller Anwendungen (Heizung, Lüftung, Warmwasser und Haushaltsstrom) soll bei Passivhäusern nicht größer als 120 kWh/m²a sein.

^a

[W/mK]

Linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient, auf Außenmaße der Bauteile bezogen. Generell sollten konstruktive Wärmebrücken beim Passivhaus soweit wie möglich vermieden oder jedenfalls auf einen vernachlässigbaren Wert begrenzt werden. Das Grundprinzip hierfür ist das „wärmebrückenfreie Konstruieren“. Als Kriterium hierfür hat sich die Anforderung $\alpha_a \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$ bewährt.

^{Einbau}

[W/mK]

Linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient, der beim Einbau eines Fensters in die Wand entsteht

^{Glasrand}

[W/mK]

Linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient am Glasrand eines Fensters

Quelllüftung

Lüftungsart, bei der die Zuluft mit leichter Untertemperatur und geringen Luftgeschwindigkeiten in den Raum eintritt, durch thermischen Auftrieb an den Wärmequellen (i.b. den Personen) aufsteigt.

Bemerkung: Hohe Lüftungseffektivität durch direkte Luftzufuhr an die Verbraucher (Personen) und direkte Abfuhr. Zuluftuntertemperatur notwendig, damit separate



Heizkörper nicht in Nähe der Zuluftauslässe und im Sommer Maßnahme für kühlere Zuluft.

Querlüftung

Lüftungsart, bei der der Raum quer durchlüftet wird, z.B. Zuluft eintritt an der Fassade, Abluftabsaugung gangseitig

Bemerkung: Höhere -> Lüftungseffizienz und bessere Nachtkühlung durch die Lüftung möglich

Rotationswärmetauscher

Wärmetauscher im Lüftungsgerät, bei welchem der Wärmeaustausch zwischen Abluft und Außenluft über ein rotierendes, wärme- und feuchteübertragendes Material funktioniert.

Bemerkung: Im Unterschied zum -> Plattenwärmetauscher kann hierbei auch die in der Abluft enthaltene Feuchte für die Zuluft genutzt werden.

Schachtlüftung

Lüftung über thermischen Auftrieb in -> Abluftkaminen

Speichermasse, thermisch wirksame

Speichermasse der raumumschließenden Oberflächen, welche nicht z.B. über den Innenausbau, Abhängendecke oder Bodenbeläge thermisch vom Raum entkoppelt ist. Bemerkung: Im 24 h Zyklus sind etwa die ersten 3 bis 5 cm der raumumschließenden Oberflächen thermisch speicherwirksam.

U-Wert

[W/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient eines flächigen Bauteils, berücksichtigt auch regelmäßig vorkommende Wärmebrückenbeiträge, z.B. Holzständerbauweise. Alte Bezeichnung: k-Wert.

Alle U-Werte (ausgenommen Fenster und Türen) müssen einen U-Wert unter 0,15 W/m²K im Passivhaus aufweisen. Anzustreben ist ein U-Wert gegen 0,10 W/m²K, speziell bei Einfamilienhäusern auf Grund des schlechteren A/V-Verhältnis.

Dadurch unterscheiden sich beim Passivhaus die Wand-Innentemperaturen kaum mehr von der mittleren Raumtemperatur. Es entsteht ein angenehm gleichmäßiges Raumklima ohne kalte Ecken.

U_w -Wert

[W/m²K]

U_w -Wert des Gesamtfensters nach DIN EN 10077 (Window)

Der Grenzwert für ein Passivhausfenster soll U_w 0,80 W/m²K nicht überschreiten. Hochwertige Fenster sind für das Passivhaus eine wichtige Voraussetzung. Daher sollten in Passivhäusern möglichst nur vom Passivhaus Institut zertifizierte Fenster zum Einsatz kommen, welche nach der DIN EN 10077 berechnet sind. Durch derzeit unterschiedlich gültigen Normen ist angegeben, welche dem U_w-Wert zugrunde liegt.

U_{w eingebaut} -Wert

[W/m²K]

U_{w eingebaut} -Wert des Gesamtfensters nach DIN EN 10077 (Window) im eingebauten Zustand. Der Grenzwert für ein eingebautes Passivhausfenster sollte U_{w eingebaut} 0,85 W/m²K nicht überschreiten. Die Forderung nach einem U-Wert von weniger als 0,85 W/m²K für das Fenster leitet sich von den Anforderungen an die Behaglichkeit und aus der Energiebilanz des Gebäudes her. Verzichtet man auf einen Heizkörper unter dem Fenster, so muss die mittlere Temperatur an der Innenoberfläche des Fensters auch im Auslegungsfall höher sein als 17 °C. Ansonsten kann es zu einem Kaltluftsee am Boden kommen, so dass ein Aufenthalt in der Nähe der Fenster unbehaglich sein kann.



U_D –Wert [W/m²K]
U_D -Wert einer Tür (Door)
Für Außentüren im Passivhaus sollte der UD-Wert ebenfalls kleiner als 0,8 W/(m²K) sein.

U_f –Wert [W/m²K]
U_f -Wert eines Fensterrahmens (engl. frame)

U_g –Wert [W/m²K]
U_g -Wert im Zentrum einer Verglasung, Wärmebrückeneffekte am Glasrand werden darin nicht berücksichtigt. Für die PHPP Berechnung sollte der U_g-Wert nach dem BAZ (Deutschen Bundesanzeiger) angegeben werden. Der Grenzwert für ein Passivhausverglasungen soll U_g 0,70 W/m²K nicht überschreiten.

Überströmöffnung
Öffnung zur Überströmung von Luft aus einem Raum in einen anderen Raum.
Bemerkung: z.B. Klasse -> Gang oder Gang -> Sanitärbereiche. Auslegung gem. Lüftungstechnischen, akustischen und brandschutztechnischen Erfordernissen.

Umluftbetrieb
Betriebsweise einer Lüftung, bei der aus einem oder mehreren Räumen abgeführte Abluft wieder als Zuluft (eventuell mit Außenluftbeimischung) zugeführt wird. Bemerkung: Kritisch hinsichtlich Hygiene insbesondere bei zentralen Lüftungsanlagen. Bei Heizbetrieb über die Lüftung außerhalb von Personenanwesenheit u.U. sinnvoll.

Warmwasser-Bereitung
Da für die Heizung nur noch sehr wenig Energie verbraucht wird, wird die Warmwasserbereitung zum bedeutendsten Verbraucher. Durch die Kombination mit thermischen Solarkollektoren können bis zu 60 % der Energie für Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie erzeugt werden.

Wärmebrücken vermeiden
Die Vermeidung von Wärmebrücken stellt nach den Erfahrungen im Passivhausbau eine der wirtschaftlichsten Effizienzmaßnahmen dar. Auch hier sind der erreichte Schutz der Bausubstanz und die verbesserte Behaglichkeit offensichtlich. In einem wärmebrückenfrei konstruierten Passivhaus gibt es kein Tauwasser oder gar Schimmelbildung an Innenoberflächen mehr.

Wärmeerzeugung für das Passivhaus
Auch im Passivhaus muss ein Restwärmebedarf gedeckt werden – es ist kein Nullheizenergiehaus. Es reicht aber aus, den extrem geringen Wärmebedarf durch eine Nacherwärmung der Zuluft, die ohnehin verteilt werden muss, zuzuführen. So kann die Lüftung gleichzeitig auch als Heizwärmeverteilung dienen. Als Wärmeerzeuger stehen im Passivhaus generell mehrere Konzepte zur Verfügung.

Wärmeleitfähigkeit eines Materials [] [W/mK]

Wärmerückgewinnung
Verfahren, um Wärme, die andernfalls als Abwärme wegströmt, zum zweiten Mal zu nutzen.
Bemerkung: Z.B. Über Vorbeiströmen der Abluft an der Zuluft im Wärmetauscher des Lüftungsgeräts oder über Wasserwärmetauscherregister in der Abluft möglich.

Zuluft
Einem oder mehreren Räumen zugeführte Luft.

