LANDKREIS ERDING

# „Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf“

## Abschlussbericht

gefördert unter dem Aktenzeichen 26170/02-25

von

Dipl.-Phys. Klaus Rohlffs, ip5 ingenieurpartnerschaft
Dipl.-Ing. Architekt Holger König, LEGEP Software GmbH
Dipl.-Ing. Mathias Baumann, kplan® AG
Dipl.-Ing. R. Wieder, R. Wieder GmbH
Dipl.-Ing. Architekt (TU) Hans Gruber, kplan® AG
RA Hanns-Peter Kirchmann, kplan® AG

**Karlsruhe / Abensberg / Erding, 17.12.2008**

# Deutsche Bundesstiftung Umwelt

| Az | 26170/02-25 | Referat | Fördersumme |
|---|---|---|---|

| | |
|---|---|
| **Antragstitel** | Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding |
| **Stichworte** | Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf |

| Laufzeit | Projektbeginn | Projektende | Projektphase(n) |
|---|---|---|---|
| **September 2008 bis 31.12.2010** | **September 2008** | **31.12.2010** | **LPH 1 – 4 HOAI** |


**Bewilligungsempfänger**

Landkreis Erding
VD Heinz Fischer
Landratsamt Erding
Alois Schießl Platz 2
85435 Erding
Email: heinz.fischer@lra-ed.de

Tel 08122/58-1366
Fax 08122/58-1109


Projektleitung
Heinz Fischer

Bearbeiter
Heinz Fischer

## *Kooperationspartner*

ip5 ingenieurpartnerschaft, Bahnhofplatz 10, 76137 Karlsruhe,
für den Bereich Bauphysik: ip5 ingenieurpartnerschaft in Zusammenarbeit mit dem Büro Ebök, 72003 Tübingen,
für den Bereich Nachhaltigkeit: ip5 ingenieurpartnerschaft mit dem Büro LEGEP, Moosweg 9, 85757 Karlsfeld.

## *Zielsetzung und Anlass des Vorhabens*

Der Landkreis Erding plant den Neubau eines Schulgebäudes mit erheblichen Anforderungen an einen sehr niedrigen Primärenergieverbrauch im Betrieb. Es soll ein insbesondere auch über den gesamten Lebenszyklus extrem ressourcenschonendes Gebäude entstehen. Prägend waren von Anfang an folgende Leitgedanken:

- Ausführung im Passivhausstandard mit einem maximalen spezifischen Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m² a) und einem maximalen Primärenergiebedarf der Haustechnik von 60 … 70 kWh/(m² a)
- Wärmeversorgung des Gebäudes durch Nutzung umweltfreundlicher Ressourcen (Geothermie)
- Minimierung des erforderlichen Kunstlichteinsatzes durch Gewährleistung einer guten Tageslichtversorgung und durch präsenz- und tageslichtabhängige Regelung der Beleuchtungsanlage
- Wesentlich verbesserte Behaglichkeit für die Nutzer bei geringem Regelungsaufwand
- Einfache Wartung- und Instandhaltung der technischen Anlagen im Betrieb
- Reduzierte, hocheffiziente Haustechnik durch durchdachte Führung von Medien (insbesondere von Luft) und Mehrfachnutzung ohnehin vorhandener Einheiten (Beispiel: Nutzung des Atriums als Abluftplenum zur Verringerung des vorzuhaltenden Kanalrohrnetzes
- Zu prüfen war der Einsatz ökologischer Materialien für Baustoffe und Installationsmaterialien.
- Zusammenfassend kann als End- bzw. Gesamtziel ein energiesparendes und nachhaltiges Schulgebäude definiert werden.
- Einbindung Nutzer, Bauherr, Öffentlichkeit und Planer
- Der Endbericht und auch die Auswertungen im Betrieb der Anlage werden in unterschiedlichen Medien (Fachzeitungen, Internetportal etc.) publiziert.
- Durchsetzung des Energiespargedankens durch Einbindung nicht nur der staatlichen Stellen, sondern einer größtmöglichen Öffentlichkeit, insbesondere Schüler, Lehrer, Eltern, Planer, gesetzgebende Behörden, Kultusministerium, Finanzministerium, Oberste Baubehörde

## *Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden*

Die wesentlichen Arbeitsschritte lassen sich wie folgt beschreiben:

1. Grundlagenermittlung
2. Prüfung der grundsätzlichen Erreichbarkeit der Passivhaus-Kriterien (Verwendung des Passivhaus-Projektierungspakets PHPP2007); Erarbeiten wesentlicher bauphysikalischer und haustechnischer Anforderungen zur Erreichung des Passivhaus-Standards. Ggf. Modifikation des Entwurfs zur weiteren Verringerung des Primärenergiebedarfs
3. Entwicklung eines ressourcenschonenden baulich-technischen Energiekonzepts; hierbei kommen tabellarische Bilanzierungswerkzeuge zum erzielbaren Primärenergiebedarf des Gebäudes sowie Simulationssoftware für das thermisch-dynamische Gebäudeverhalten (TRNSYS15) und die Tageslichtsituation (RADIANCE) zum Einsatz. Es werden z. B. in den Bereichen Dämmstandard, Tageslichtautonomie und sommerlicher thermischer Komfort jeweils mehrere Varianten überprüft. Sämtliche Erfordernisse zur Erreichung der energetischen Ziele werden unter den Planungsbeteiligten abgestimmt. Ein energetisches Pflichtenheft mit Detailangaben zu anzustrebenden Grenzwerten dient den Planern als Grundlage, um die ambitionierten energetischen Ziele zu erreichen.
4. Kontinuierliche Anpassung der Primärenergiebilanz Haustechnik zur Überprüfung, inwieweit die sehr ambitionierten energetischen Ziele erreicht werden können.
5. Abschätzung der Kosten der Kostengruppen 300 und 400 und energetische sowie wirtschaftliche Bewertung durch Vergleich zwischen dem vorliegenden Projekt und einer in Geometrie und Nutzung identischen fiktiven Schule in Standardbauweise
6. Life-Cycle-Analysis mit der Bilanzierungssoftware LEGEP
7. Erarbeitung eines Monitoring-Konzepts für die Ermittlung der Primärenergiebilanz im realen Betrieb des Gebäudes und die zielgerichtete Optimierung von Steuerungs- und Regelungskonzepten.
8. Durchsetzung des Energiespargedankens durch Einbindung nicht nur der staatlichen Stellen, sondern einer größtmöglichen Öffentlichkeit, insbesondere Schüler, Lehrer, Eltern, Planer, gesetzgebende Behörden, Kultusministerium, Finanzministerium, Oberste Baubehörde.

## *Ergebnisse und Diskussion*

Das entwickelte baulich-technische Energiekonzept hat, soweit bisher erkennbar, die selbst gesteckten energetischen und komforttechnischen Ziele voll umfänglich erreicht. So wird der Passivhausstandard mit einem rechnerisch ermittelten spezifischen Heizwärmebedarf von ca. 11 kWh/(m² a) sicher erreicht. Aufgrund der sorgfältigen Auswahl sämtlicher energierelevanter Komponenten kann auch der Zielkorridor des Primärenergiebedarfs Haustechnik von 60 … 70 kWh/(m² a) rechnerisch erreicht werden. Insbesondere aufgrund einer erheblichen Reduktion notwendiger haustechnischer Komponenten durch z. B. die Nutzung des Atriums als Abluftplenum und die Gewährleistung eines guten sommerlichen thermischen Komforts allein durch Nachtauskühlung (und somit ohne z.B. eine Betonkernaktivierung oder anderweitig realisierte Flächenkühlung) konnten auch die in einer Lebenszyklusanalyse erfassten Größen wie „Graue Energie“ und mit der Herstellung des Gebäudes assoziierte Schadstoffemissionen signifikant reduziert werden. Einige der ursprünglich formulierten Technologie-Ansätze wurden modifiziert, insbesondere sind folgende Änderungen hervorzuheben:

1. Die Führung der Zuluft in der Dämmebene der Fassade wurde aufgrund der damit verbundenen rechnerisch ermittelten Beeinträchtigung der Wärmeschutzeigenschaften verworfen. Die Zuluft wird nunmehr fassadennah innerhalb der thermischen Gebäudehülle in die Klassenräume geführt.

2. Die ursprünglich geplante Realisierung von
   - Fassadenmodulen mit lüftungstechnischer Funktion und integrierten Wärmerückgewinnungs-Einheiten sowie
   - auf PCM-Materialien basierenden Speichereinheiten

   wurde wegen
   - der Anschlussproblematik (Dichtigkeit, Fassadendurchdringungen),
   - des unwesentlichen Einsparpotentials durch PCM-Materialien (geringer, nicht zielführend nutzbarer Temperaturhub im dianen Rhythmus, verbunden mit der relativ niedrigen in ein Fassadenelement einbringbaren Menge an PCM-Materialien) und
   - der geringeren Effizienz „kleiner“ lüftungstechnischer Komponenten gegenüber größeren, zentralen Einheiten

   nicht weiterverfolgt.

   Es konnte gezeigt werden, dass eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit einer Führung der Abluft über die Verkehrswege und das Atrium ähnlich gute oder bessere volumetrische Kennwerte und mindestens ebenso gute Wärmerückgewinnungsgrade aufweist wie dezentrale Anlagen.

3. Die Überströmung der verbrauchten Luft aus den Klassenzimmern ins zentrale Atrium mittels Kleinventilatoren konnte durch die Entwicklung eines extrem druckverlustarmen Überströmelements überflüssig gemacht werden, welches gleichzeitig Telefonieeffekte unterbindet und bei Bedarf Brandabschnitte voneinander abtrennt.

## *Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation*

Mit der Öffentlichkeit und der Präsentation soll im Wesentlichen das Bewusstsein der Klimaproblematik auf allen Ebenen verstärkt und auf Fehlentwicklungen aufmerksam gemacht werden. Dazu sind folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Mehrere, für die Öffentlichkeit frei zugängliche Veranstaltungen durch das Planungsteam
- Laufende Veranstaltungen mit Schülern, Eltern und insbesondere Lehrkräften in der Bauphase Ziel: Hintergründe sowie das Energie- und Lüftungskonzept transparent zu machen sowie ressourcen- und umweltschonende Aspekte darzustellen. Außerdem Verstärkung der Akzeptanz bei den Beteiligten
- Teilnahme von Schüler-, Eltern- und Lehrervertretern an Gesprächen des Projektteams
- Einstellung des Endberichts im Internet, Homepage der Landkreise Erding und Ebersberg mit eigenem Link zu den wesentlichen Ergebnissen des Endberichts
- Führung mit Fachleuten und Ausschüssen anderer Kommunen
- Führung von interessierten Fachingenieuren (über Bayerische Ingenieurkammer/Bayerische Architektenkammer)
- Ergebniskonferenz mit der Bayerischen Obersten Baubehörde sowie dem Finanzministerium Ziel: Hinweis auf die Missstände der geltenden, veralteten Schulbau- und Förderrichtlinien
- Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften (Architektenblatt, Mitteilungsblatt der Ingenieurkammer

Abschließende Anmerkung:
Die derzeitigen Planungsergebnisse, die in die Bauausführungsphase einfließen, werden trotz aller Öffentlichkeitsarbeit und Präsentationen ihre überzeugende Wirkung erst mit Abschluss des Projektes haben. Auf diese Phase muss unabhängig von den baubegleitenden Maßnahmen das Hauptaugenmerk gerichtet werden.

## *Fazit*

Das vom Planungsteam entwickelte baulich-technische Energiekonzept für die FOS/BOS Erding erreicht die außergewöhnlich anspruchsvollen energetischen und komforttechnischen Ziele des Vorhabens voll umfänglich. Der Passivhausstandard wird sicher eingehalten. Auch der Zielwert des Primärenergiebedarfs Haustechnik von 60 … 70 kWh/(m² a) kann nach heutigem Stand der Berechnungen gut realisiert werden. Das Gebäude weist eine gute Tageslichtversorgung bei gutem sommerlichen Wärmeschutz und angenehmen sommerlichen Empfindungstemperaturen auf. Aufgrund einer erheblichen Reduktion notwendiger haustechnischer Komponenten konnten auch die in einer Lebenszyklusanalyse erfassten Größen wie „Graue Energie“ und mit der Herstellung des Gebäudes assoziierte Schadstoffemissionen signifikant reduziert werden. Das in Vorbereitung befindliche Messdatenerfassungs-Programm wird die zielgerichtete energetische Optimierung in den ersten Betriebsjahren ermöglichen.

# Inhaltsverzeichnis


1 Zusammenfassung ..... 11
2 Einleitung ..... 14
3 Das Vorhaben ..... 19
3.1 Architektonisches Konzept ..... 19
3.1.1 Städtebau ..... 19
3.1.2 Funktion und innere Organisation sowie Außenbezüge ..... 25
3.1.3 Konstruktion ..... 27
3.1.4 Fassade ..... 31
3.1.5 Fluchtbalkone ..... 38
3.1.6 Materialkonzept ..... 40
3.2 Entwicklung eines ressourcenschonenden baulich-technischen Energiekonzepts 44
3.2.1 Passivhaus-Nachweis mit dem PHPP ..... 44
3.2.2 Wärmebrückenberechnungen ..... 45
3.2.3 Thermisch-dynamische Simulationsrechnung ..... 51
3.2.4 Energetische Aspekte bei der Umsetzung des Nachtlüftungskonzepts ..... 57
3.2.5 Untersuchungen zur Tageslichtnutzung ..... 58
3.2.6 Abschätzungen zum erzielbaren spez. Primärenergiebedarf Haustechnik ..... 73
3.2.7 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599 ..... 74
3.3 Beschreibung des Haustechnikkonzepts ..... 75
3.3.1 Einbindung der Nutzer und des Bauherrn ..... 76
3.3.2 Wartung und Instandhaltung ..... 77
3.3.3 Kurzfassung der Anlagenkonzeption ..... 78
3.3.4 Heizungsversorgung ..... 81
3.3.5 Kälteversorgung ..... 84
3.3.6 Berechnung der Luftvolumenströme ..... 87
3.3.7 Beschreibung der RLT-Anlagen ..... 88
3.3.8 Regenwassernutzungsanlage ..... 113
3.3.9 Gegenüberstellung Standardschule / Passivhausschule – Ökologische und technologische Bewertung ..... 115
3.3.10 Bewertung der Vorhabensergebnisse unter ökonomischen Gesichtspunkten ..... 119
3.3.11 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse ..... 125
3.4 Monitoring-Konzept ..... 126
3.5 Berechnungen zur Lebenszyklusanalyse (LEGEP) ..... 128
3.5.1 Veranlassung ..... 128
3.5.2 Ausgangslage ..... 128
3.5.3 Aufgabenstellung ..... 132
3.5.4 Integrale Planungsmethodik ..... 132
3.5.5 Ergebnisse der Projektauswertung ..... 149
3.5.6 Elementevergleich ..... 182
3.5.7 Zusammenfassung ..... 194
3.6 Fazit ..... 195
3.7 Literaturverzeichnis ..... 197
4 Anhang ..... 1
4.1 Berechnungsgang Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) ..... 1
4.2 Randbedingungen der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung im Atrium ..... 7
4.3 Abschätzung des erzielbaren Primärenergiebedarfs Haustechnik ..... 9
4.4 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599 ..... 19
4.5 Kühllastberechnung nach VDI 2078 ..... 20
4.6 Heizlastberechnung nach DIN/EN 12831 ..... 27
4.7 Elementliste ..... 29

# Abbildungs- und Tabellenverzeichnis


Abb. 1 Modellfoto Süden Abb. 2 Modellfoto gesamt 14
Abb. 3 Lageplan 14
Abb. 4 1. Obergeschoss 15
Abb. 5 Ausgangssituation Städtebau 19
Abb. 6 Kriterienmatrix Städtebau/Architektur 20
Abb. 7 Alternativlösungen Städtebau 21
Abb. 8 Park- und Campuskonzept 23
Abb. 9 Gemeinsamer Pausenbereich FOS-Gastro 24
Abb. 10 Vergleich: Hoher und abgesenkter Baukörper 24
Abb. 11 Schema der Wegführung im Gebäude 25
Abb. 12 Atrium Blickbeziehungen / Lichtverteilung 26
Abb. 13 Lichtverteilung im Atrium 26
Abb. 14 Außenansicht: Lichtgraben und Außenanlagen 27
Abb. 15 Vergleich verschiedener Bauweisen und Gründungen 28
Abb. 16 Nutzbare Speichermasse bei verschiedenen Geschossdeckenaufbauten 30
Abb. 17 Vergleich Fensterkonstruktion 31
Abb. 18 Lichtverteilung und Blickdichte bei Sonnenschutzprinzipien 33
Abb. 19 Wirkungsweisen von tageslichtgesteuerten Raffstoren 33
Abb. 20 Wärmeverteilung in Fassade mit Lüftungskanälen 34
Abb. 21 Detailschnitt / Außenfassade 36
Abb. 22 Wärmeverteilung bei verschiedenen Fassadenbefestigungen 37
Abb. 23 Wandaufbau 37
Abb. 24 Fassadenanschluss Aluminium / Holz 37
Abb. 25 Minimierung von Wärmebrücken durch autarke Balkonkonstruktion 39
Abb. 26 Außenfassade 40
Abb. 27 Atrium 41
Abb. 28 Geschossdarstellung im Farbschema 42
Abb. 29 Raumakustik und Speichermasse 42
Abb. 30 Klassenraum 43
Abb. 31 Auszug aus dem Passivhaus-Nachweis mit dem PHPP (Anmerkung: Bei der Ermittlung der Energiebezugsfläche werden VF und NNF nur zu 60 % gezählt, so dass die EBF kleiner ist als die NGF). 44
Abb. 32 Visualisierung für das Fassadenelement mit drei Lüftungskanälen 45
Abb. 33 Visualisierung für das Fassadenelement mit zwei Lüftungskanälen 46
Abb. 34 Visualisierung für das Fassadenelement mit einem Lüftungskanal 46
Tabelle 1 Mittlere U-Werte mit und ohne Zusatzdämmung 47
Tabelle 2 Mittlere U-Werte mit und ohne Zusatzdämmung, jeweils für das gesamte Klassenzimmer 47
Abb. 35 Berechnungsergebnis für das U-Profil aus Edelstahl 48
Abb. 36 Berechnungsergebnis für den Fassadenanker aus Holz 49
Abb. 37 Berechnungsergebnis für das Z-Profil aus Holz und Sperrholz 49
Tabelle 3 Übersicht über wesentliche Berechnungsergebnisse 50
Abb. 38 Exemplarische Werteverläufe der Außenluft- und Empfindungstemperatur 51
Abb. 39 Exemplarische Werteverläufe der Empfindungstemperatur (detailliertere Darstellung) 52
Tabelle 4 Auswertung wesentlicher Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung 52
Abb. 40 Grafische Auswertung der Simulationsrechnung; es sollte mindestens ein thermischer Komfort entsprechend den markierten Werten angestrebt werden. 53
Abb. 41 Thermisch-dynamische Jahressimulation eines nordorientierten Klassenzimmers ohne aktive Beheizung. 53
Abb. 42 Werteverläufe während einer warmen Wetterperiode 54
Abb. 43 Werteverläufe während einer warmen Wetterperiode; Detail 55
Abb. 44 Geordnete Jahresdauerlinien der Empfindungstemperatur 55
Tabelle 5 Ausgewählte Ergebniswerte über das gesamte Simulationsjahr 56
Abb. 45 Grafische Auswertung der Simulationsrechnung für das Atrium 56
Abb. 46 Wichtige lichttechnische Größen 58
Abb. 47 3D-Modell des Gebäudes 59
Abb. 48 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung UG 60
Abb. 49 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung EG 60
Abb. 50 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung 1. OG 61
Abb. 51 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung 2. OG 61
Abb. 52 Exemplarische Auswertung der Tageslichtsimulationen an drei Punkten 62
Tabelle 6 Abschätzung der Tageslichtautonomie 62
Abb. 53 Tageslichtquotient für die zunächst vorgesehene Konfiguration mit Glaslamellen u. Fluchtbalkon auf Bodenniveau 64
Abb. 54 Wie vor, zusätzlich Lamellen als Raffstore im Scheibenzwischenraum 64
Abb. 55 Wie vor, zusätzlich Lamellen als Raffstore vor der Fassade 65
Abb. 56 Wie vor, zusätzlich Untersuchung für Balkon auf Brüstungshöhe und Lamellen als Raffstore im Scheibenzwischenraum 65
Abb. 57 Wie vor, zusätzlich Untersuchung für Balkon auf Brüstungshöhe und Lamellen als Raffstore vor der Fassade (Empfehlung) 66
Tabelle 7 Auswertung der Tageslichtberechnungen für die ursprüngliche und die optimierte Fassadenvariante 66
Tabelle 8 Ermittlung der Tageslichtautonomie für die ursprüngliche und die optimierte Fassadenvariante 67
Abb. 58 Tageslichtquotient ohne Verschattung/opake Elemente 69
Abb. 59 Wie vor, jedoch zusätzlich mit 30 % opaken Elementen im Dach 70
Abb. 60 Wie vor, jedoch zusätzlich mit 60 % opaken Elementen im Dach 70
Tabelle 9 Auswertung der Tageslichtberechnungen: Ermittlung von Tageslichtquotienten 71
Tabelle 10 Ermittlung der Tageslichtautonomie 71

Abb. .61 Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Gebäude“) 73
Tabelle 11 Zahlenwerte zum Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Schule“) 73
Tabelle 12 Zahlenwerte zum Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Gebäude“) 74
Abb. 62 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599 74
Abb. 63 Heizwärmeversorgung der Passivhausschule FOS/BOS Erding 81
Abb. 64 Schema Heizkreisverteilung 83
Abb. 65 Anordnung Grundwasserförder- und Schluckbrunnen 84
Abb. 66 Funktionsaufbau der Brunnenanlagen 85
Abb. 67 Schema Systemtrennung Kaltwasser 86
Abb. 68 Schema Kälteverteilung 86
Abb. 69 Funktionsschema RLT– Anlagen Klassenzimmer mit passiver Kühlung über Grundwassernutzung 88
Abb. 70 Schema RLT– Anlage Klassenzimmer Süd 89
Abb. 71 Schema RLT– Anlage Klassenzimmer Nord 89
Abb. 72 Detailausschnitt Grundriss Außenluft / Fortluft 90
Abb. 73 Detail Fassadenelement Zuluftführung mit Quelluftauslass u. Wandheizfläche sowie Heizungsanschlussleitungen 91
Abb. 74 Detail Aufbau Brüstungselement 92
Abb. 75 Funktionsschema Quelllüftung; Quelle Fa, Krantz Komponenten 92
Abb. 76 Detailausschnitt Grundriss Abluftsammelschacht 94
Abb. 77 Schema Abluftführung über Schacht 95
Abb. 78 Detailausschnitt Grundriss Aufteilung Abluft Nord / Süd 95
Abb. 79 Detail Überströmelement 96
Abb. 80 Wandansichten Überströmelemente Zimmer / Flur 97
Abb. 81 Detail Dachaxialventilator 99
Abb. 82 Schema RLT-Anlage Innenliegende Räume 103
Abb. 83 RLT-Anlage Event (Raum 1.36) 104
Abb. 84 Schema Nachtlüftung / Freie Kühlung 105
Abb. 85 RLT-Anlage Sonderabluft Gefahrgutschränke 106
Abb. 86 RLT-Anlage Küche 108
Abb. 87 Digestorium – Fachraum Chemie/Biologie 109
Abb. 88 Prinzipieller Aufbau der Regenwassernutzung 113
Abb. 89 Aufbau Zisternen 113
Abb. 90 Anordnung Regenwassernutzungsgerät 114
Abb. 91 Schema Regenwassernutzungsgerät 114
Tabelle 13 Messwertliste zum Monitoring-Konzept (Vorversion) 126
Abb. 92 Lageplan des Gebäudes 128
Abb. 93 Grundriss des Gebäudes, EG 129
Abb. 94 Grundriss des Gebäudes OG 129
Abb. 95 Schnitt des Gebäudes 130
Abb. 96 Gliederungsstruktur des Projektes FOS/BOS-ERDING 131
Abb. 97 Nachhaltigkeitsdreieck 134
Abb. 98 Aufbau des Gebäudes aus Elementen, Positionen, Materialien 135
Abb. 99 Strukturaufbau Datenbank LEGEP 136
Abb. 100 Aufbau Position aus Materialien, Gerät und Umweltbelastung 137
Abb. 101 Aufbau Feinelement aus Positionen 139
Abb. 102 Aufbau Grobelement aus Feinelementen 140
Abb. 103 Zyklen von Dienstleistungen für das Gebäude 141
Abb. 104 Instandsetzungszyklen für Bauteile und ihre Planung 142
Abb. 105 Umweltwirkung von Instandsetzungsarbeiten im Laufe von 80 Jahren 142
Abb. 106 Referenzszenario für den Lebenszyklus nach ISO 15686 143
Abb. 107 Faktormethode in ISO 15686 143
Abb. 108 Beispiel für Element mit Folgeelementen im Projekt 145
Abb. 109 Reference study period versus Design Life and Estimated Service Life of the assessed Object. 146
Abb. 110 Beispiel für Mittelabfluss über 80 Jahre 147
Abb. 111 Datengrundlage der Berechnung 148
Tabelle 14 Kubatur und Flächen nach DIN 277 149
Tabelle 15 Anzahl der erfassten Elemente 149
Abb. 112 Sonstige Kosten, Direkteingabe als Textelement 150
Tabelle 16 Anzahl und Wert der erfassten Textelemente o. MWSt. 151
Abb. 113 Kostenzusammenstellung nach DIN 276 1. Stelle 151
Abb. 114 Kostenzusammenstellung nach Kostengruppen 100 – 700 prozentual 152
Abb. 115 Kostenzusammenstellung KGR 100 – 700 nach Kostengruppen absolut 152
Tabelle 17 Herstellungskosten nach LEGEP und k-Plan 153
Abb. 116 Kostenzusammenstellung absolut und nach Flächenkennwerten 154
Tabelle 18 Herstellungskosten nach BRI, BGF und NGF Kostengruppe 1-7 154
Tabelle 19 Herstellungskosten nach BRI, BGF und NGF Kostengruppen 3 und 4 154
Abb. 117 Bauteilkennwerte 155
Abb. 118 Energieausweis der FOS/BOS Erding 156
Abb. 119 Energieausweis 2. Seite 157
Abb. 120 Betriebselemente mit eingetragenen Bedarfswerten 158
Abb. 121 Endenergie FOS/BOS Erding Abb. 122 Primärenergie FOS/BOS Erding 159
Tabelle 20 Betriebskosten nach Medien pro m² NGF 159
Abb. 123 Rückbau und Entsorgungsszenarien 160
Abb. 124 Lebenszykluskosten über alle Phasen in 50 Jahren, prozentuales Verhältnis 161
Abb. 125 Lebenszykluskosten über alle Phasen in 50 Jahren absolut 162

Abb. 126 Lebenszykluskosten über 50 Jahren, getrennt nach Phasen 162
Abb. 127 Lebenszykluskosten summiert, Energiepreissteigerung 5%/a, Barwertberechnung 163
Abb. 128 Lebenszykluskosten summiert, Energiepreissteigerung 5%/a, Barwertberechnung 163
Abb. 129 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten und Flächenbezug 164
Tabelle 21 Betriebskosten nach Medien pro m² NGF 165
Tabelle 22 Lebenszyklus-Nutzungskosten jährlich bezogen auf den m² Nutzfläche 165
Abb. 130 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten nach KGR 300 und 400 165
Abb. 131 DIN 18960 KGR 300 und KGR 400 166
Abb. 132 DIN 18960 KGR 310 bis 350. 166
Abb. 133 DIN 18960 KGR 411 bis 415 167
Abb. 134 DIN 18960 KGR 421 bis 426 167
Abb. 135 Strommix, Datenbank und Energiemix 168
Abb. 136 Stoffmasse Herstellung, Instandsetzung und Baugrubenaushub. 169
Abb. 137 Stoffmasse Herstellung und Instandsetzung. 169
Abb. 138 Phasenbutton – Aktivierung - Deaktivierung 170
Abb. 139 Stoffmasse nur Herstellung 170
Abb. 140 Stofffluss innerhalb 50 Jahren 170
Abb. 141 Stoffmasse nach Lebenszyklusphase 171
Abb. 142 Stofffluss innerhalb 50 Jahren aufgeteilt auf die Kostengruppen nach DIN 276 171
Abb. 143 Deponiemengen nach EWC 172
Abb. 144 Primärenergie nicht erneuerbar nach Lebenszyklusphase 173
Abb. 145 Primärenergie nicht erneuerbar kumuliert nach Lebenszyklusphase 173
Abb. 146 Verhältnis erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie 174
Abb. 147 Wirkungsindikatoren numerisch 174
Abb. 148 Gesamtübersicht Umweltbelastung im Lebenszyklus 175
Abb. 149 Übersicht Umweltbelastung Herstellung, Instandsetzung Reinigung50 Jahre 175
Abb. 150 Übersicht Umweltbelastung Herstellung und Instandsetzung 50 Jahre 176
Abb. 151 Gesamtübersicht Umweltindikatoren und Flächenbezug, Gebäude ohne Betrieb 176
Tabelle 23 Vergleich Umweltindikatoren pro Jahr ohne Betrieb und mit Betrieb 177
Abb. 152 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten und Flächenbezug, Gebäude mit Betrieb 177
Tabelle 24 Indikatorenauswertung für Input und Output nach Phasen und Gesamt 178
Abb. 153 Wirkungsbilanz kg CO2-Äquivalente kumuliert nach Phasen 178
Abb. 154 Wirkungsbilanz kg SO2-Äquivalente kumuliert nach Phasen 179
Abb. 155 Numerische Auswertung der Materialmengen 180
Abb. 156 Materialzusammensetzung des Gebäudes Gewicht prozentual 180
Abb. 157 Materialzusammensetzung des Gebäudes Gewicht absolut 181
Abb. 158 Materialzusammensetzung des Gebäudes Volumen prozentual 181
Abb. 159 Standard Außenwand in der LEGEP-Datenbank 183
Abb. 160 Schichtaufbau de Standard-Außenwand 183
Abb. 161 Alternativ Außenwand in Primärkonstruktion aus Holz 183
Abb. 162 Schichtaufbau de Standard-Außenwand 184
Abb. 163 Alternativ Außenwand in Holzständerausführung 184
Abb. 164 Alternativ Außenwand in BSH-Ausführung mit Holzverschalung 185
Abb. 165 Alternativ Außenwand in BSH-Ausführung mit Zellulosedämmung 185
Abb. 166 Schichtaufbau de BSH-Außenwand 186
Abb. 167 Außenwand Elementvergleich Herstellungsphase 186
Abb. 168 Außenwand Elementvergleich Herstellungs- und Instandsetzungsphase 187
Abb. 169 Standard Außenfenster Aluminium 187
Abb. 170 Alternative Außenfenster Holz-Aluminium 188
Abb. 171 Alternative Außenfenster Holz 188
Abb. 172 Fenster Elementvergleich Herstellungsphase 189
Abb. 173 Elementvergleich Fenster Herstellungs- und Instandsetzungsphase 189
Abb. 174 Standard Decke in der LEGEP-Datenbank 190
Abb. 175 Schichtaufbau de Standard-Decke 190
Abb. 176 Standard Decke in Primärkonstruktion aus Beton 191
Abb. 177 Alternative Decke in Brettstapelkonstruktion mit Aufbeton 191
Abb. 178 Schichtaufbau der Brettstapeldecke 191
Abb. 179 Brettstapeldecke in Holz-Betonverbundbauweise 192
Abb. 180 Außenwand Elementvergleich Herstellungsphase 192
Abb. 181 Elementvergleich Decken Herstellungs- und Instandsetzungsphase 193
Abb. 182 Schnitt durch die Gebäudeaußenwand 193
Abb. 183 Gebäudekühllast 22
Abb. 184 Raumreaktion 23
Abb. 185 Kühllast – Raum 2.32 24
Abb. 186 Raumreaktion – Raum 2.32 24
Abb. 187 Kühllast – Raum 2.3 25
Abb. 188 Raumreaktion – Raum 2.3 25
Abb. 189 Kühllast – Informatikraum 0.1 26
Abb. 190 Raumreaktion – Informatikraum 0.1 26
Tabelle 25 Elementliste 35

# 1 Zusammenfassung

Der Landkreis Erding plant den Neubau eines nachhaltigen Schulgebäudes mit einem sehr niedrigen Primärenergieverbrauch. Es soll ein insbesondere auch über den gesamten Lebenszyklus extrem ressourcenschonendes Gebäude entstehen.

Daher wurde ein baulich-technisches Energiekonzept mit einem extrem niedrigen Primärenergiebedarf von ca. 60 kWh/(m² a) unter gleichzeitiger Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus entwickelt. Es wurde zunächst ein Dämmstandard definiert, der das Erreichen des Passivhauskriteriums eines spezifischen Heizwärmebedarfs von 15 kWh/(m² a) ermöglicht. Das rechnerische Ergebnis für den spezifischen Wärmebedarf beläuft sich auf ca. 11 kWh/(m² a). Durch die Prüfung mehrerer Varianten konnte die Wärmebrückenfreiheit der Baukonstruktion gewährleistet werden. Die Wärmeversorgung des Gebäudes wird durch Anschluss an die vorhandene Geothermie-Fernwärmeversorgung der Stadt Erding bewerkstelligt.

Zur Minimierung des erforderlichen Kunstlichteinsatzes wurden Fassadenlösungen mit einer guten Tageslichtversorgung und eine präsenz- und tageslichtabhängige Regelung der Beleuchtungsanlage entwickelt. Weiterhin wurde eine reduzierte, hocheffiziente Haustechnik konzipiert. Leitgedanken waren die durchdachte Führung von Medien (insbesondere von Luft) und die Mehrfachnutzung ohnehin vorhandener Einheiten (Beispiel: Nutzung des Atriums als Abluftplenum zur Verringerung des vorzuhaltenden Kanalrohrnetzes). Durch die mechanisch unterstützte Nachtauskühlung können die sommerlichen Empfindungstemperaturen in den Klassenräumen fast immer unter einem Wert von 28 °C gehalten werden. Der Einsatz ökologischer Materialien für Baustoffe und Installationsmaterialien wurde überprüft – soweit wirtschaftlich vertretbar, kommen diese zum Einsatz.

**Weiteres Vorgehen Technik**

In den folgenden Projektphasen ist eine sorgfältige Überwachung bei der Umsetzung des entwickelten ressourcenschonenden baulich-technischen Konzepts erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass alle zum Einsatz kommenden Komponenten den in der Planungsphase formulierten energetischen Anforderungen entsprechen. Alternativvorschläge sind bezüglich ihrer potentiellen Auswirkungen auf den Energiebedarf, den thermischen Komfort und die mit der Herstellung und der Entsorgung verbundene Umweltbelastung hin zu überprüfen. Im Einzelnen ist folgenden Punkten besondere Beachtung zu schenken:

- Gebäudedichtigkeit (insbesondere rechtzeitige Durchführung des Blower-Door-Tests)
- Dämmstandard
- Wärmebrückenfreiheit
- Gesamt-U-Wert der verwendeten Fenster
- Druckverluste von mechanischen Lüftungsanlagen und Komponenten der Lüftungstechnik, insbesondere Überströmelement Klassenzimmer-Flure
- Hydraulischer Abgleich / raumbezogene Volumenströme der mechanischen Lüftungsanlagen
- Hydraulischer Abgleich Heizungssystem und Brunnenwassersystem
- Wirkungsgrade von Ventilatoren und Pumpen (insbesondere auch große Abluftventilatoren für die Nachtlüftung)
- Wirkungsgrade von Beleuchtungskörpern
- Leistungsaufnahme Diverse Technik (Schaltkästen, GLT-Komponenten, Aufzüge etc.)
- Fehlerfreie Umsetzung der Steuerungs- und Regelungskonzepte (insbesondere Nachtauskühlung, tagsüber erfolgende Be- und Entlüftung, präsenz- und tageslichtabhängige Beleuchtung, Sonnenschutz)
- Vollständige, fehlerfreie Implementierung der für das Monitoring-Programm erforderlichen Messtechnik; rechtzeitige Funktions- und Plausibilitätstests der Messtechnik

- Enge Einbindung des Nutzers bei der Inbetriebnahme
- Nutzung der Messdatenerfassung zur fehlerfreien Überführung des Gebäudes in die geplante Betriebsweise
- Verifikation der prognostizierten erreichbaren Primärenergiebedarfe

**Weiteres Vorgehen Verfahren**

Erstellung der Leistungsverzeichnisse

- Es ist vorgesehen, die Leistungsverzeichnisse in Form einer Generalunternehmerausschreibung herauszugeben. Die Generalunternehmerausschreibung empfiehlt sich, weil aufgrund der komplizierten Materie und der hohen technischen Interdependenzen zwischen einzelnen Gewerken (Rohbau, Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektro, Fassade, Akustik, Schallschutz, Brandschutz) Schnittstellenprobleme vermieden werden können.
- Ob eine solche Ausschreibung möglich ist, wird durch den Freistaat Bayern, durch das Innenministerium sowie durch die Bayerische Oberste Baubehörde und der Regierung von Oberbayern, seit inzwischen fünf Monaten geprüft. Bayern lässt grundsätzlich im Widerspruch zur BGH- und EUGH-Rechtssprechung Generalunternehmer oder Generalunternehmerausschreibung nur unter erschwerten Bedingungen zu. Als Kompromisslösung schlägt sie eine Parallelausschreibung in Einzelgewerken mit Generalunternehmerausschreibung vor.

  Die Entscheidung wird - da auf dieser Ebene von Landrat Bayerstorfer vorgetragen - vermutlich auf Ministerebene getroffen.

- Zur Vorbereitung der Ausschreibung werden die Ausführungsplanungen für die einzelnen Gewerke erstellt und die dort entwickelten Details zur Erreichung der gesteckten Untersuchungsziele eingeplant.

- Auf der Basis der Ausführungspläne werden dann die Leistungsverzeichnisse erstellt, bei denen die Vorgaben zum Thema Passivhaus, Gesamtenergie und vor allem auch die Vorgaben zum Thema „Nachhaltige Baustoffe“ eingebracht werden. Außerdem werden die im Rahmen der Projektentwicklung und Planung entwickelten Details in die LVs aufgenommen.

    - Die Ausschreibung, sei es in Einzelgewerken oder Generalunternehmer, umfasst demnach nicht nur das Leistungsverzeichnis, sondern auch die entsprechenden Planunterlagen.

    - Nach Vergabe an den Generalunternehmer oder Einzelbieter werden diese aufgefordert, ihre Werkstattpläne vor Beginn der Arbeiten dem Landkreis Erding vorzulegen, damit diese nochmals auf Übereinstimmung mit den Zielen des Projektes überprüft werden.

Während der Bauphase sind über die übliche Bauleitung hinaus an den kritischen Stellen technische Zwischenabnahmen vorgesehen (Fassade, Fenster, Decke); ggf. wird in einem Musterbereich, der nach den vorgegebenen Unterlagen vorab fertig gestellt wird, ein erster Blower-Door-Test durchgeführt. Die Abnahme des Gesamtbauvorhabens kann im Hinblick auf die Erreichung der Projektziele bei den Schlüsselgewerken erst mit Fertigstellung des Projektes (Fall der Einzelgewerksausschreibung) erfolgen. Zur Sicherstellung, dass bei Nichterreichen der Projektziele, diese auf Fehlleistungen von Unternehmen zurückzuführen sind, wird derzeit noch mit dem Freistaat Bayern darüber verhandelt, ob die Gewährleistungsbürgschaft in den Schlüsselgewerken auf 10 % erhöht werden kann.

## Angabe von Kooperationspartnern

Das Projekt wird bei der DBU geführt unter dem Förderkennzeichen 26170/02-25.

Das Gesamtprojekt ist vom Landkreis Erding injiziert und finanziert. Gesamtplaner und Koordinator der Maßnahme ist kplan, Aktiengesellschaft für Projektentwicklung und Gesamtplanung, Koordinator Hanns-Peter Kirchmann, verantwortlich für Architektur Dipl.-Ing. (TU) Hans Gruber, verantwortlich für Projektentwicklung Dipl.-Ing. Klaus Wirth. Die Kooperationsplaner sind für Bereich Energie und Umwelt ip5 ingenieurpartnerschaft, Bahnhofplatz 10, 76137 Karlsruhe, für den Bereich Bauphysik ip5 ingenieurpartnerschaft in Zusammenarbeit mit dem Büro Ebök, 72003 Tübingen, für den Bereich Nachhaltigkeit ip5 ingenieurpartnerschaft mit dem Büro LEGEP, Moosweg 9, 85757 Karlsfeld.

# 2 Einleitung

Der Landkreis Erding betreut als Bauherr den Neubau einer Berufs- und Fachoberschule in Erding. Der Neubau beinhaltet ein Raumprogramm mit 22 Klassenräumen und den dazugehörigen Fach-, Gruppen- und Mehrzweckräumen.
Außerdem werden Verwaltungs- und Nebenräume, sowie eine ca. 500 $m^2$ große Pausenhalle verwirklicht. Die Hauptnutzfläche beträgt im Gesamten ca. 4.200 $m^2$ (+ ca. 1.000 m² Reservefläche).

Die FOS BOS Erding entsteht am Berufsschulzentrum an der Freisinger Straße in Erding und bildet zusammen mit den bestehenden Berufsschulen und der Kreismusikschule einen städtebaulich zusammenhängenden Komplex.

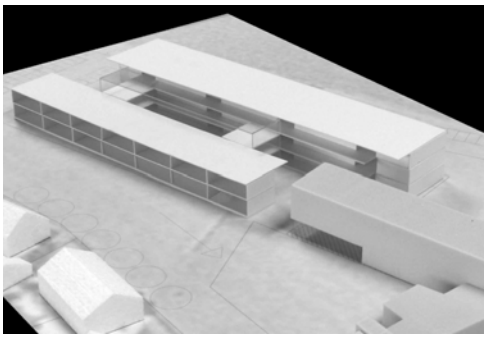


Abb. 1 Modellfoto Süden

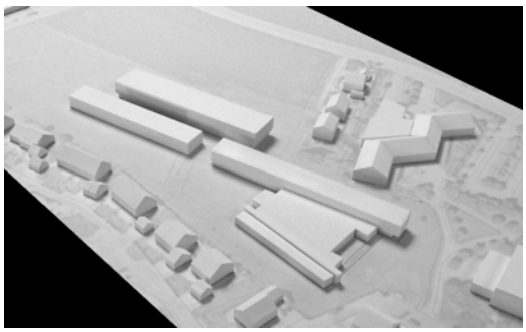


Abb. 2 Modellfoto gesamt

Der Neubau der FOS BOS Erding gliedert sich in zwei Hauptgebäudeteile. Dies sind zum einen der dreigeschossige Nordkörper und zum anderen der zweigeschossige Südkörper, der städtebaulich auf die niedrige Wohnbebauung im Süden reagiert. Die beiden Gebäudeteile werden über eine transparente Eingangshalle verbunden, welche mehrere Aufgaben erfüllt. Einerseits bildet sie eine städtebauliche Achse von den großen Parkflächen im Westen zum kompletten bestehenden Berufsschulkomplex, andererseits dient sie als zentraler Verteiler und Kommunikationszentrum der Schule.

Durch die räumliche Anordnung ist eine möglichst nahe Anbindung zur benachbarten Gastro-Berufsschule gewährleistet. Dies ist auch ausdrücklicher Wunsch des Bauherrn und der Nutzerschaft.

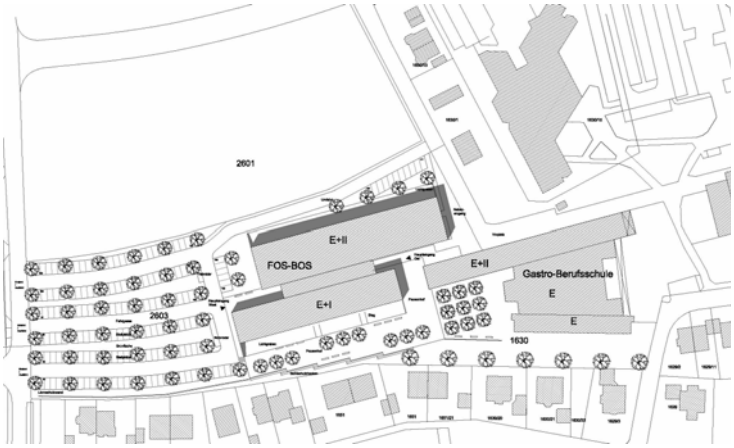



Abb. 3 Lageplan

Die Architektur des Gebäudes setzt bewusst auf eine sehr zurückhaltende und einfache Formensprache.

Das Proportionsspiel zwischen dem kräftigen dreigeschossigem Riegel und dem schmäleren zweigeschossigem Riegel, verbunden mit der transparenten Halle, bestimmt im wesentlichen die Spannung des Gebäudes.

Das Innere des Gebäudes ist einfach strukturiert. Die Flure der beiden Hauptbaukörper legen sich an die zentrale Halle an. So werden die Nutzer wie selbstverständlich zu den verschiedenen Klassen und Räumen geführt.

Im nördlichen Gebäudeteil wird zwischen Flur und Klassenzimmern noch eine „Mittelschiene“ gespannt, welche die Neben- und Vorbereitungsräume sowie die WCs aufnimmt.

Die Außenanlagen umfassen neben den großen Parkflächen für ca. 170 Pkws noch die bauliche Verbindung zum Berufsschulkomplex (Campus-Charakter) und einen großen Pausenhof, der funktional und gestalterisch mit dem Pausenhof der Gastro Berufsschule zusammen eine Einheit bildet.

Abb. 4 1. Obergeschoss

| | | |
|---|---|---|
| Hauptnutzfläche | ca. | 4.200 $m^2$ + 1.000 m² Reservefläche |
| Brutto Geschossfläche | ca. | 9.400 $m^2$ |
| Brutto Rauminhalt | ca. | 38.000 $m^2$ |

Das gläserne Atrium als Verbindungselement zwischen den Nutzräumen dient sowohl als Verkehrsfläche wie auch als Veranstaltungshalle. Gleichzeitig bildet dieser Bereich eine Klimapufferzone für die geplante kontrollierte Lüftung.

Große Verglasungsanteile des Atriums dienen einerseits der passiven Sonnenenergienutzung wie auch der Tageslichtnutzung durch zweiseitige Belichtung der Nutzräume.

Die Entwicklung des Gebäudelayouts ist ein Kompromiss zwischen Architektur, Städtebau, Nutzung und dem Thema Energie und stellt den ersten wichtigen Schritt für ein effizientes, nachhaltiges Gebäude dar.

Dabei werden nachstehende Punkte entwickelt, die z.T. eine deutliche Verbesserung gegnüber existierenden Schulbauten darstellen:

- Einfache und logische Erschließung für die Nutzer

- Schaffung einer Kubatur (Atrium), welche eine Mehrfachnutzung in sich vereint (Klimapufferzone, Tageslichtverteiler, Erschließungsbereich, Veranstaltungsbereich, architektonisches Element zur Lockerung des massiven Bauvolumens im städtebaulichen Kontext)

- Einfache, strukturierte Grundriss- und Fassadengestaltung

- Kompakte Gebäudehülle als Ergebnis einer Abwägung zwischen städtebaulichen, architektonischen Aspekten und dem zu erwartenden Heizwärmebedarf

- Zentrale Anordnung von Nebenflächen mit integriertem Installationsschacht bzw. Installationsbereich für kurze Leitungswege und zentrale Erschließung – dadurch Optimierung von Leitungsinstallationen und Energieverlusten durch kurze Wege

- Geradlinige Fassaden- und Grundrissverläufe bzw. rasterisierte Layoutplanung

- Umweltbezug der Nutzer zu der Umgebung durch allseitige Belichtungsflächen (Verglasungen)

Der Anteil der Gebäude am Endenergieverbrauch in Deutschland stellt mit ca. 40 % einen der größten Sektoren dar [BMVBS07]. Dieser Sektor sollte daher, zumal er ein erhebliches wirtschaftlich erschließbares Einsparpotential aufweist, einen substantiellen Beitrag zur allgemein notwendigen Verringerung von $CO_2$-Emissionen leisten. Die Verringerung der aus der Errichtung, dem Betrieb und dem Rückbau von Gebäuden resultierenden Umweltbelastung kann zum einen durch die ganzheitliche Sanierung des Gebäudebestands erzielt werden. Zum anderen kommt dem Neubaubereich diesbezüglich ebenfalls erhebliche Bedeutung zu – wegen der i.d.R. jahrzehntelangen Nutzungszeit von Gebäuden wirken sich ökologische Weichenstellungen bei Planung und Bau hier über viele Jahre positiv aus.

Wie bei ökologisch ambitionierten Projekten schon länger gebräuchlich, wird der gesamte (spezifische) Primärenergiebedarf der Haustechnik eines Gebäudes zunehmend als eine wichtige, den (nicht-regenerativen) Ressourcenbedarf des Gebäudes widerspiegelnde Größe angesehen. Mit der EnEV 2004 wurde erstmals der Primärenergiebedarf für Heizen und Warmwasser von neu zu erstellenden oder zu sanierenden Gebäuden begrenzt. Die EnEV 2007 für Nichtwohngebäude thematisierte im Unterschied dazu auch die anderen in einem Gebäude relevanten Energieströme wie Beleuchtung und ggf. Kühlung und Lüftung. Da diese Dienste oft unter dem Einsatz von – primärenergieintensiver – Elektrizität erbracht werden, fallen sie insbesondere bei der primärenergetischen Bewertung in der Bilanz erheblich ins Gewicht und sollten daher in Zukunft verstärkt Aufmerksamkeit erhalten.

Das vorliegende Vorhaben unterwirft sich von vornherein der Maßgabe zur Realisierung eines extrem niedrigen Primärenergiebedarfs/-verbrauchs und der Reduktion der Umweltbelastungen während des gesamten Lebenszyklus. Das Ziel besteht in der Errichtung eines Schulgebäudes mit

- Passivhausbauweise unter Erfüllung aller entsprechenden anspruchsvollen bauphysikalischen und haustechnischen Anforderungen,

- reduzierter Haustechnik unter Einbezug innovativer hybrider Lüftungs- und Kühlungskonzepte sowie Umweltkälte (Nachtlüftung/Brunnenwasserkühlung),

- außergewöhnlich niedrigem Primärenergiebedarf Haustechnik – die aktuellen Berechnungen liegen bei ca. 60 … 70 kWh/($m^2_{NGF}$ a) und damit ca. 60 … 70 % unter dem EnEV-Referenzwert [EnEV] für dieses Gebäude von ca. 180 kWh/($m^2_{NGF}$ a),

- Anbindung an das Geothermie-Heiznetz der Gemeinde Erding,

- optimierter Tageslichtnutzung bei gleichzeitig gutem sommerlichem Wärmeschutz,

- wesentlich erhöhtem Nutzungskomfort (insbesondere sommerlicher thermischer Komfort, Raumluftqualität) [Voss2005] und

- einer mittels detaillierter Lebenszyklusanalyse mit der Software LEGEP geprüften nachhaltigen Materialwahl, verbunden mit dem Wegfall gewisser haustechnischer Vorrichtungen durch Synergienutzung (Beispiel: Verwendung des Atriums als Abluftplenum ermöglicht den Entfall eines Abluftrohnetzes).

Neben dem nutzungsinduzierten Energiebedarf wird auch der zur Herstellung und Entsorgung der Baukonstruktion und der haustechnischen Anlagen notwendige Energiebedarf und Schadstoffausstoß rechnerisch mittels der Bilanzierungssoftware LEGEP genau erfasst. Es wird angestrebt, dass sich das Gebäude bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus um mindestens 30 % besser als ein vergleichbares Standardgebäude darstellt. Durch die durchgeführten und noch vorgesehenen Arbeiten werden auch wertvolle Referenzdaten für die aktuell anstehenden Zertifizierungsprozesse für Schulen generiert.

Mittels eines detaillierten wissenschaftlichen Messprogramms (Monitoring) wird in den sich anschließenden Projektphasen die Möglichkeit der zielgerichteten energetischen Optimierung des Betriebs und der Verifikation der Primärenergiebedarfs-Prognosen eröffnet. Es ist geplant, die Ergebnisse dieses Monitorings über eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit (Publikationen, Vorträge, Führungen; evtl. öffentlich zugänglicher Bereich der Monitoring-Plattform) zu kommunizieren, damit möglichst breite Kreise, insbesondere aber auch interessierte Fachleute, von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren können.

Bei der Entwicklung des baulich-technischen Energiekonzepts standen folgende Überlegungen im Vordergrund:

a) Passivhausbauweise / gute Raumluftqualität
   Der Beschluss, dass das Gebäude in Passivhausbauweise errichtet werden soll, bedingte zur Erreichung der entsprechenden energetischen Anforderungen eine kompakte Bauweise, einen hohen Dämmstandard, eine durch einen Blower-Door-Test nachzuweisende hervorragende Gebäudedichtigkeit und eine flächendeckende mechanische Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die flächendeckende mechanische Lüftungsanlage bedingt eine gleichbleibend gute Luftqualität und damit eine bessere Konzentrationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler – ein Thema, das im Zuge der PISA-Debatte an Bedeutung gewonnen hat. Die Inkaufnahme von Zugerscheinungen und Wärmeverlusten durch Fensterlüftung ist damit nicht mehr notwendig.

b) Quellluft-Prinzip
Wegen des anspruchsvollen Primärenergieziels wurde beschlossen, die Räume nach dem Quelluftprinzip impulsarm und zugfrei zu belüften. Wegen der hohen Lüftungseffektivität dieser Art der Lüftung (Nutzer befinden sich in einem „Frischluftsee“ mit guter Luftqualität) können wahrscheinlich im Betrieb die Zuluftvolumenströme gegenüber den Planungswerten ohne Komforteinbußen abgesenkt werden, was eine weitere Verringerung des Ventilatorstrombedarfe und der Lüftungswärmeverluste ermöglicht und so die Primärenergiebilanz weiter verbessert.

c) Nutzung von Geothermie zu Heizzwecken
Das Areal ist mit geringem Aufwand an die vorhandene Geothermie-Fernwärmeversorgung anzubinden, so dass der sehr geringe Heizwärmebedarf des Gebäudes primärenergetisch günstig gedeckt werden kann.

d) Nutzung von Umweltkälte zu Kühlzwecken
Eine Voll-Klimatisierung des Gebäudes ist nicht gewünscht. Andererseits zeigt die Simulationsrechnung (s. u.), dass in vielen Räumen ohne Ergreifung besonderer Maßnahmen sehr hohe sommerliche Empfindungstemperaturen auftreten können. Diese werden mit geringem Aufwand und sehr niedrigem Energieeinsatz über eine mechanisch unterstützte Nachtlüftung drastisch abgesenkt. Der Schlüssel zur Minimierung des Ventilatorstrombedarfs liegt dabei in der Entflechtung der Tag- und Nachtlüftung: Bei der Nachtlüftung passiert die Luft keinerlei Rohrnetz mehr, sondern strömt druckverlustarm durch Räume und Öffnungen. Die vorgeschlagene Quelllüftung erfordert eine definierte Zulufttemperatur und somit im Sommer eine Zuluftankühlung. Diese wird durch eine extrem energiesparende Brunnenwasserkühlung realisiert, welche auch die Serverraumkühlung versorgt.

e) Optimierung der Tageslichtnutzung
Ein ambitioniertes primärenergetisches Ziel bedingt auch einen niedrigen Stromverbrauch für die Beleuchtung und somit eine hohe Tageslichtautonomie in möglichst allen Nutzungsbereichen. Diesem Umstand ist besondere Rechnung zu tragen – jedoch unter Beachtung des sommerlichen thermischen Komforts.

f) Ganzheitliche Reduktion des Primärenergiebedarfs bei hervorragender Behaglichkeit
Alle energierelevanten Verbraucher müssen in ihrem jeweiligen Bereich Bestwerte aufweisen. Der sehr niedrige Primärenergiebedarf des Gebäudes darf jedoch nicht zu Lasten des angestrebten hervorragenden Nutzungskomforts gehen.

g) Energiesparende, aber einfache und robuste Regelungskonzepte
Die vorgesehenen Regelungskonzepte sollen einerseits einen großen Teil des theoretischen Einsparpotentials erschließen und andererseits robust und vom Personal vor Ort gut zu warten sein.

h) „Schlanke“ Haustechnik
Der Materialeinsatz der Haustechnik soll durch geschickte Verteilung der Medien (insbesondere der Luft) im Gebäude möglichst gering gehalten werden. So strömt die Luft von den Klassenräumen ins Atrium über, welches als Abluftplenum genutzt wird, aus dem an wenigen Stellen die verbrauchte Luft abgesogen wird – das Abluftrohrnetz beginnt erst bei der Absaugöffnung in der Nähe des Atriumdaches und ist somit gegenüber einer konventionellen Luftführung stark reduziert.

Wichtige Aspekte des Lösungskonzepts sowie deren Herleitung und geplante Fortschreibung werden im Hauptteil des vorliegenden vorläufigen Berichts beschrieben.

# 3 Das Vorhaben
**Detaillierte Darstellung der Abwicklung und Ergebnisse**

## 3.1 Architektonisches Konzept

### 3.1.1 Städtebau

#### Ausgangslage

Der Landkreis Erding betreut als Bauherr den Neubau einer Berufsfachoberschule in Erding. Der Neubau beinhaltet ein Raumprogramm mit 22 Klassenräumen und den dazugehörigen Fachgruppen und Mehrzweckräumen. Mit den dazugehörigen Verwaltungs- und Nebenräumen sowie einer 500 m² großen Pausenhalle beträgt die Hauptnutzfläche im Gesamten ca. 4.200 m². Auf Wunsch des Bauherrn wurde außerdem noch eine Reservefläche von 800 bis 1.000 m² geplant.
Die FOS/BOS Erding entsteht am Berufsschulzentrum an der Freisinger Straße in Erding und bildet zusammen mit den bestehenden Berufsschulen und der Kreismusikschule einen zusammenhängenden städtebaulichen Komplex.

#### Grundstück

Das zur Verfügung gestellte Grundstück ist ca. 10.000 m² groß und hat eine deutliche Ostwestausrichtung, welche sich von der Siglfinger Straße im Westen bis zur bestehenden Gastro-Berufsschule im Osten hinzieht. Insgesamt sollen ca. 210 Parkplätze für die FOS/BOS Erding und die Gastro-Berufsschule realisiert werden, davon etwa 170 auf dem gegebenen Grundstück und ca. 40 auf einem weiteren Grundstück, welches aber nicht in unmittelbarer Nähe zu den Gebäuden liegt. Ebenso soll auf dem Grundstück ein Pausenhof realisiert werden, der im Idealfall eine Einheit mit dem Pausenhof der Gastro-Berufsschule bildet.

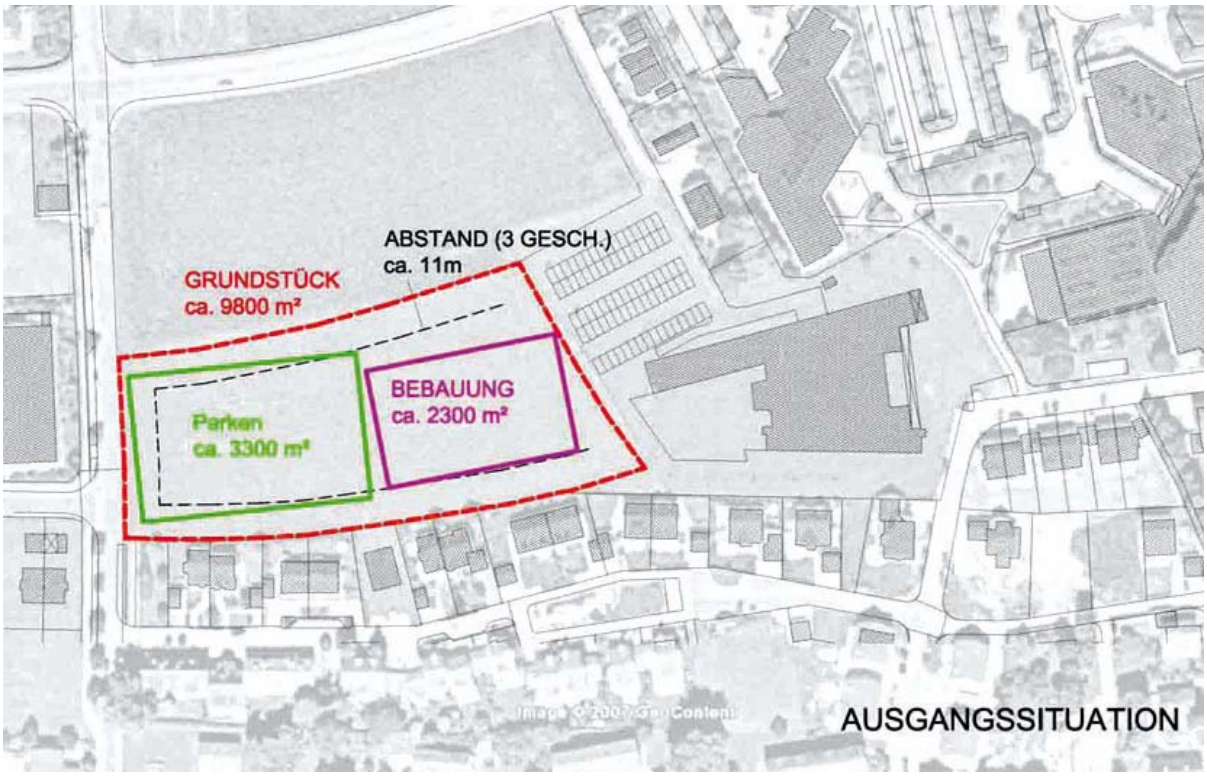



Abb. 5 Ausgangssituation Städtebau

## Umgebungsbebauung

Die Umgebungsbebauung um das Grundstück ist heterogen, das heißt, dass im Süden um das Grundstück eine niedrige Wohnhausbebauung mit ein- bis zweigeschossigen Wohnhäusern anschließt. Im Norden ist im Moment eine Wiese angesiedelt, die aber eventuell zu einem späteren Zeitpunkt noch als weiterer Schulstandort entwickelt werden soll. Im Westen schließt sich direkt an das Grundstück die Gastro-Berufsschule mit ihrem langen Nordbaukörper an. Die Gastro-Berufsschule bildet im Westen den Auftakt für den gesamten Berufsschulkomplex, der sich dahinter ansiedelt und im Norden davon ebenso die Kreismusikschule beherbergt. Östlich des Grundstücks verläuft die Siglfinger Straße. Direkt westlich davon wiederum befindet sich ein Supermarkt.

## Herangehensweise: Kriterienmatrix

Um eine geeignete städtebauliche Lösung für den Gesamtkontext zu finden, wurde eine Liste von verschiedenen Kriterien aufgestellt, anhand welcher versucht wurde, den geeignetsten Baukörper für den Neubau der Schule zu finden.

Abb. 6 Kriterienmatrix Städtebau/Architektur

## Verschiedene Alternativlösungen

Die vorgestellten, verschiedenen Alternativen beschreiben den Weg zur Findung des geeignetsten Baukörpers für die städtebauliche Situation.

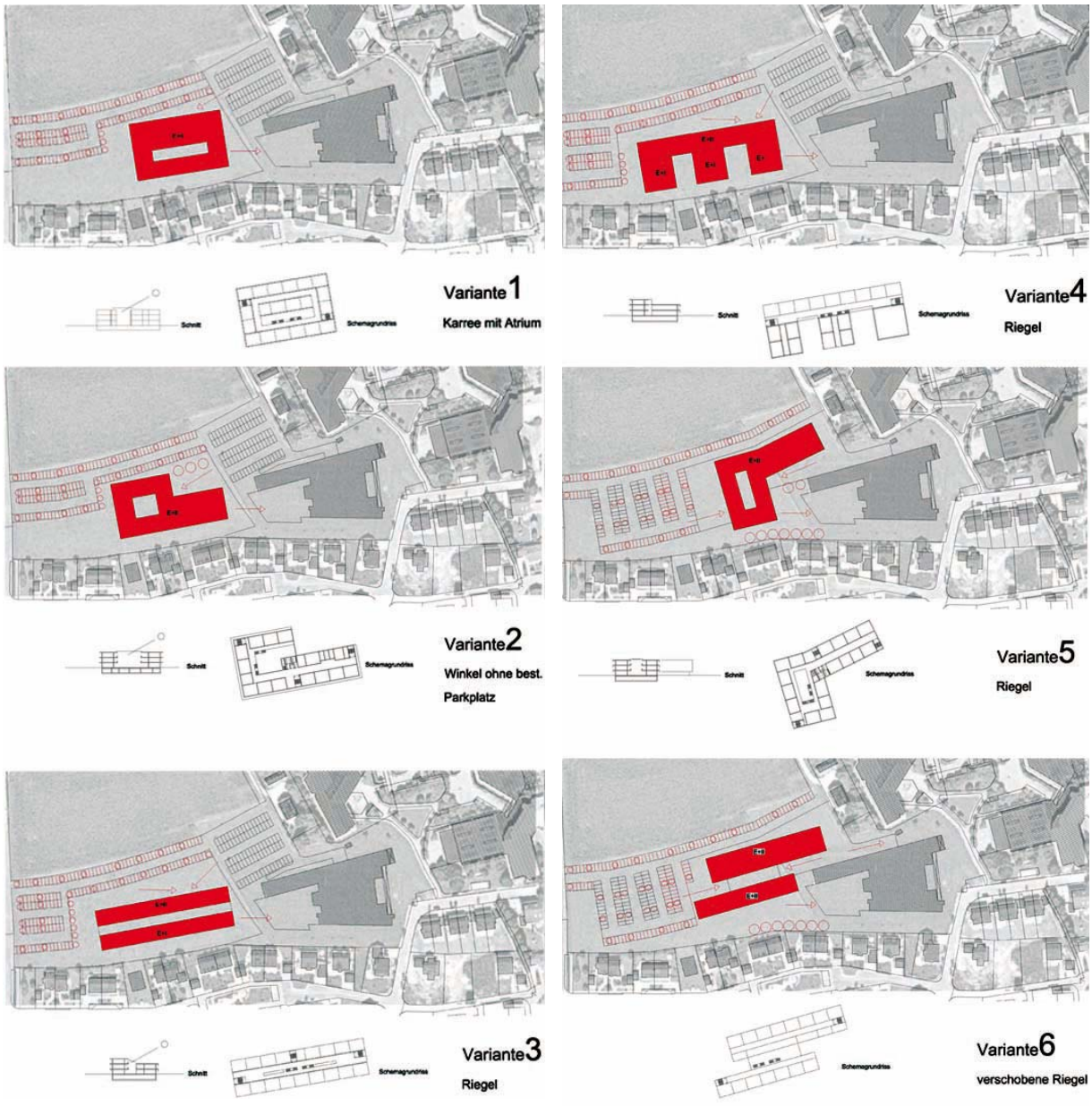



Abb. 7 Alternativlösungen Städtebau

**Variante 1 - Karree mit Atrium**

Vorteile:
- kompakte Baukörperform
- günstiges AV-Verhältnis
- relativ einfache Erstellung, somit gute Wirtschaftlichkeit
- gut geeignet für Passivhausbauweise

Nachteile:
- Großer Baukörper, scheint an dieser Stelle etwas überdimensioniert, gerade im Hinblick auf die Wohnbebauung
- keine gute Anbindung zur Gastro-Berufsschule
- sehr monolithisch wirkender Baukörper, der sich nicht mit seiner unmittelbaren Umgebung auseinandersetzt
- etwas unklare Eingangssituation

**Variante 2 – Winkel**

Vorteile:
- relativ kompakter Baukörper
- gutes AV-Verhältnis
- klarere Anordnung des Eingangsbereiches

Nachteile:
- sehr monolithisch und unmaßstäblich
- schlechte Erweiterbarkeit
- Schwächen bei der Grundrisszonierung

**Variante 3 - Riegel**

Vorteile:
- sehr klare Struktur
- gutes AV-Verhältnis
- gute Belichtung (von Süden möglich)
- gute Möglichkeit zur Elementierung

Nachteile:
- extrem langer Baukörper, scheint städtebaulich unangemessen
- keine gute Verbindung zum Berufsschulkomplex
- keine klare Eingangszonierung
- Pausenhof relativ schwer realisierbar

**Variante 4 – Riegel mit Kampfstruktur**

Vorteile:
- Durch die Auflösung des großen Körpers städtebaulich gefällig zum Süden
- Realisierbarkeit schöner Außenhöfe im Süden
- gute Belichtung

Nachteile:
- schwaches AV-Verhältnis

**Variante 5 – Winkel unter Einbeziehung des Parkplatzes der Gastro-Berufsschule**

Vorteile:
- Durch den Rückbau des bestehenden Parkplatzes der Gastro-Berufsschule und eine Verlagerung des gesamten Parkplatzes auf die Westseite entsteht eine gute Verschränkung zum Berufsschulkomplex und die gewünschte räumliche Nähe

Nachteile:
- Noch immer relativ unklarer Eingangsbereich
- sehr monolithisch wirkender Baukörper
- keine gute Verbindung vom Parkplatz zur Berufsschule

**Variante 6 – verschobene Riegel**

s. nachfolgender Punkt

**Gefundene Lösung -> verschobene Riegel**

Vorteile:
- Städtebaulich entsteht ein guter räumlicher Verbund mit der Gastro-Berufsschule. Die Baukörper reagieren harmonisch zueinander.
- Es entsteht eine klare Achse mit Eingangsbereichen.
- Diese Achse nimmt den Verlauf vom Parkplatz bis zum bestehenden Berufsschulkomplex auf.
- Der Pausenhof geht optimal über in den Pausenhof der Gastro-Berufsschule.
- Der südliche zweigeschossige Riegel reagiert auf die niedrige Umgehungsbebauung von Süden.
- Durch Lichthöfe in den Untergeschossen wird die Baumasse in ihrer Höhe auf das Minimum reduziert.
- Es entsteht eine klare Trennung der städtebaulichen Bereiche Parkplatz, Baukörper, Pausenhof.
- Die Tageslichtausbeute ist durch das transparente Atrium optimal.
- Die Baukörperorganisation erlaubt einen sehr guten inneren Funktionsablauf.

Nachteile:
- Das AV-Verhältnis bewegt sich im guten, aber nicht im optimalen Bereich.
- Ein großer Teil des Gebäudes wird über die Nordseite belichtet.

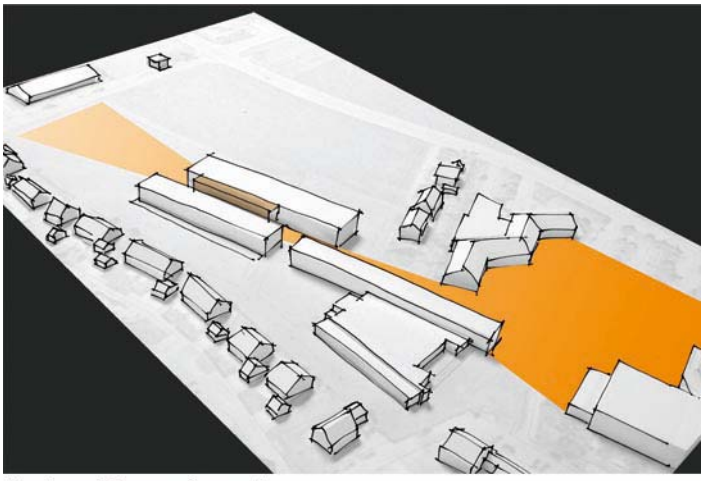
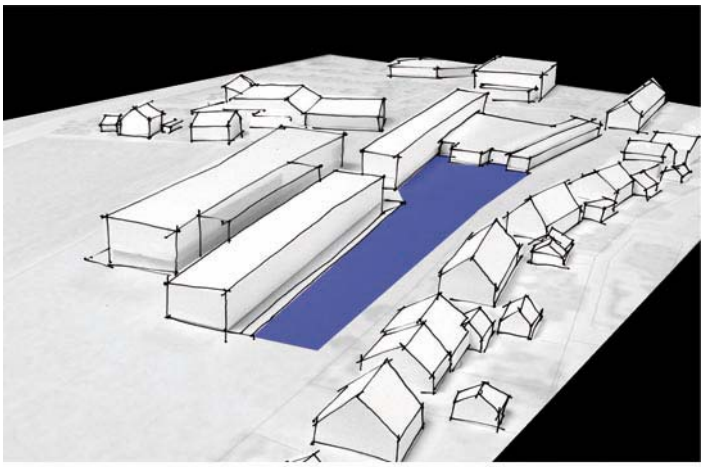
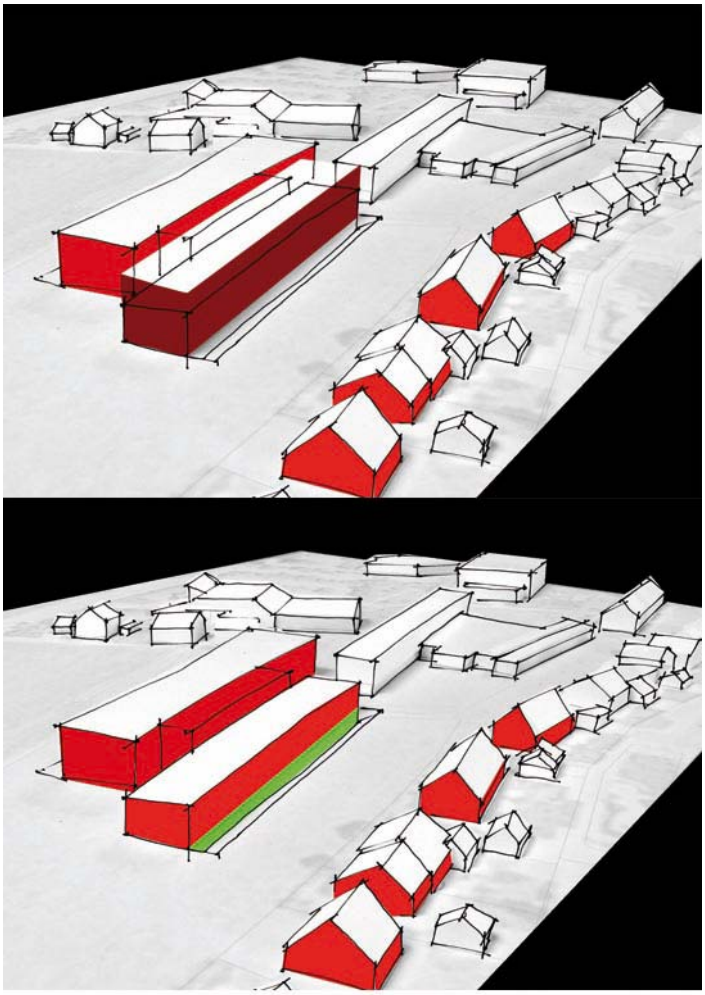



Abb. 8 Park- und Campuskonzept



Gemeinsamer Pausenbereich FOS-Gastro

Abb. 9 Gemeinsamer Pausenbereich FOS-Gastro



Vergleich: Hoher und abgesenkter Baukörper

Abb. 10 Vergleich: Hoher und abgesenkter Baukörper

**Fazit**

Die gewählte Baukörperform und der städtebauliche Ansatz sind ein Ergebnis der Optimierung aus städtebaulichen, funktionalen und energetischen Erwägungen. Die gewählte Baukörperform wurde mit dem Energieberater abgestimmt und auch mit dem Bauherrn in vielen Einzelgesprächen eingehend diskutiert. Von allen Seiten wurde diese Lösung städtebaulich als die beste Lösung für den Neubau der FOS/BOS in Erding erachtet.

### 3.1.2 Funktion und innere Organisation sowie Außenbezüge

**Wegeführung**

Durch die im Städtebau gelegte Grundlage der verschiedenen Baukörper wird im Inneren des Gebäudes eine einfache Struktur ermöglicht.

Das Atrium bildet den zentralen Verteiler und lenkt alle Nutzer und Besucher in die beiden Baukörper.

Die beiden Haupterschließungsflure des Nord- und Südbaukörpers lehnen sich an die transparente Halle an und führen den Nutzer des Gebäudes wie selbstverständlich zu den jeweiligen Klassenräumen. An ihren Enden sind jeweils die Treppen für die vertikale Erschließung orientiert.

Der etwas kräftigere Nordriegel beherbergt außerdem eine Mittelschiene, welche WC-Kerne, Neben- und Vorbereitungsräume aufnimmt, welche somit energetisch optimal im Innenbereich liegen.

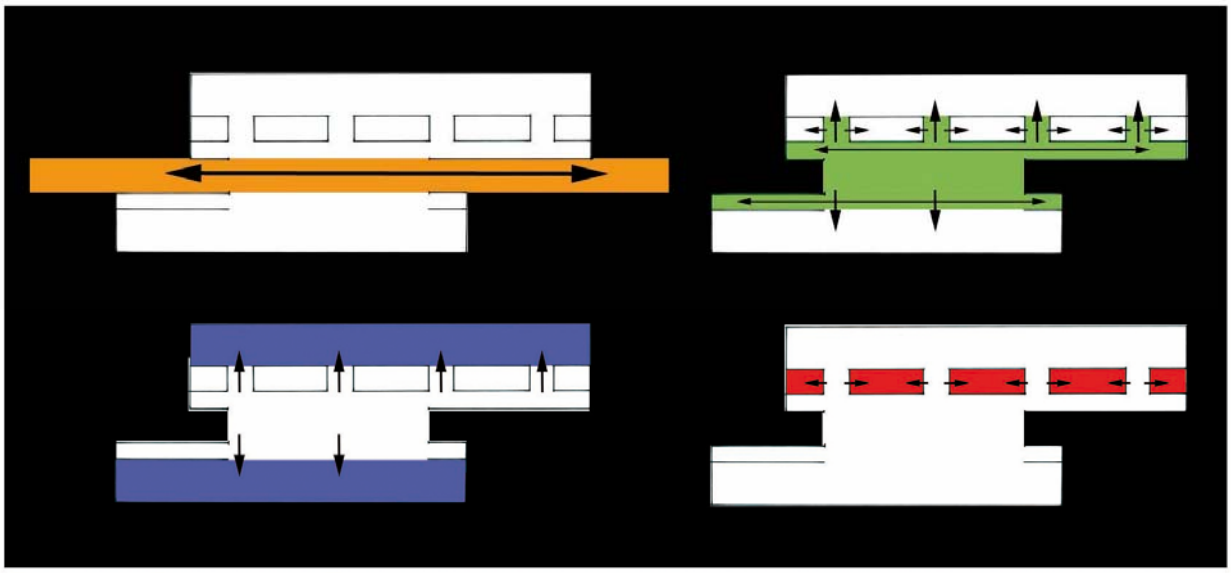



Abb. 11 Schema der Wegführung im Gebäude

## Atrium

Das transparente Atrium als Verbindungselement nimmt architektonisch eine sehr wichtige Rolle ein. Es dient als Verkehrsfläche und zentraler Verteiler sowie als Veranstaltungszone der Schule. Es ist ein Anliegen des Entwurfs, diese Zone nicht durch abgeschlossene Räume zu stören und somit einen völlig offenen Charakter zu erzeugen.

Wichtig dabei ist, dass es an dieser Stelle nicht nur horizontale, sondern auch vertikale Bezüge zwischen den einzelnen Ebenen geben kann.

Gleichzeitig bietet dieser Bereich eine natürliche Klimapufferzone für die Lüftung und wird somit aktiver Bestandteil der Abluftführung. Die erwärmte Abluft wird an einem hohen Punkt wieder abgesaugt und die darin enthaltene Wärme bei Bedarf der Rückgewinnung zugeführt.

Ein wichtiger Punkt ist, dass im Laufe der Planung festgestellt wurde, dass transparenter Anteil von 30 % des Atriumdaches ausreichend ist, um genügend Tageslicht in allen Bereichen des Atriums und der anschließenden Flure bereitzustellen. Dies vermindert wiederum den potentiell kritischen Wärmeeintrag im Hochsommer und hilft gleichzeitig, die Baukosten zu reduzieren.

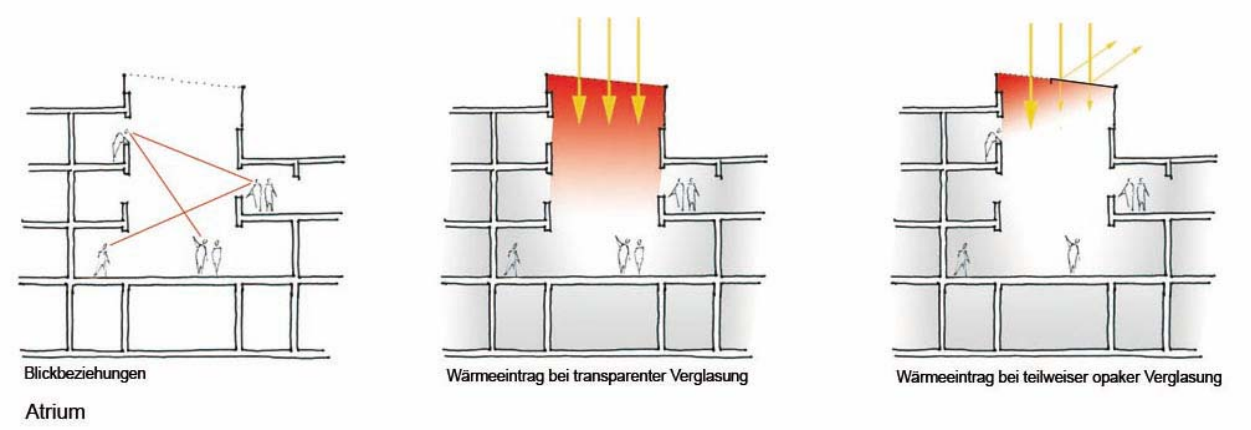



Abb. 12 Atrium Blickbeziehungen / Lichtverteilung

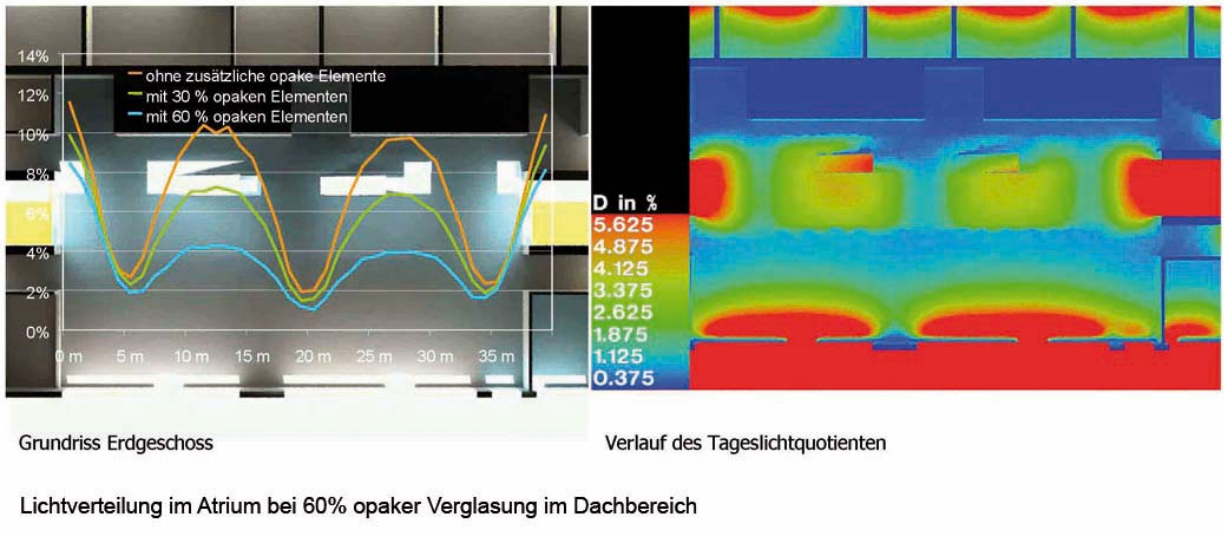



Abb. 13 Lichtverteilung im Atrium

**Lichtgräben**

Die Lichtgräben stellen an dieser Schule ein architektonisches und ökonomisches Element dar. Wie bereits im Städtebau beschrieben, ermöglichen diese Lichthöfe eine Absenkung des Bauvolumens auf eine relativ geringe Gebäudehöhe.

Außerdem ist es hier möglich, „aus der Not eine Tugend zu machen“, da der tragfähige Boden in Erding erst ab einer Geländetiefe von ca. 3 m unter der Geländeoberfläche beginnt.

Dies bedeutet, dass ein vollwertiges Geschoss im Souterrain untergebracht und über die nicht angeböschten, begrünten Lichtgräben eine optimale Belichtung für die Klassen- bzw. Fachräume realisiert wird.

Abb. 14 Außenansicht: Lichtgraben und Außenanlagen

### 3.1.3 Konstruktion

**Primärkonstruktion**

**Ausgangslage:**

Der tragfähige Boden beginnt an diesem Grundstück erst ab einer Tiefe von ca. 3,0 m unter Geländeoberkante. Die Gründungsebene muss sich daher aus wirtschaftlichen Gründen in dieser Tiefe befinden.

Dies erfordert entweder, eine Tiefgründung vorzunehmen oder ein funktionsfähiges Untergeschoss zu erstellen.

Ein weiteres Problem am Standort besteht im Grundwasserhöchststand. Dieser ist über der Kellersohle anzusetzen, so dass es notwendig ist, einen Teil des Untergeschosses als „Weiße Wanne“ auszubilden.

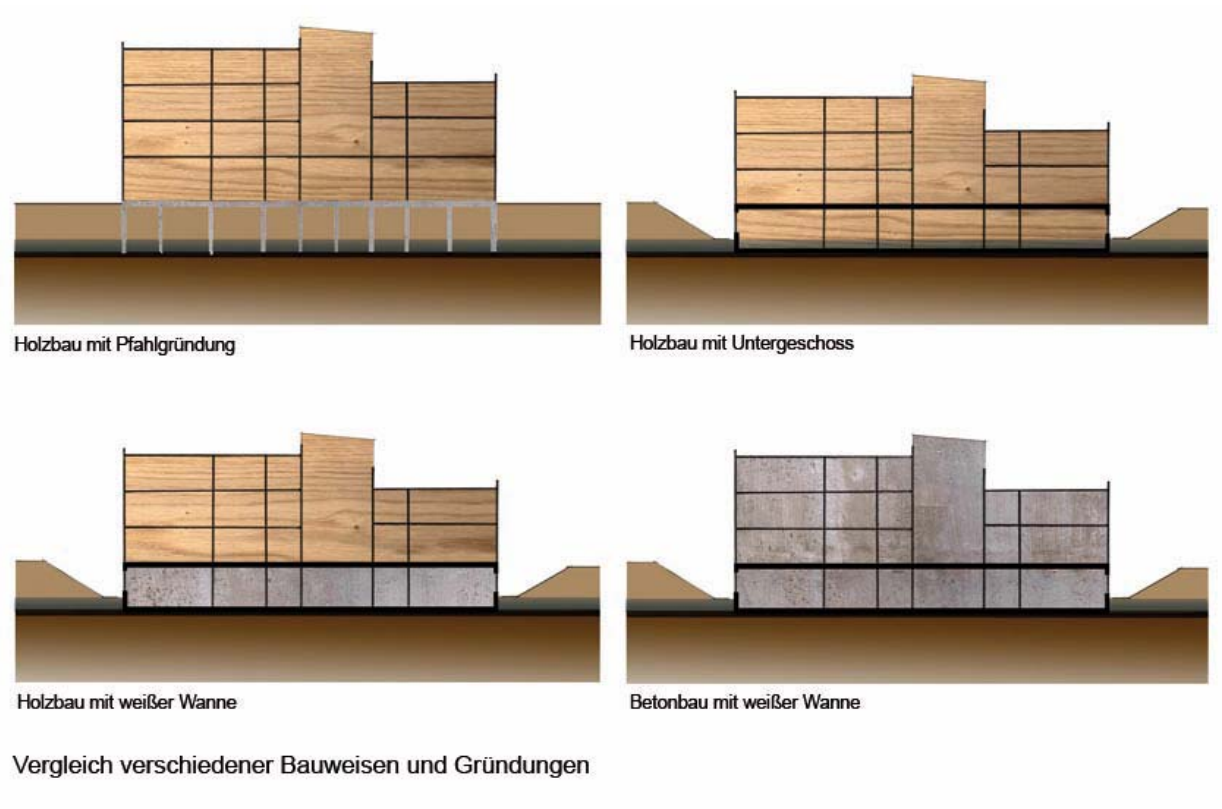



Abb. 15 Vergleich verschiedener Bauweisen und Gründungen

**Varianten / Untersuchungen:**

- **Reiner Holzbau**
  Ein reiner Holzbau schied aus den vorher genannten Punkten aus, da eine Tiefgründung ohne massives Kellergeschoss unwirtschaftlich wäre

- **Holz / Beton – Mischbauweise**
  Aufgrund der Ausgangslage fiel die Entscheidung auf ein betoniertes Untergeschoss, welches aufgrund der Funktion der Lichtgräben als Unterrichtsgeschoss genutzt werden sollte. Eine alternative Möglichkeit hätte darin bestanden, die verbleibenden Geschosse ab dem Erdgeschoss in Holzbauweise zu erstellen.

- **Reine Betonkonstruktion**
  Die zweite Alternative bestand darin, die komplette Konstruktion vom Untergeschoss bis hin zum Dach in einer monolithischen Betonkonstruktion auszuführen.

**Entscheidungsgrundlagen:**

**Vor- und Nachteile einer Holzkonstruktion**

Vorteile:
- „Leichte“ Bauweise (Ressourcen-, Rohstoffverbrauch)
- Nachwachsender Baustoff
- Eventuell schnellere Montage
- Angenehmes hygrisches Raumklima

Nachteile:
- „Leichte“ Bauweise (Akustik)
- Luftdichtigkeit (die Luftdichtigkeit aller Anschlüsse genießt höchste Priorität im Passivhausbau)
- Mischbauweise (Sprung von Betonkonstruktion im UG zu Holzkonstruktion ab EG)
- Sehr geringe Speichermassen, dadurch hohe sommerliche Temperaturamplituden
- Brandschutz problematisch
- Fäulnisgefahr bei ungenügender Ausführung
- Komplexe Details
- Höhere Bauteilaufbauten (angestrebt wird wegen der niedrigen Umgebungsbebauung ein möglichst niedriges Gebäude)

**Vor- und Nachteile einer Betonkonstruktion:**

Vorteile:
- „Massive“ Bauweise (Akustik, sommerlicher thermischer Komfort)
- Erhebliche nutzbare thermische Masse
- Bau aus „einem Guss“ vom UG bis zum Dach
- Einfache Detaillösungen
- Sehr gute Luftdichtigkeit
- Relativ geringe Aufbauhöhen
- Extreme Dauerhaftigkeit des Materials
- Ein Material für Außen- und Innenwände
- Brandschutz und Akustik gut zu bewerkstelligen (schwerer Baustoff)

Nachteile:
- „Massive“ Konstruktion
- Höherer Ressourcenverbrauch als bei Holzbauweise
- Eventuell längere Erstellungszeit

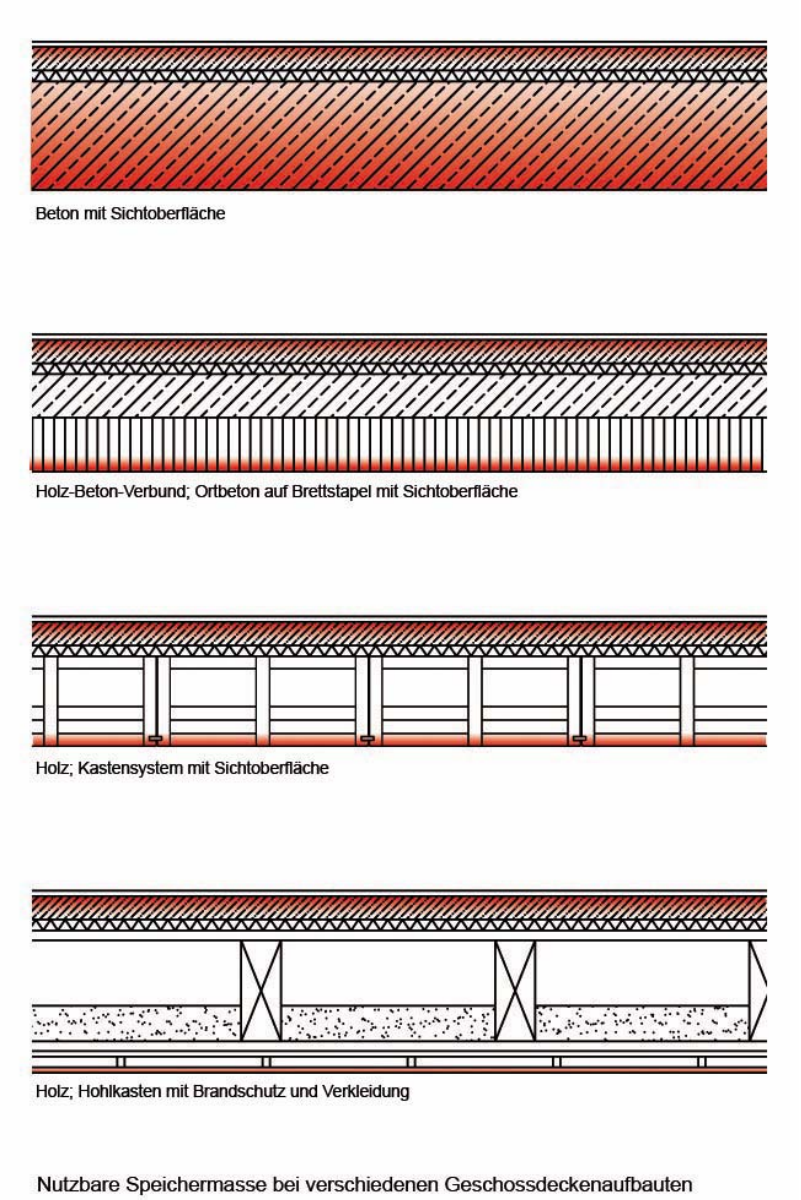



Abb. 16 Nutzbare Speichermasse bei verschiedenen Geschossdeckenaufbauten

## Fazit

Eine Abwägung von allen Vor- und Nachteilen führte die Verfasser unter Einbeziehung des Bauherrn und des Energiebauers zu der Entscheidung, sich für eine homogene Betonkonstruktion zu entscheiden.

Unter allen Vorteilen ist besonders der Vorteil der effektiv nutzbaren Speichermasse hervorzuheben. Gerade im Schulbau mit den hohen Wärmelasten durch die Vielzahl der Schüler ist es wichtig, die Baumasse gerade im Sommer zur Gewährleistung eines angenehmen Raumklimas auszunutzen.

Durch eine effektive Nachtauskühlung unter Einbeziehung der massiven Bauteile kann so erheblich zum thermischen Wohlbefinden der Nutzer beigetragen werden. Ebenso sind aber alle anderen Vorteile, insbesondere der sehr einfache ausführbare, damit besser kontrollierbare Einsatz des Materials, die Brandschutzanforderungen, die akustischen Vorteile ausschlaggebend.

### 3.1.4 Fassade

**Verglasung**

Eine hochwärmegedämmte Verglasung des Baukörpers mit einem U-Wert von 0,75 W/(m² a) bildet nach den Vorgaben des Energieberaters die Basis für das Erreichen des Passivhausstandards. Somit ist eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung obligatorisch.

**Varianten / Untersuchungen:**

Zur Untersuchung kamen hier normale Fenstersysteme sowie Fenster aus Pfostenriegelkonstruktionssystemen.

**Vor- und Nachteile normales Fenstersystem:**

Vorteile:
- Geringerer Preis als herkömmliche Pfostenriegelkonstruktionen
- Hoher Vorfertigungsgrad
- Eventuell schnellere Montage

Nachteile:
- Hoher Rahmenanteil (gemeinhin die thermische Schwachstelle des Passivhausfensters)
- Optische Nachteile gegenüber Pfostenriegelsystem
- Durch den hohen Rahmenanteil muss eine bessere Glasqualität gewählt werden.
- Im Atriumbereich muss sowieso eine Pfostenriegelkonstruktion verwendet werden, was zur Verwendung von zwei verschiedenen Systemen geführt hätte.

**Vor- und Nachteile Pfostenriegelkonstruktion:**

Vorteile:
- Sehr geringer Rahmenanteil
- Durch den geringen Rahmenanteil kann Glas mit einem höheren U-Wert gewählt werden
- Optische Vorteile gegenüber dem normalen Fenster
- Ein System im kompletten Gebäude (Hauptgebäude und Atrium) – geringe Beschaffungskosten

Nachteile:
- im Normalfall höherer Anschaffungspreis
- eventuell langsamere Montage, da alles auf der Baustelle zusammengefügt wird

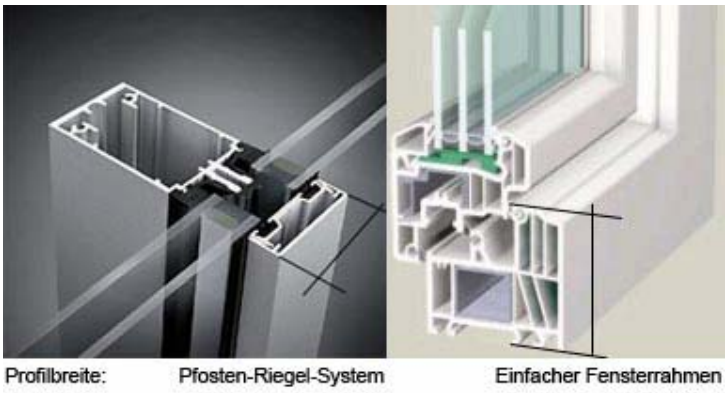



Abb. 17 Vergleich Fensterkonstruktion

**Fazit**

Beim intensiven Vergleich von normalen Fensterkonstruktionen zu Pfostenriegelkonstruktionen ist man zu dem Ergebnis gelangt, dass durch die Verwendung einer etwas weniger hochwertigen Verglasung die Pfostenriegelkonstruktion in diesem Fall wirtschaftlich mit der Konstruktion eines normalen Fenstersystems mithalten kann.

Aufgrund der optischen Qualitäten sowie der Erstellung in allen Bauteilen aus einem System entschied man sich für ein Pfostenriegelkonstruktionssystem aus Aluminium.

Den Ausschlag für das Pfostenriegelkonstruktionssystem aus Aluminium gab wiederum der Kostenfaktor. Eine Pfostenriegelkonstruktion aus Brettschichtholz und Alu-Deckleisten liegt preislich höher als ein reines Aluminiumsystem.

**Sonnenschutz**

Dem Sonnenschutz kommt beim Bau eines Passivhauses eine wichtige Bedeutung zu.

Durch den hohen Dämmstandard wird es gerade in den heißen Sommermonaten sehr wichtig, die Solarlasten auf ein Minimum zu reduzieren.

Dennoch ist es wichtig, dass die Klassen- und Fachräume mit genügend Tageslicht versorgt werden, um den Energiebedarf für Kunstlicht so gering wie möglich zu halten.

**Varianten / Untersuchungen:**

Verschiedene Sonnenschutzkonzepte wurden getestet.

**Feststehende oder bewegliche große Lamellen**

Große Lamellen oder großteilige Verschattungssysteme haben den Vorteil, dass sie baulich relativ robust und unempfindlich sind, das heißt, dass sie Witterungseinflüssen und vor allem Wind standhalten können.

Diese Systeme sind jedoch teuer in der Anschaffung und in ihrer Anwendung nur begrenzt flexibel. Eine Feinjustierung des Tageslichtangebots und der Verschattung ist nur schwer möglich. Zudem verringern diese Systeme aufgrund ihrer permanenten Präsenz an trüben Tagen das Tageslichtangebot empfindlich.

Beides gilt gleichermaßen für ein Aluminiumsystem, genauso wie für satinierte Glaslamellensysteme, wobei letztere im Anschaffungspreis noch teurer sind.

**Lamellen im Scheibenzwischenraum**

Eine auf den ersten Blick überzeugende Lösung schien ein Verschattungssystem im Scheibenzwischenraum zu sein. Mit dieser Lösung hätte man auch gleichzeitig das Problem der Windempfindlichkeit der Lamellen lösen können.

Der Nachteil an diesem System war jedoch, dass es im Moment nur wenige Anbieter für dieses System gibt und die Erfahrungen gezeigt haben, dass neben den Problemen der schlechten Wartungs- und Reparaturmöglichkeit (Passivhausverglasung) das Produkt noch nicht ausgereift ist.

## Aluminium-Raffstorelösung

Eine einfache und praktikable Lösung besteht im Aluminium-Raffstore. Bei diesem System ist es mittlerweile Stand der Technik, dass die Lamellen im Oberlichtbereich als Tageslichtlenksystem fungieren.

Einen Unterschied macht hier nur die Wahl zwischen einem seil- oder schienengeführten System. Das schienengeführte System hat den Vorteil, dass es windunempfindlicher ist, das seilgeführte System hat den Vorteil, dass es kostengünstiger ist.

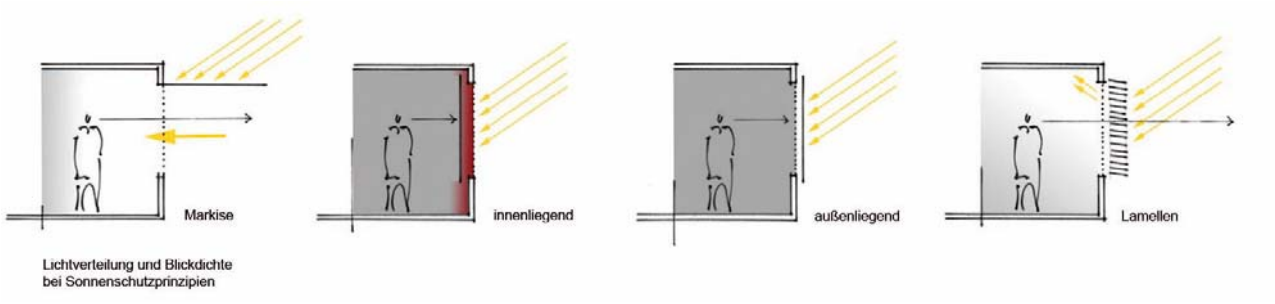



Abb. 18 Lichtverteilung und Blickdichte bei Sonnenschutzprinzipien

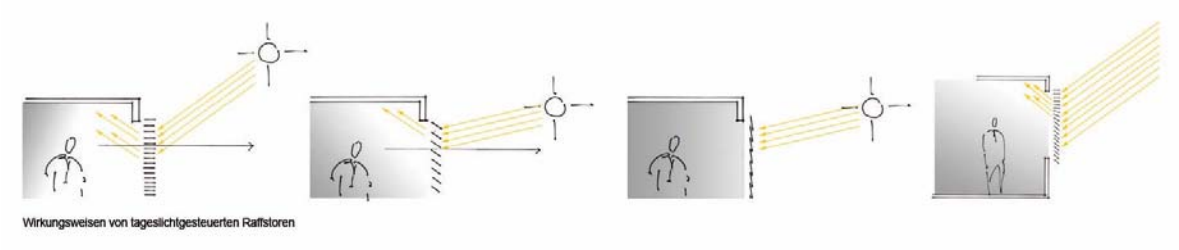



Abb. 19 Wirkungsweisen von tageslichtgesteuerten Raffstoren

## Fazit

Der vergleichsweise einfache Sonnenschutz in Form eines Aluminium-Raffstoresystems mit Tageslichtlenkung genügt den gestellten Anforderungen am besten.

Ebenso weist dieses System ein gutes Kosten-/Nutzenverhältnis auf und erlaubt die individuellste Steuerung.

Die Entscheidung, ob ein schienengeführtes oder ein seilgeführtes System als Sonnenschutz zu verwenden ist, wurde dem Bauherrn vorgelegt. Dieser hat sich insbesondere aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses für das seilgeführte System entschieden.

## Fassadenelemente versus konventioneller Aufbau

Durch die Wahl der Primärkonstruktion als Massivbauweise in Beton stellt sich nun die Frage, welche Außenverkleidung als Schutz für die Wärmedämmung dienen soll.

Ebenso stellen die beiden Hauptfassaden nach Süden und Norden vor den Klassen- und Fachräumen eine besondere Situation dar. Eine Entscheidung über eine vorgehängte oder „davorgestellte“ Fassade aus vorgefertigten Holzelementen wurde mit allen beteiligten Ingenieuren sehr lange und kontrovers auf Vor- und Nachteile hin diskutiert.

**Varianten und Untersuchungen:**

**Fertigteilelementfassade**

Hier wurden Überlegungen angestellt, an den beiden Hauptseiten, der Nord- und Südfassade, eine Fassade zu entwickeln, welche mehrere Eigenschaften in sich vereint.
Diese Fassade sollte als elementierte Holzfassade ausgeführt werden, welche auch die vertikale Luftverteilung des Lüftungssystems mit übernehmen sollte. Die Grundidee bestand darin, dass die Lüftungskanäle in den Konstruktionsquerschnitt mit eingebaut werden sollten und nur noch aufeinandergesteckt bzw. an die Fassade gestellt werden sollten.

Beim Entwickeln dieser Fassade gab es eine Reihe von Problemen:

Im Bereich der Lüftungskanäle wird naturgemäß die Dämmung auf ein Minimum reduziert. Dies hätte bedingt, dass, um nicht auf einen sehr schlechten U-Wert im Gesamtschnitt zu kommen, die Lüftungsrohre mit einer Vakuumdämmung hätten verkleiden müssen, was wirtschaftlich nicht sinnvoll war.

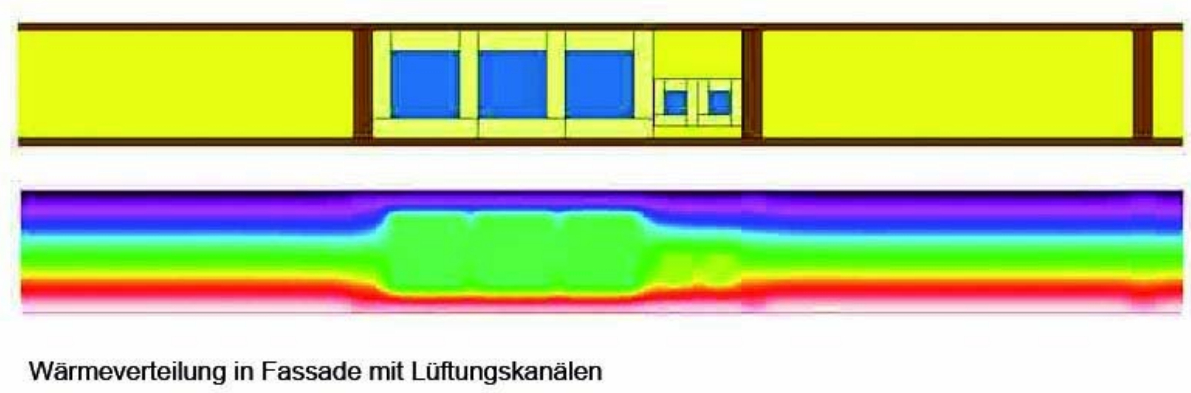



Abb. 20 Wärmeverteilung in Fassade mit Lüftungskanälen

Da die Lüftungsrohre Bestandteil der Fertigteilfassade werden, vermischen sich hier die Gewerke des Haustechnikers mit den des Fassadenherstellers, was zu einer schwierigen und komplexen Schnittstelle führt

Die Herstellung raumhoher Fertigelemente bedingt, dass massive Flächen sowie große Fensterflächen gleichermaßen in einem Guss zu erstellen sind. Dies hat den Nachteil, dass auch die massiven Brüstungsflächen mit sehr hochwertigen Ständerkonstruktionen ausgeführt werden müssen. Angebote, die hierbei eingeholt wurden, ergaben, dass massive Paneelanteile preislich sogar höher lagen als verglaste Bereiche der Fassade.

Ebenfalls ein Nachteil der Fertigelementfassaden ist, dass sie nicht statisch wirksam sind, das heißt, hinter der Fassade müsste immer noch ein Stützenraster aus Beton stehen, um die Fassade abzufangen. Dies wäre im Prinzip eine doppelte Konstruktion.

Ein erhebliches Manko von vorgestellten Fassaden ist ebenfalls die Luftdichtigkeit, welche aufgrund der komplizierten Anschlüsse schwierig herzustellen ist.

## Massive Fassadenflächen mit Betonkonstruktion und Holzschalung

Preislich ist die Erstellung einer massiven Fassade mit einer Primärkonstruktion aus Beton, einer Wärmedämmung und einer vorgestellten Holzverschalung wesentlich günstiger als massive Paneele in Fertigteilkonstruktionen.

Ein großer Vorteil dabei ist die Einfachheit der Details.

Gerade die Luftdichtigkeit und die einfachen Anschlussdetails zu den Fenstern sprechen für diese Bauweise.

## Fazit

Letztlich sind die Planer unter Abwägung aller Belange, vor allem auch der bauphysikalischen, auf eine einfache Mischkonstruktion mit massiver Wand, Dämmung und Holzschalung zurückgekommen. Somit ist die gesamte Gebäudehülle aus einem Guss und besitzt immer demselben Aufbau, was letztendlich nachvollziehbar, einfach und bauphysikalisch einwandfrei ist.

Die notwendigen Lüftungskanäle, welche zunächst in der Fassadenebene geführt werden sollten, wurden in einfacher Leichtbauweise hinter die Betonkonstruktion verlegt und sind somit auch gewerkemäßig und bauphysikalisch an der richtigen Stelle.

## Außenverkleidung der Fassade

Als Außenverkleidung der massiven Primärkonstruktion mit der dicken Dämmschicht kam nur eine sehr leichte Verkleidung in Frage, da gerade die Befestigung in Bezug auf das Passivhaus das mit Abstand größte Problem darstellt.

Hier wurde schon sehr früh unter Einbeziehung und auf Wunsch des Bauherrn eine einfache Nadelholzverschalung gewählt.

Das Nadelholz sollte vorzugsweise als einheimisches Holz verbaut werden.

Holz ist als Außenverschalung robust und im Vergleich zu einem Wärmedämmverbundsystem gut geeignet, um Stöße oder Tritte im Schulalltag aufzunehmen. Das Erscheinungsbild der Holzverschalung war auch ein wichtiger architektonischer Aspekt in der Wirkung nach außen.

## Befestigung der Holzverschalung

Der wesentlichste und schwierigste Punkt in Bezug auf die Holzverschalung ist die Befestigung an der massiven Konstruktion.

Hier geht es gerade beim Passivhaus darum, jegliche Wärmebrücken zu vermeiden.

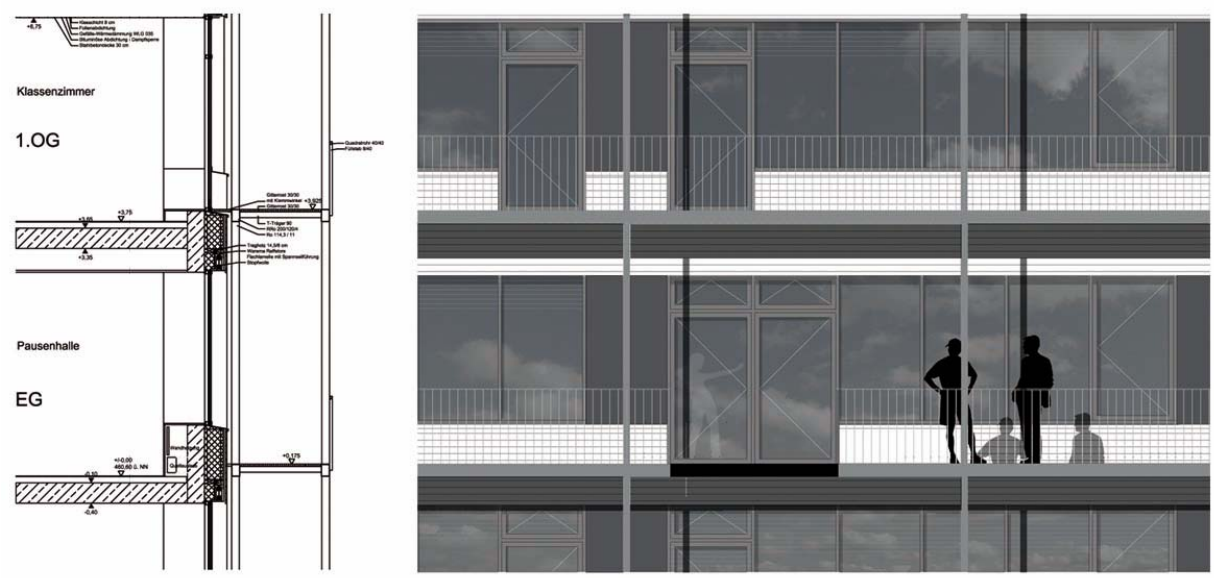



Abb. 21 Detailschnitt / Außenfassade

## Varianten / Untersuchungen:

### Befestigungssystem aus Aluminium/ Edelstahl

Ein reines Aluminiumsystem, wie es zum Beispiel von Firmen wie Eternit zur Befestigung von Fassadenplatten angeboten wird, erfüllt nicht die Voraussetzungen, um einen wärmebrückenfreien Anschluss an die Fassade zu schaffen. Untersuchungen und Berechnungen des Energieberaters zeigten nach kürzester Zeit die erheblichen Nachteile dieser Lösung.

### Mischsystem aus Aluminium und Holz

Eine Alternative besteht in der Befestigung der Holzfassade mittels Aluminium-U-Profilen mit einem dazwischen eingebauten Holzblock, um Wärmebrücken an dieser Stelle zu minimieren. Dieses System wurde an der Riedbergschule in Frankfurt eingesetzt. Die dort durchgeführten Berechnungen und Messungen ergaben, dass diese Lösung zwar besser, aber noch nicht optimal ist, so dass weitere Verbesserungsmöglichkeiten gesucht wurden.

### Befestigungssystem aus Holz

Als beste bauphysikalische Lösung erwies sich eine reine Holzbefestigungskonstruktion. Bei dieser Konstruktion bilden zwei einfache Latten mit einem Steg aus Sperrholz das Befestigungssystem. Diese Elemente können vom Zimmerer bereits im Betrieb vorgefertigt werden und müssen nur noch vertikal an der Fassade angebracht werden. Man klemmt dazwischen die Wärmedämmung und kaschiert diese dann mit einem Windpapier von außen. Somit erreicht man eine fast wärmebrückenfreie Befestigungskonstruktion (sehr dünner Holzsteg).

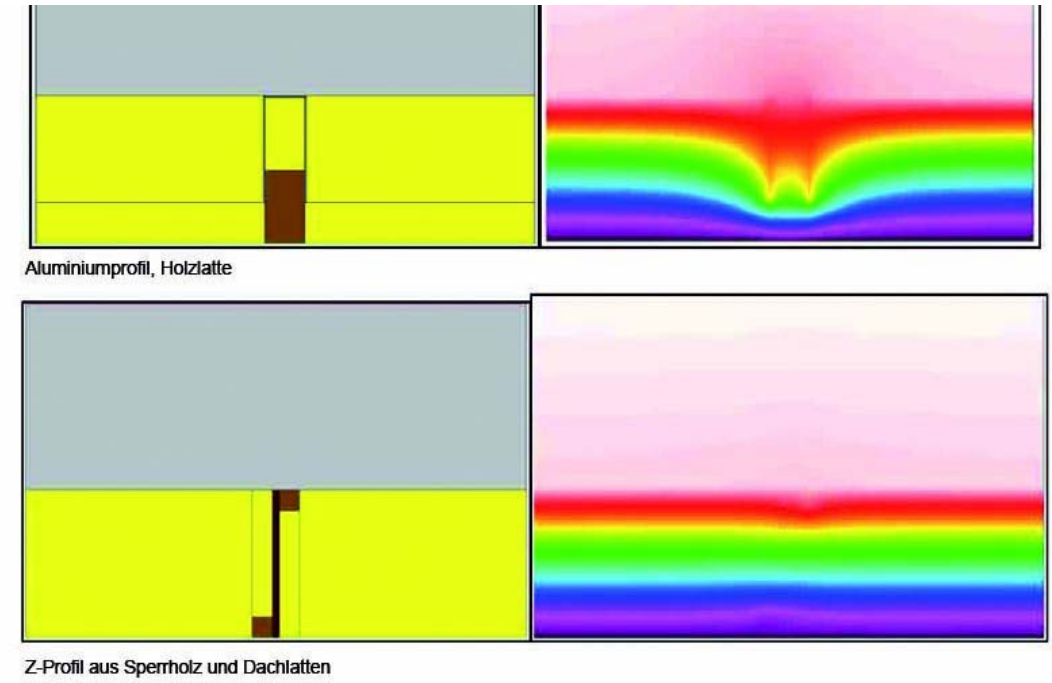



Abb. 22 Wärmeverteilung bei verschiedenen Fassadenbefestigungen

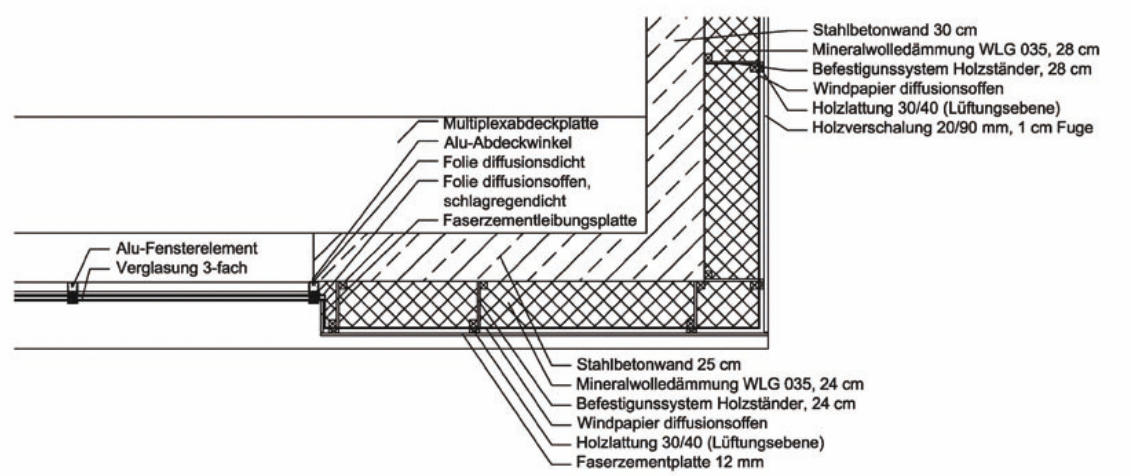



Abb. 23 Wandaufbau

Abb. 24 Fassadenanschluss Aluminium / Holz

### 3.1.5 Fluchtbalkone

**Begründung für die Fluchtbalkone**

Die Fluchtbalkone sind ein wesentlicher Bestandteil im Brandschutzkonzept der FOS/BOS Erding. Wegen des offenen und transparenten Atriums, welches über die Geschosse nicht durch Verglasungen oder Wände beeinträchtigt werden soll, benötigt man einen zweiten unabhängigen Fluchtweg.

Dieser Fluchtweg wird auf einfachste Weise an den Fassaden sichergestellt. Die Nutzer flüchten über eine Balkontür auf den Rettungsbalkon und können unmittelbar über Treppen ins Freie gelangen.

Aus der Not wird jedoch auch hier eine Tugend. So wird dieser Fluchtbalkon gleichzeitig zu einem Wartungs-, Reparatur- und Reinigungsbalkon, welcher eine gute Pflege und Wartung der gesamten Fassade ermöglicht.

**Varianten / Untersuchungen:**

**Auskragende Betonplatte mit Befestigung mittels ISO-Korb**

Dies ist eine gängige Ausführung bei einem normalen Bauwerk und hat durchaus das Potential, Maßstäbe nach EnEV einzuhalten. Bei einem hochgedämmten und empfindlichen Passivhaus und einer immensen Balkonlänge ist diese Konstruktion jedoch nicht zielführend.

**Stahlkonstruktion, befestigt mit Konsolen an der Fassade**

Diese Variante würde nur noch eine punktuelle Befestigung an der Fassade erfordern. An der Außenseite würde die Last des Balkons über eine Stahlstütze abgetragen werden.

Auch diese Konstruktion birgt Probleme. Die Wärmedämmung würde an sehr vielen Stellen punktuell von einer Stahlkonstruktion durchbrochen. Daraus ergeben sich hohe Wärmeverluste.

**Autarke Konstruktion mit zwei Stahlstützen**

Die Berichterstatter haben sich nach längeren Untersuchungen und Diskussionen auf eine Stahlkonstruktion mit zwei Stahlstützen, eine an der Außenseite des Balkons und eine an der Fassade, entschieden. Diese Stützen tragen die Last des Fluchtbalkons autark ab. Die Konstruktion wird nur noch ganz vereinzelt an die Fassade angebunden. Diese Schwächungen der Wärmedämmungen sind vermindert und hinnehmbar.

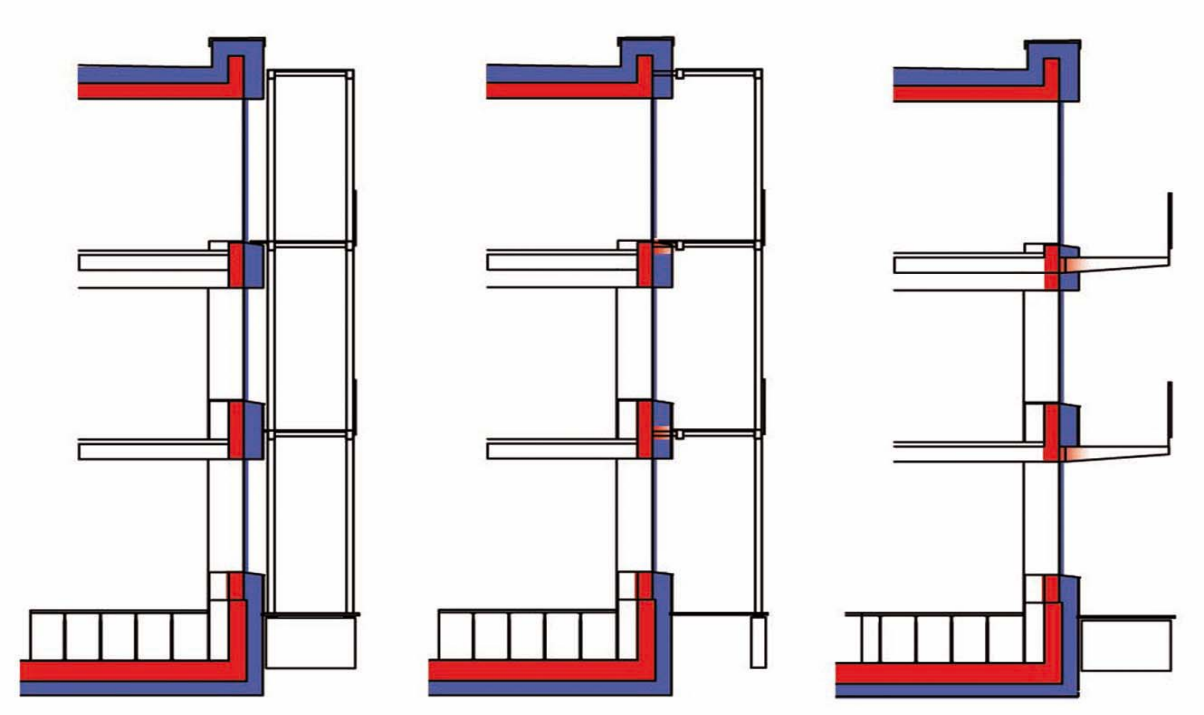


Abb. 25 Minimierung von Wärmebrücken durch autarke Balkonkonstruktion

**Fazit:**
Die gewählte Konstruktion der außenliegenden Fluchtbalkone ist eine Optimierung architektonischer Beweggründe einerseits und energetischer Notwendigkeiten andererseits.

Aus architektonischen Gründen wäre eine Konstruktion mit weniger Stützen deutlich eleganter. In Zusammenarbeit mit dem Energieplaner wurde jedoch an diesem wichtigen Punkt – wie oben beschrieben – diese Lösung im Einvernehmen beschlossen.

### 3.1.6 Materialkonzept

#### Außenwand und Verkleidung

#### Beton

Wie bereits im Kapitel Konstruktion unter dem Punkt Primärkonstruktion erwähnt, haben sich die Planer für ein massives, konstruktives Gerüst entschieden. Der Beton wird an den Außenwänden im Innenraum spürbar. Die Planer haben dem Wunsch des Bauherrn und der Nutzer nach einer Wandoberfläche, die nur gespachtelt und gestrichen wird, zu Lasten einer weiteren Verkleidung oder Putze verzichtet. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit gesehen, hat diese Entscheidung auch den Vorteil der geringeren Wartung.

Abb. 26 Außenfassade

#### Holz

Als Außenfassade wurde, wie bereits erwähnt, eine Holzverschalung gewählt. Das Material soll einfaches Nadelholz aus der Region sein. Auch diese Holzverschalung soll vor allem auf Wunsch des Bauherrn einen Anstrich oder eine Lasur erhalten.
Wichtig dabei ist, dass eine schadstofffreie und möglichst ökologisch unbedenkliche Farbe zum Einsatz kommt (z. B. Aglaia). Die genaue Art der Schalung, ob nun horizontal, vertikal, Stülpschalung, Bodendeckelschalung usw. stand zum Redaktionszeitpunkt dieses Berichts noch nicht fest.

## Fluchtbalkon

Die Fluchtbalkone werden, wie bereits erwähnt, in einer Stahlkonstruktion ausgeführt. Der Laufbereich der Fluchtbalkone besteht aus Gitterrosten. So ist es möglich, ein möglichst unaufwändiges und wartungsfreies Gerüst vor dem Gebäude zu errichten.
Die Gitterroste bewirken ebenfalls, dass kein aufwändiges Entwässerungssystem errichtet werden muss und die Balkone im Winter schneefrei sind.

Abb. 27 Atrium

## Innenwände

Die Innenwände dienen ebenso wie die Außenwände der Primärkonstruktion als Konstruktionselement und werden ebenfalls zu ca. 80 % aus Beton erstellt. Das heißt, dass auch hier unmittelbar die Konstruktion zum Ausdruck kommt, da diese Wände nur noch gespachtelt und gestrichen werden.

Weitere Innenwände, wie zum Beispiel im Büro- oder Verwaltungsbereich werden aus leichten Gipskartonwänden erstellt.

## Fußböden und Decken

Ebenso einfach wie die Wandkonstruktionen sind auch die Deckenkonstruktionen. Es gibt einfache massive Betondecken, die an ihrer Unterseite, wie bereits im Vorfeld beschrieben, als Speichermasse wirken. Auch diese Oberflächen werden nur noch gespachtelt und gestrichen.
Der Fußbodenaufbau selbst soll so gering wie möglich gehalten werden. Er besteht lediglich aus Trittschalldämmung, Estrich und ca. zu 90 % aus Linoleumbelag.

Linoleum als sehr dünnes, sparsames und ökologisches Material stellt den Hauptteil des Fußbodenbelags im Gebäude dar. Linoleum ist preisgünstig, widerstandsfähig und hat sich im Schulbau bestens bewährt.

Lediglich Teile der Verwaltung sowie einzelne Büros werden mit Nadelfilz belegt.

Die Sanitärkerne sowie der Küchenbereich werden mit einfachem Steinzeug belegt.

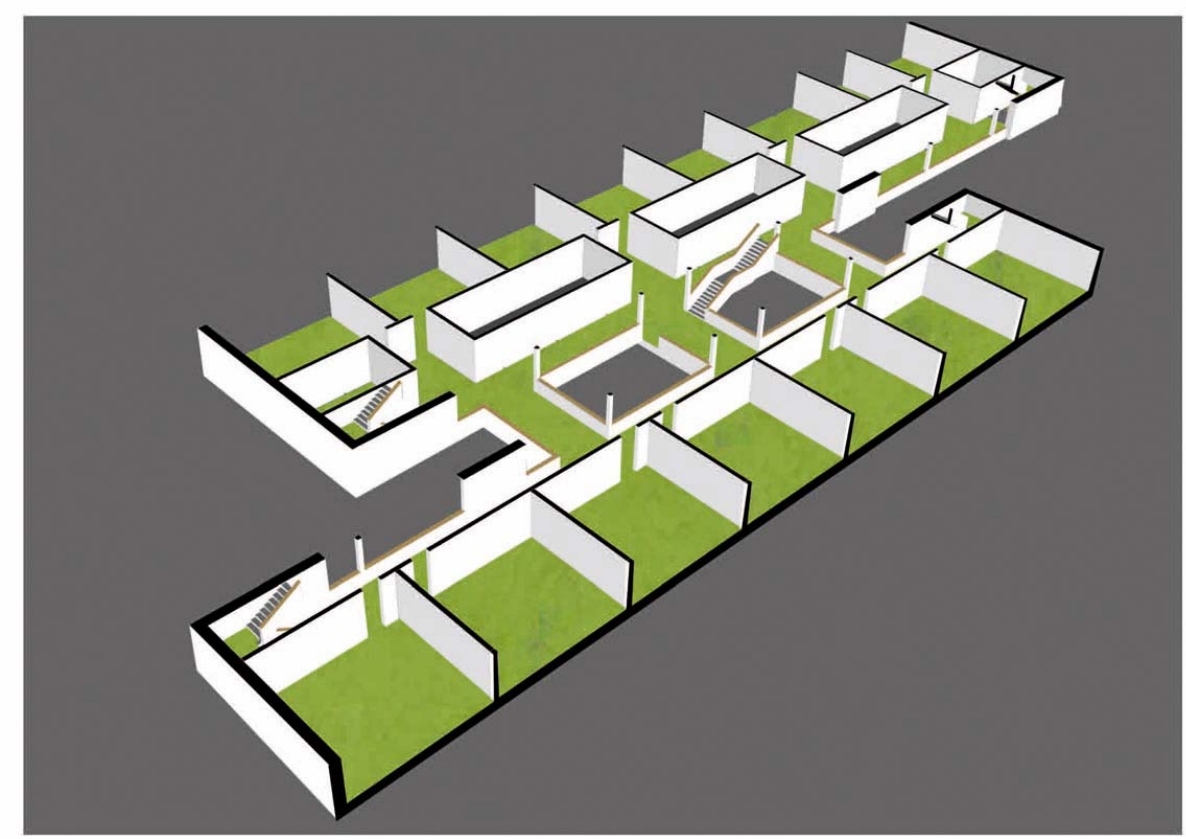


Abb. 28 Geschossdarstellung im Farbschema

## Akustische Maßnahmen

Bei den akustischen Maßnahmen werden zwei Bereiche unterschieden. Dies ist zum einen der große Teil mit den Klassen- und Fachräumen an den Gebäudeaußenseiten, zum anderen sind dies Flure und Verkehrswege.

## Klassenzimmer und Fachräume

In den Klassen- und Fachräumen ist die Bedeutung der massiven Decken sehr groß. Die Speichermasse wird benötigt, um eine aktive Nachtauskühlung betreiben zu können. In diesen Räumen dienen Deckensegel aus Holzwollleichtbauplatten (Heraklith) als akustische Deckenelemente, welche einen Teil des Schalls absorbieren.

Da die Deckensegel in ihrer Größe nicht komplett ausreichen, um eine gute Akustik zu erreichen, werden außerdem an den Seiten und Rückwänden des Klassenzimmers weiche Innenwände mit absorbierender Wirkung eingesetzt.

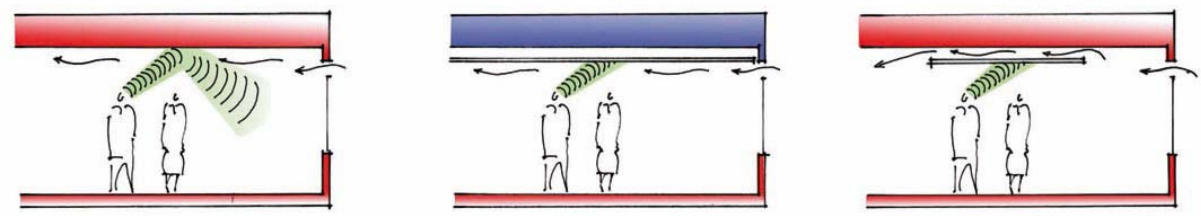


Abb. 29 Raumakustik und Speichermasse

Abb. 30 Klassenraum

## Flurbereiche

Aufgrund der Raumhöhe und des zusammenhängenden großen offenen Raums waren in den Flurbereichen zum Atrium hin akustische Maßnahmen erforderlich.

In diesem Bereich sind gelochte Gipskartonplatten vorgesehen; dies auch im Hinblick auf ein architektonisch einheitliches und ruhiges Bild, da die Flurbereiche elektrotechnisch (Leuchten, Rauchmelder, Fluchtwegsymbole, Revision usw.) stark installiert sind.

## 3.2 Entwicklung eines ressourcenschonenden baulich-technischen Energiekonzepts

### 3.2.1 Passivhaus-Nachweis mit dem PHPP

Mit Hilfe des Passivhaus-Projektierungspakets des Passivhaus-Instituts in Darmstadt wurde anhand des vorliegenden Entwurfs zunächst die prinzipielle Erreichbarkeit eines wichtigen Passivhaus-Kriteriums - spezifischer Heizwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m² a) [PHPP] - überprüft. Der auf Basis der aktuellen Planung ermittelte Rechenwert liegt bei ca. 11 kWh/(m² a), so dass das Kriterium als sicher erfüllt angesehen werden kann (Dokumentation siehe Anhang).

**Passivhaus Nachweis**

Foto oder Zeichnung

| | |
|---|---|
| Objekt: | Schule FOS-BOS Erding |
| Standort und Klima: | Standard Deutschland |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | 85442 Erding |
| Land: | Deutschland |
| Objekt-Typ: | Schule |
| Bauherr(en): | Landkreis Erding, Landratsamt |
| Straße: | Alois-Schießl-Platz 2 |
| PLZ/Ort: | 85442 Erding |
| Architekt: | k-plan AG |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | |
| Haustechnik: | |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | |
| Baujahr: | 2009 |
| Zahl WE: | |
| Umbautes Volumen $V_e$: | 36206,0 m³ |
| Personenzahl: | 650,0 |
| Innentemperatur: | 20,0 °C |
| Interne Wärmequellen: | 2,8 W/m² |

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche

Energiebezugsfläche: 6657,1 m²

| | Verwendet: | Monatsverfahren | PH-Zertifikat: | Erfüllt? |
|---|---|---|---|---|
| Energiekennwert Heizwärme: | 11 | kWh/(m²a) | 15 kWh/(m²a) | ja |
| Drucktest-Ergebnis: | | $h^{-1}$ | 0,6 $h^{-1}$ | |
| Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- u. Haushalts-Strom): | | kWh/(m²a) | 120 kWh/(m²a) | |
| Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom): | | kWh/(m²a) | | |
| Primärenergie-Kennwert Einsparung durch solar erzeugten Strom: | | kWh/(m²a) | | |
| Heizlast: | 11 | W/m² | | |
| Übertemperaturhäufigkeit: | 51 | % | über 26 °C | |
| Energiekennwert Nutzkälte: | | kWh/(m²a) | 15 kWh/(m²a) | |
| Kühllast: | 12 | W/m² | | |

Abb. 31 Auszug aus dem Passivhaus-Nachweis mit dem PHPP (Anmerkung: Bei der Ermittlung der Energiebezugsfläche werden VF und NNF nur zu 60 % gezählt, so dass die EBF kleiner ist als die NGF).

### 3.2.2 Wärmebrückenberechnungen

Die Passivhausbauweise bedingt aufgrund der erheblichen Anforderungen an den Wärmeschutz die Minimierung von konstruktiven Wärmebrücken. Zur quantitativen Erfassung und erforderlichenfalls Entschärfung von Wärmebrücken wurden verschiedene Situationen mittels 2D-Wärmeleitungsberechnungen untersucht.

**Fassadenelement mit integrierten Lüftungskanälen**
Verschiedene Fassadenaufbauten mit integrierten Lüftungskanälen und Heizungsrohren wurden mit der Software THERM 5.2 untersucht. Laut IB Baumann (HLS-Planungsbüro) weist das zugrundezulegende ROCKWOOL-Produkt für den Brandschutz die WLG 040 auf. Dieser Wert wurde in den Berechnungen zugrundegelegt. Generell sind günstigere Werte (WLG 035 oder niedriger) anzustreben, sofern dies keinen unverhältnismäßigen Aufwand (wie z. B. eine Zulassung im Einzelfall) bedeutet. Nicht dem Brandschutz dienende Dämmstoffe wurden bei den vorliegenden Berechnungen mit WLG 035 angenommen.

Es ergibt sich, dass die Lüftungskanäle den U-Wert des Fassadenelements gegenüber einem homogen gedämmten Element deutlich beeinträchtigen. Beim Element mit drei Lüftungskanälen liegt der U-Wert fast so hoch, als ob die gesamte Kanalebene perfekt wärmeleitend wäre [mit 3 Kanälen: 0,25 W/(m² K); gesamte Kanalebene perfekt wärmeleitend: 0,31 W/(m² K), während das homogen mit 32 cm WLG 035 gedämmte Element einen U-Wert von 0,12 W/(m² K) aufweist]!

Soll die Anordnung so beibehalten werden, so ist die Aufbringung einer zusätzlichen Dämmlage von 6 cm (WLG 035 oder besser) erforderlich, wie aus den Visualisierungen ersichtlich. Dies wird durch die auf den folgenden Seiten dokumentierten Berechnungsergebnisse begründet. Die Folien zeigen jeweils den U-Wert eines Fassadenausschnitts mit 3 Achsen.

Die Geometrie ist jeweils oben in der Abbildung dargestellt; die Temperaturverteilung innerhalb der Bauteile ist jeweils als Falschfarbenbild darunter ablesbar.

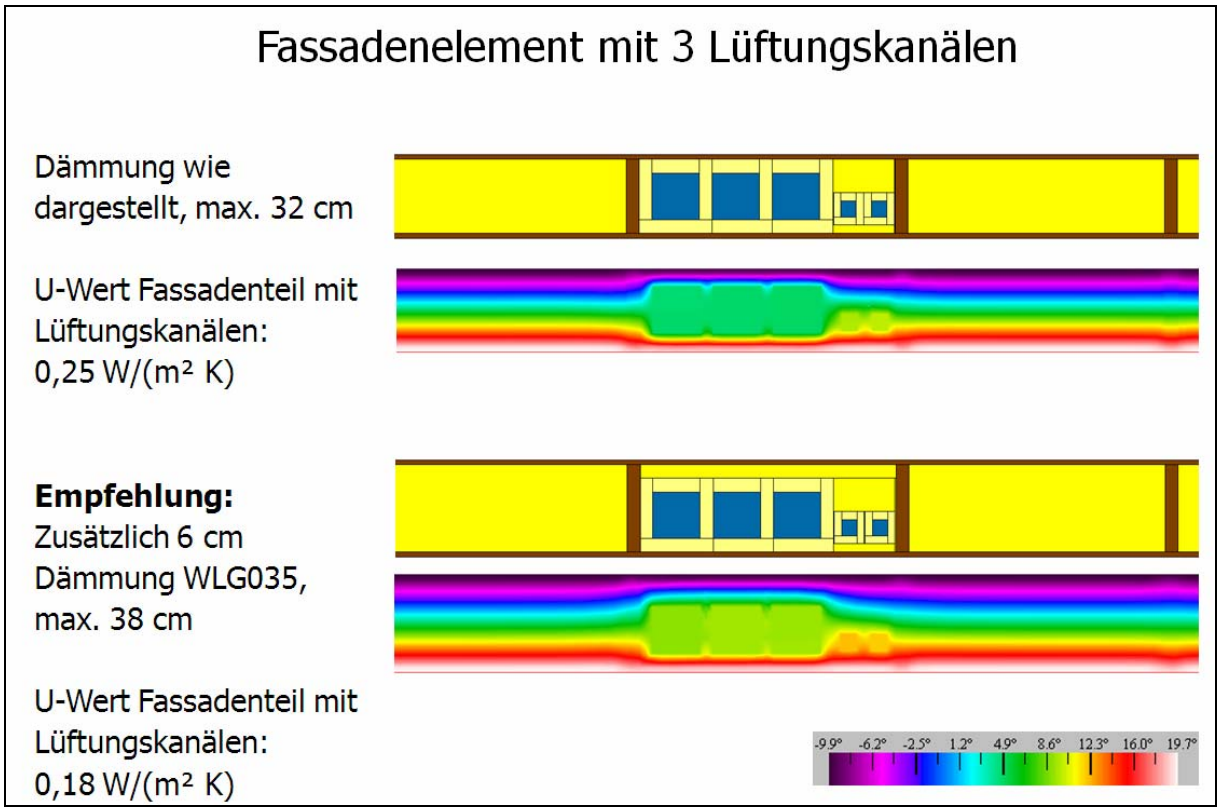



Abb. 32 Visualisierung für das Fassadenelement mit drei Lüftungskanälen

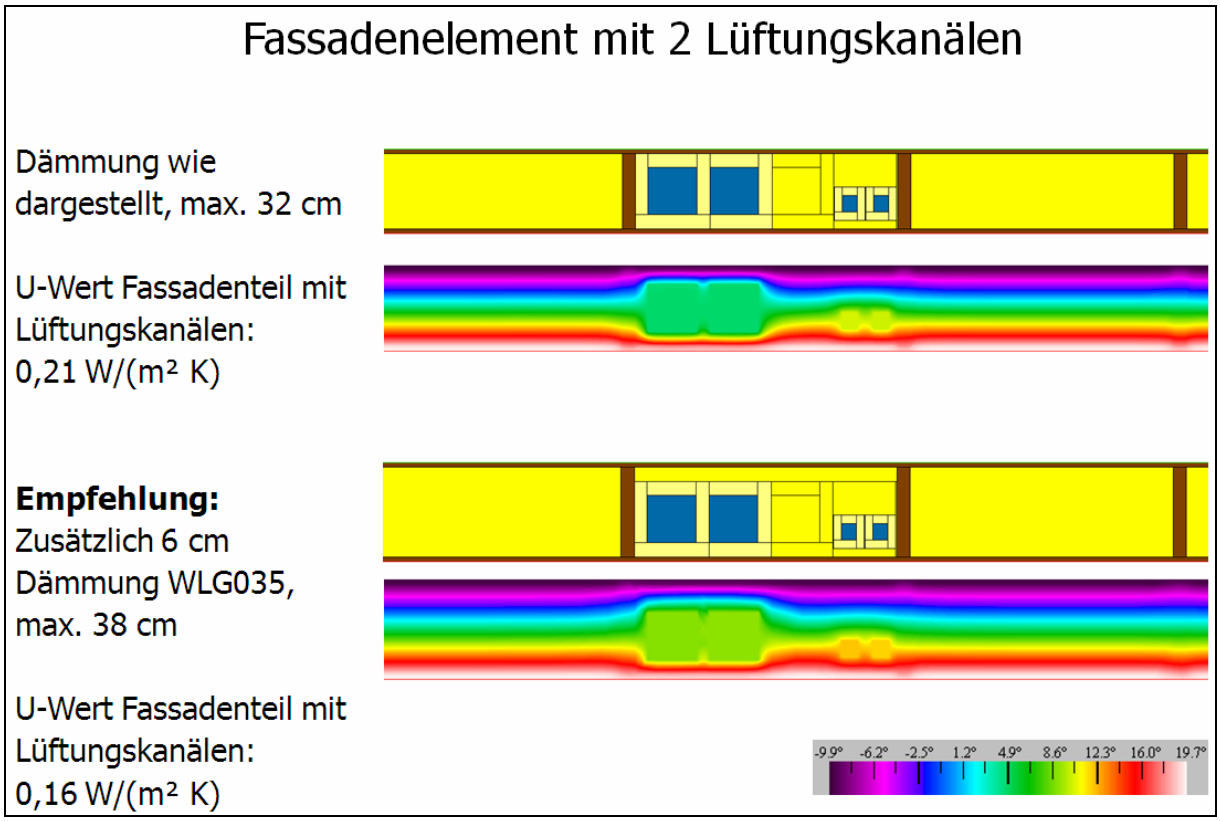



Abb. 33 Visualisierung für das Fassadenelement mit zwei Lüftungskanälen

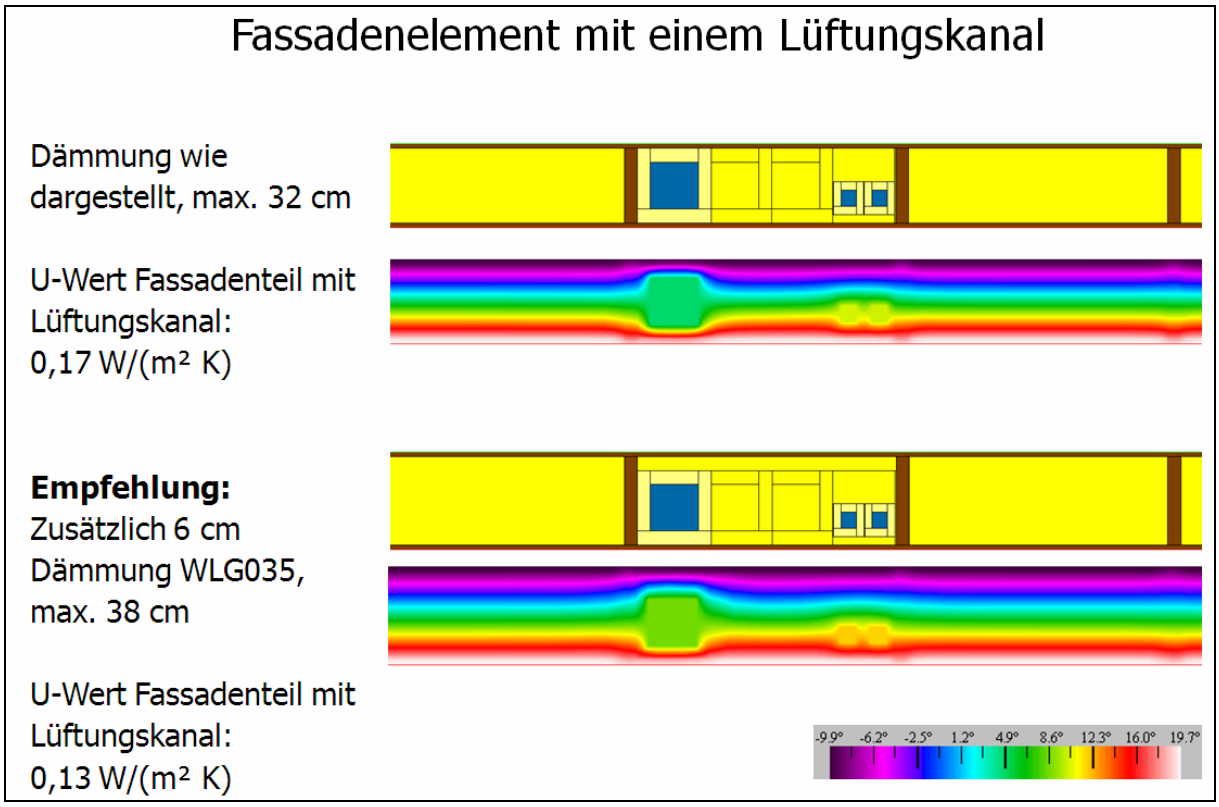



Abb. 34 Visualisierung für das Fassadenelement mit einem Lüftungskanal

## Übersicht

| | U-Wert (Fassade unverändert, max. 32 cm Wärmedämmung) | U-Wert (zusätzlich 6 cm gedämmt mit WLG 035, max. 38 cm Wärmedämmung); **Empfehlung** |
|---|---|---|
| Fassade ohne Lüftungskanal | 0,12 W/(m² K) | 0,10 W/(m² K) |
| Fassade mit 3 Lüftungskanälen | 0,25 W/(m² K) | 0,18 W/(m² K) |
| Fassade mit 2 Lüftungskanälen | 0,21 W/(m² K) | 0,16 W/(m² K) |
| Fassade mit 1 Lüftungskanal | 0,17 W/(m² K) | 0,13 W/(m² K) |

Tabelle 1 Mittlere U-Werte mit und ohne Zusatzdämmung

## Ergebnisse

| | Mittlerer U-Wert (Fassade unverändert, max. 32 cm Wärmedämmung) | Mittlerer U-Wert (zusätzlich 6 cm gedämmt mit WLG035, max. 38 cm Wärmedämmung); **Empfehlung** |
|---|---|---|
| Klassenzimmer Südseite (1 Lüftungselement, 2 geschlossene Elemente, 2 Brüstungselemente) | 0,15 W/(m² K) | 0,12 W/(m² K) |
| Klassenzimmer Nordseite (2 Lüftungselemente, 1 geschlossenes Element, 2 Brüstungselemente) | 0,18 W/(m² K) | 0,14 W/(m² K) |

Tabelle 2 Mittlere U-Werte mit und ohne Zusatzdämmung, jeweils für das gesamte Klassenzimmer

Der U-Wert des ungestörten Fassadenelements beträgt ca. 0,12 W/(m² K). Die drei Lüftungskanäle verschlechtern den mittleren U-Wert des Elements auf 0,25 W/(m² K)! Die zu Projektbeginn vorgeschlagene Einbringung der Zuluftkanäle in die Dämmebene der Außenwandelemente wurde angesichts dieser Ergebnisse verworfen.

**Einfluss der Fassadenanker auf den Wärmebedarf**
**Befestigung der Fassadenverkleidung**

Eine weitere zu untersuchende Fragestellung bezog sich auf die Befestigung der vorgehängten Fassade, die eine punktuelle bzw. im Falle von Z-Profilen (s. u.) auch lineare Wärmebrücke darstellt. Insbesondere bei hochwärmegedämmten Bauteilen, wie sie im Passivhausbereich üblich sind, muss solchen Details besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Verschiedene Möglichkeiten zur Befestigung der vorgehängten Fassade wurden mit der Software THERM 5.2 untersucht. Der Bauteilaufbau wurde den Detailzeichnungen vom 10.07.2008 und vom 22.07.2008 von kplan entnommen.
kplan schlägt drei verschiedene Varianten vor, die hinterlüftete Holzschalung an der Fassade zu befestigen:

- U-Halter aus Metall (20 cm tief), die einen Holzblock der Maße 20 x 8 x 14 cm oder ein Kantholz der Maße 8 x 14 cm halten, an dem die Holzschalung befestigt wird
- eine Zimmermannskonstruktion, bei der ein Holzblock der Maße 20 x 8 x 14 cm oder ein Kantholz der Maße 8 x 14 cm auf einem Holzblock befestigt wird
- ein Z-Profil aus 14 mm Sperrholz und 2 Kanthölzern (40 x 40 mm)

Die beiden Fassadenanker (U-Profil und Holzkonstruktion) wurden jeweils in zwei Varianten untersucht. Wie erwartet, beeinträchtigen diese Fassadenanker den U-Wert der Fassade gegenüber der homogen gedämmten Fassade deutlich. Der U-Wert steigt um bis zu 25 % von 0,12 W/(m² K) auf 0,15 W / (m² K) an.

Das Z-Profil stellt per se eine lineare Befestigung dar. Die Verschlechterung des U-Wertes ist hier weniger gravierend, sie beträgt ca. 10 %.

Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils den U-Wert eines Fassadenausschnitts mit einer Befestigung. Die Geometrie ist jeweils oben ablesbar, die Temperaturverteilung innerhalb der Bauteile ist jeweils als Falschfarbenbild darunter dargestellt.

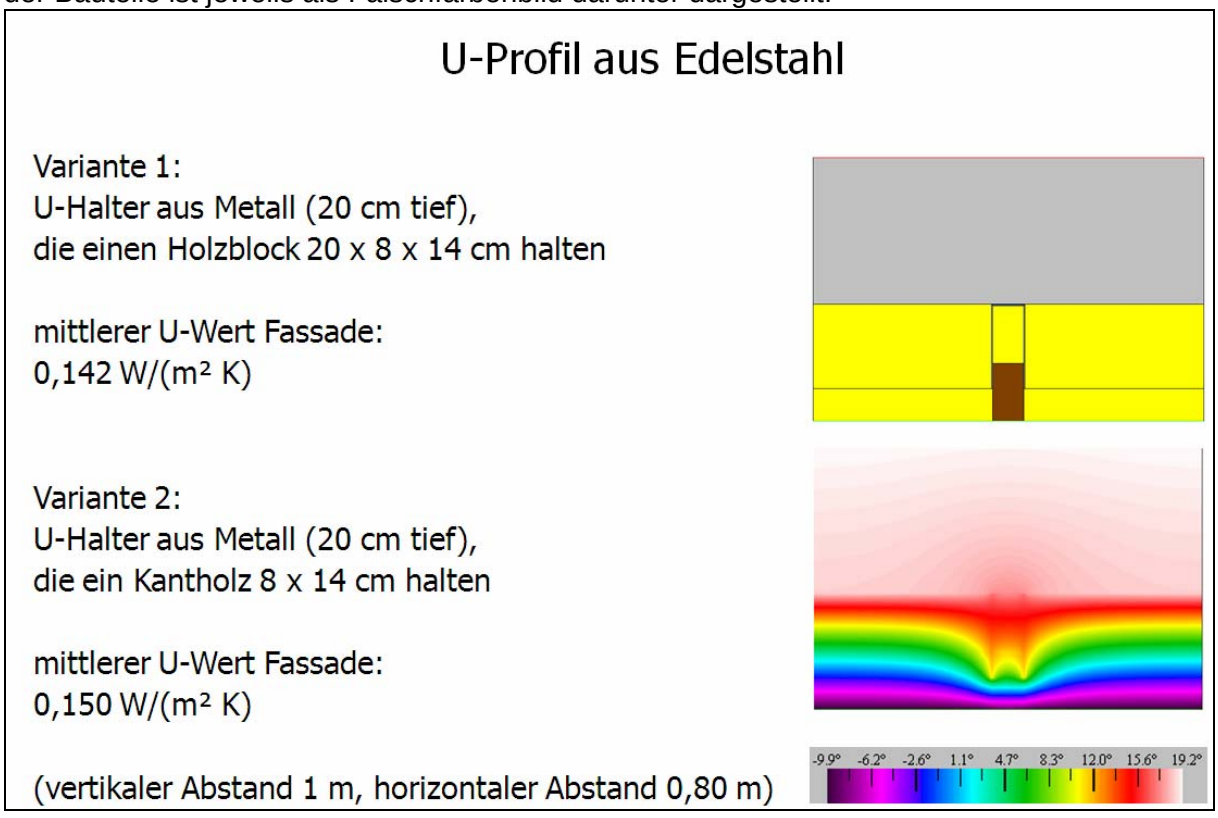



Abb. 35 Berechnungsergebnis für das U-Profil aus Edelstahl

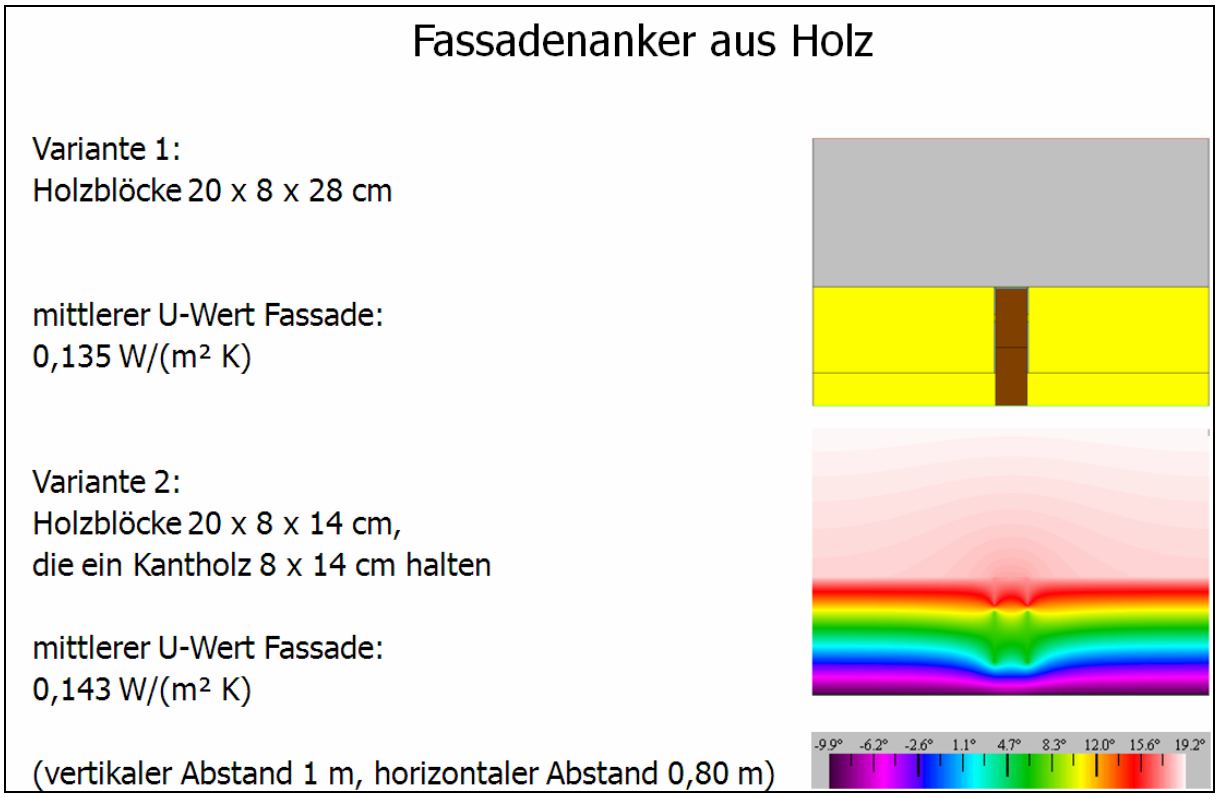



Abb. 36 Berechnungsergebnis für den Fassadenanker aus Holz

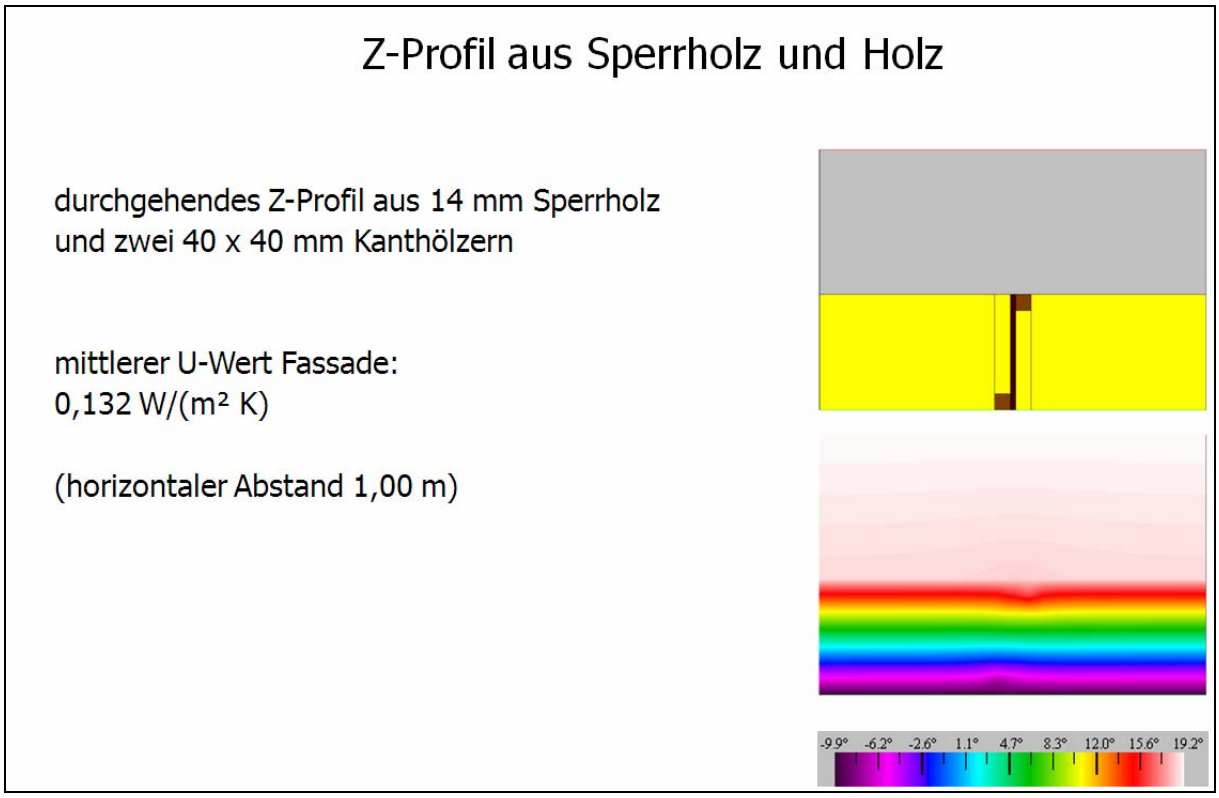



Abb. 37 Berechnungsergebnis für das Z-Profil aus Holz und Sperrholz

## Übersicht

| | | Mittlerer U-Wert bei 1,25 Befestigungen / m² | Mittlerer U-Wert bei 0,8 Befestigungen / m² |
|---|---|---|---|
| Metall-Halter | Holzblock | 0,142 (+ 18 %) | 0,134 (+ 12 %) |
| | Vierkantholz durchgehend | 0,150 (+ 25 %) | 0,141 (+ 17 %) |
| Holzblock als Haltepunkt an der Fassade | Holzblock | 0,135 (+ 12 %) | **0,130 (+ 8 %)** |
| | Vierkantholz durchgehend | 0,143 (+ 19 %) | 0,137 (+ 14 %) |
| Z-Profil | durchgehend | **0,132 (+ 10 %)** bei 1 m Abstand | |

Tabelle 3 Übersicht über wesentliche Berechnungsergebnisse

Auf Basis dieser Berechnungen wurde das Z-Profil aus Holz und Sperrholz zur Weiterverfolgung empfohlen.

### 3.2.3 Thermisch-dynamische Simulationsrechnung

Aus vielen anderen Schulgebäuden sind hohe sommerliche Raumlufttemperaturen bekannt. Insbesondere im Falle eines hochwärmegedämmten, luftdichten Gebäudes muss daher dem voraussichtlichen Temperaturempfinden im Raum erhebliche Beachtung geschenkt werden. Zur Überprüfung und ggf. zielgerichteten Verbesserung des sommerlichen thermischen Komforts wurde ein südorientiertes Klassenzimmer mit der thermisch-dynamischen Simulationssoftware TRNSYS15 analysiert. Dabei ergibt sich, dass sich ohne geeignete Entwärmungsmaßnahmen im Klassenzimmer sommerliche Empfindungstemperaturen deutlich jenseits von 34 °C einstellen. Der thermische Komfort kann andererseits allein durch eine Nachtlüftung und die damit verbundene Entwärmung des Gebäudes drastisch verbessert werden, wie die folgenden Simulationsergebnisse zeigen. Es wurde der Einfluss der Nachtlüftung auf den sommerlichen thermischen Komfort bei schrittweise gesteigerten Außenluftvolumenströmen untersucht.

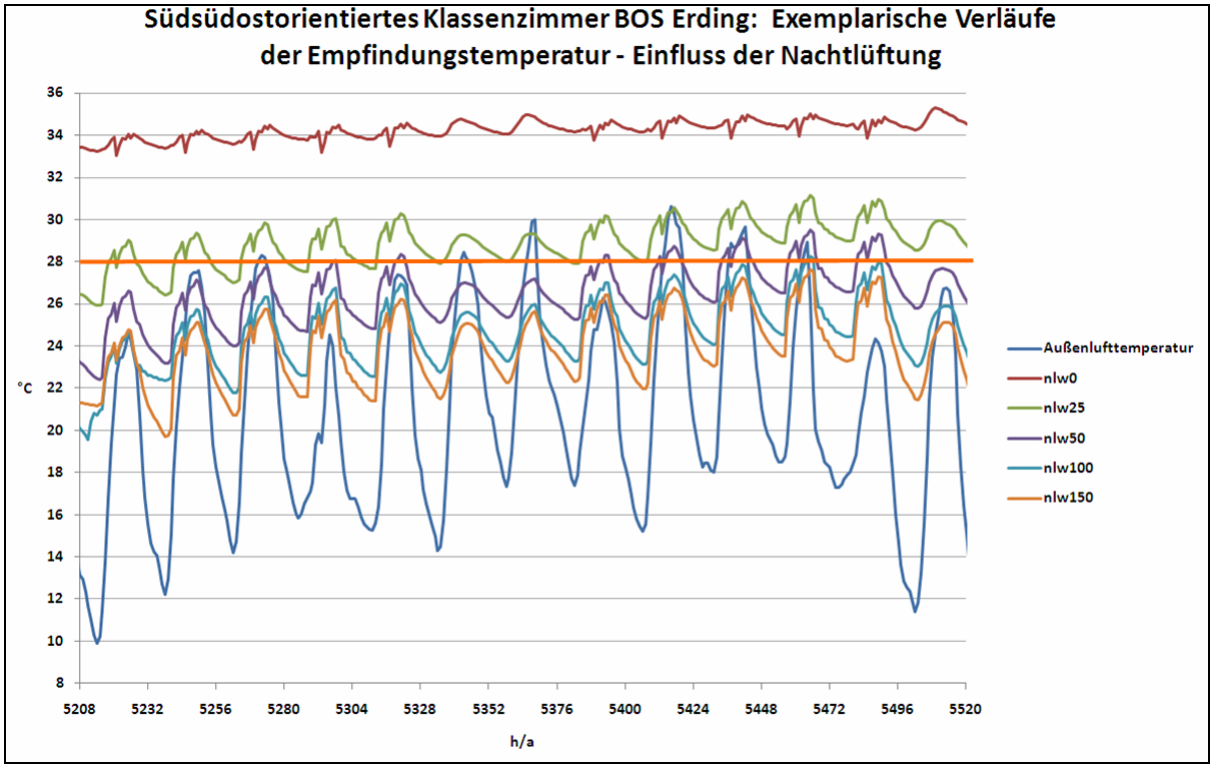



Abb. 38 Exemplarische Werteverläufe der Außenluft- und Empfindungstemperatur

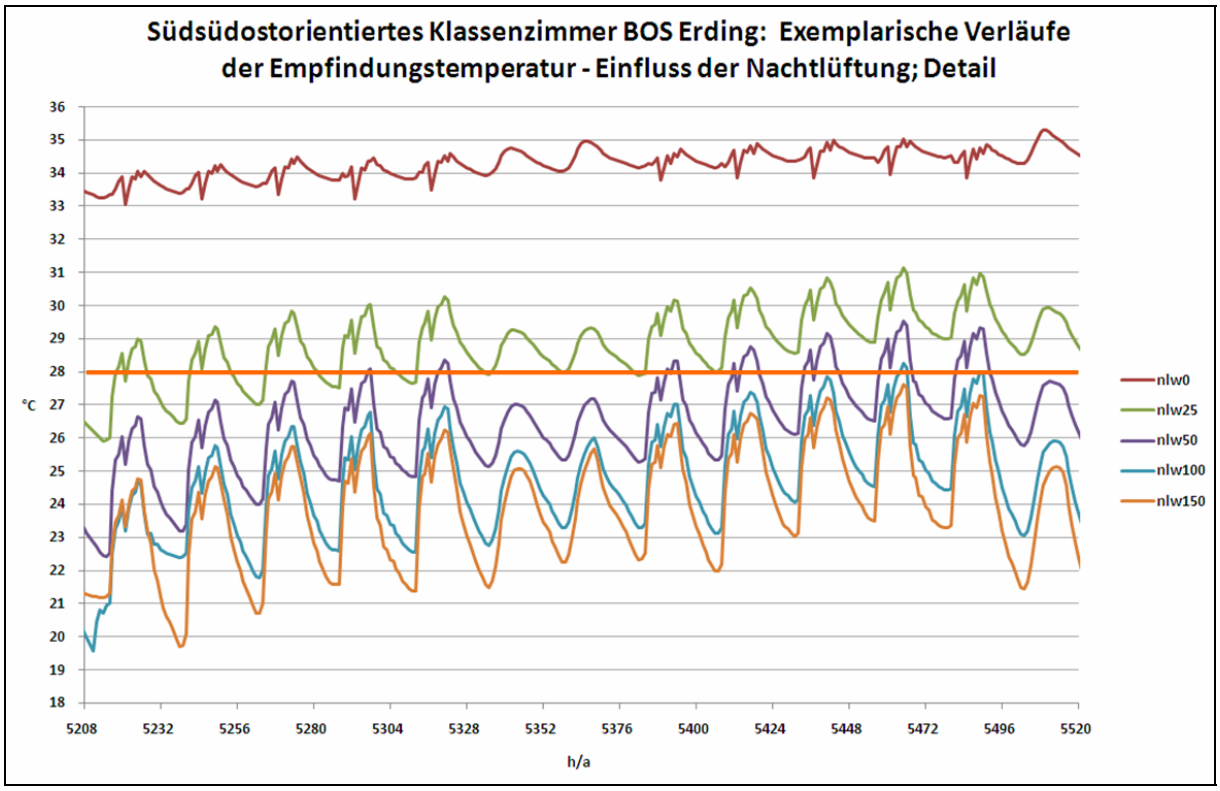



Abb. 39 Exemplarische Werteverläufe der Empfindungstemperatur (detailliertere Darstellung)

Es wird deutlich, dass ohne geeignete Entwärmungsmaßnahmen unkomfortabel hohe Temperaturen auftreten und dass die nächtliche Entwärmung mit Außenluft bei ausreichendem Außenluftvolumenstrom einen deutlich verbesserten thermischen Komfort bewirkt.

Einen guten Überblick über den thermischen Komfort erhält man durch die Auswertung von Überschreitungshäufigkeiten der Empfindungstemperatur für das ganze Simulationsjahr bei Anwesenheit. Diese Auswertung wird im folgenden dokumentiert. Sämtliche in der Tabelle genannten Temperaturen sind *Empfindungstemperaturen.*

**Wertetabelle thermisch-dynamische Simulation**

| Kürzel | Erläuterung | Überschreitungshäufigkeit DIN 1946, h/a | Gew. Überschreitungshäufigkeit DIN 1946, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C | Überschreitungshäufigkeit 27 °C | Überschreitungshäufigkeit 28 °C | Max. Empf.temperatur, °C | Betrieb NL, Stunden/a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nlw0 | Ohne nächtlichen Luftwechsel | 2341 | 12861,5 | 2341 | 2317 | 2225 | 35,0 | 0 |
| nlw25 | Nächtlicher LW mit 25 % des Auslegungsvolumenstroms | 1181 | 2675,6 | 1181 | 1012 | 686 | 31,1 | 5244 |
| nlw50 | Nächtlicher LW mit 50 % des Auslegungsvolumenstroms | 587 | 672,2 | 588 | 298 | 111 | 29,5 | 4287 |
| nlw100 | Nächtlicher LW mit Auslegungsvolumenstrom | 184 | 120,9 | 195 | 47 | 2 | 28,3 | 3153 |
| nlw150 | Nächtlicher LW mit 150 % des Auslegungsvolumenstroms | 88 | 39,6 | 94 | 12 | 0 | 27,6 | 2646 |

Tabelle 4 Auswertung wesentlicher Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung

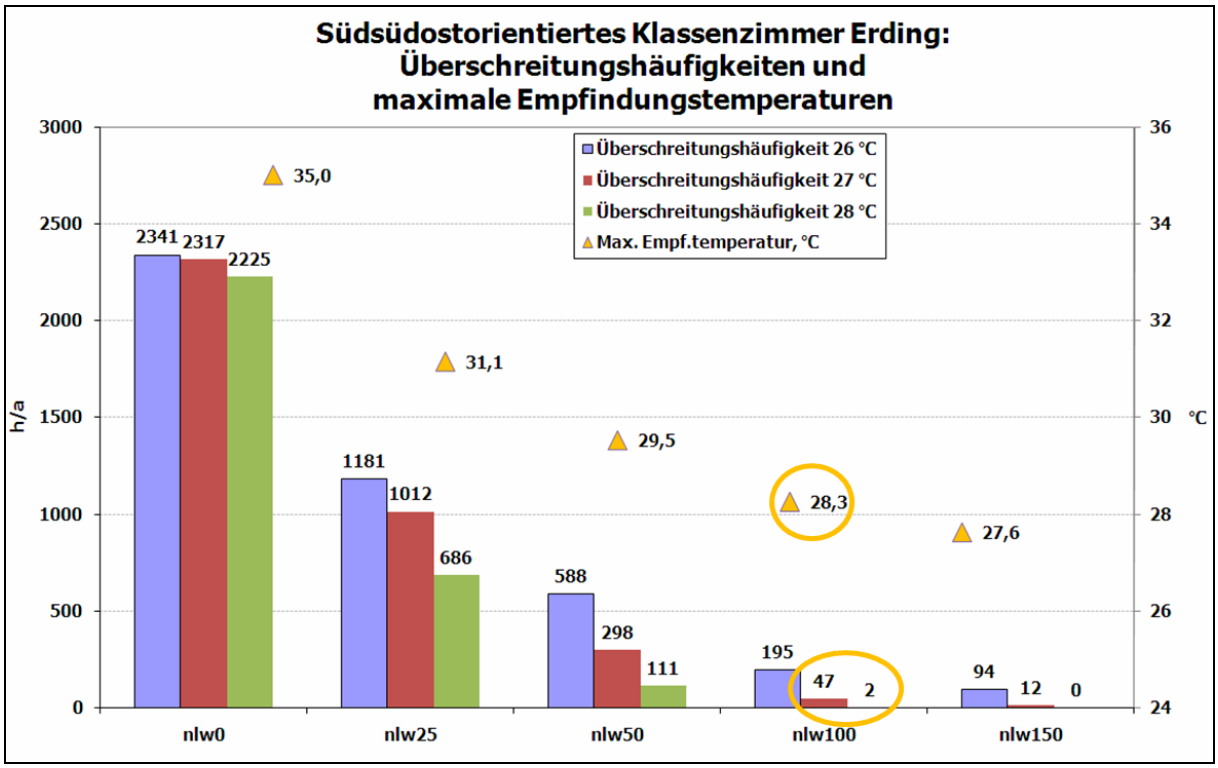



Abb. 40 Grafische Auswertung der Simulationsrechnung; es sollte mindestens ein thermischer Komfort entsprechend den markierten Werten angestrebt werden.

Angesichts des guten Dämmstandards, der Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung und der relativ hohen internen Lasten stellt sich die Frage, ob ein Klassenzimmer überhaupt aktiv beheizt werden muss. Die thermisch-dynamische Jahressimulation eines nordorientierten Klassenzimmers zeigt, dass eine Beheizung eigentlich nicht erforderlich ist (Abbildung 41) Dennoch sollte zum Wiederanheizen von Klassenzimmern nach längerer Nichtbenutzung eine Flächenheizung vorgesehen werden.

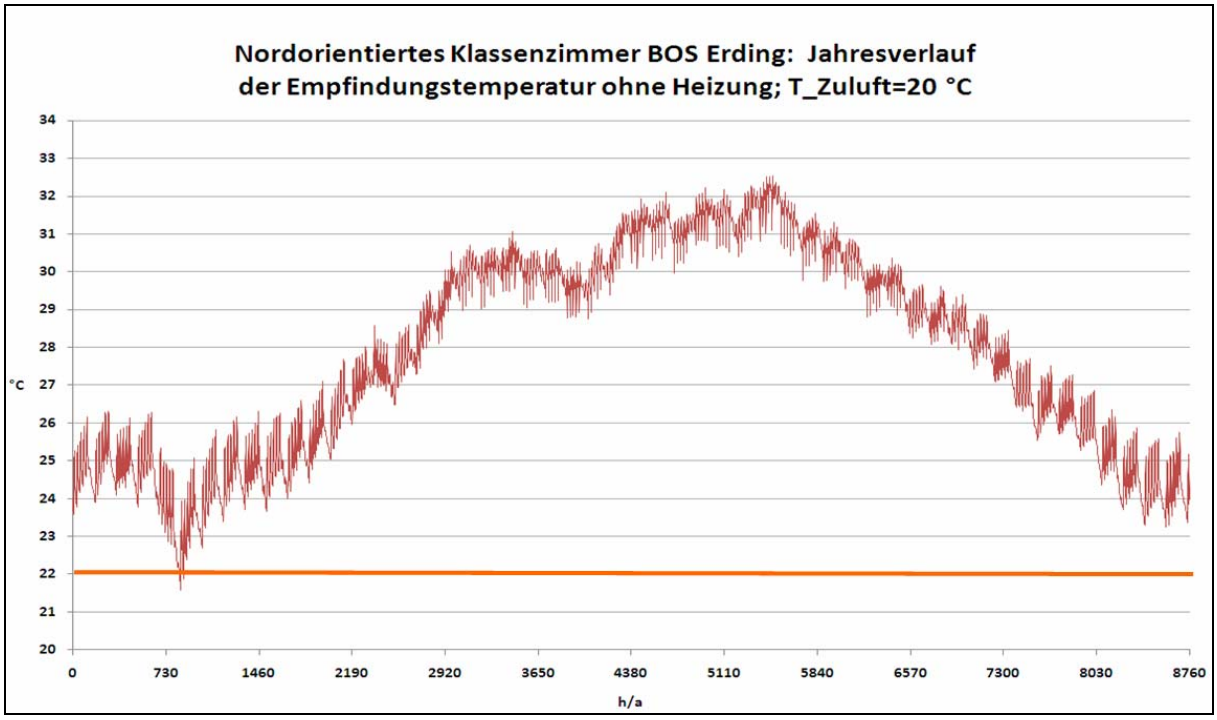



Abb. 41 Thermisch-dynamische Jahressimulation eines nordorientierten Klassenzimmers ohne aktive Beheizung.

## Ergebnisse der Simulationsrechnung für das Atrium

der FOS/BOS Erding angeordnete Atrium wurde mit thermisch-dynamischer Simulationsrechnung unter Verwendung des Programms TRNSYS15 untersucht. Von besonderem Interesse war der Einfluss von Verglasungsanteilen und Sonnenschutzmaßnahmen auf den sommerlichen thermischen Komfort. Die untersuchte Basiskonfiguration geht von einem komplett verglasten Atriumdach aus. Die parallel durchgeführte Tageslichtsimulation kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass der Tageslichteintrag auch bei einer Verringerung des Verglasungsanteils des Daches um 60 % noch ausreichend ausfällt. Daher wurde bei allen Varianten außer dem Basisfall eine Verringerung des Verglasungsanteils des Daches um 60 % angenommen, welche sich aus Gründen der thermischen Behaglichkeit auch als sehr empfehlenswert erweist.

Bedeutung der in den folgenden Ausführungen verwendeten Abkürzungen:
- „opak60“: Verringerung des verglasten Anteils des Daches um 60 %
- „ow50“: Verringerung des verglasten Anteils Ost und West um 50 %
- „ssoben“: Variabler außenliegender Sonnenschutz auf dem Atriumdach

Die folgenden Abbildungen dokumentieren einige Werteverläufe während einer warmen Wetterperiode.

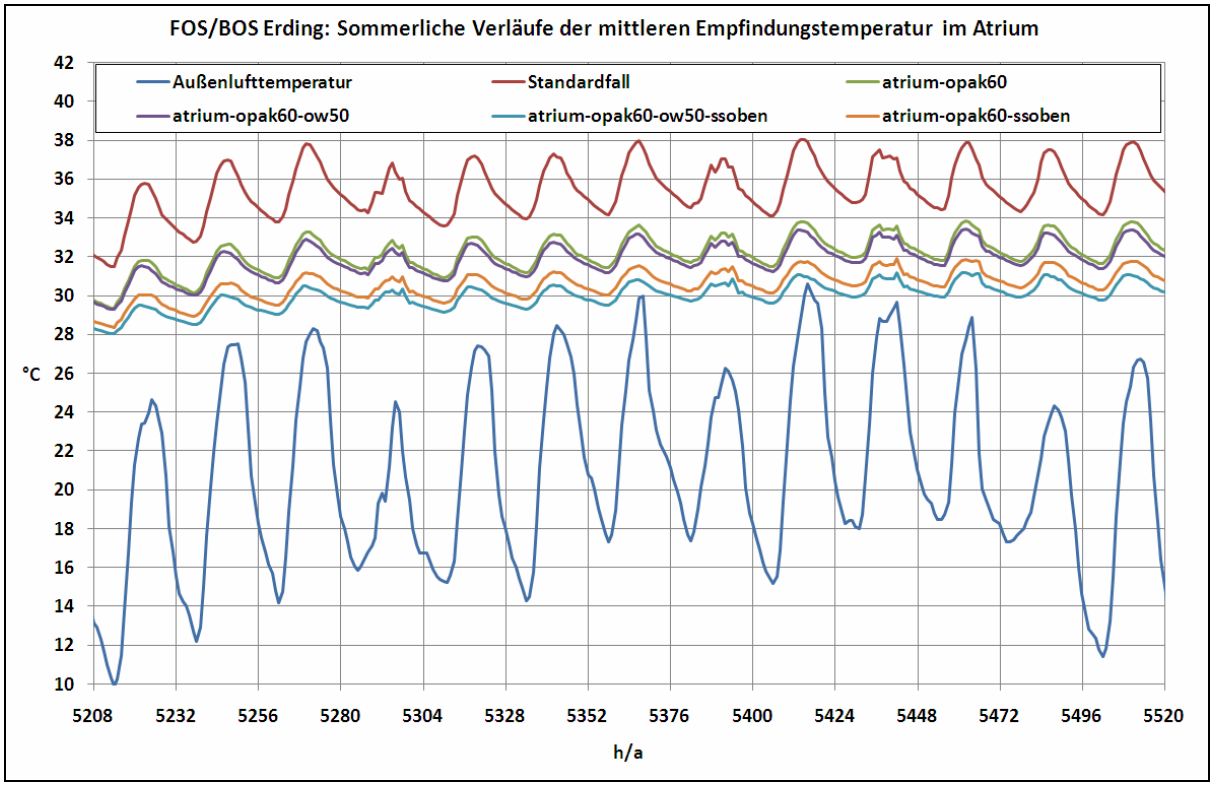



Abb. 42 Werteverläufe während einer warmen Wetterperiode

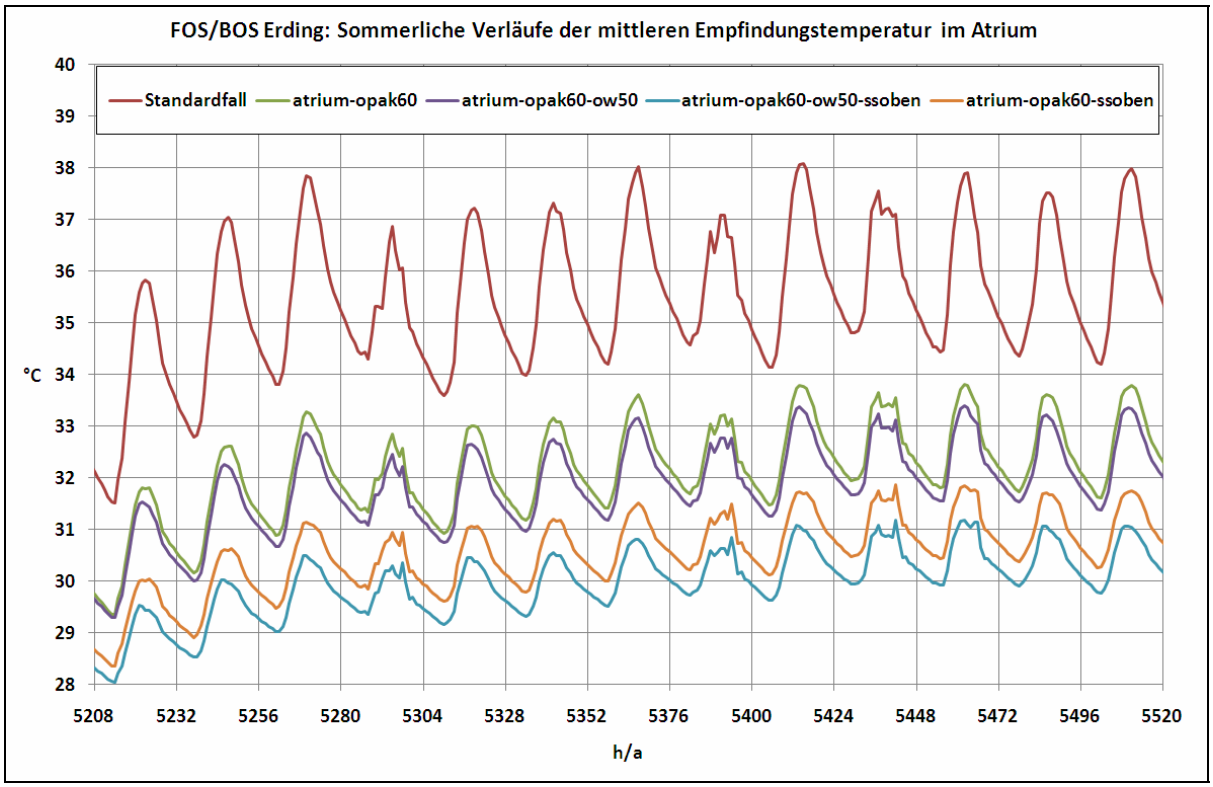



Abb. 43 Werteverläufe während einer warmen Wetterperiode; Detail

Einen guten Überblick über den thermischen Komfort erhält man durch die Darstellung der geordneten Jahresdauerlinien der Empfindungstemperatur für das ganze Simulationsjahr bei Anwesenheit. Aus ihnen lassen sich beliebige Überschreitungshäufigkeiten unmittelbar grafisch ablesen. Diese Auswertung wird in der folgenden Grafik dokumentiert.

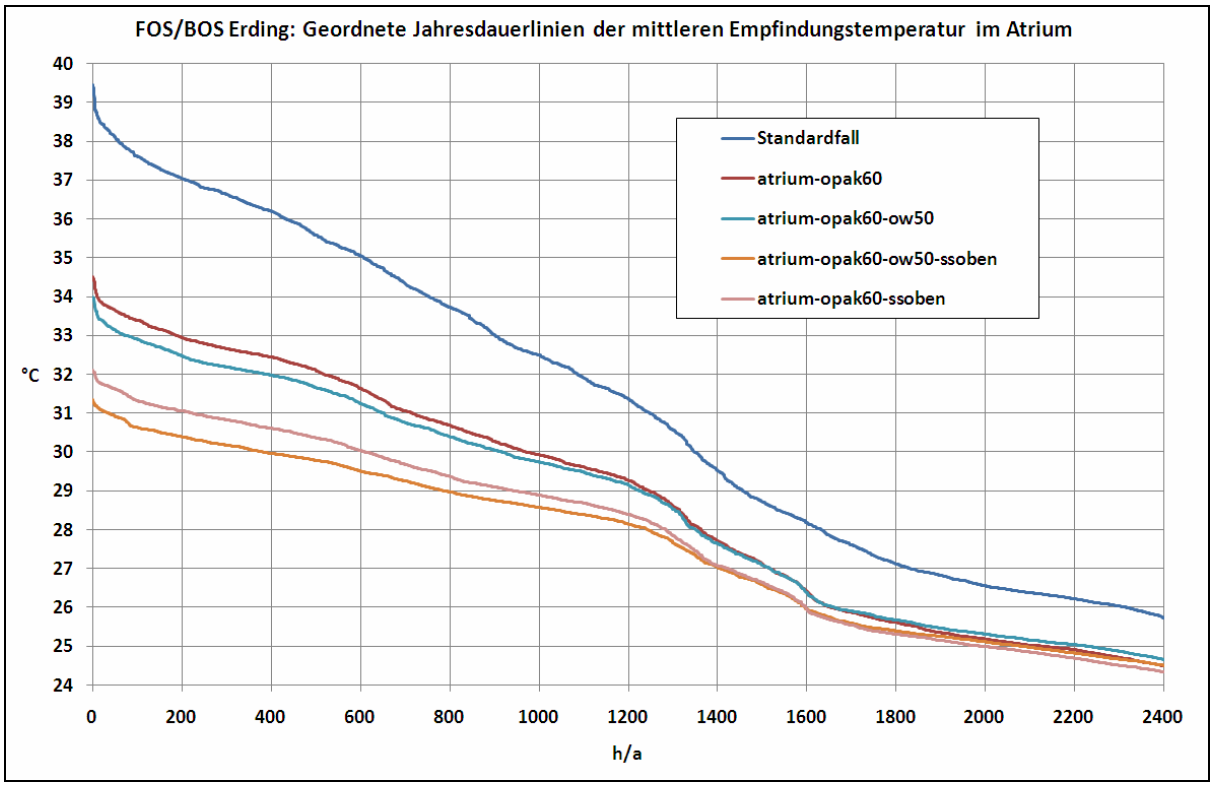



Abb. 44 Geordnete Jahresdauerlinien der Empfindungstemperatur

| Kürzel | Überschreitungshäufigkeit DIN 1946, h/a | Gew. Überschreitungshäufigkeit DIN 1946, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C | Überschreitungshäufigkeit 30 °C | Überschreitungshäufigkeit 32 °C | Max. Empf.temperatur, °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Basisfall | 2321 | 12707,1 | 1635 | 1350 | 1088 | 39,5 |
| atrium-opak60 | 1656 | 7367,0 | 1363 | 972 | 519 | 34,5 |
| atrium-opak60-ow50 | 1662 | 6917,6 | 1352 | 917 | 390 | 34,0 |
| atrium-opak60-ssoben | 1599 | 5278,4 | 1283 | 613 | 5 | 32,1 |
| atrium-opak60-ow50-ssoben | 1596 | 4621,3 | 1242 | 380 | 0 | 31,3 |

Tabelle 5 Ausgewählte Ergebniswerte über das gesamte Simulationsjahr

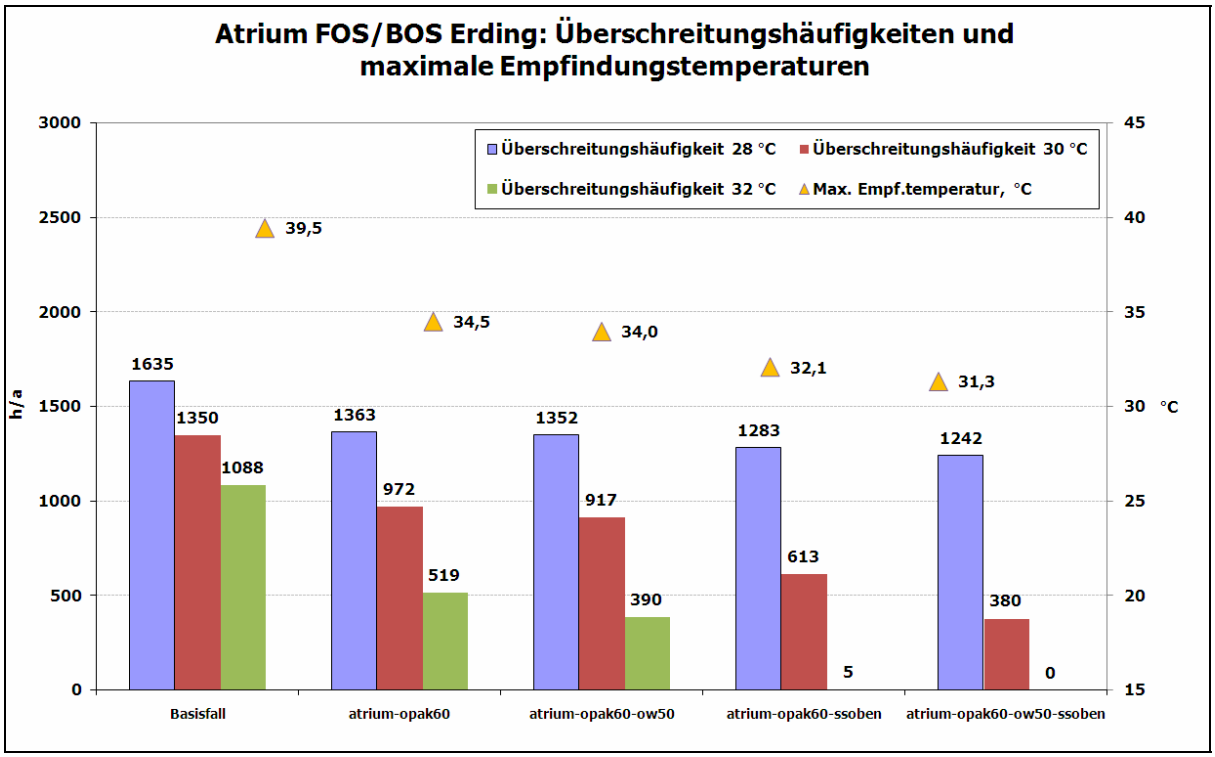



Abb. 45 Grafische Auswertung der Simulationsrechnung für das Atrium

Es wird deutlich, dass eine Verringerung des Verglasungsanteils des Atriumdachs z. B. um 60 % sehr empfehlenswert ist. Zusätzlich sollte dort eine geeignete variable Sonnenschutzanordnung realisiert werden. Auch die Verringerung des Verglasungsanteils der West- und der Ostfassade des Atriums wirkt sich günstig aus, allerdings in geringerem Maße. Vermutlich kann hier alternativ eine Verbesserung durch einen geeigneten außenliegenden Sonnenschutz erzielt werden – dies sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Insgesamt liegen auch bei den thermisch günstigeren Varianten die Empfindungstemperaturen noch immer relativ hoch, so dass weitere Verbesserungen angestrebt werden sollten. Weitere Untersuchungen sollten daher auch der Möglichkeit einer Nachtauskühlung durch geeignete Fassadenöffnungen gewidmet werden, die im Atrium durch Beimischung zur aus den Klassenzimmern zuströmenden erwärmten Luft für niedrigere Lufttemperaturen sorgen können.

### 3.2.4 Energetische Aspekte bei der Umsetzung des Nachtlüftungskonzepts

Auf Basis der Simulationsergebnisse wird vorgeschlagen, die Nachtlüftung mindestens mit dem für die tagsüber erfolgende Belüftung angesetzten Nennvolumenstrom durchzuführen. Eine rein auftriebsbasierte Nachtlüftung erweist sich wegen der großen erforderlichen freien Querschnitte in Verbindung mit Schallschutzanforderungen und Brandschutzanforderungen als nicht praktikabel. Es wurde daher eine mechanisch unterstützte Nachtlüftung mit sehr geringer elektrischer Leistungsaufnahme entwickelt (s. u.).

Besonderes Augenmerk wurde bei der Umsetzung des Konzepts auf eine Überströmung vom Klassenzimmer in die Erschließungsbereiche mit geringem Druckverlust gelegt. Hierzu wurde vom Haustechnikplaner ein extrem druckverlustarmes Überströmelement (Druckverlust <= 6 Pa bei Nennvolumenstrom) entwickelt, das den in früheren Projektphasen vorgesehenen Förderventilator zwischen Klassenraum und Atrium überflüssig macht. Die Funktionsweise des entwickelten Nachtlüftungskonzepts wird in Kapitel 3.3.7 genauer beschrieben.

Die deutlich verbesserte Energieeffizienz der entwickelten Lösung gegenüber einer Nachtlüftung durch die tagsüber verwendete mechanische Zu-/Abluftanlage kann durch folgende Gegenüberstellung aufgezeigt werden:

a) Energetisch optimierte mechanische Zu-/Abluftanlage: Volumetrischer Kennwert (elektrischer Energieeinsatz pro m³ geförderter Luft) typischerweise ca. 0,40 Wh/m³; resultierende Kühlarbeitszahl (EER) unter Annahme einer mittleren Temperaturdifferenz zwischen Lufteintritt und -austritt von 4 K:

   EER = 4 K * 0,33 Wh/(m³ K) / (0,40 Wh/m³) = **3,3**

b) Energetisch optimierte Nachtauskühlung FOS/BOS Erding: Volumetrischer Kennwert ca. 0,05 Wh/m³; EER unter Annahme einer mittleren Temperaturdifferenz zwischen Lufteintritt und -austritt von 4 K:

   EER = 4 K * 0,33 Wh/(m³ K) / (0,05 Wh/m³) = **26,7!**

Unter dem Einsatz einer kWh elektrischer Energie kann also eine Kältearbeit von 26,7 kWh erschlossen werden! Kältemaschinen kommen hier bestenfalls auf Werte um 4 … 5.

### 3.2.5 Untersuchungen zur Tageslichtnutzung

Da sich das vorliegende Projekt extrem strengen Anforderungen an einen niedrigen Primärenergiebedarf unterwirft, muss der primärenergieintensive Einsatz von Kunstlicht auf das absolut nötige Maß begrenzt werden. Dies gelingt durch folgende Maßnahmen:

- Gewährleistung eines guten Tageslichtangebots
- Verwendung von Kunstlichtlösungen mit hoher Effizienz und daher niedrigen spezifischen installierten Anschlussleistungen (siehe auch Berechnung des Primärenergiebedarfs)
- Präsenz- und tageslichtabhängige Steuerung/Regelung des Kunstlichts – drei gesonderte Regelkreise für die unterschiedlich weit von der Fassade entfernten Beleuchtungsbereiche der Klassenzimmer

Das Potential der Tageslichtversorgung des Projekts FOS-BOS Erding wurde mit Hilfe des Lichtsimulations-Programms RADIANCE untersucht. Damit wird das Tageslichtangebot in Abhängigkeit von der geplanten Kubatur und der daraus resultierenden Eigenverschattung aufgezeigt. Wichtige lichttechnische Größen sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

**Lichttechnische Größen**

**Begriffsbestimmung:**

| | |
|---|---|
| Beleuchtungsstärke: | Menge Licht, die eine Fläche erreicht, in Lux;<br>DIN EN 12464 schreibt für Klassenzimmer 300 lx vor |
| Tageslichtquotient: | Tageslichtquotient D (oder TQ) = $\frac{\text{Beleuchtungsstärke innen}}{\text{Beleuchtungsstärke außen}}$<br>z.B. bei D = 3% = 0,03<br>außen 10.000 Lux (bedeckter Himmel)<br>ergibt innen 10.000 x 0,03 = 300 lx |
| Tageslichtautonomie: | Anteil der Nutzungszeit, zu dem die geforderte Beleuchtungsstärke allein durch Tageslicht ohne zusätzliche künstliche Beleuchtung erreicht werden kann |

Abb. 46 Wichtige lichttechnische Größen

Es wurde zunächst ein dreidimensionales Computermodell des Gebäudes erstellt, in dem weder die Fenster (Rahmen und Verglasung) noch die Fluchtbalkone vor den Fenstern modelliert wurden. Das Modell entspricht also in etwa dem Rohbau. Fenster in der Ost- und Westfassade des Untergeschosses wurden wegen ihres unerheblichen Einflusses nicht berücksichtigt. Ebenso wurde die Verschattung durch die umgebende Bebauung nicht berücksichtigt.

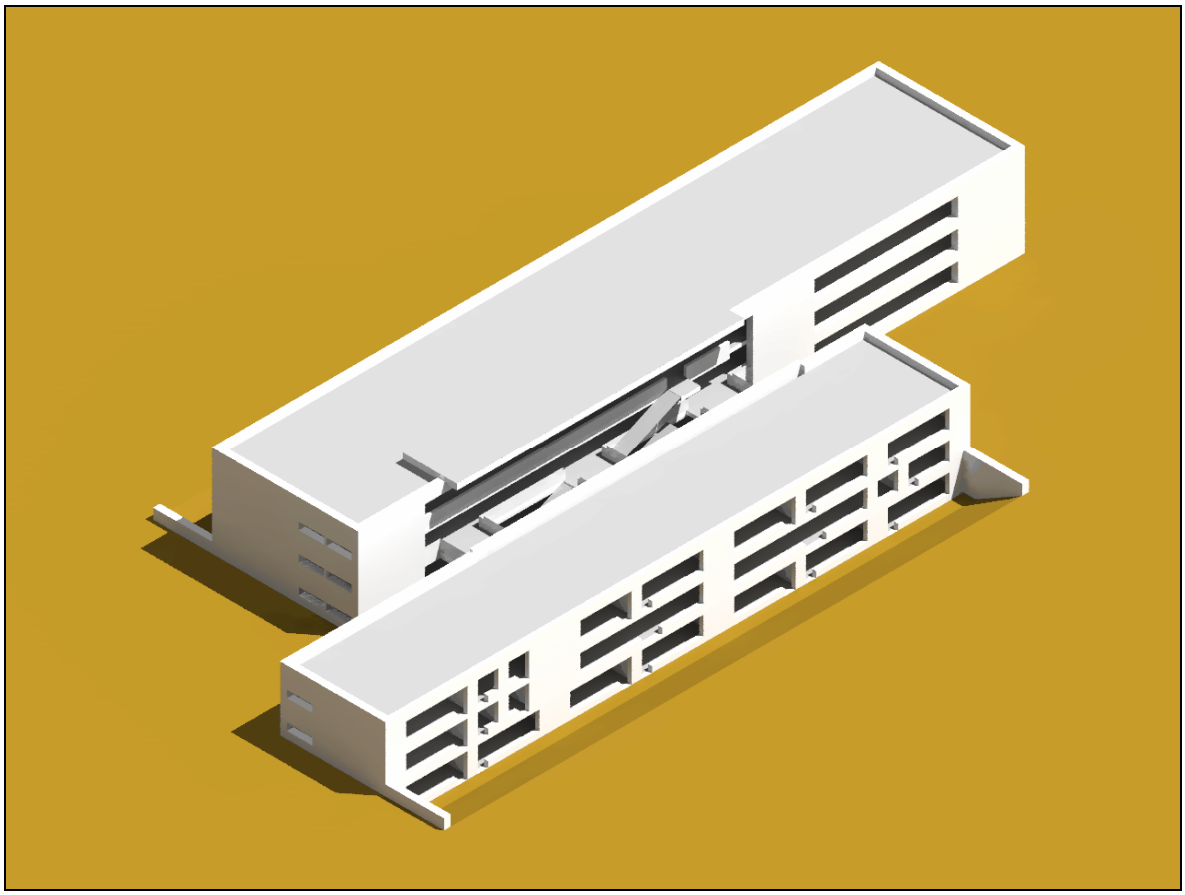


Abb. 47 3D-Modell des Gebäudes

Die Ergebnisse zeigen nicht die real zu erwartende Tageslichtversorgung - diese wird durch den Einfluss von Fensterrahmen, Verglasung und Fluchtbalkonen deutlich niedriger ausfallen. Sie zeigen aber, in welchen Bereichen bei dieser Gebäudegeometrie das Potential zu einer guten Tageslichtversorgung gegeben ist und in welchen Bereichen die Tageslichtautonomie eher geringer ausfallen wird.

Die Geometrie ist in Grauwerten zu sehen, die Ergebnisse der Berechnungen sind als Falschfarbenbilder dargestellt, die das Potential der Tageslichtversorgung in den Geschossen zeigen. Rottöne bedeuten eine ausreichende Tageslichtversorgung, Blautöne eine nur geringe.

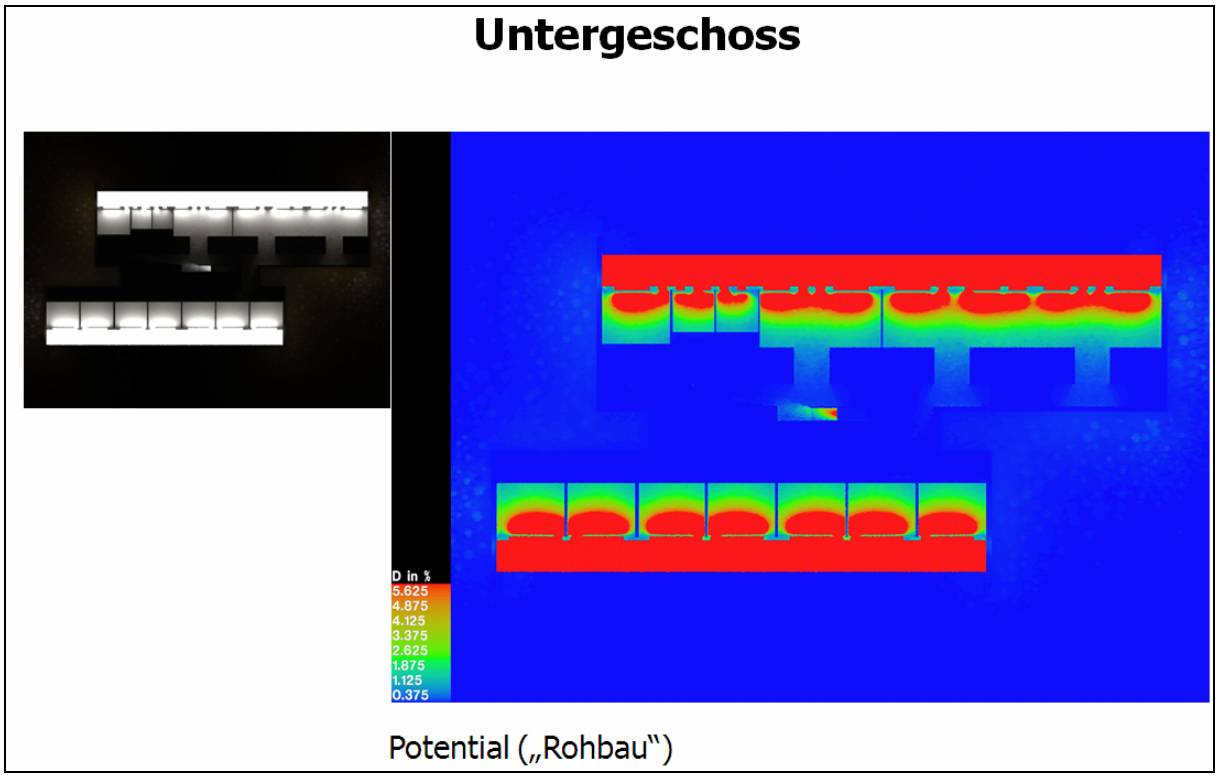



Abb. 48 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung UG

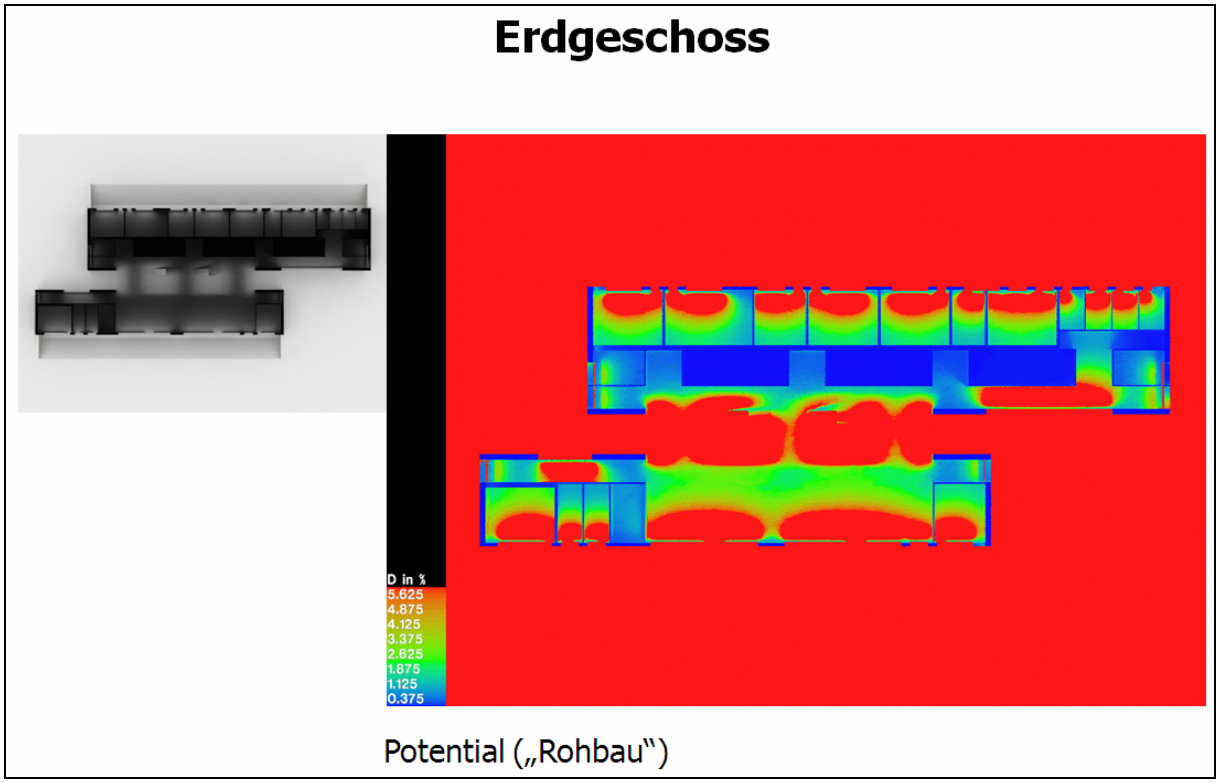



Abb. 49 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung EG

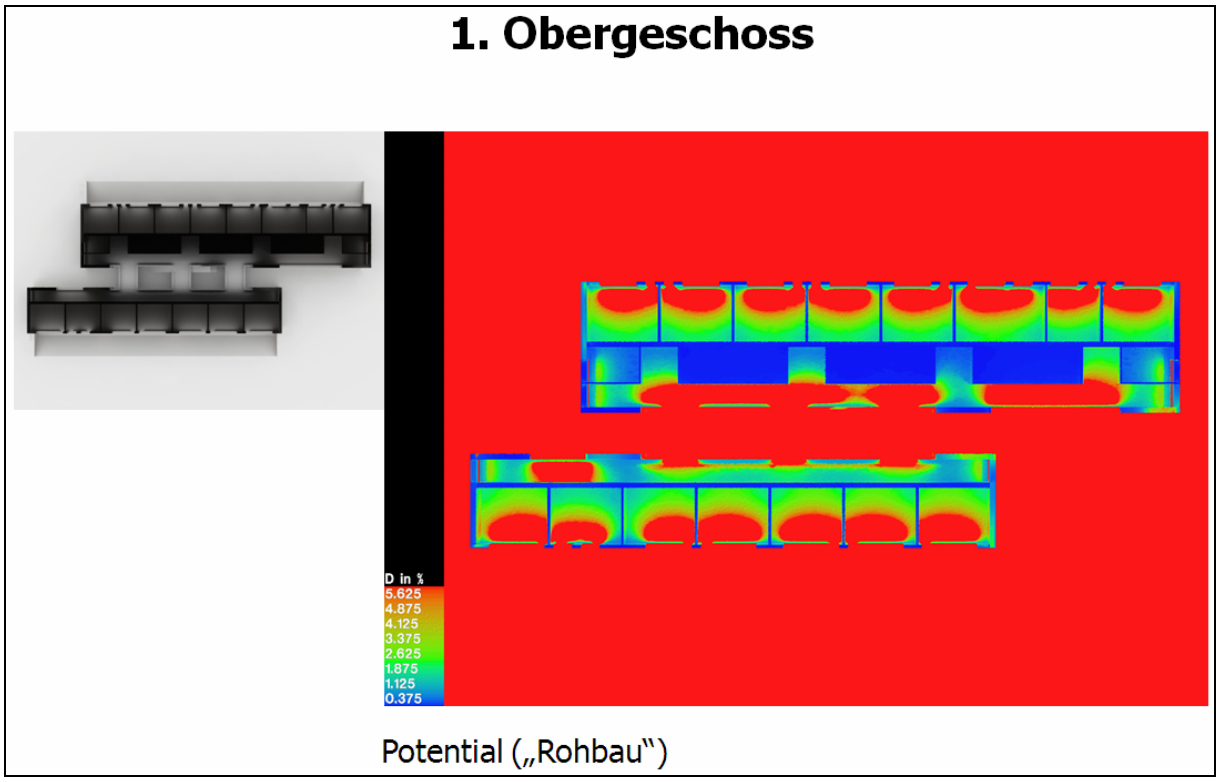



Abb. 50 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung 1. OG

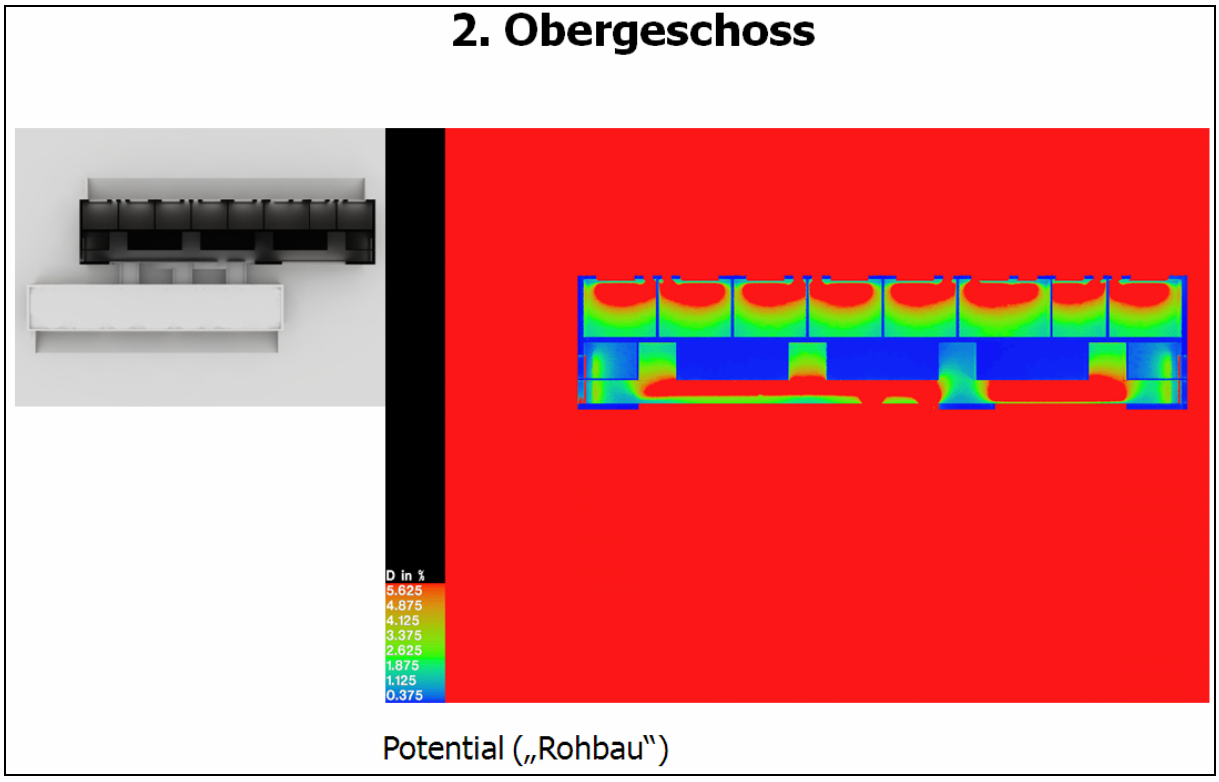



Abb. 51 Falschfarbendarstellung der Tageslichtversorgung 2. OG

Zur leichteren Interpretation der Ergebnisse zeigt die untenstehende Tabelle die Abschätzung der resultierenden Tageslichtquotienten und der Tageslichtautonomie an drei repräsentativen Punkten im Grundriss über alle Geschosse jeweils 1,5 m hinter der Fassade und in 0,8 m Höhe (Klassenzimmer) bzw. 0,1 m Höhe (Flur und Atrium).

Als Reduktionsfaktor für die Einflüsse von Fensterrahmen (80%), Verglasung (70%), Verschmutzung (90%) und die Fluchtbalkone (70%) wurde insgesamt ein Wert von 35% abgeschätzt.

Das bedeutet, dass bezogen auf die Tageslichtversorgung des Rohbaus real nur ca. ein Drittel zur Verfügung stehen wird!

Die Betrachtung geht von einer Nutzung von 7:00 – 14:00 Uhr aus.

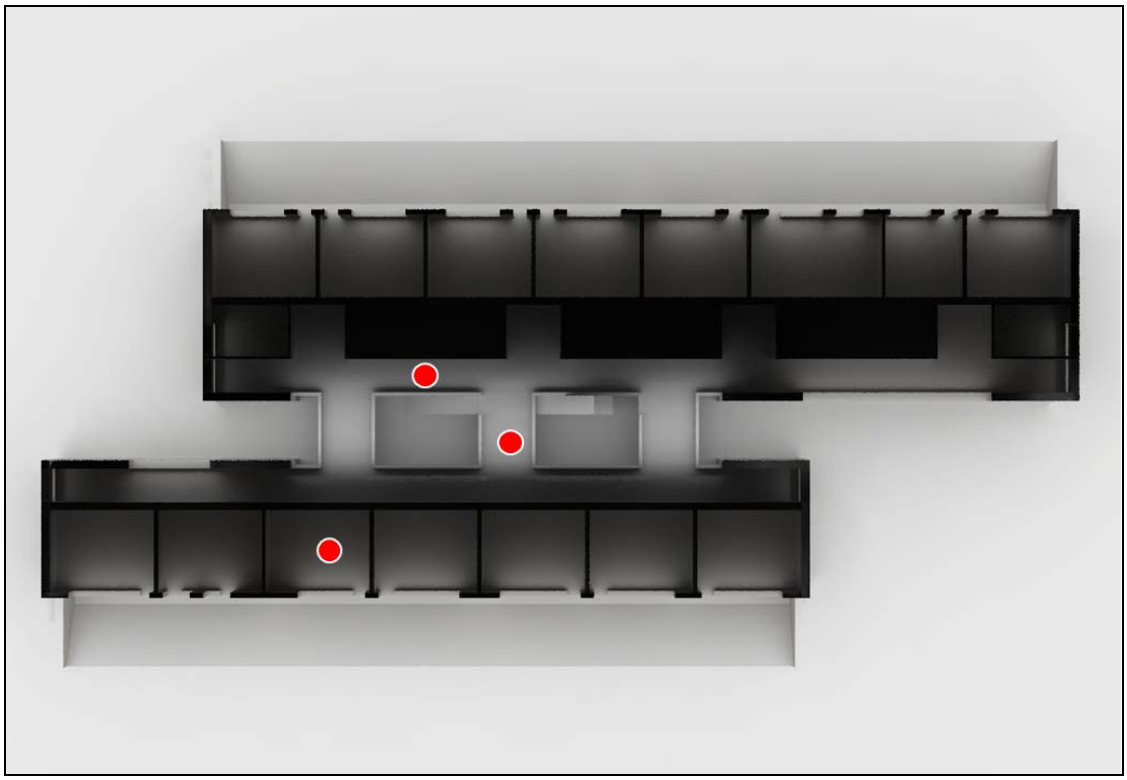


Abb. 52 Exemplarische Auswertung der Tageslichtsimulationen an drei Punkten

**Abschätzung der Tageslichtautonomie**

**Tageslichtquotient - Abschätzung**

| | Klassenzimmer (0,8 m) | Flur (0,1 m) | Atrium (0,1 m) |
|---|---|---|---|
| UG | 1,20% | 0,00% | 0,00% |
| EG | 1,36% | 2,44% | 1,77% |
| 1. OG | 1,27% | 4,82% | 14,19% |
| 2. OG | | 3,20% | |

**Tageslichtautonomie - Abschätzung**

| | Klassenzimmer (0,8 m) | Flur (0,1 m) | Atrium (0,1 m) |
|---|---|---|---|
| UG | 32% | 0% | 0% |
| EG | 42% | 90% | 88% |
| 1. OG | 37% | 93% | 94% |
| 2. OG | | 92% | |

Tabelle 6 Abschätzung der Tageslichtautonomie

Das Tageslichtpotential der Klassenzimmer ist noch nicht sehr hoch. Eine Verbesserung des Tageslichtangebots ist wünschenswert. Voraussichtlich wird der nach DIN 5034 [5034] für Arbeitsräume geforderte Mindestwert des Tageslichtquotienten von 0,9% in halber Raumtiefe nur wenig überschritten.

Die Erschließungsflächen am Atrium hingegen sind sehr gut mit Tageslicht versorgt. Das Tageslichtpotential in den Geschossen ist unterschiedlich, es nimmt erwartungsgemäß nach unten stetig ab. Auch im Erdgeschoss ist aber noch das Potential vorhanden, eine gute Tageslichtversorgung zu erreichen. Lediglich im Untergeschoss, das nicht an das Atrium angeschlossen ist, ist keine Tageslichtversorgung möglich.

**Detailliertere Tageslichtberechnungen**

Um das noch nicht sehr hohe Tageslichtpotential der Klassenzimmer zu verbessern, wurden weitere Untersuchungen mit detaillierteren Modellen durchgeführt.

Für die Simulation wurde ein Klassenzimmer auf der Nordseite gewählt. Da die Berechnung unter Annahme eines gleichmäßig bedeckten Himmels erfolgt, sind die Ergebnisse auf Klassenzimmer an der Südseite übertragbar.

Die Verschattung durch die umgebende Bebauung wurde nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss vernachlässigbar ist.

**Untersuchte Varianten**

Verschattungsvorrichtung:
- Glaslamellen auf der Außenseite der Fluchtbalkone
- Jalousien im Scheibenzwischenraum
- Außenliegende Jalousien an der Fassade

Fluchtbalkone:
- auf Höhe des Fußbodens der Klassenzimmer
- auf Höhe der Fensterbrüstung

**Ergebnisse**
Die folgenden Folien zeigen jeweils ein Klassenzimmer im Erdgeschoss in leichter Perspektive. Darin ist der Verlauf des Tageslichtquotienten in Raummitte als Liniendiagramm dargestellt. Die Geometrie ist in Grauwerten zu sehen, die Ergebnisse der Berechnungen sind als Falschfarbenbilder dargestellt, die das Potential der Tageslichtversorgung in den Geschossen aufzeigen.

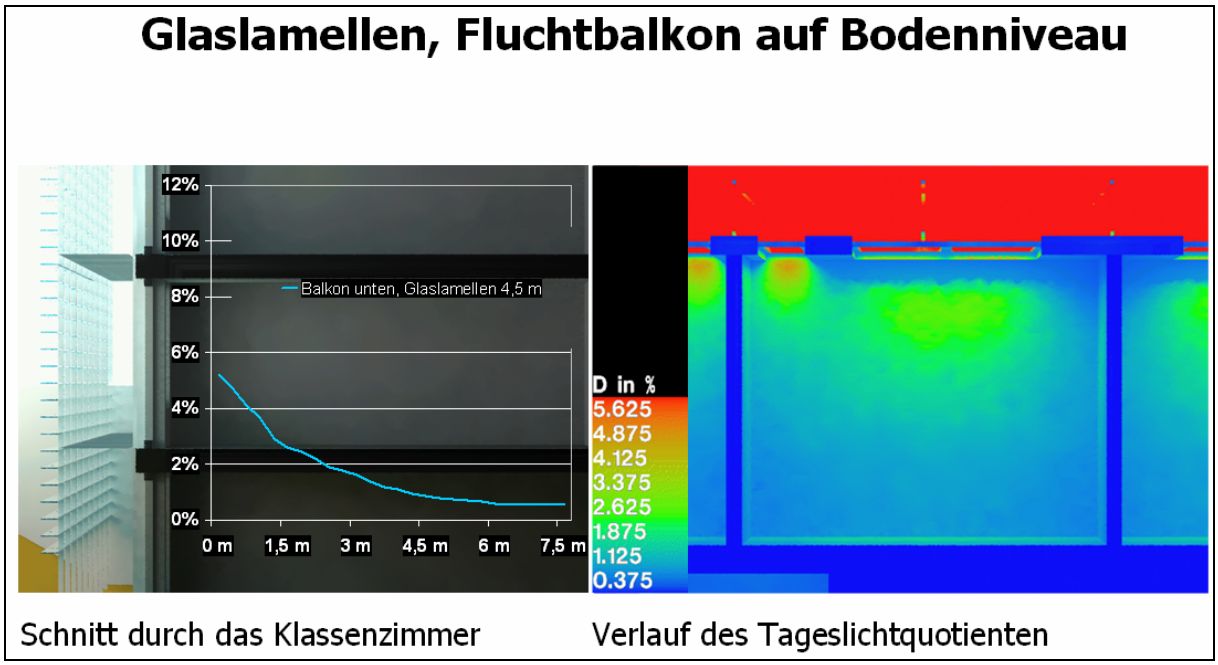



Abb. 53 Tageslichtquotient für die zunächst vorgesehene Konfiguration mit Glaslamellen u. Fluchtbalkon auf Bodenniveau

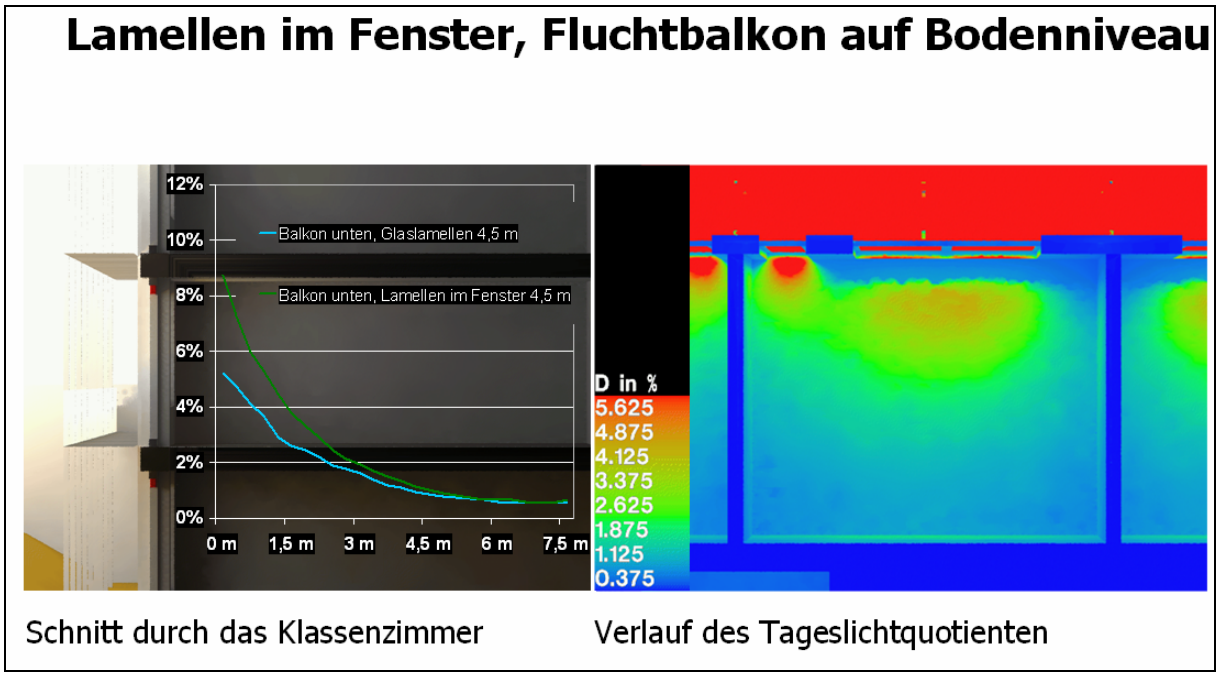



Abb. 54 Wie vor, zusätzlich Lamellen als Raffstore im Scheibenzwischenraum

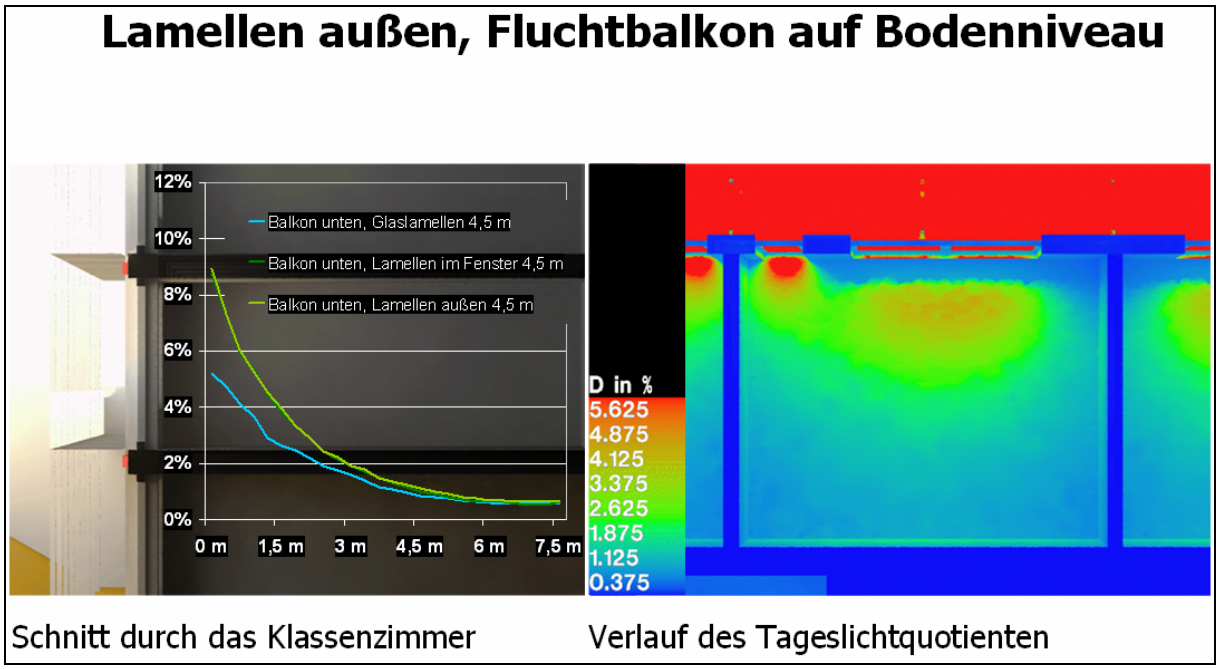



Abb. 55 Wie vor, zusätzlich Lamellen als Raffstore vor der Fassade

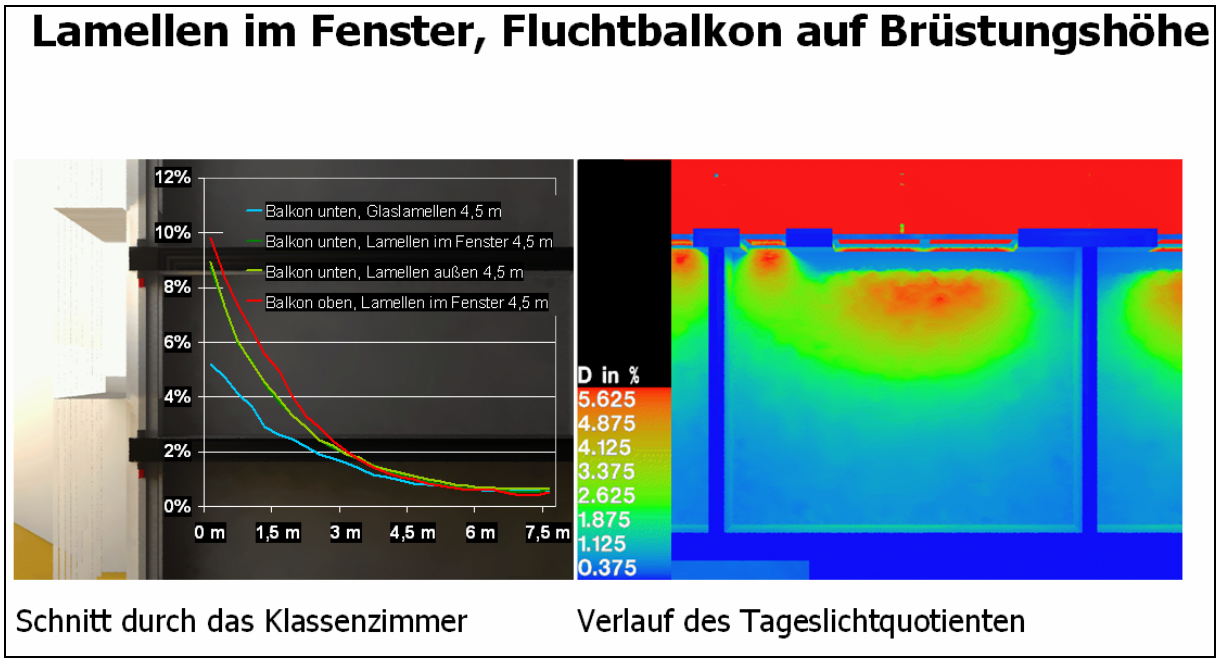



Abb. 56 Wie vor, zusätzlich Untersuchung für Balkon auf Brüstungshöhe und Lamellen als Raffstore im Scheibenzwischenraum

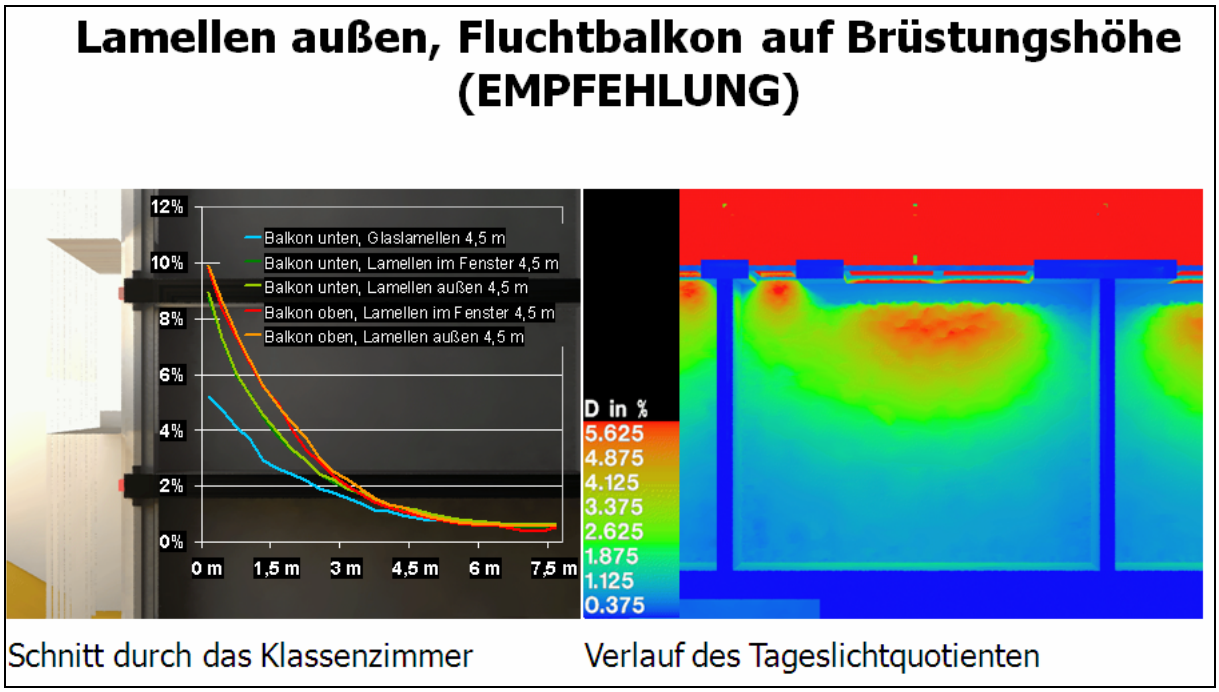



Abb. 57 Wie vor, zusätzlich Untersuchung für Balkon auf Brüstungshöhe und Lamellen als Raffstore vor der Fassade (Empfehlung)

## Auswertung der Simulationen

Mittlerer Tageslichtquotient

| | Glaslamellen, Fluchtbalkon auf Bodenebene | Außenliegende Lamellen, Fluchtbalkon auf Höhe der Brüstung (**EMPFEHLUNG**) |
|---|---|---|
| Fensternah (0,0 bis 2,5 m) | 2,3 % | 4,0 % |
| Raummitte (2,5 – 5,0 m) | 1,0 % | 1,3 % |
| Fensterfern (5,0 – 7,5 m) | 0,6 % | 0,7 % |

Tabelle 7 Auswertung der Tageslichtberechnungen für die ursprüngliche und die optimierte Fassadenvariante

## Tageslichtautonomie - Abschätzung

| **Klassenzimmer (300 lx)** | Glaslamellen, Fluchtbalkon auf Bodenebene | Außenliegende Lamellen, Fluchtbalkon auf Höhe der Brüstung (**EMPFEHLUNG**) |
|---|---|---|
| Fensternah (0,0 bis 2,5 m) | 67,5 % | 88,3 % |
| Raummitte (2,5 – 5,0 m) | 24,4 % | 35,8 % |
| Fensterfern (5,0 – 7,5 m) | 14,5 % | 17,9 % |

| **Fachräume, Büros (500 lx)** | Glaslamellen, Fluchtbalkon auf Bodenebene | Außenliegende Lamellen, Fluchtbalkon auf Höhe der Brüstung (**EMPFEHLUNG**) |
|---|---|---|
| Fensternah (0,0 bis 2,5 m) | 39,8 % | 69,3 % |
| Raummitte (2,5 – 5,0 m) | 14,5 % | 20,1 % |
| Fensterfern (5,0 – 7,5 m) | 0,0 % | 5,2 % |

Tabelle 8 Ermittlung der Tageslichtautonomie für die ursprüngliche und die optimierte Fassadenvariante

**Bewertung**
Die Tageslichtversorgung der beiden fensternahen Bereiche hängt stark davon ab, welches Verschattungssystem gewählt wird. Ein System wie die Glaslamellen, welches auch an trüben Tagen die verfügbare Lichtmenge reduziert, erhöht den Kunstlichtbedarf deutlich. Zusätzlich besteht bei Glaslamellen auch ein hohes **Blendungspotential**. Daher empfehlen wir einen außenliegenden Raffstore mit Tageslichtumlenkung im oberen Bereich.

Auch die Anordnung der Fluchtbalkone ist für die Tageslichtversorgung relevant. Wenn sie möglichst weit oben angeordnet werden, ist die unerwünschte Verschattung an trüben Tagen geringer und die Tageslichtversorgung dadurch besser. Dies ist daher unsere Empfehlung.

Die von der Elektroplanung vorgesehene Anordnung des Kunstlichtes in drei getrennt schalt- und dimmbaren Lichtbändern ist sinnvoll: Die Tageslichtversorgung der drei Bereiche ist sehr unterschiedlich. Im Fensternahen Bereich können die Anforderungen an die Beleuchtung nach DIN EN 12464-1 [12464] von 300 lx bzw. 500 lx zu einem weit größeren Anteil durch Tageslicht erfüllt werden als im fensterfernen Bereich.

**Exkurs: Bewertung von Lamellen im Scheibenzwischenraum**
Der Bauherr wünschte zusätzlich eine ganzheitliche Bewertung von Lamellen im Scheibenzwischenraum. Diese wurden vom Planungsteam nach Durchsicht von Herstellerangaben zu entsprechenden Labormessungen wie folgt bewertet:

1. Der Sonnenverminderungsfaktor ($F_c$-Wert) ist bei Belegung (Lamellen etwas geöffnet) gleich oder etwas ungünstiger als beim außenliegenden Raffstore.
2. Der Sonnenverminderungsfaktor ($F_c$-Wert) ist bei Nichtbelegung (Lamellen so gut wie möglich geschlossen) deutlich ungünstiger (mehr als doppelt so hoch) als beim außenliegenden Raffstore – es kommt also deutlich mehr Sonnenenergie in den Raum und die sommerlichen Raumlufttemperaturen steigen an.
3. Bei Tageslichtnutzung ist die Gefahr der Blendung wesentlich größer, da nicht nur der Oberlichtbereich, sondern der gesamte Behang Tageslicht in den Raum umlenkt.

4. Der Raum kann nicht annähernd so gut abgedunkelt werden.
5. Die Regelung gestaltet sich etwas komplizierter.

Insbesondere wegen der aufgeführten Punkte 2 und 3 wurde empfohlen, den außenliegenden Raffstore mit Tageslichtlenkung im oberen Bereich den Lamellen im Scheibenzwischenraum vorzuziehen.

**Randbedingungen der Tageslichtsimulation**

Angenommene Transmissionsgrade von lichtdurchlässigen Bauteilen:

| | |
|---|---|
| Verglasung der Fenster: | 70 % |
| Glaslamellen: | 50 % |
| Gitterrost der Fluchtbalkone: | 25 % |
| Geländer der Fluchtbalkone (nur bei Varianten ohne Glaslamellen): | 50 % |
| Reduktionsfaktor Verschmutzung der Fenster: | 90 % |

**Simulationsergebnisse zur Tageslichtversorgung im Atrium**

Nach der Analyse der Tageslichtverhältnisse in den Klassenräumen wurde noch die entsprechende Situation im Atrium geprüft. Das Ziel der Untersuchungen bestand in einer angemessenen Lösung des Zielkonflikts zwischen Tageslichtnutzung und sommerlichem thermischen Komfort. Das Potential der Tageslichtversorgung des Atriums wurde mit Hilfe des Lichtsimulations-Programms RADIANCE untersucht. Damit konnte das Tageslichtangebot in Abhängigkeit von der geplanten Kubatur und der daraus resultierenden Eigenverschattung aufgezeigt werden. Die Verschattung durch den Konstruktionsanteil im Atriumdach wurde in Form eines Reduktionsfaktors berücksichtigt, da die Geometrie der Konstruktion zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht feststand.

**Varianten**

Ohne Verschattungsvorrichtung / opake Elemente:
- Berücksichtigung von Verglasung, Konstruktion und Verschmutzung,
- jedoch ohne zusätzliche Verschattung / opake Elemente

Mit Verschattungsvorrichtung / opaken Elementen:
- Belegung von 30 % des Atriumdachs mit opaken Elementen (z.B. PV-Module)
- Belegung von 60 % des Atriumdachs mit opaken Elementen (z.B. PV-Module)

**Ergebnisse**
Die folgenden Folien zeigen jeweils das Atrium und die Pausenhalle im Erdgeschoss in leichter Perspektive. Darin ist der Verlauf des Tageslichtquotienten in Raummitte als Liniendiagramm dargestellt.

Die Geometrie ist in Grauwerten zu sehen, die Ergebnisse der Berechnungen sind als Falschfarbenbilder dargestellt, die das Potential der Tageslichtversorgung in den Geschossen aufzeigen.

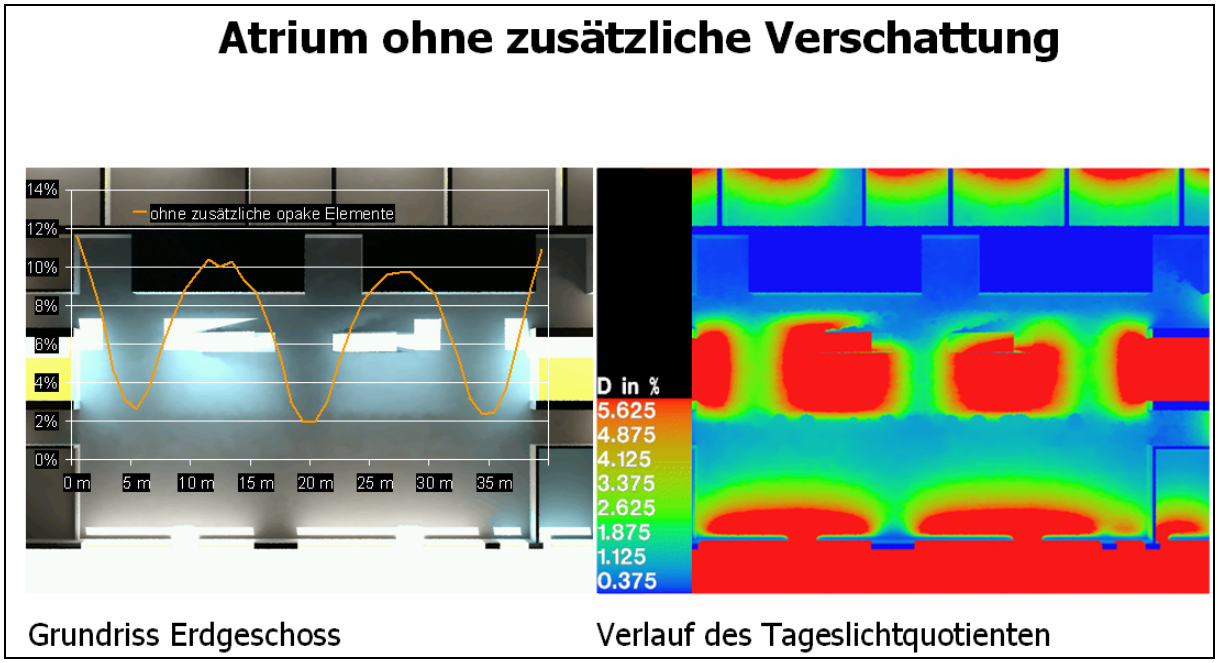



Abb. 58 Tageslichtquotient ohne Verschattung/opake Elemente

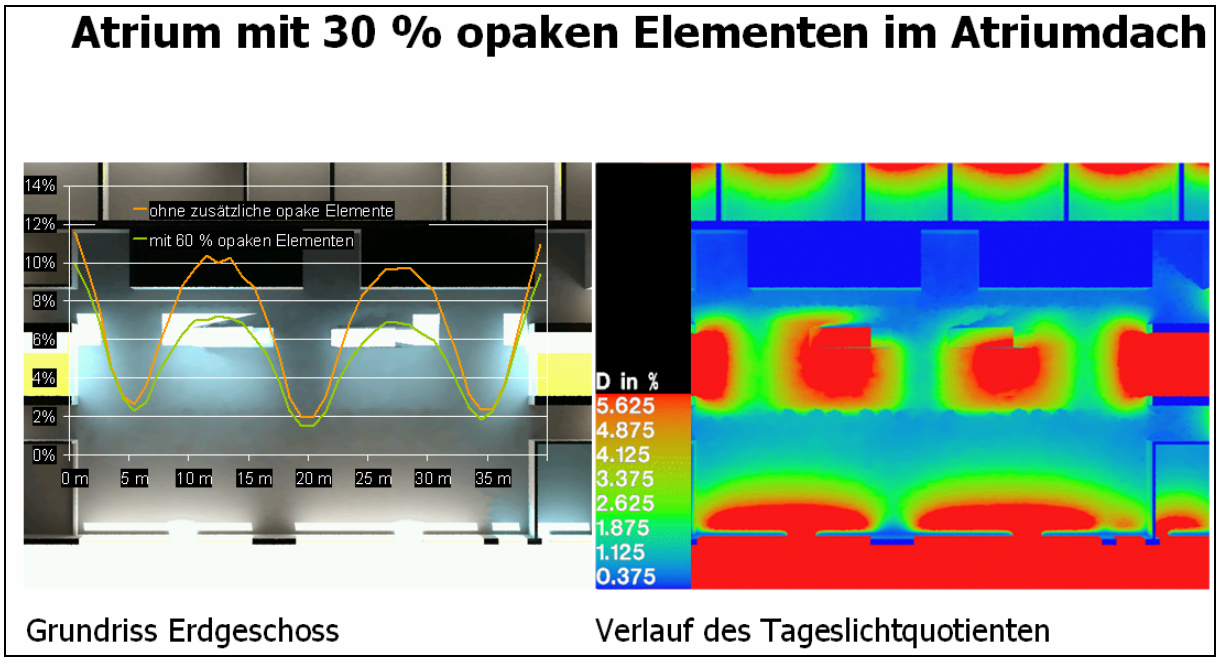



Abb. 59 Wie vor, jedoch zusätzlich mit 30 % opaken Elementen im Dach

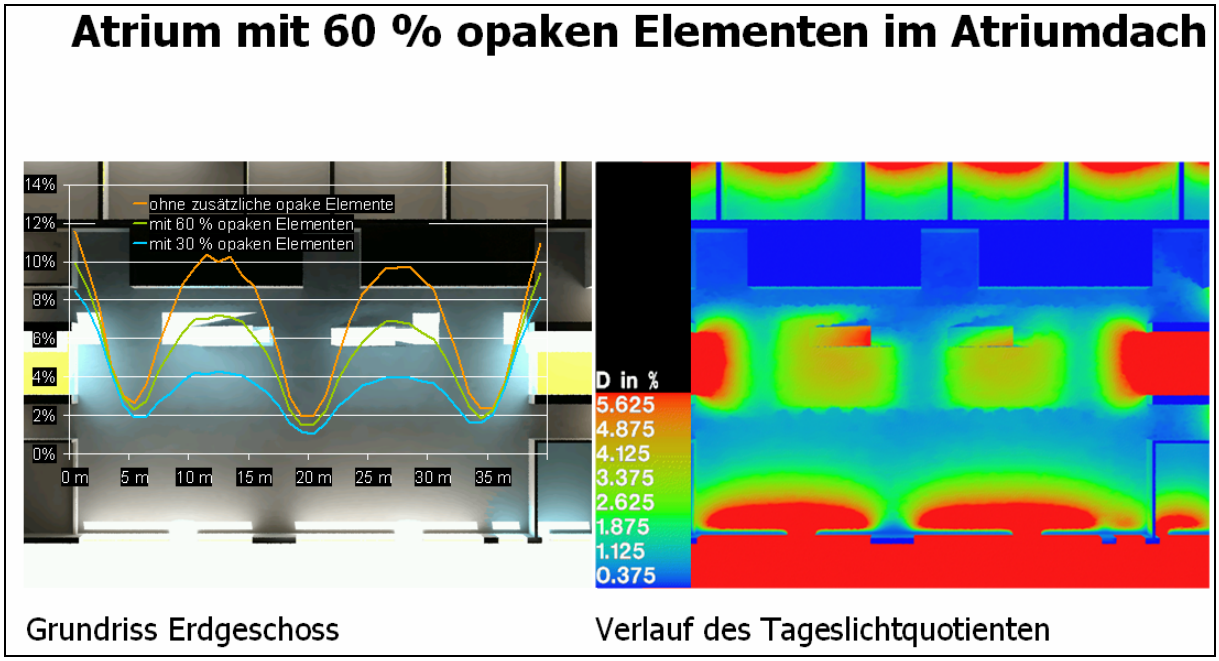



Abb. 60 Wie vor, jedoch zusätzlich mit 60 % opaken Elementen im Dach

Die folgenden Wertetabellen zeigen die Auswertung der Berechnungen.

## Auswertung der Simulationen

Mittlerer Tageslichtquotient

| | Gesamtes Atrium (ca. 40 x 13 m) | Dunkelste Teilfläche (Fläche unter dem mittleren Steg, ca. 4 x 13 m) |
|---|---|---|
| Atrium ohne zusätzliche Verschattung | 3,64 % | 1,78 % |
| Atrium mit 30 % opaken Elementen im Atriumdach | 2,86 % | 1,39 % |
| Atrium mit 60 % opaken Elementen im Atriumdach | 2,09 % | 1,01 % |

Tabelle 9 Auswertung der Tageslichtberechnungen: Ermittlung von Tageslichtquotienten

## Tageslichtautonomie - Abschätzung

| **Verkehrsfläche (100 lx)** | Gesamtes Atrium (ca. 40 x 13 m) | Dunkelste Teilfläche (Fläche unter dem mittleren Steg, ca. 4 x 13 m) |
|---|---|---|
| Atrium ohne zusätzliche Verschattung | 93,1 % | 88,9 % |
| Atrium mit 30 % opaken Elementen im Atriumdach | 92,1 % | 85,9 % |
| Atrium mit 60 % opaken Elementen im Atriumdach | 90,1 % | 79,4 % |

angenommene Nutzungszeit: 7:00 – 17:00 Uhr

Tabelle 10 Ermittlung der Tageslichtautonomie

**Bewertung**

Die Tageslichtversorgung des Atriums ist bei allen drei untersuchten Varianten sehr gut. Der notwendige Kunstlichteinsatz beschränkt sich weitestgehend auf die frühen Morgenstunden in den Wintermonaten, in denen kein Tageslicht zur Verfügung steht. Der Einbau von opaken (Verschattungs-) Elementen im Atriumdach hat auf diese Situation nur einen geringen Einfluss. Zwar sinkt der mittlere Tageslichtquotient mit stärkerer Verschattung, die Tageslichtautonomie bleibt aber fast unverändert hoch. Selbst im dunkelsten Bereich des Atriums, im EG unter dem Steg, kann bei einer Belegung des Atriumdaches mit 60 % opaken Bauteilen zu 80 % der Nutzungszeit auf Kunstlicht verzichtet werden! Auch bei den Treppen im Atrium (Anforderung: 150 lx nach DIN EN 12464-1 [12464]) ist bei allen drei Varianten eine sehr gute Tageslichtversorgung gegeben.

Der verglaste Überkopf-Anteil des Atriums kann offensichtlich gegenüber der Ausgangskonfiguration um 60 % verringert werden, ohne dass die Tageslichtautonomie stark eingeschränkt wird.

**Randbedingungen der Tageslichtsimulation**

Angenommene Transmissionsgrade von lichtdurchlässigen Bauteilen:

| | |
|---|---|
| Verglasung der Fenster: | 70 % |
| Reduktionsfaktor Konstruktion im Atrium: | 70 % |
| Reduktionsfaktor Verschmutzung der Fenster: | 90 % |
| Resultierende Transmission der Fensterflächen im Atrium ohne Verschattungselemente: | 44 % |

### 3.2.6 Abschätzungen zum erzielbaren spez. Primärenergiebedarf Haustechnik

Über an den „Leitfaden elektrische Energie im Hochbau“ des Landes Hessen [LEE] angelehnte tabellarische Berechnungsverfahren wurde der erzielbare spezifische Primärenergiebedarf Haustechnik abgeschätzt und mit den entsprechenden Werten eines in Geometrie und Nutzung gleichen, aber mit Standardtechnologien erstellten Gebäudes verglichen. Die Ergebnisse dieser Abschätzungen sind der folgenden Grafik und der Wertetabelle zu entnehmen. Die Berechnungsgrundlagen für diese Bilanzen finden sich im Anhang.

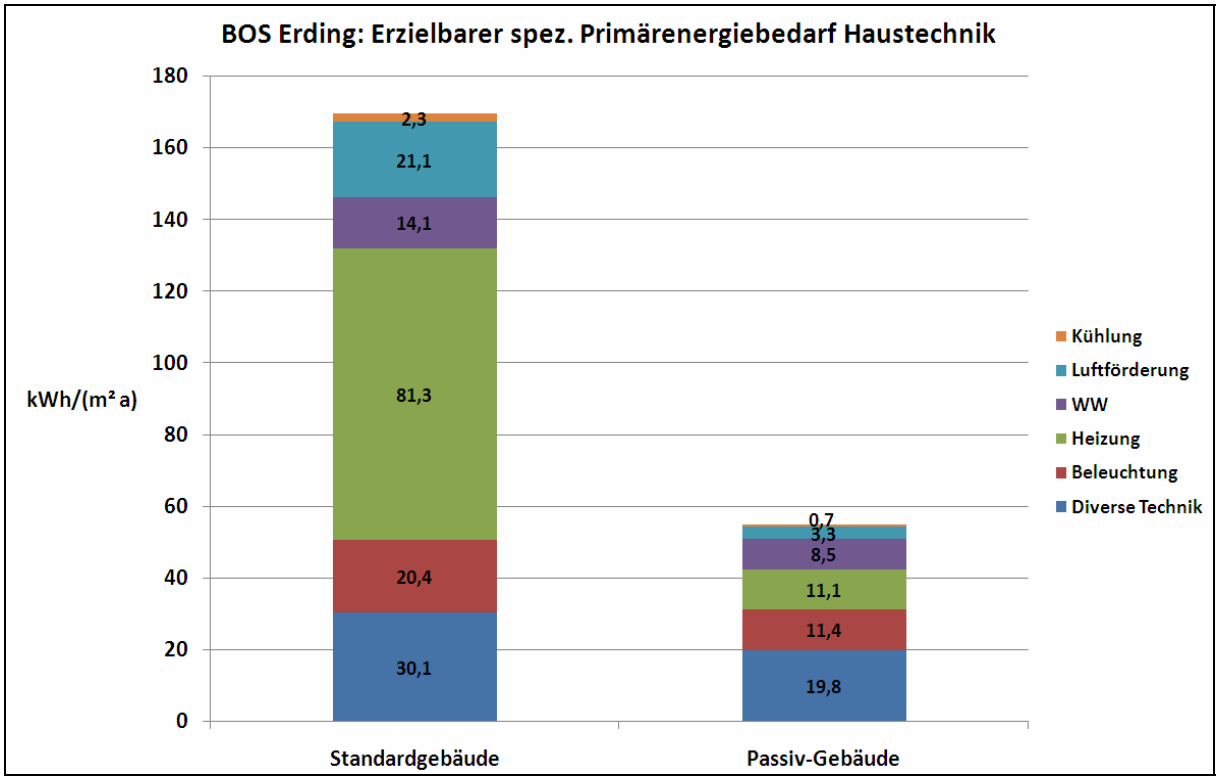



Abb. .61 Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Gebäude“)

| | Standard-Schule mit mech. Lftg.anlage, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m² a) | Passiv-Schule, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m² a) |
|---|---|---|---|---|
| Diverse Technik | 231.750 | 30,1 | 153.555 | 19,8 |
| Beleuchtung | 158.377 | 20,4 | 88.615 | 11,4 |
| Heizung | 631.145 | 81,3 | 86.203 | 11,1 |
| WW | 109.749 | 14,1 | 65.850 | 8,5 |
| Luftförderung | 163.393 | 21,1 | 25.785 | 3,3 |
| Kühlung | 17.677 | 2,3 | 5.481 | 0,7 |
| Summe | 1.314.116 | 169,3 | 425.489 | 54,8 |

Tabelle 11 Zahlenwerte zum Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Schule“)

Der extrem ambitionierte Charakter des Vorhabens wird durch die Unterschreitung des Wertes für das Referenzgebäude um ca. 68 % unterstrichen! Die jährlichen monetären und energetischen Einsparungen und die $CO_2$-Vermeidung werden in der folgenden Tabelle abgeschätzt:

| | Wärmebedarf, kWh/a | Strombedarf, kWh/a | Jahreskosten bei Wärmepreis von 0,08 €/kWh und Strompreis von 0,24 €/kWh; €/a | CO2-Emissionen, t/a |
|---|---|---|---|---|
| Standard-Schule mit mech. Lftg.anlage | 571.804 | 253.752 | 106.645 | 280 |
| Passiv-Schule | 122.529 | 125.821 | 39.999 | 106 |
| Ersparnis/Verringerung | 449.275 | 127.931 | **66.645** | **174** |

Tabelle 12 Zahlenwerte zum Vergleich des erzielbaren Primärenergiebedarfs für einen geometrie- und nutzungsgleichen Standardbau und für die vorliegende Planung („Passiv-Gebäude“)

### 3.2.7 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599

Die folgende Grafik zeigt einen Ausschnitt aus dem (vorläufigen) Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599 (weitere Ausschnitte siehe Anhang):

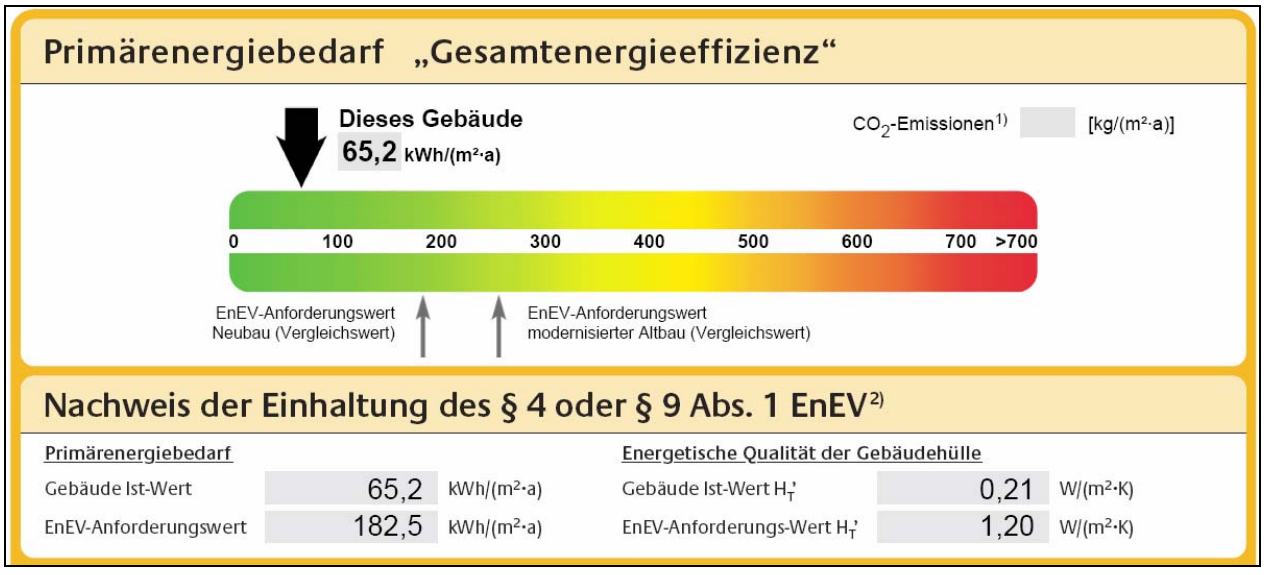



Abb. 62 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599

Die Vorversion des Energieausweises bestätigt die erhebliche Ressourceneffizienz des vorgesehenen Energiekonzepts. Trotz der unterschiedlichen Berechnungswege werden ähnliche spezifische Primärenergiebedarfe wie bei den eigenen, im Anhang dokumentierten Berechnungen ermittelt.

## 3.3 Beschreibung des Haustechnikkonzepts

Der erste Entwurfsansatz einer optimierten Lüftungsanlage stellt sich wie nachfolgend in Kurzform zusammengefasst dar:

**Wichtige Faktoren für die Reduktion des Strombedarfs von Lüftungsanlagen**
- Kurze Leitungswege
- Geringe Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen zur Reduktion des Druckverlustes
- Lastabhängig regelbare Ventilatoren
- Raumweise vorhandene manuelle Schaltbarkeit der Lüftung
- Nutzung von natürlicher Thermik

**Konzeptansatz des Entwurfs**
Die konditionierte Frischluft soll zentral im UG des Gebäudes (zentrale Lüftungsgeräte mit WRG) in vertikale Einzelzuluftleitungen, welche im Raster jeweils bis zum letzten Geschoss verziehen, eingebracht werden. Durch die Rückführung der Abluft unterhalb des Atriumdaches ergibt sich ein um ca. 50 % reduziertes Kanalnetz. Des Weiteren werden Verkehrsflächen mit der überströmenden Abluft aus den Nachbarräumen parallel dazu beheizt.

**Raumakustik / Schallthematik**
Schall und Raumakustik sind zwar keine Themen der Energiebedarfsreduktion, jedoch für eine optimale Behaglichkeit und neue Raumqualitäten äußerst wichtige Punkte – gerade in Hinblick auf den Einsatz von Lüftungsanlagen.
In Zusammenarbeit zwischen Energieplaner, Bauphysiker, Architekt und Akustiker wurden Lösungen erarbeitet, um einerseits die Schallübertragung aus baulichen Teilen wie auch technischer Anlagen weitestgehend zu optimieren, ohne jedoch dabei andere Nachteile, wie beispielsweise den Verbau und somit die Verminderung der effektiven Speichermasse zu bewirken.
Bei den Lüftungsanlagen wird die Schallausbreitung einerseits durch geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den erforderlichen Kanälen und Schächten (Basis für geringe Druckverluste und somit geringe Stromverbrauchswerte der Ventilatoren) und andererseits durch Einsatz von Telefonieschalldämpfern und schallgedämpften Volumenstromreglern erreicht.
Im Bereich des Innenausbaus wurden aus raumakustischer Sicht sämtliche Anschlussdetails bei Trennwänden genauestens analysiert und entsprechende Detaillösungen zur Optimierung der Körperschallübertragung entwickelt. Eine wesentliche Rolle spielt die geplante freie Deckenkonstruktion (Speichermasse) ohne Abhangdecken. Hier sind die raumakustischen Anforderungen darin zu sehen, dass Wand- und Bodenflächen durch geeignete Maßnahmen als „Schalldämpfer“ und akustische Elemente genutzt werden (Beispiel: Pinnwände als Schallabsorber).

### 3.3.1 Einbindung der Nutzer und des Bauherrn

Nicht nur die Weitervermittlung der mit diesem Projekt angestrebte Nachhaltigkeit und Ökologie an den zukünftigen Nutzer (Lehrer, Schüler, Eltern, etc.) ist Ziel der Einbindung. Die Nutzer, gerade Lehrer, sollen in den Planungsprozess mit aufgenommen werden, um ihre umfangreichen Erfahrungen der Vergangenheit im Schulalltag mit einzubringen und damit die Basis für das Planungsteam hinsichtlich einer optimierten Nutzungsstruktur (Raumanordnungen, Verhalten der Schüler und Lehrer, etc.) zu erhalten. Für die Planung wurde daher ein Raumprogramm durch den Bauherrn bzw. die Nutzer zur Verfügung gestellt.
Das Bewusstsein bei Lehrern, Schülern, Eltern über die Klimaproblematik und die Problematik von Schadstoffen bedingt eine ständige Weitervermittlung des Projektstatus und der dabei gewählten Ansätze bzw. durchgeführten Analysen. Dies soll mit laufenden, für die Öffentlichkeit frei zugänglichen Veranstaltungen, in regelmäßigen Abständen durch das Planungsteam bzw. einen Vertreter geschehen.
Durch die Einbindung der Schulfamilie (Schüler, Eltern, Lehrkräfte) in die Planungs-, Bau- und Betriebsphase der FOS/BOS Erding sollen wesentliche bauphysikalische Zusammenhänge, Hintergründe sowie das Energie- und Lüftungskonzept transparent gemacht werden. Ressourcen und Umwelt schonende ökologische Aspekte sowie den Lernerfolg fördernde lufthygienische Bedingungen sollen dabei besonders im Vordergrund stehen.
Durch die frühzeitige Einbindung der Schulfamilie können kundenorientierte Anregungen aufgenommen werden. Des Weiteren soll bei den betroffenen Schülern und Lehrkräften das Bewusstsein vermittelt werden, dass die Fenster zu allen Tages- und Jahreszeiten betriebsbedingt und in sinnvoller Weise geschlossen bleiben sollten.

**Das Konzept soll durch folgende Maßnahmen verwirklicht werden:**

- Regelmäßige Teilnahme von Schüler-, Eltern- und Lehrervertretern an Gesprächen der Planungsgruppe
- Kontinuierliche Aufbereitung und Darstellung relevanter bauphysikalischer Zusammenhänge zur Verwirklichung des Energie- und Lüftungskonzepts sowie von Problemlösungen und Zwischenergebnissen der Planungsphase im Unterricht
- Kontinuierliche Darstellung und Dokumentation wichtiger Zusammenhänge und Abläufe des Passivhausbetriebs, z. B. Energiebedarf des Gebäudes und $CO_2$-Gehalt der Luft in den Klassenzimmern im Vergleich mit konventionell gebauten Gebäuden in öffentlich zugänglichen Räumen der Schule
- Evaluation der Lernergebnisse auf Grund der lufthygienischen schulischen Bedingungen im Vergleich mit klassisch konventionellen Schulbauten

### 3.3.2 Wartung und Instandhaltung

Ein wesentlicher Teil der Aufwandsreduktionen hinsichtlich des“ Facility Managements“ ist die Wartung und Instandhaltung des Gebäudes im Betrieb.

**Dabei sind nachstehende Punkte von größter Wichtigkeit:**

- Einfache Wartung von technischen Anlagen ohne Einsatz teurer Spezialisten bzw. Fachleute
- Größtenteils Verwendung von „Standardmaterialien“, welche leicht und überall erhältlich sind
- Einfache Ersatzteilbeschaffung
- Gute, zentrale Zugänglichkeit auch im Betrieb (ohne den Betrieb bei Reparaturen, etc. zu stören)
- Leichte Reinigbarkeit von Glasflächen ohne teure und arbeitsintensive Gerüstungen, etc.
- Hohe Standzeiten der Fassaden durch richtige Materialwahl und konstruktiven Witterungsschutz
- Entsprechende konstruktive Lösungen für technische Anlagen und Ausbauten gegen Beschädigungen

**Ökologische Materialwahl**

Hinsichtlich der ökologischen Materialwahl muss ein Kompromiss aus Herstellkosten, technischen Möglichkeiten und regionalem Nutzen erzielt werden.
Grundsätzlich sollen nachstehende Punkte durch Überprüfung unterschiedlicher Baustoffe und Baukonstruktionsentwürfe geprüft werden:

- Grauenergieanteil von der Produktion bis zum Einbau
- Schadstoffausbreitungen nach dem Einbau im Betrieb (Ausdämpfung von Oberflächenlacken, etc.)
- Regionale Verfügbarkeit zur Stärkung der heimischen Wirtschaft und Reduktion des Grauenergieanteils für Logistik und Bereitstellung der Materialien
- Schadstoffemissionen bei der Herstellung der Produkte/Baustoffe
- Standzeiten der gewählten Baustoffe (Lebensdauer, Reparaturhäufigkeit)
- Entstehender Energieeinsatz nach Lebensdauer des Gebäudes im Zuge des Materialrecyclings

Generell soll auf PVC-, HFKW- und HFCKW-haltige Produkte weitestgehend verzichtet und Schwermetalle (z.B. in Dämmungen, etc.) vermieden werden.
Definiertes Ziel ist es den Anteil der „verbauten Energie“ um ca. 30-50% gegenüber herkömmlichen Gebäuden zu reduzieren. Siehe hierzu auch die Ausführungen zu den Berechnungen mit der Bilanzierungssoftware LEGEP.

### 3.3.3 Kurzfassung der Anlagenkonzeption

**Allgemein**
Optimierung der Gebäudehülle zur Minderung der Wärmelasten. Dadurch geringere Auskühlung des Gebäudes in den schulfreien Zeiten. Die inneren Lasten (Personen / Licht / Maschinen) decken im Schulbetrieb die erforderliche Heizlast ab.

**Winterbetrieb**
Heizen über Wandheizelemente an der Fassade, da das Heizen mit einem wasserführenden System günstiger ist als über die raumlufttechnische Anlage.
Siehe hierzu Detail Brüstungselement

Auslegung aller Heizflächen ausschließlich auf Deckung des Transmissionswärmebedarfs [ohne Infiltration] von ca. 10,5 W/m². Zur Verfügung steht ein Nahwärmeanschluss über den Geothermie-Fernwärmeanschluss in der benachbarten Gastro-Berufsschule. Genutzt wird der Anlagenrücklauf der Gastro-Berufschule zur zusätzlichen Unterkühlung des Fernwärmerücklaufs.

Die Anbindung erfolgt über einen Wärmetauscher (Systemtrennung) zur Technikzentrale der FOS/BOS, zum Heizungsverteiler über erdverlegte Heizungsleitungen.

Bestimmung der Heizlast: Außentemperatur -16°C / Raumtemperatur 15°C

Temperaturregelung: Sollwert 15°C, bei Unterschreitung am Raumtemperaturfühler erfolgt die Nachheizung in den Klassenzimmern über Wandheizflächen, im Erdgeschoss / Atrium / Pausenraum über Fußbodenheizflächen. Sollte es notwendig sein, die Temperatur auf einen Sollwert von 20 °C zu steigern, wird bei gleichem Massenstrom die Vorlauftemperatur des Heizwassers erhöht!

Anschluss der Wandheizflächen im Fassadenelement über Ventilkörper mit motor. Stellantrieb. Verteilung der Fußbodenheizflächen im EG über Kleinverteiler mit Durchflussregler und Ventilkörper mit motorischem Stellantrieb. Einzelraumregelung gem. ENEV 2007.

**Sommerbetrieb**
Belüften / Kühlen über Quellluftauslässe, Zulufteinbringung an der Fassade. Abluftführung / Überströmung zum Atrium und Abführung der Fortluft über Dach im Kühlbetrieb, oder Rückführung zum RLT-Gerät über das Kanalnetz zur Kälterückgewinnung. Je nach Ist-Temperatur wird bei der Regelung unterschieden, ob die Axialventilatoren im Atriumdach die Luft „fortlüften“ oder aber der zentrale Abluftventilator im RLT-Gerät die Abluft zum Zwecke des Energierückgewinns absaugt. „Ablüften“ der erwärmten Luft über energieeffiziente, dachintegrierte Axialventilatoren.

Siehe hierzu Detail Dachaxialventilatoren

Die Kühlung erfolgt "passiv" über einen zu errichtenden Grundwasserförder- und Schluckbrunnen.

Bestimmung der Kühllast: Außentemperatur 32 °C / Raumtemperatur 26 °C

**Freie Kühlung**
Nachtkühlung durch motorische Fenster/Oberlichtöffnungen in den Fluchttüren der außenliegenden Räume. Abkühlen der Betonspeichermassen durch 1,5-fachen Auslegungsluftvolumenstrom. Differenztemperaturregelung zwischen Raumtemperatur / Oberflächentemperatur

der Geschossdecken (Mittelwertbildung) und Außenlufttemperatur. Überschreitungshäufigkeit der gewünschten Raumtemperatur von 26 °C lediglich an 12 Tagen mit ca. 27 °C.

Raumüberströmelemente -> Klassenzimmer zu Flur über optimierte Überströmelemente mit geringstmöglichem Druckverlust. Siehe hierzu Detail Überströmelemente.

**Sonstige Kühlung**
Kühlung Serverraum mit UMG Kassettengerät, Abwärme 1.000 W.
Die Kühlung erfolgt grundsätzlich "passiv" über Grundwasser.
Siehe Schema HLS

Kühlung der Pausenhalle bei Versammlungen oder Prüfungen mit separatem Lüftungsgerät.

*Das Lüftungsgerät der Pausenhalle wird nicht in die Berechnungen des Passivhausnachweises mit einbezogen.*

**Anlagenauslegung**
Nachfolgend werden die Randbedingungen zur Auslegung der technischen Gebäudeausrüstung festgelegt und zu einem energetischen Pflichtenheft zusammengestellt. Die Angaben wurden mit dem Bauherrn und Nutzer abgestimmt und dienten als Grundlage zur Berechnung.

**Lüftungsanlagen**
Die folgenden Strömungsgeschwindigkeiten in Lüftungskanälen sollten beachtet werden (VDI 3807); höhere Strömungsgeschwindigkeiten sind möglich, sofern die unten genannten Druckverluste eingehalten werden:

| Betriebszeit, h/a | v (m/s) |
|---|---|
| < 1.500 | < 4,0 |
| 1.500-3.000 | < 3,0 |
| 3.000-6.000 | < 2,5 |
| 6.000-8.760 | < 2,0 |

Die folgenden Werte des gesamten Druckverlustes in Zu-/Abluftanlagen sollten beachtet werden; alle Werte beziehen sich auf die Summe für Zu- und Abluft, intern und extern!

| Art | Nennvolumenstrom, m³/h | Druckverluste; Summe für Zu- und Abluft, intern und extern (Pa) |
|---|---|---|
| Ohne WRG | 1.000 … 10.000 | 400 |
| | > 10.000 | 600 |
| Mit WRG | < 300 | 300 |
| | 300 … 10.000 | 450 |
| | > 10.000 | 600 |
| Mit WRG und Heiz- / Kühlregistern | 3.000 … 10.000 | 600 |
| | > 10.000 | 900 |

Die folgenden Werte des gesamten Druckverlustes in Abluftanlagen sollten beachtet werden; alle Werte beziehen sich auf die Summe von internem und externem Druckverlust!

| **Nennvolumenstrom**<br><br>**m³/h** | **Gesamt-Druckverluste**<br>**Summe aus internen und externen Verlusten**<br>**Pa** |
|---|---|
| < 300 | 150 |
| 300 … 10.000 | 200 |
| > 10.000 | 300 |
| > 10.000, Nachtlüftung | 150 |

Die folgenden **Ventilatorwirkungsgrade** sind zu beachten:

| **Nennvolumenstrom**<br>**m³/h** | **Ventilatorwirkungsgrad**<br>**%** |
|---|---|
| 300 … 1.000 | > 55 |
| 1.000 … 5.000 | > 60 |
| 5.000 … 10.000 | > 65 |
| > 10.000 | > 70 |

WRG-Einheiten sollten einen Wärmerückgewinnungsgrad von mindestens 80 % aufweisen.

**Hilfsenergie**

Die folgenden Werte für Hilfsenergien sollten beachtet werden:

| **Art** | **Maximalwert** |
|---|---|
| Summe für alle Heizkreispumpen | P_el < 0,01 P_heiz_th |
| Summe für alle Kühlkreispumpen | P_el < 0,03 P_kühl_th |
| Umluftgeräte | P_el_Ventilator < 0,05 P_kühl |

**Gebäudehülle**

Die folgenden U-Werte sollten eingehalten werden:

| **Art** | **U-Wert**<br>**W/(m² K)** |
|---|---|
| Außenwand opak | <= 0,12 |
| Dach opak | <= 0,10 |
| Boden gegen Erdreich | <= 0,15 |
| Fenster gesamt | <= 0,80 |

### 3.3.4 Heizungsversorgung

Die benachbarte Gastro-Berufschule wird über die örtliche Fernwärme der Stadt Erding (Geothermie Evonik) versorgt. Zur Nutzung dieser primärenergetisch günstigen Energiequelle wird der Heizungsrücklauf der Berufsschule verwendet. Der Grundgedanke besteht darin, zusätzlich Ressourcen zu schonen, indem der Geothermie Evonik der nochmals abgekühlte Rücklauf zugeführt wird. Dadurch werden die Wärmeverluste, die beim Wärmetransport zurück zur Geothermie Evonik entstehen, verringert.

Temperaturniveau Berufsschule Gastronomie: VL/RL 75°C/55°C
Passivhausschule VL/RL: 50°C/35°C (Heizungsversorgung)

Der Heizungsrücklauf der Berufsschule entspricht nahezu der erforderlichen Heizungsvorlauftemperatur der Passivhausschule. Sollte der Rücklauf dennoch unter die gewünschte Heizwassertemperatur fallen, wird über den Vorlauf der bestehenden Fernwärmeleitung über ein 3-Wege-Mischventil zugeheizt. Der Wärmetauscher dient als Systemtrennung zwischen Neubau und Altbau, über diesen wird die Passivhausschule mit der benötigten Heizenergie versorgt.

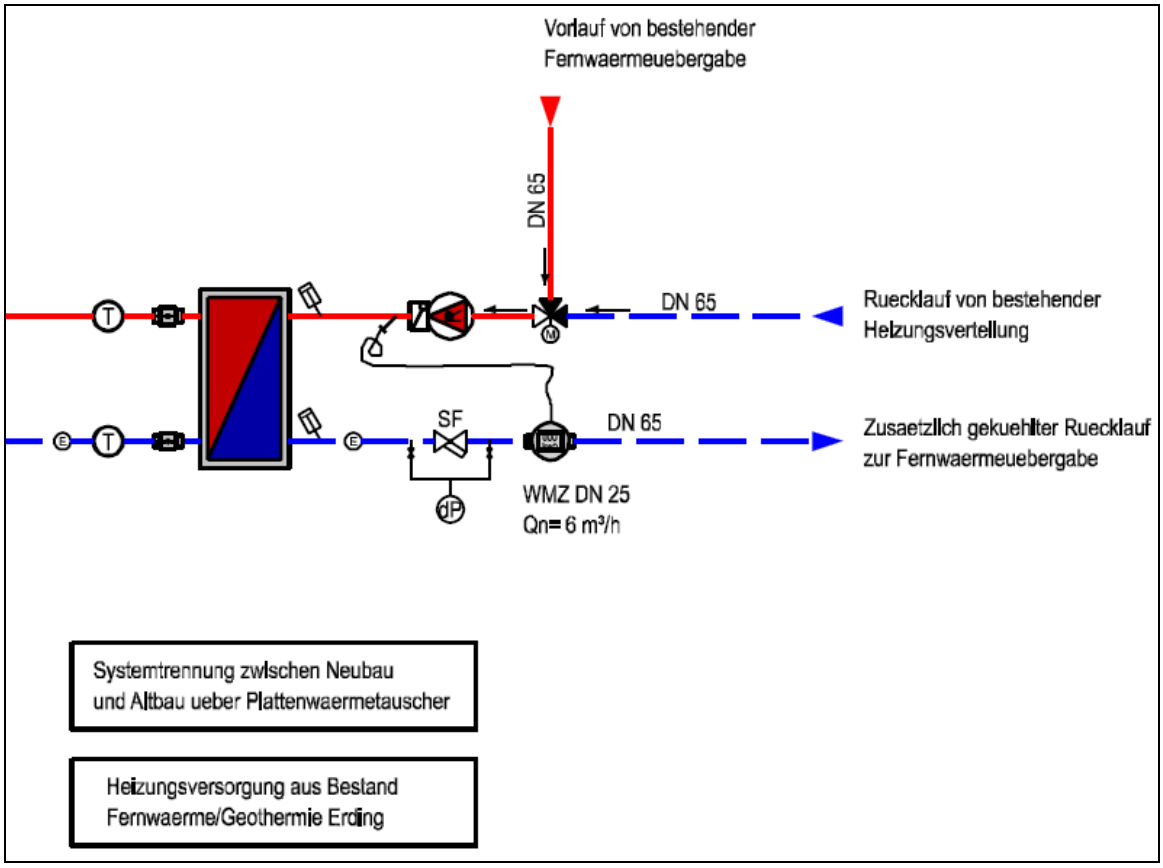



Abb. 63 Heizwärmeversorgung der Passivhausschule FOS/BOS Erding

Über einen Wärmemengenzähler wird die Passivhausschule separat abgerechnet.
Der Wärmeverbund erfolgt über erdverlegte Heizungsleitungen, die werkseitig mit PE-Schutzumhüllung gedämmt sind. Die Verlegetiefe der Rohrleitungen beträgt ca. 1,0 m.

Die einzelnen Heizkreise werden von 5 Heizungspumpen versorgt.

**Heizungspumpe 1:** 1.0 RLT– Anlage Nord
2.0 RLT– Anlage Süd

Die Heizungspumpe 1 versorgt die kombinierten Kühler/Erhitzer, der RLT– Anlage Nord und Süd mit Heizwasser. Allerdings wird dies nur in den ungünstigen Fällen geschehen, da davon auszugehen ist, dass das Schulgebäude hauptsächlich gekühlt werden muss. Die Heizungsversorgung ist hierfür nur als Sicherheitsfunktion gedacht.

**Heizungspumpe 2:** 5.0 RLT– Anlage Event
7.0 RLT– Anlage Küche

**Heizungspumpe 3:** Wandheizung KG
Wandheizung Nord

Die Heizkreise der Wandheizung KG und Nord werden mit geringer Heizmitteltemperatur angefahren. Über die Wandheizflächen muss lediglich der Transmissionswärmebedarf gedeckt werden. Geheizt wird unterhalb einer Raumtemperatur von 15°C. Sollte es notwendig sein die Räume auf 20°C zu heizen, wird dementsprechend bei gleichem Massenstrom die Vorlauftemperatur des Heizwassers erhöht.

**Heizungspumpe 4:** Wandheizung Süd, Funktionsweise analog Heizungspumpe 3

**Heizungspumpe 5:** Fußbodenheizung, Funktionsweise analog Heizungspumpe 3

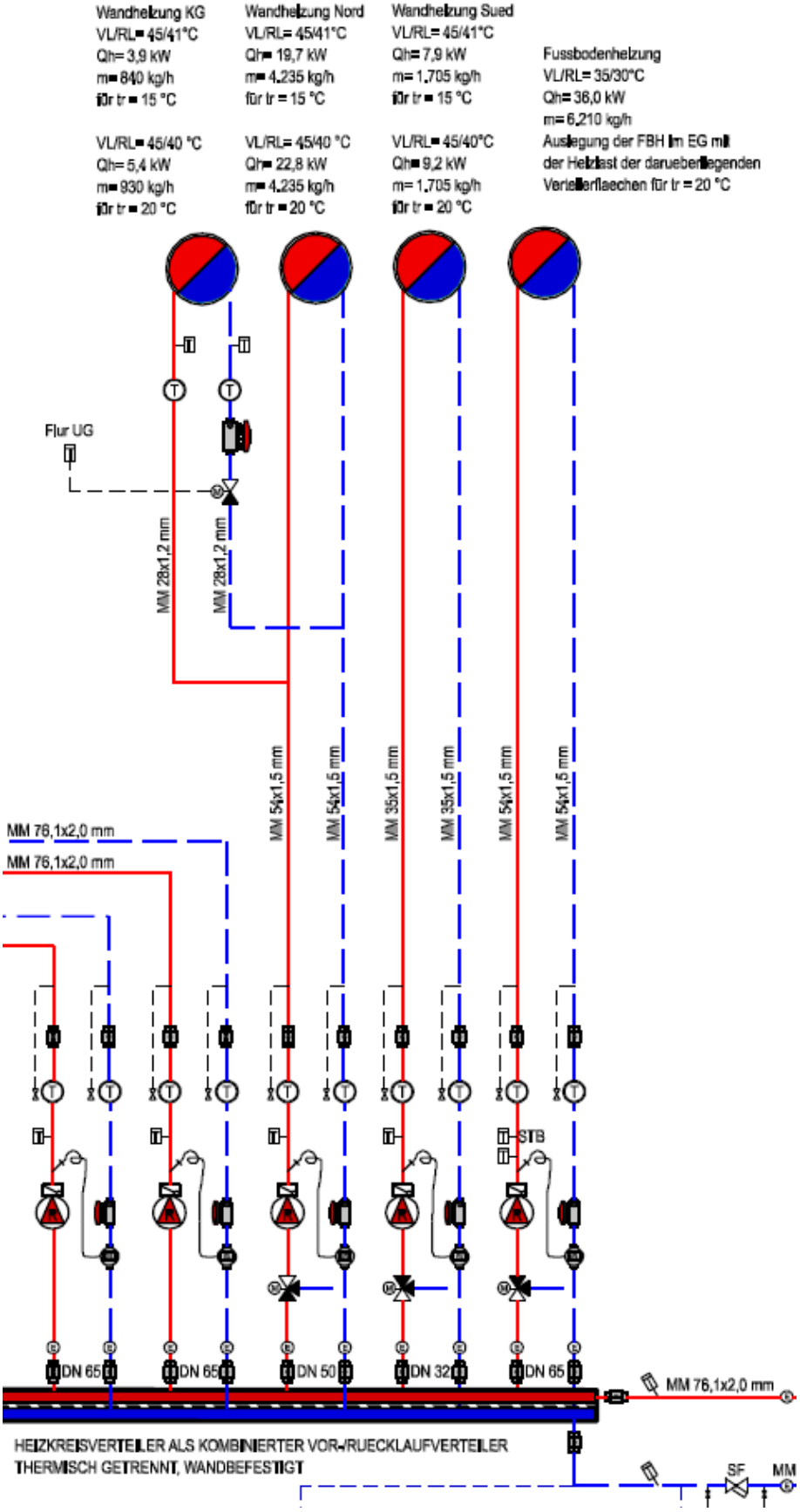



Abb. 64 Schema Heizkreisverteilung

### 3.3.5 Kälteversorgung

Die Kühlung erfolgt „passiv“ über zu errichtende Grundwasserförder- und Schluckbrunnen. Die Fließrichtung des Grundwassers verläuft von Süd nach Nord. Daher muss der der Förderbrunnen im Süden angeordnet sein und der Schluckbrunnen folglich im Norden. Der Mindestabstand von Förder- und Schluckbrunnen beträgt >15 m. Eine Voranfrage beim Wasserwirtschaftsamt München ist bereits erfolgt, einer Genehmigung der Grundwassernutzung zu thermischen Zwecken steht nichts entgegen. Die Ausbautiefe des Entnahmebrunnens wird nach Auskunft des WWA bei ca. 12 m liegen.

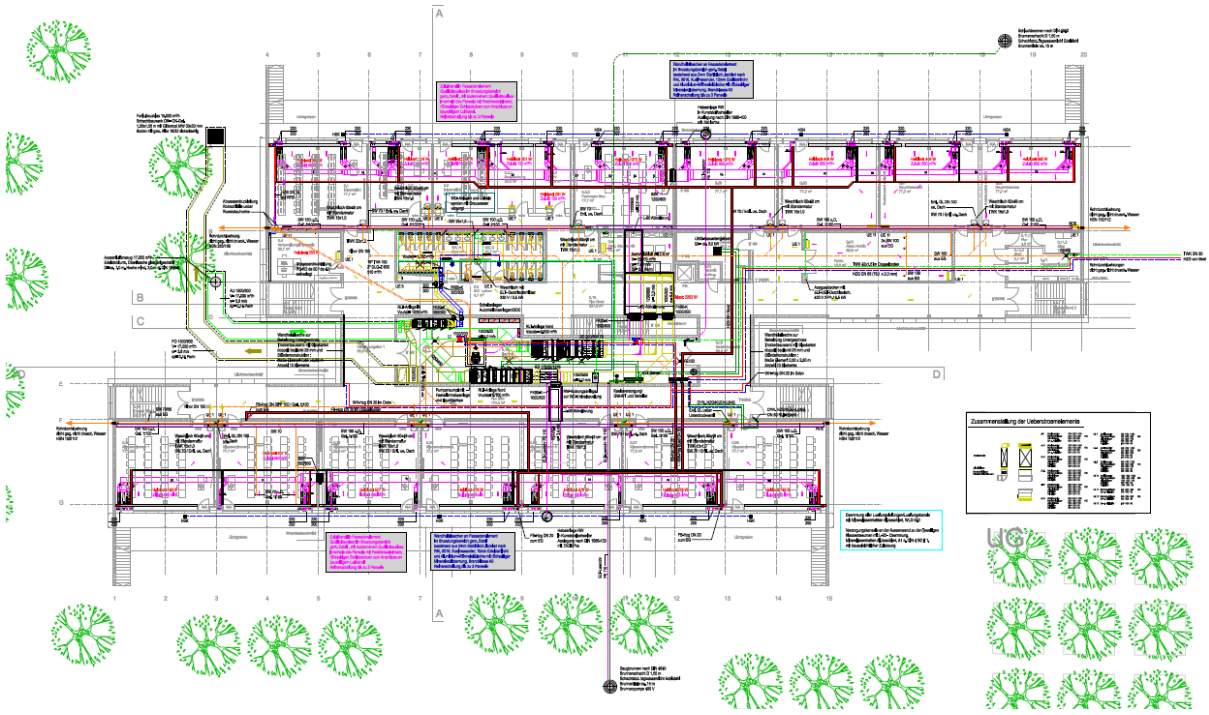
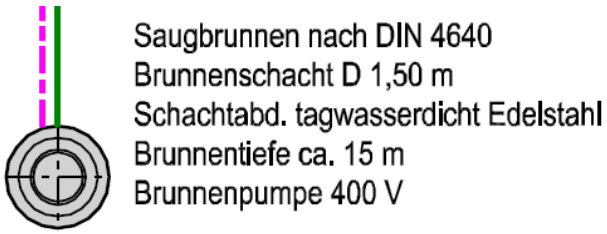
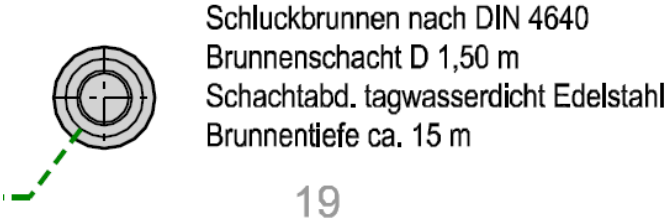


Abb. 65 Anordnung Grundwasserförder- und Schluckbrunnen




Förderbrunnen (südlich)




19

Schluckbrunnen (nördlich)

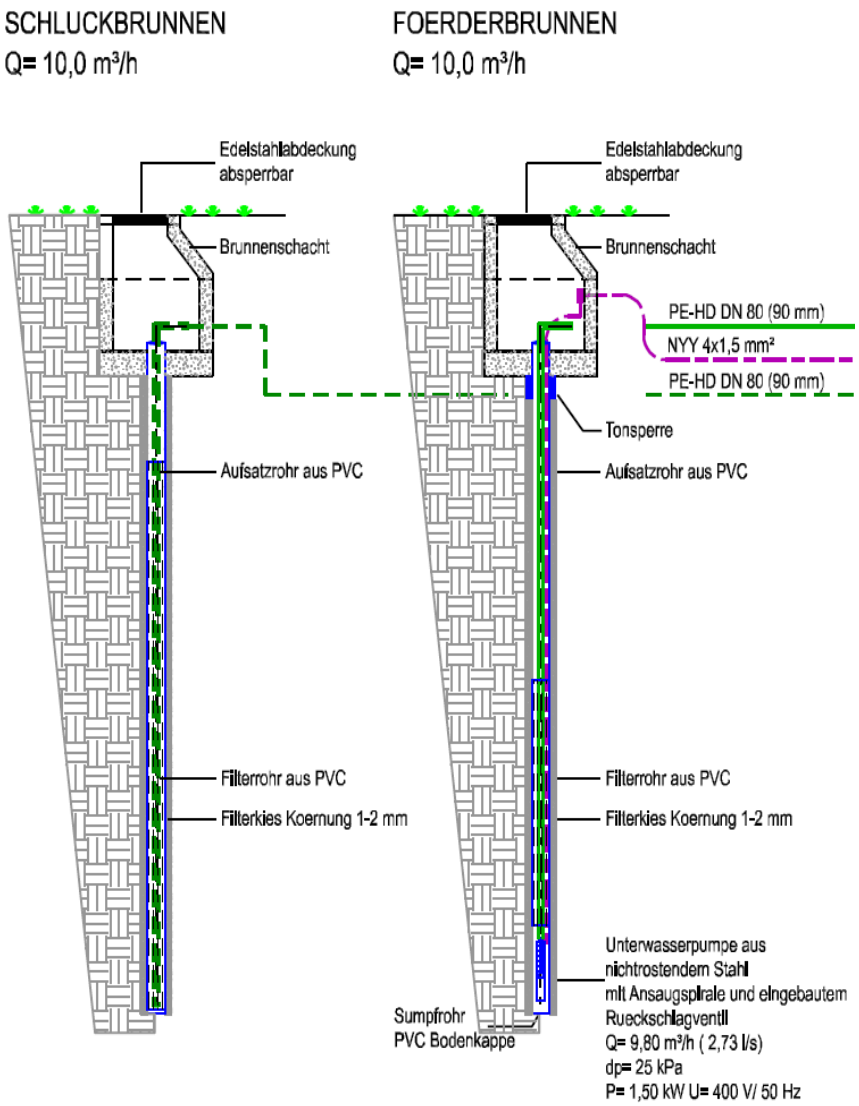



Abb. 66 Funktionsaufbau der Brunnenanlagen

Das geförderte Brunnenwasser wird über einen Schmutzfänger in den Wärmetauscher befördert. Durch den Schmutzfänger erhöht sich die Standzeit des Wärmetauschers und der Wirkungsgrad bleibt nahezu unverändert. Eine Systemtrennung durch einen Plattenwärmetauscher ist hier notwendig, um einen unerwünschten Eintrag von Bakterien oder Verschmutzungen im System zu vermeiden. Die Kaltwasserverteilung erfolgt über einen Verteiler/Sammler. Leistungsabhängig fördern 3 elektr. geregelte Kältepumpen (Hocheffizienzpumpen) das Kaltwasser zu den einzelnen Verbrauchern.

| | |
|---|---|
| **Kältekreispumpe 1:** | 6.0 UMG – Server |
| **Kältekreispumpe 2:** | 1.0 RLT– Anlage Nord |
| | 2.0 RLT– Anlage Süd |
| **Kältekreispumpe 3:** | 5.0 RLT– Anlage Event |
| | 7.0 RLT– Anlage Küche |

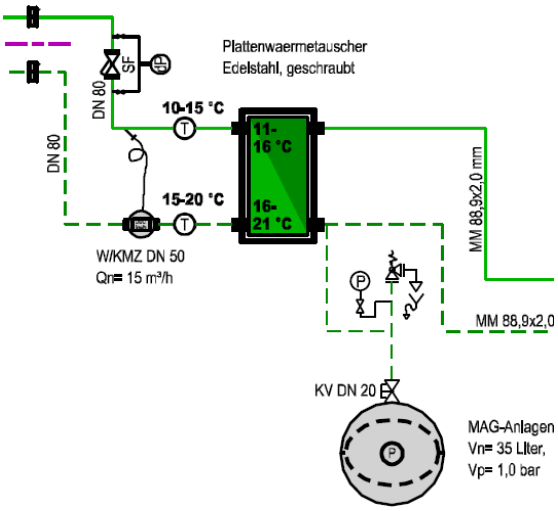



Abb. 67 Schema Systemtrennung Kaltwasser

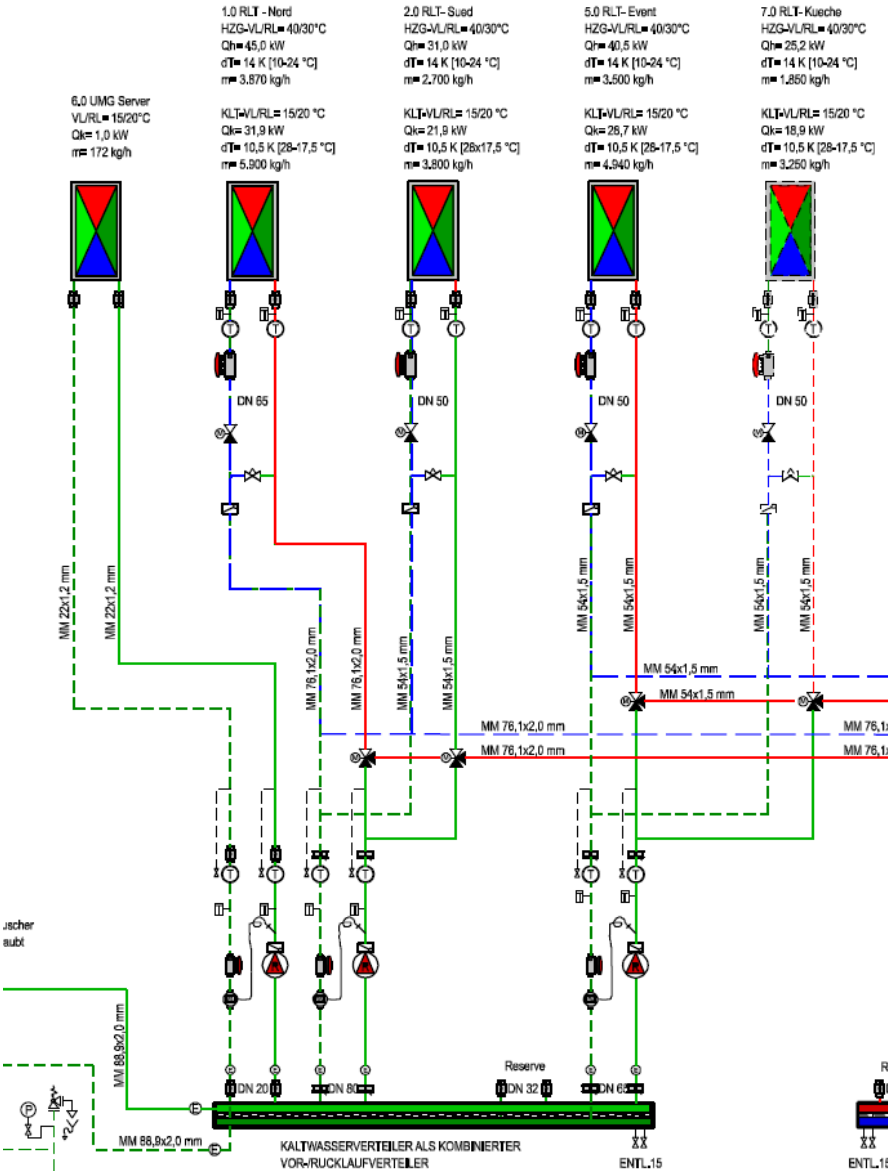



Abb. 68 Schema Kälteverteilung

### 3.3.6 Berechnung der Luftvolumenströme

**RLT-Nord / RLT-Süd**
Die maximale Personenbelegung des Schulgebäudes wurde auf 750 Personen begrenzt. Zudem wurde mit dem Bauherrn ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 20 m³/h*Person vereinbart. Dieser Wert hat sich in der Praxis als ausreichend erwiesen.

**Zusammenfassung**

| | | |
|---|---|---|
| **Mögliche Vollbelegung des Gebäudes Ermittlung nach max. Raumbelegung:** | **1.567** | **Personen** |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - Nordseite | 20.160 | m³/h |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - Südseite | 14.480 | m³/h |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - Gebäude | 34.640 | m³/h |
| | | |
| **Mindestaußenluftvolumenstrom - Vorgabe** | **15.000** | **m³/h** |
| | | |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - Nordseite | 20.160 | m³/h |
| | | |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - Südseite | 14.480 | m³/h |
| | | |
| Prozentualer Anteil Nordseite | 58,20 | % |
| | | |
| Prozentualer Anteil Südseite | 41,80 | % |
| | | |
| | | |
| ***Aus dem Verhältnis resultieren folgende Ergebnisse*** | | |
| | | |
| | | |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - RLT - Nord | 8.900 | m³/h |
| | | |
| Mindestaußenluftvolumenstrom - RLT - Süd | 6.100 | m³/h |

### 3.3.7 Beschreibung der RLT-Anlagen

**RLT-Anlagen Klassenzimmer Nord und Süd**

Die RLT-Anlagen Klassenzimmer Nord und Klassenzimmer Süd müssen aufgrund der unterschiedlichen geographischen Ausrichtung dieser Nutzungsgruppen differenziert geregelt werden. Daher ist eine Zusammenlegung zu einer einzelnen zentralen RLT-Anlage nicht sinnvoll. Gerade auch im Teillastbetrieb wäre dies problematisch, da die Ventilatoren unterhalb von 30 % der Auslegungsvolumenströme nicht mehr betrieben werden können. Ein weiteres Problem bestünde in der Gerätegröße und den Abmessungen der Luftleitungen. Daher wurden die Luftmengen auf die beiden RLT-Geräte Nord und Süd sinnvoll aufgeteilt.

Wie nachfolgendes Schema zeigt, wurden zwei Filterstufen gemäß VDI 6022 verwendet - Filterstufe F5 als Vorfilter und F7 als Feinfilter. In der Abluft ist ein Filter F7 zum Schutz der WRG angeordnet. Im Gegensatz zu einer konventionellen Anlage, bei der Kühler und Erhitzer separat als Register eingebaut werden, ist beim vorliegenden Konzept ein Register weggefallen, um unnötige Druckverluste zu vermeiden. Das kombinierte Register kann zum Heizen und Kühlen verwendet werden - dies wird über den hydraulischen Anschluss mittels Umschaltventil realisiert.

Prinzipiell wird das Gebäude nicht über die Lüftungsanlage geheizt, sondern über die wirtschaftlicheren Wandheizflächen. Die Nachheizung im Lüftungsgerät ist lediglich zur Verkürzung der Aufheizphase vorgesehen. Des Weiteren wurde ein Rotationswärmetauscher zur Wärmerückgewinnung zwischen Abluft und Zuluft eingeplant. Dieser ist zwar in der Anschaffung teurer als ein Doppel-Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher, aber der Wärme-/ Kälterückgewinnungsgrad liegt mit ca. 80 % wesentlich höher. Die Schalldämpfer in Außenluft-, Fortluft-, Zuluft- und Abluftleitungen wurden aus Kostengründen als Kanalschalldämpfer im Kanalnetz angeordnet.

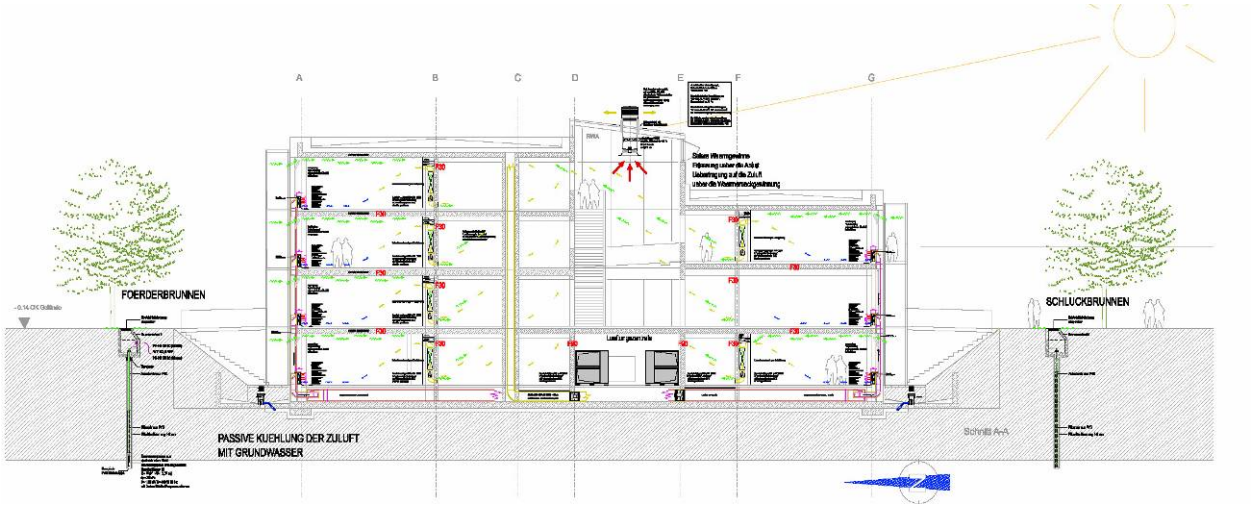



Abb. 69 Funktionsschema RLT– Anlagen Klassenzimmer mit passiver Kühlung über Grundwassernutzung

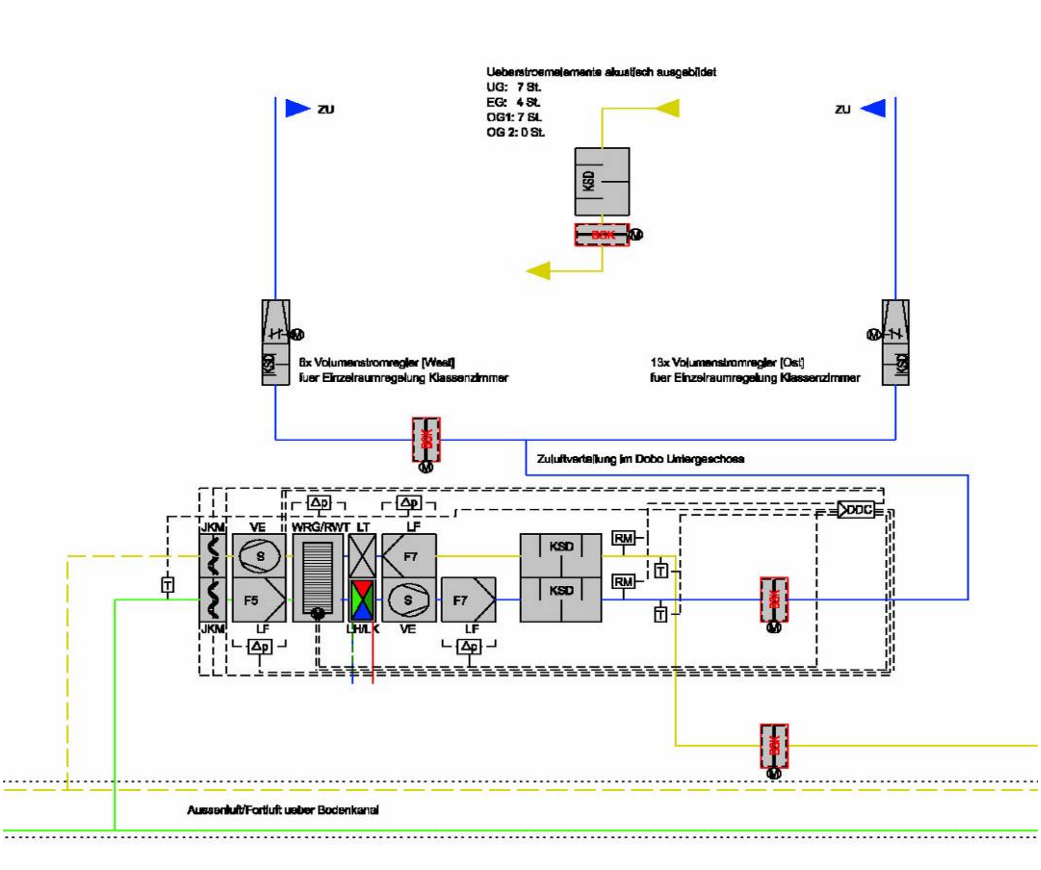



Abb. 70 Schema RLT– Anlage Klassenzimmer Süd

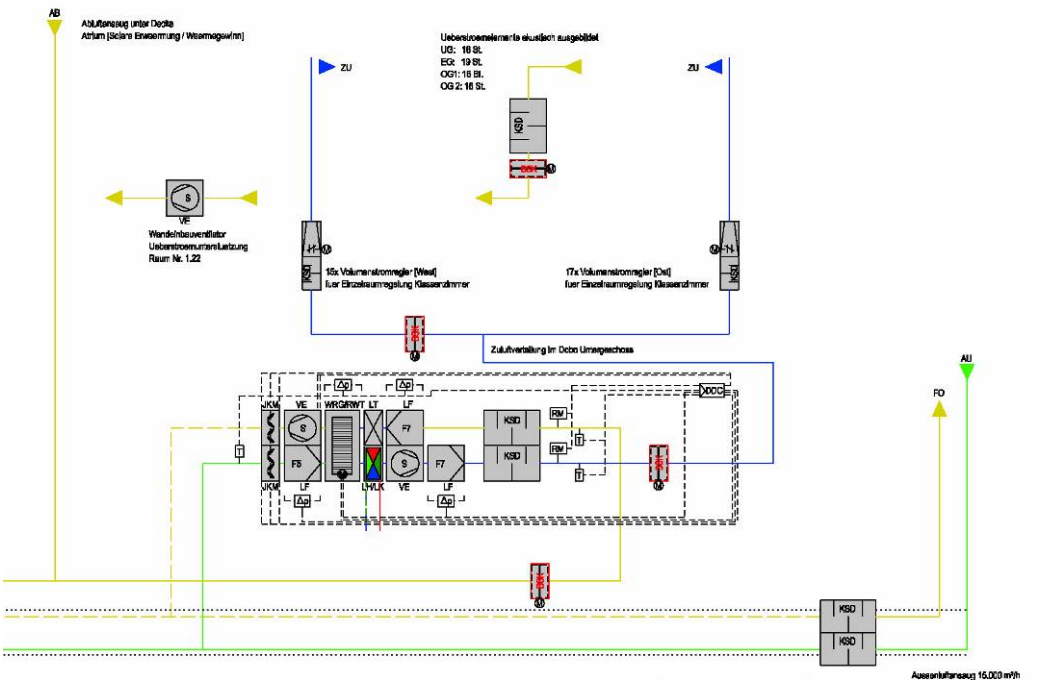



Abb. 71 Schema RLT– Anlage Klassenzimmer Nord

***Hinweis:*** *Auf Außenluft- /Fortluftschalldämpfer wurde verzichtet, Einfügedämpfung erfolgt durch die Betonkanäle und Umlenkungen*

**Außenluft- / Fortluftführung**

Die Außenluft wird gemäß DIN 1946 Teil 2 [1946-2] auf der Westseite des Schulgebäudes über einen Ansaugturm > 3,0 m über Oberkante Gelände angesaugt. Außenluft- / Fortluftmenge ca. 17.000 m³/h. Die Fortluft wird mit entsprechendem Abstand zur Außenluft auf der Westseite des Schulgebäudes über ein Schachtbauwerk kostengünstig bodennah ausgeblasen (Verwendung eines verzinkten Gitterrostes als Ausblasgitter). Die Luftleitungen werden erdverlegt als Betonkanäle ausgeführt. Eine Hygiene-Beschichtung gem. VDI 6022 [VDI6022] ist zwingend erforderlich. Die Zugänglichkeit ist über den Außenluftturm wie auch über das Ausblasgitter stets gegeben.

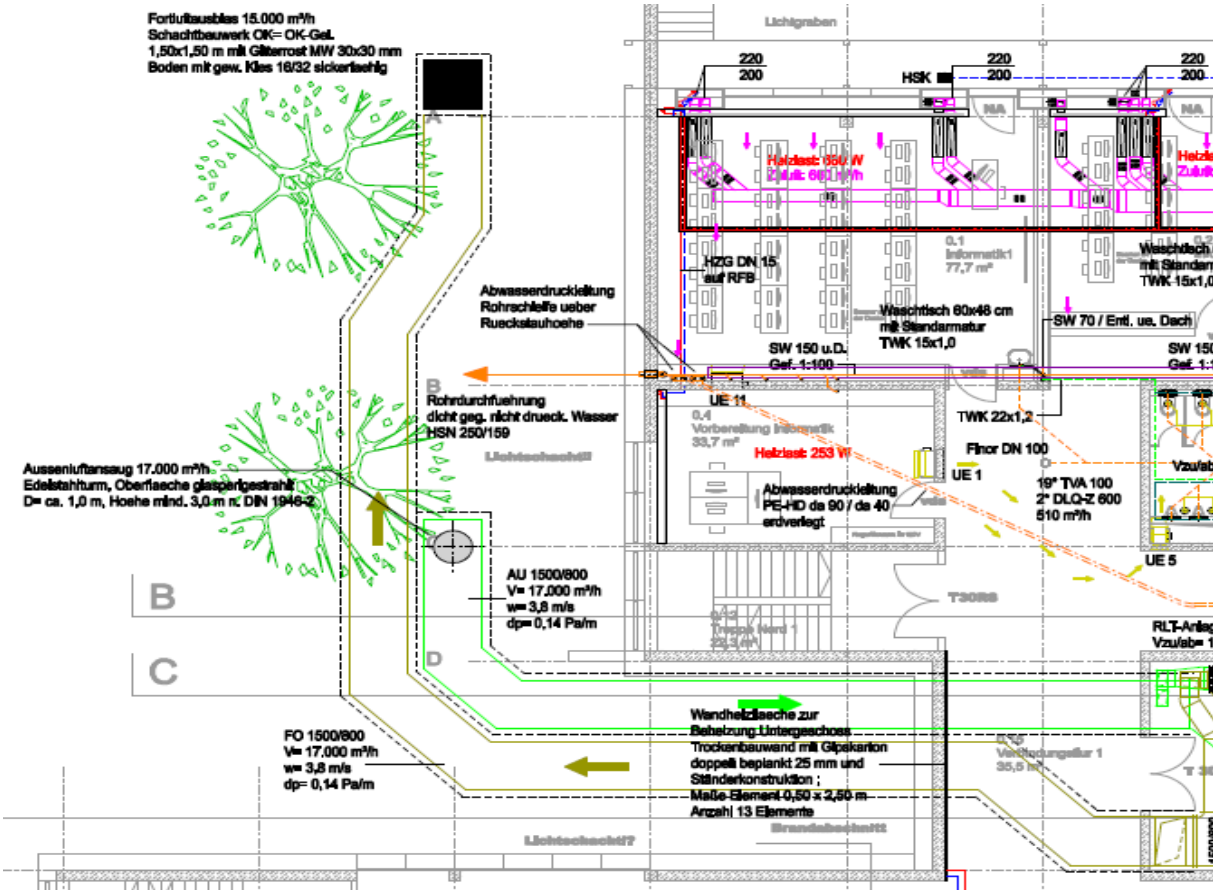



Abb. 72 Detailausschnitt Grundriss Außenluft / Fortluft

**Zuluftführung / Zuluftauslass**

Die Kanalverteilung erfolgt über horizontale Verteilkanäle, die im Untergeschoss auf Ebene der RLT-Geräte verteilt werden. Bei Durchdringungen von Brandabschnitten oder Bauteilen mit Feuerwiderstandsfähigkeit werden „wartungsfreie“ Brandschutzklappen mit Federrücklaufmotoren eingesetzt. Das Kanalnetz wurde mit dem Ziel eines möglichen geringen Hilfsenergiebedarfs mit lediglich ca. 3,0 m/s Luftgeschwindigkeit dimensioniert. Siehe Berechnungsunterlagen. Die vertikalen Lüftungskanäle werden vor der Außenfassade geführt, je Klassenzimmer ist ein Zuluftkanal erforderlich. Maßgebend für das Konzept der Zuluftführung ist das Brandschutzkonzept. Aufgrund der Gebäudeeinstufung wurden die Geschossdecken mit F30 definiert. Somit können die Lüftungsleitungen kostengünstig ohne zusätzliche Brandschutzklappen vor der Fassade in die jeweiligen Klassenräume geführt werden. Die vertikalen Lüftungskanäle werden mit Steinwollematten mit bauaufsichtlicher Zulassung L30 gedämmt. Somit wird die ohnehin notwendige Dämmung zugleich als Brandschutzmaßnahme verwendet.

Über die Fassade werden die einzelnen außenliegenden Klassenzimmer versorgt. Um die frische Luft zugfrei in die Räume einzubringen, werden Quellluftauslässe verwendet. In den vertikalen Versorgungskanälen muss aus Platzgründen der Kanal kleiner gehalten werden. Dadurch erhöht sich die dortige Strömungsgeschwindigkeit auf 3,0 – 4,0 m/s. Quellauslässe benötigen eine geringe Geschwindigkeit, damit sich ein Kaltluftsee am Boden ausbilden kann. Deshalb mündet der vertikale Versorgungskanal über einen asymmetrischen Bogen im Brüstungselement. Über den asymmetrischen Bogen wird die Geschwindigkeit etwas reduziert. Im Brüstungselement wird die Luft über ein Leitblech über die Gesamtlänge verteilt, wodurch die Geschwindigkeit der Luft auf < 0,2 m/s abfällt.

Jeder Raum wird über einen Volumenstromregler mit konstant gleichen Luftmengen versorgt. Die Volumenstromregler werden über Präsenz und Luftqualität durch das Regelungssystem angesteuert.

Das bedeutet, dass lediglich die Räume, die in Betrieb bzw. mit Schülern belegt sind be- und entlüftet werden. Räume die nicht benutzt werden, werden auch nicht be- und entlüftet.

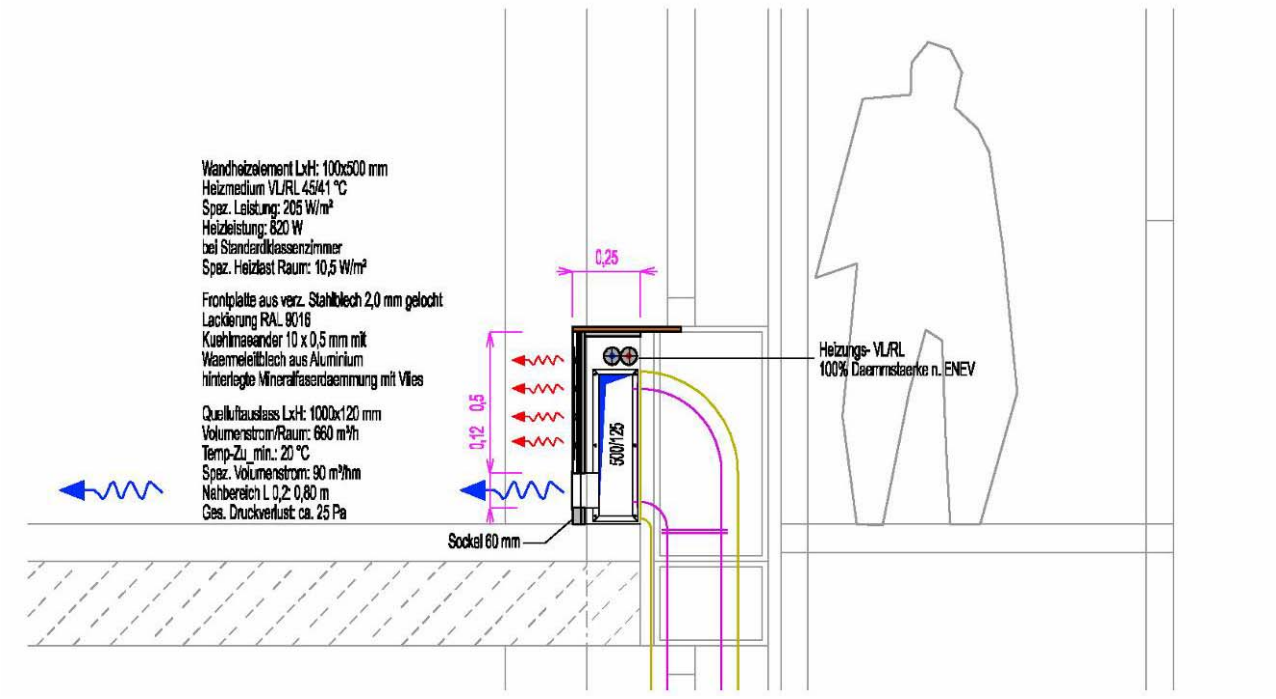



Abb. 73 Detail Fassadenelement Zuluftführung mit Quelluftauslass u. Wandheizfläche sowie Heizungsanschlussleitungen

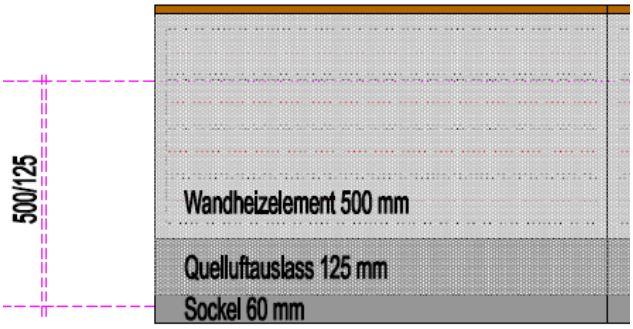



Abb. 74 Detail Aufbau Brüstungselement

Das Brüstungselement wird mit einer Standardbreite von 1,0 m gefertigt. Die einzelnen Brüstungselemente können dann vor Ort zur Montage zusammengebaut und die Heizleitungen verpresst werden.

Die Luft strömt impulsarm durch ein Lochblech in den Raum. Es bildet sich ein Frischluftsee im Fußbodenbereich, der die Nutzer des Klassenzimmers durch Konvektionsströmung in Form der Eigenthermik mit Frischluft versorgt. Das nachfolgende Funktionsschema zeigt den prinzipiellen Verlauf der Luftbewegungen in einem besetzten Raum. Die Luft führt unter anderem auch die Maschinenlasten im Raum nach demselben Prinzip ab. Im Nahbereich der Quellluftauslässe kann es zu Zugerscheinungen kommen, daher wurde bei der Planung darauf geachtet, einen Abstand von mindestens 0,8 m einzuhalten.

Aus Platzgründen, architektonischen Gründen und aus technischen Gesichtspunkten heraus wird das Brüstungselement mit einer Wandheizfläche kombiniert. Diese befindet sich oberhalb der Quellluftauslässe. Beide Funktionsteile werden als ein Element vorproduziert und vor Ort montiert.

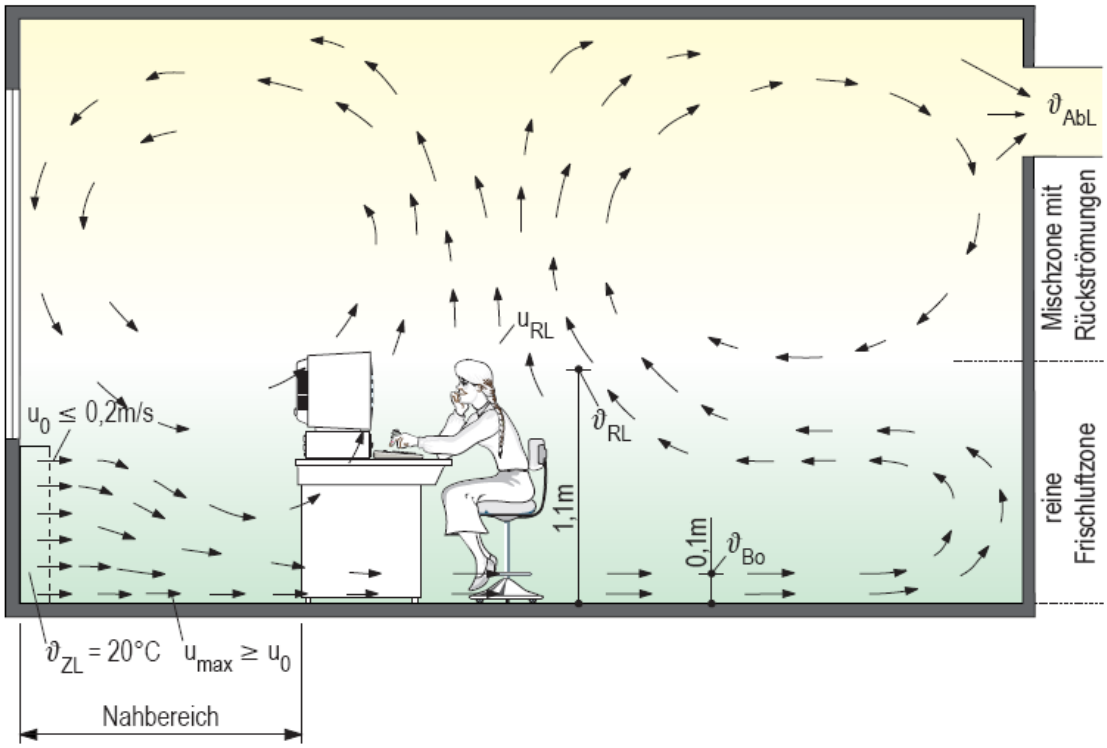



Abb. 75 Funktionsschema Quelllüftung; Quelle Fa, Krantz Komponenten

**Auslegung Quellluftauslass**

| | |
|---|---|
| Anzahl | 8 Stück |
| Länge | 1,0 m |
| Höhe | 0,12 m |
| Luftvolumenstrom Raum | 660 m³/h |
| Zulufttemperatur | 20 °C |
| Raumtemperatur | 23 °C |
| spez. Luftvolumenstrom | 90 m³/hm |
| Nahbereich L 0,2 | 0,8 m |
| Gesamtdruckverlust | 25 Pa |

**Auslegung Wandheizelement**

| | |
|---|---|
| Anzahl | 8 Stück |
| Länge | 1,0 m |
| Höhe | 0,5 m |
| Raumtemperatur | 20 °C |
| Heizwasservorlauftemperatur | 45 °C |
| Heizwasserrücklauftemperatur | 41 °C |
| spez. Heizleistung Raum | 10,5 W/m² |
| Wasservolumenstrom | 176 l/h |
| Druckverlust | 8 kPa |

**Abluftführung**

Die Abluft wird unterhalb des Daches des Atriums abgesaugt und entweder über die nachfolgend im Detail beschriebenen Axialventilatoren im / unter dem Atriumdach über Dach abgeführt, oder über ein Kanalsystem den RLT-Anlagen zurückgeführt, um die Wärmeenergie in der Abluft über die WRG in den RLT-Anlagen zu nutzen. Durch die Dachverglasung des Atriums werden zudem passive solare Gewinne in der Abluft aufgenommen, somit erfolgt ein solarer Wärmerückgewinn, der im Heizbetrieb zu Energieeinsparungen führt. Mit der Abluftansaugung wird ein geringer Unterdruck von ca. 20 Pa erzeugt, dadurch wird die Luftführung von den Klassenzimmern und Fachräumen über speziell entwickelte Überströmelemente unterstützt.

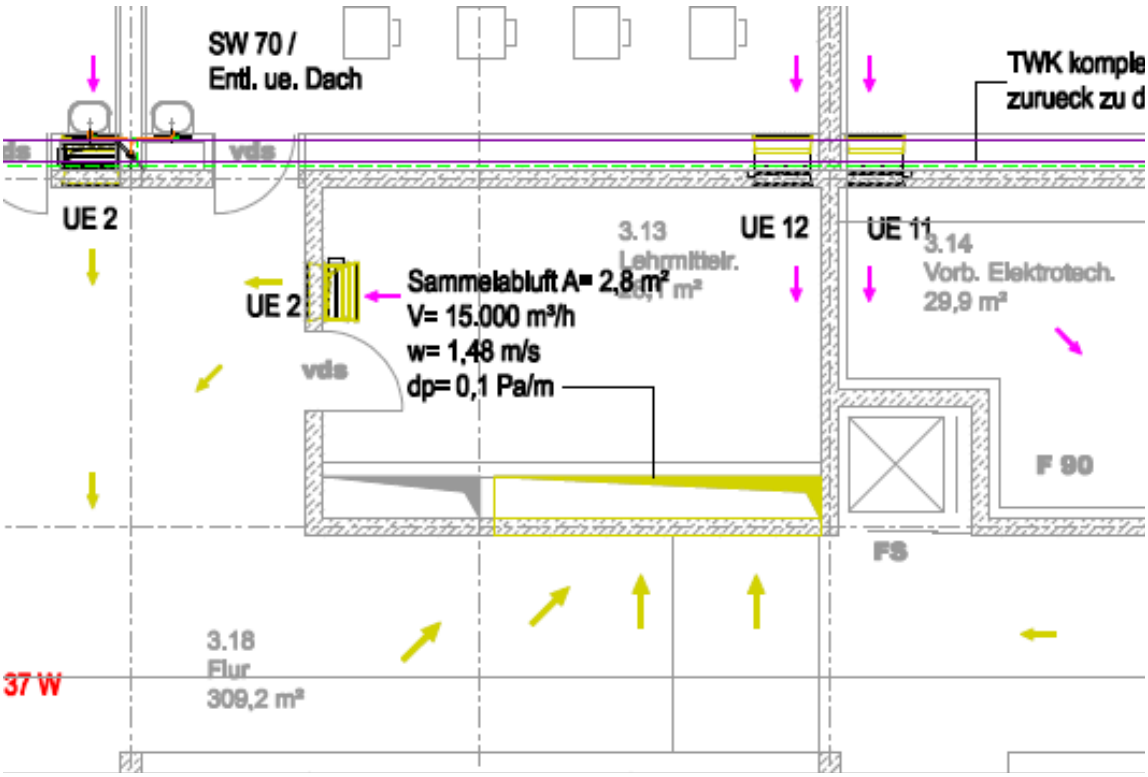



Abb. 76 Detailausschnitt Grundriss Abluftsammelschacht

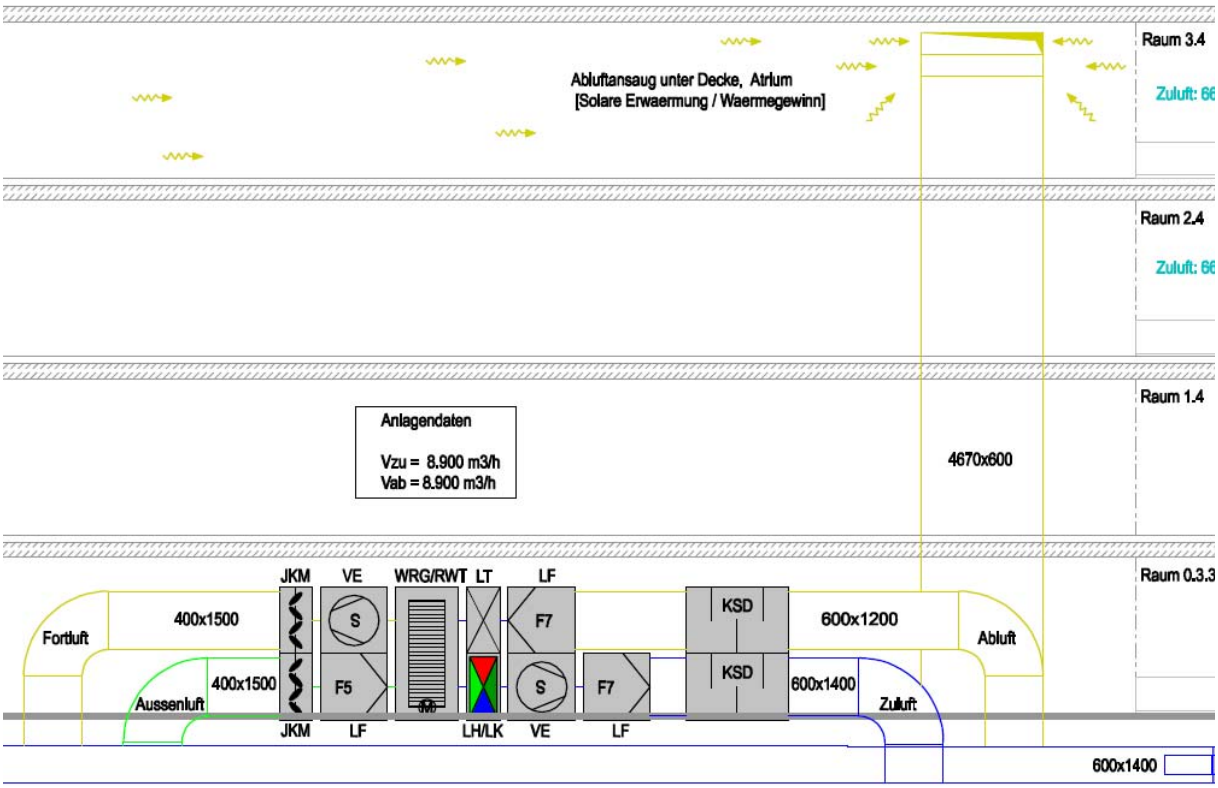



Abb. 77 Schema Abluftführung über Schacht

Im UG wird der Abluftkanal auf die RLT- Anlagen Nord und Süd aufgeteilt, um bei beiden Anlagen die Wärmerückgewinnung nutzen zu können. Zusammen wird ein Auslegungsvolumenstrom von 15.000 m³/h gefördert.

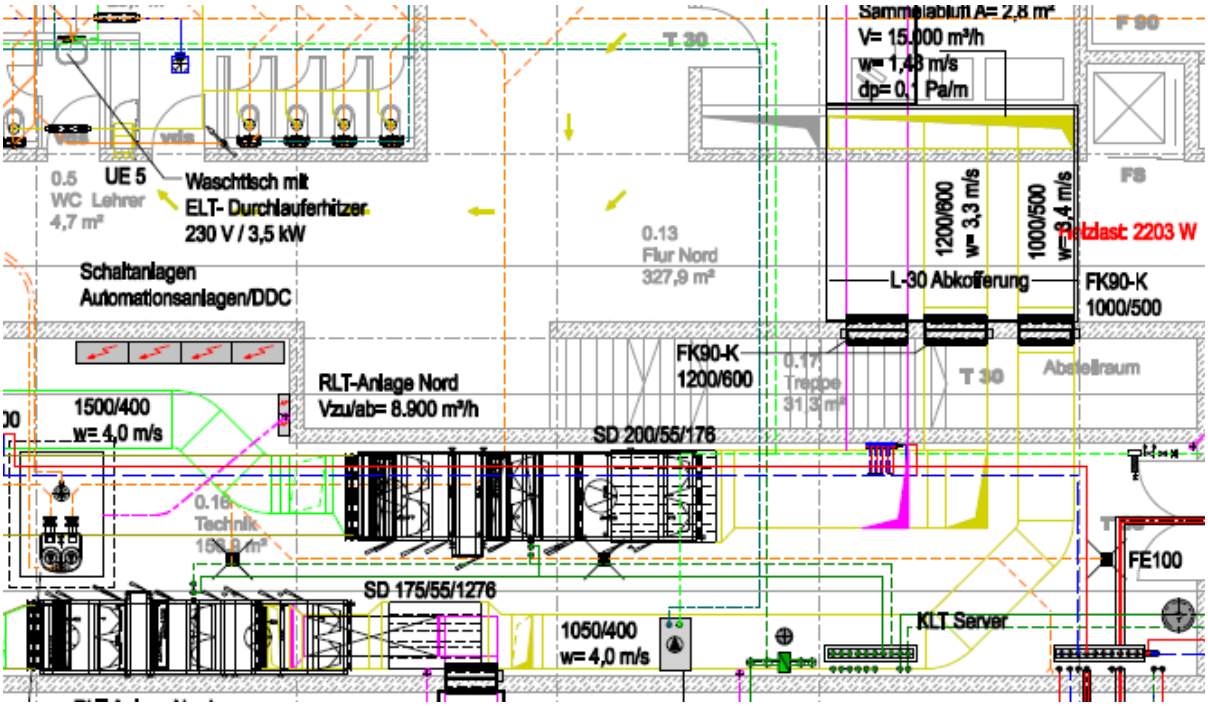



Abb. 78 Detailausschnitt Grundriss Aufteilung Abluft Nord / Süd

**Überströmelemente**

Für die einzelnen Räume wurden maßgeschneiderte Überströmelemente entwickelt, die Brandschutz sowie Schallschutz gewährleisten, und separat über ein Überströmgitter mit Mengenregulierung einstellbar sind. Dabei wurde auf geringstmögliche Druckverluste geachtet, um die Abluftventilatoren besonders energieeffizient auslegen zu können. Die einzelnen Überströmelemente wurden architektonisch möglichst platzsparend und unauffällig platziert. Auch die Trassenführung Elektro, Abwasser und Trinkwasser wurden dabei beachtet und mit einbezogen. Für den Brandfall wurden „wartungsfreie“ Brandschutzklappen mit Federrücklaufmotor verwendet.

Die Ost- und Westfassade darf aus statischen Gründen nicht durch Einbauten von Lüftungsleitungen geschwächt werden, daher werden diese Räume über die belüfteten Klassenzimmer mit versorgt. Um dies zu verwirklichen, wurden z.B. Raum 1.1 und der Vorbereitungsraum Kunst 1.13 als eine zusammengehörige Einheit festgelegt. Daher kann zwischen den beiden Räumen auch auf Schalldämpfer verzichtet werden. Eine Brandschutzklappe und ein Kanalstück mit zwei Lüftungsgittern sind hier ausreichend. Beim Überströmen der Abluft in den Flur muss hier ein Überströmelement UE2 verwendet werden. Die innenliegenden Räume ohne Fenster werden nach dem gleichen Prinzip mit der Zuluft überströmt. Im Projekt gibt es nur eine Ausnahme (UE 13), bei dieser kann auch auf eine Brandschutzklappe verzichtet werden, da es keine Durchdringung von feuerwiderstandsfähigen Bauteilen gibt.

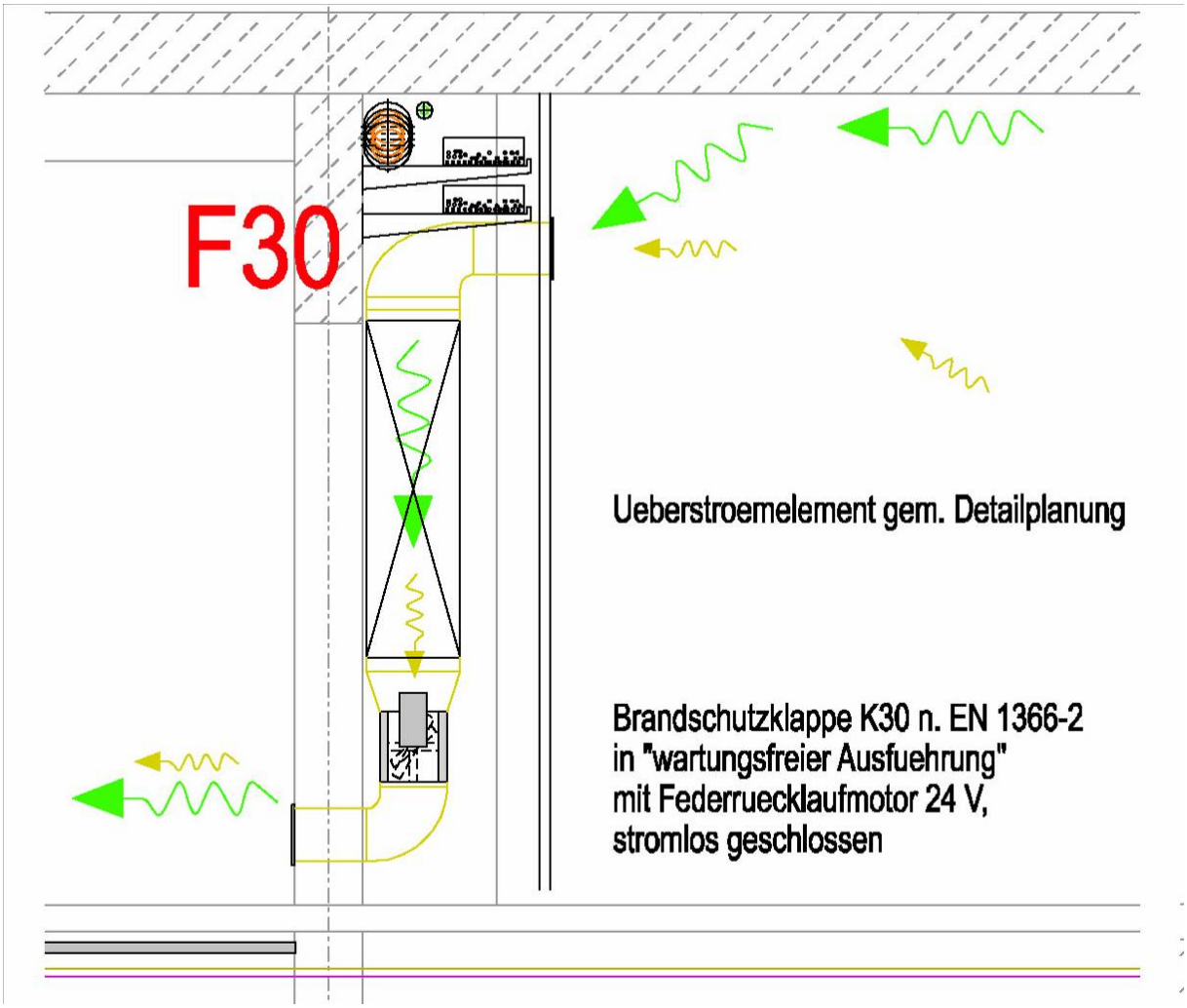
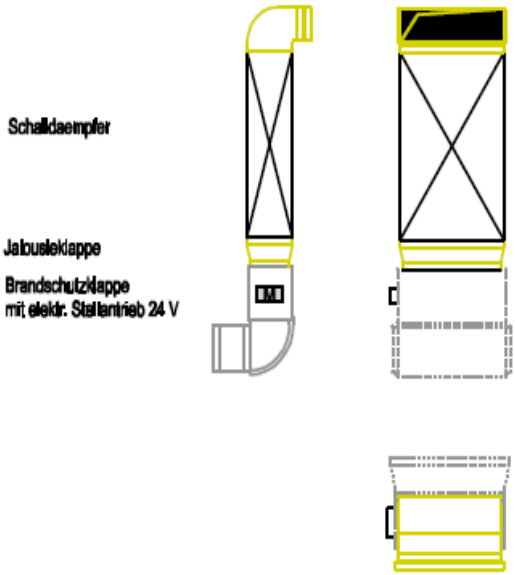



Abb. 79 Detail Überströmelement

Im folgenden werden die Ergebnisse der Druckverlustberechnungen dargestellt.

| Überströmelement | Gesamtdruckver-lust |
|---|---|
| UE 1 | 6,1 Pa |
| UE 2 | 6,1 Pa |
| UE 2 Sonderfall | 9,2 Pa |
| UE 3 | 4,7 Pa |
| UE 4 | 4,7 Pa |
| UE 5 | 6,8 Pa |
| UE 6 | 6,8 Pa |
| UE 7 | 2,3 Pa |
| UE 8 | 2,3 Pa |
| UE 9 | 6,1 Pa |
| UE 10 | 6,2 Pa |
| UE 11 | 0,7 Pa |
| UE 12 | 0,7 Pa |
| UE 13 | 0,0 Pa |



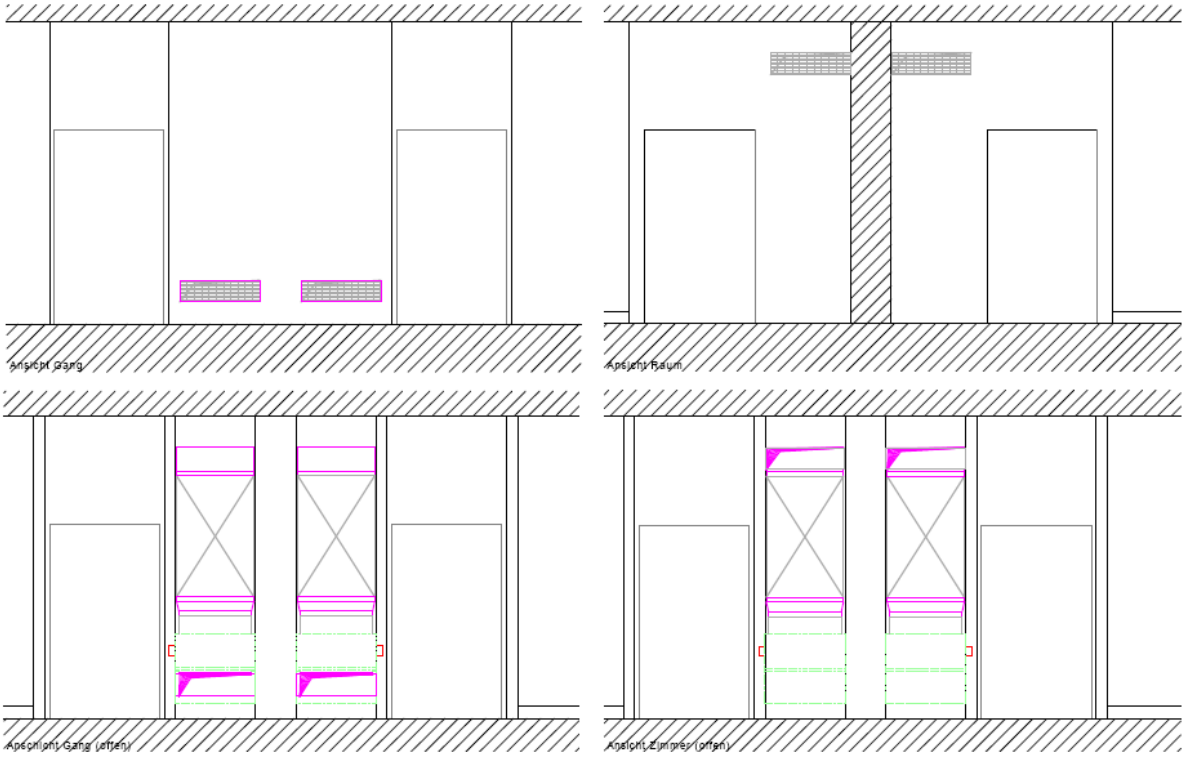
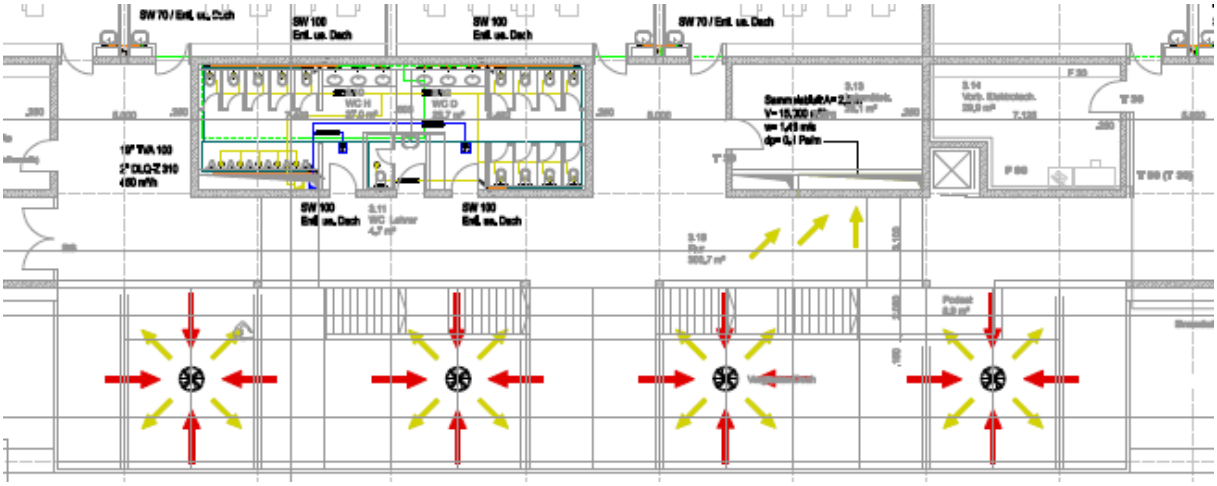




Abb. 80 Wandansichten Überströmelemente Zimmer / Flur

**Fortluftführung über Axialventilatoren**

| Axialventilator | Luftvolumenstrom |
|---|---|
| Teillastbetrieb (Schulbetrieb) | 7.500 m³/h |
| Volllastbetrieb (Nachtkühlung) | 15.000 m³/h |

Der Planausschnitt zeigt die grundlegende Anordnung der 4 Dachventilatoren.
I



Die Druckverlustberechnungen der Überströmelemente haben gezeigt, dass die Dachaxialventilatoren einen Unterdruck von mindestens 9,2 Pa im Atrium erzeugen müssen, damit die Luft ungehindert aus den Klassenzimmern in den Flur überströmen kann. Um dies zu gewährleisten werden die Axialventilatoren auf einen Unterdruck von 20 Pa ausgelegt, damit auch bei Verschmutzung der Überströmelemente die Funktion aufrechterhalten bleibt.
Die Druckverluste der Dachdurchführung und dichtschließenden Fortluftklappe sind bei der Ventilatorbestimmung ebenfalls zu berücksichtigen. Die Fortluftführung erfolgt über eine motorische Absperrklappe und gedämmten Dachdurchführungsrohr mit Fortluftlamellenhaube.

Für die Abluft über Dach wurde für den Axialventilator folgender Druckverlust ermittelt:

| **Ventilatortyp** | **Durchschnittsgeschwindigkeit bei Volllast m/s** | **Druckverlust Pa** |
|---|---|---|
| Axialventilator | 5 - 6 | 27 |

Das folgende Detail zeigt den prinzipiellen Aufbau der Ventilatoranordnung unter dem Atriumdach, einschl. Dachdurchführung und Absperrklappe.

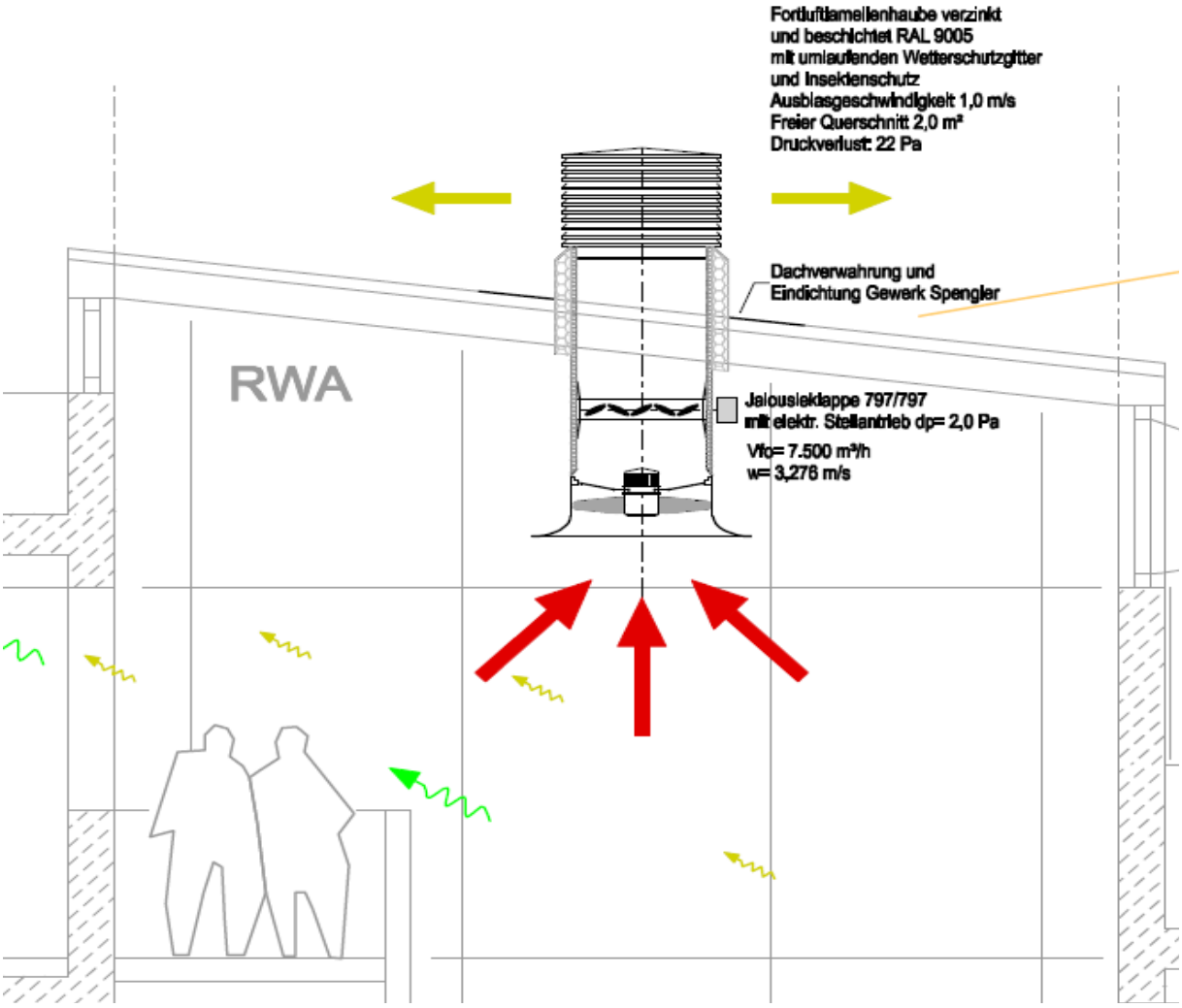



Abb. 81 Detail Dachaxialventilator

## Leistungsbedarf Axialventilator bei Teil- und Volllastbetrieb

Gewünschte Totaldruckerhöhung: 47 Pa

| Betrieb | Luftvolumenstrom in m³/h | Leistungsbedarf in kW | SFP in kW/m³/s | SFP n. EN 13779 |
|---|---|---|---|---|
| Teillast | 7.500 | 0,277 | 0,13 | 1 |
| Volllast | 15.000 | 0,671 | 0,16 | 1 |

**Gegenüberstellung Zentrales Lüftungssystem / Dezentrale Einzelanlagen:**

Betrachtet wurden Kompaktlüftungsgeräte gemäß Passivhausstandard je Klassenzimmer.

Be- und entlüftet werden 22 Klassenzimmer und die dazugehörigen Fach-, Gruppen- und Mehrzweckräume.

Technische Daten zum standardisierten Kompaktlüftungsgerät:
- 85% Wärmerückgewinnung als Rotationswärmetauscher
- Luftleistung/Gerät max. 1.050 m³/h bei 100 Pa
- Kein Kondensatanschluss notwendig
- Kein Frostschutz notwendig
- Nachheizung elektrisch oder PWW
- Betriebsfertige Lieferung
- Einfache Montage durch Baukastensystem

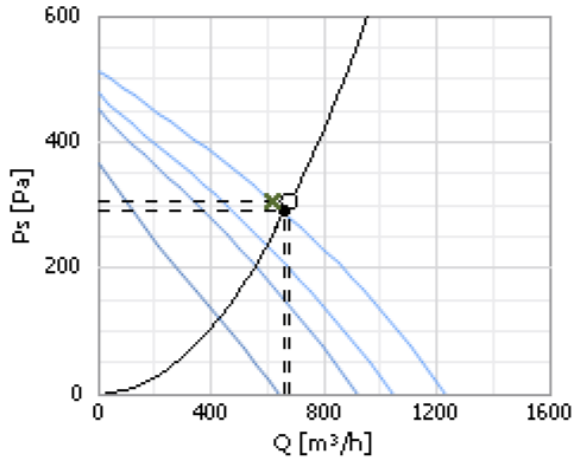
Weitere technische Daten:

| Parameter | Wert | Einheit |
|---|---|---|
| Phase | 3 | ~ |
| Aufnahmeleistung, Ventilatormotor | 2 x 406 | W |
| Aufnahmeleistung, Elektroheizung | 3 | kW |
| Sicherung | 16/16 | A |
| Gewicht | 215 | kg |
| Filter, Zuluft | EU7 | |
| Filter, Abluft | EU5 | |

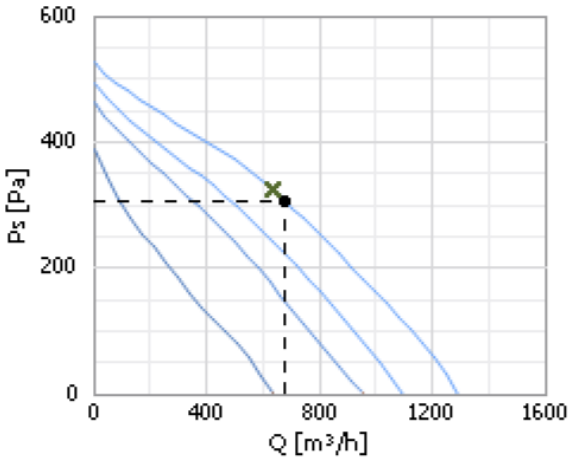
**Anmerkungen:** Kleinere Lüftungsgeräte gibt es bis zu einem Luftvolumenstrom von max. 600 m³/h bei einer Pressung von ca. 50 Pa. Diese sind für das hier vorliegende Projekt nicht einsetzbar. Die Totaldruckerhöhung der Geräte ist zu gering, daher wurde ein Kompaktlüftungsgerät gewählt.

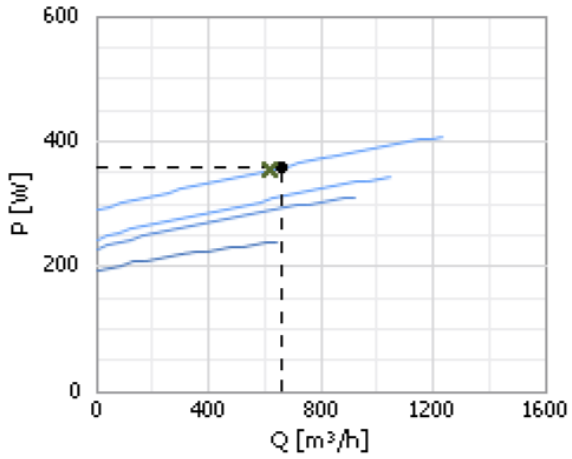
Ein Standardklassenzimmer benötigt einen Luftvolumenstrom von 660 m³/h.
Ausgehend vom Diagramm des Herstellers kann der elektrische Verbrauch bei der gewünschten Pressung abgelesen werden.

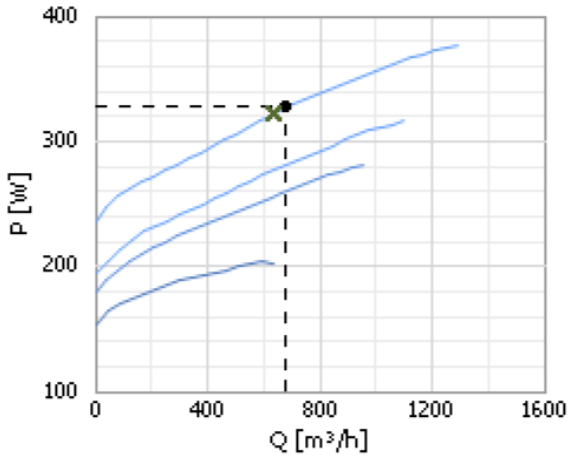
**Supply**




**Fortluft**






Max. Wirkungsgrad

| ✖ Betriebspunkt | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Q [m³/h] | | Ps [Pa] | | P [W] | | SFP [kW/m³/s] |
| Supply | Fortluft | Supply | Fortluft | Supply | Fortluft | |
| **617** | **635** | **306** | **325** | **353** | **322** | **3,81** |

| | Mittelfrequenzband | | | | | | | | Tot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | |
| Supply dB(A) | 56 | 74 | 76 | 74 | 71 | 69 | 62 | 51 | 80 |
| Fortluft dB(A) | 57 | 78 | 70 | 62 | 51 | 43 | 34 | 28 | 79 |
| Umgebung Lw dB(A) | 44 | 65 | 59 | 51 | 48 | 47 | 36 | 29 | 67 |

Benutzer ausgewählt

| ○ gewählter Punkt | | ● Betriebspunkt | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q [m³/h] | Ps [Pa] | Q [m³/h] | | Ps [Pa] | | P [W] | | SFP [kW/m³/s] |
| | | Supply | Fortluft | Supply | Fortluft | Supply | Fortluft | |
| **681** | **307** | **660** | **681** | **289** | **307** | **358** | **327** | **3,61** |

| | Mittelfrequenzband | | | | | | | | Tot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | |
| Supply dB(A) | 56 | 74 | 76 | 74 | 71 | 69 | 62 | 51 | 80 |
| Fortluft dB(A) | 57 | 77 | 69 | 62 | 51 | 43 | 33 | 28 | 77 |
| Umgebung Lw dB(A) | 44 | 65 | 59 | 51 | 47 | 47 | 35 | 28 | 66 |

➔ SFP 3,61 kW/m³/s
➔ SFP 5 (gem. DIN EN 13779)

Die Projektvorgabe des Richtwertes für Zu – und Abluftgerät beträgt 0,4 W/m³/h.
Das gewählte Lüftungsgerät erreicht lediglich einen Wert von 1,00 W/m³/h.

**Fazit**
Das dezentrale Lüftungsgerät ist nicht geeignet, um die hohen Anforderungen hinsichtlich des Energiebedarfs für Luftförderung zu erreichen.

***Weitere Negativpunkte der dezentralen Lüftungs-Lösung:***

- Hoher Anschaffungspreis aufgrund der Vielzahl von Geräten
- Erhöhung der Gebäudekubatur, da Montageplatz geschaffen werden muss
- Kostenerhöhung für abgehängte Decken in den Klassenzimmern zur Verkleidung der Luftleitungsführung
- Behinderung der Nachtauskühlung durch die abgehängten Decken
- Vielzahl von Fassadendurchdringungen, Außenluft/Fortluft
- Enorme Anzahl von künstlich geschaffenen Schwachstellen bei den Durchdringungen, Minderung der Gebäudedichtigkeit
- Erhöhter Wartungs- und Instandhaltungsaufwand aufgrund der Vielzahl von Ventilatoren und Filtern
- Regelungstechnische Einbindung in ein DDC-/GLT/ZLT-System der Einzelgeräte nicht möglich, da die Geräte nur über vorprogrammierte Regler verfügen, die keine offene Schnittstelle haben. Dies ist bei den Geräten nicht vorgesehen.

## RLT-Anlage Innenliegende Räume

Die Anlage RLT – Innenliegende Räume versorgt die Toilettenräume mit dem notwendigen Außenluftvolumenstrom. Dabei wurden pro Urinal 30 m³/h und pro Toilette 60 m³/h angesetzt. Um die Anlage energiesparend auszulegen, wurden der Zu- und Abluftventilator entsprechend des Stockwerks mit dem größten Außenluftvolumenstrom ausgelegt. Die größte Luftmenge mit 1.260 m³/h wird im Erdgeschoss benötigt. Die einzelnen Etagen werden in bestimmten Zeitintervallen be- und entlüftet (Stosslüftung). Hierzu werden motorische Jalousieklappen eingesetzt.
Auf thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen wurde verzichtet, das Zentralgerät verfügt lediglich über eine hochwirksame Wärmerückgewinnung. Die Bereitstellung zusätzlicher Wärmeenergie erfolgt über das umliegende Raumvolumen. Die WC-Anlagen sind innenliegend angeordnet.

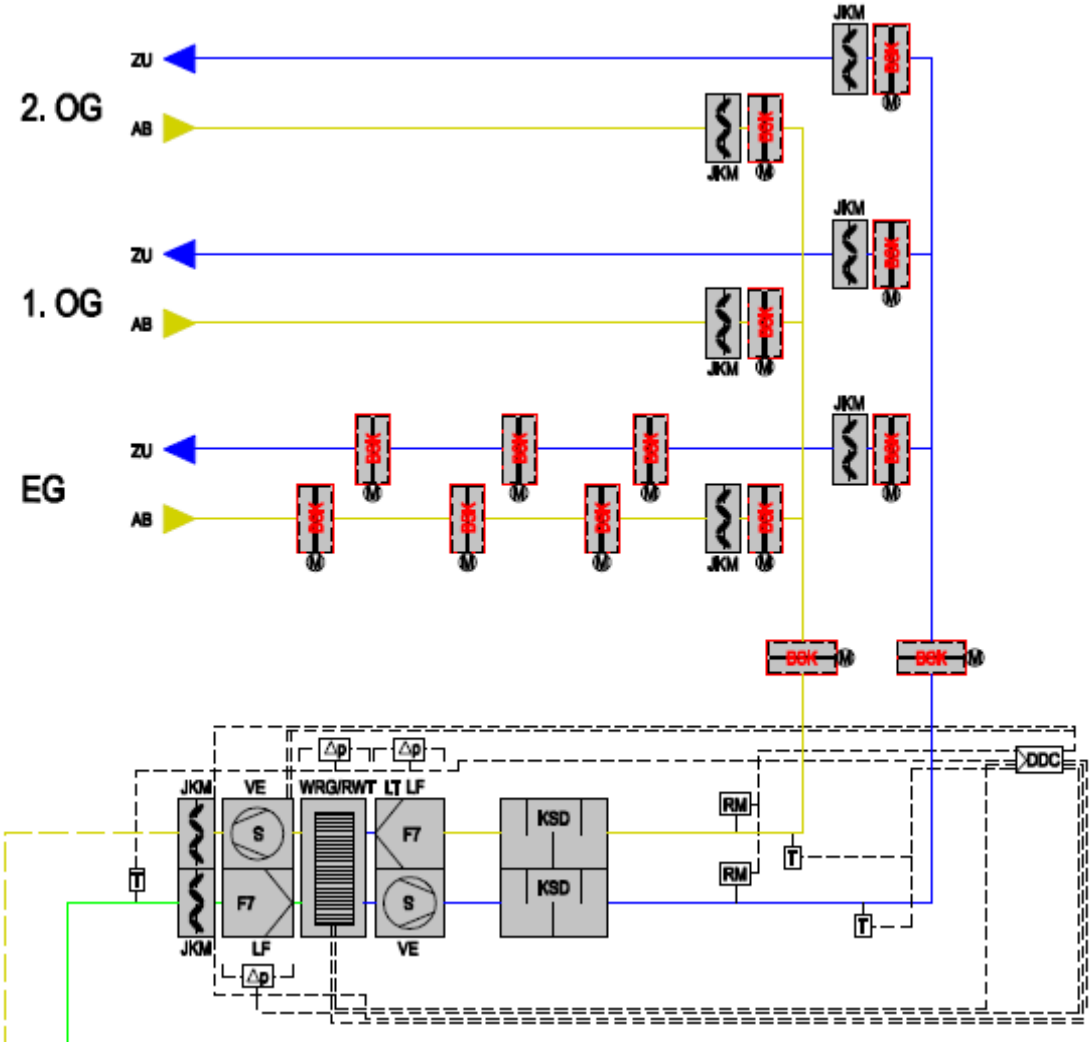



Abb. 82 Schema RLT-Anlage Innenliegende Räume

## RLT-Anlage Event

Die RLT-Anlage Event wird benötigt, um die Pausenhalle (Raum 1.35) entsprechend der Versammlungsstätten-Richtlinie zu be- und entlüften. Für Veranstaltungen oder zu Prüfungszeiten kann die ca. 460 m² große Pausenhalle abgetrennt werden. Da die Anlage nur selten benötigt wird, kann diese durch den Haustechniker je nach Bedarf an einem Tableau bedient werden. **Die Anlage wird nicht im Passivhausnachweis berücksichtigt.**

Der Anlagenaufbau entspricht grundsätzlich den RLT-Anlagen der Klassenzimmer. Thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen: Heizen und Kühlen.
Der Luftvolumenstrom wurde mit 8.000 m³/h festgelegt, dies entspricht einer maximalen Personenanzahl von 400.
Die Zuluftführung erfolgt über Deckendrallauslässe in der abgehängten Decke, die Abluft wird über Schattenfugen in der Decke angesaugt, hierfür werden nur kurze Luftleitungen in der Decke verlegt und Lüftungsgitter (mit Mengeneinstellsatz) in einfachster Art an der Luftleitung angebaut.

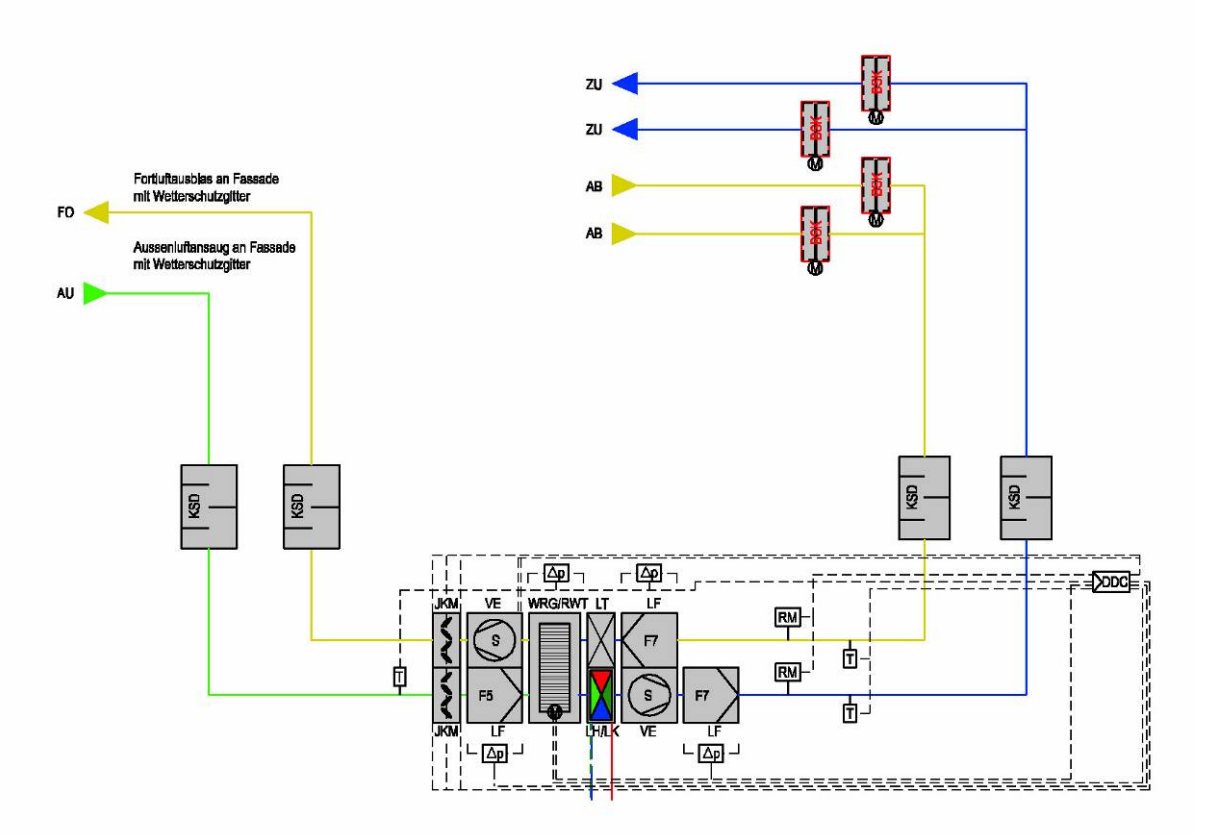



Abb. 83 RLT-Anlage Event (Raum 1.36)

## RLT-Anlage Nachtlüftung / Freie Kühlung

Über die RLT-Anlage Nachtlüftung / Freie Kühlung kann je nach Bedarf die Abluft der beiden RLT-Anlagen Süd und Nord direkt über Dach abgeführt werden, sofern keine Wärme- / Kälterückgewinnung erforderlich ist. Geplant sind 4 Dachventilatoren, die im Bereich des Atriumdaches je 7.500 m³/h Fortluft über Dach fördern können. Während des Schulbetriebes werden bis zu 15.000 m³/h Fortluft abgeführt. Die Dachventilatoren laufen im unteren Teillastbetrieb, so wird die Geräuschentwicklung aufgrund niedriger Drehzahl reduziert.
Die Ventilatoren werden gleichzeitig zur Unterstützung der Freien Kühlung eingesetzt. Dabei wird im Atrium ein geringer Unterdruck erzeugt, der die Widerstände der Überströmelemente überwindet. An kühlen Sommernächten wird so die Betonspeichermasse des Gebäudes abgekühlt. Hierzu werden die Oberlichter in den Fluchttüren der außenliegenden Räume motorisch geöffnet. Die kühle Nachtluft streicht an der Geschossdecke entlang und nimmt die gespeicherte Wärmeenergie aus der Bauteilmasse auf, strömt zum Atrium über und wird durch die Axialventilatoren über Dach abgeführt.

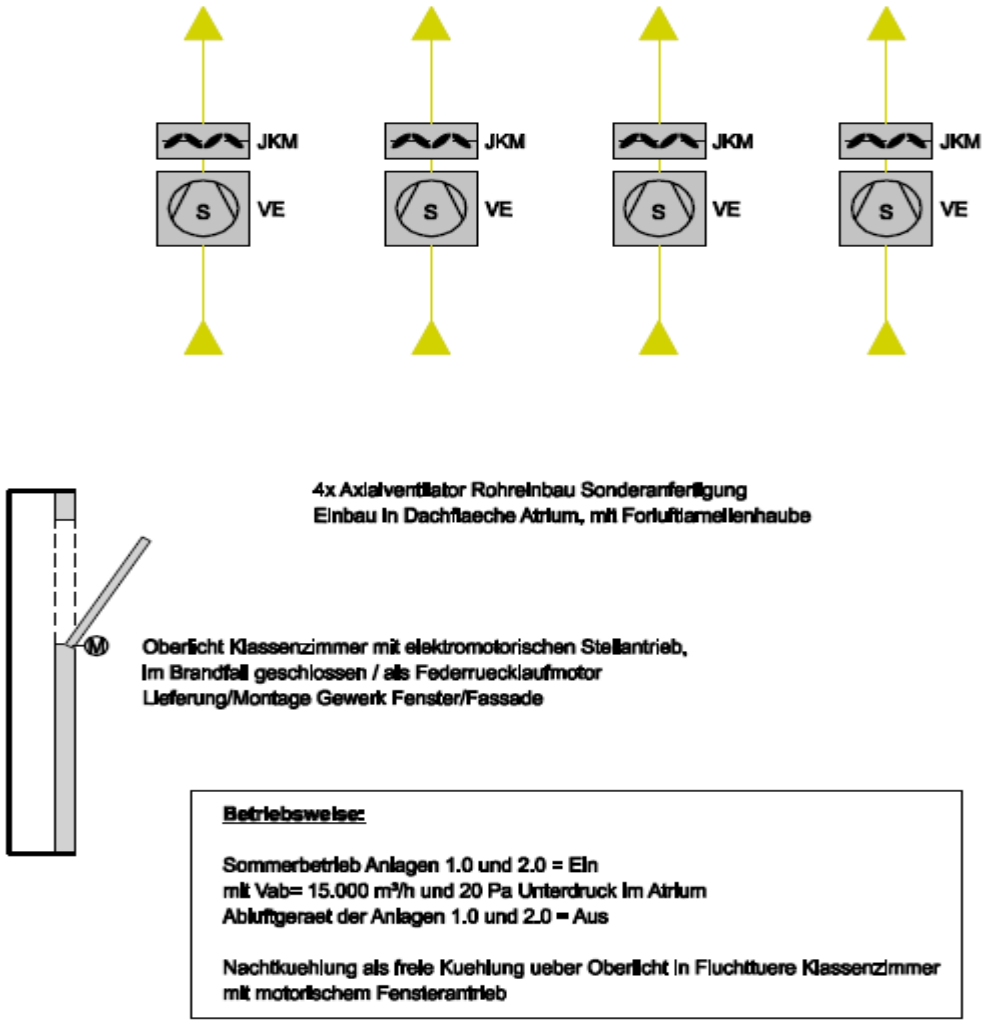



Abb. 84 Schema Nachtlüftung / Freie Kühlung

## RLT-Anlage Sonderabluft Gefahrgutschränke

Die Gefahrgutschränke befinden sich im 2. Obergeschoss, Raum 3.15 - Vorbereitung Chemie/Bio mit Säure. Gem. GUV und DIN 1946 T 7 ist es notwendig, die 3 Gefahrgutschränke kontinuierlich mit einem Luftvolumenstrom von je 50 m³/h zu versorgen. Da eine Anbindung über Dach möglich ist, wird die Luft aus den Schränken abgesaugt und als Fortluft in den freien Windstrom gefahrlos über Dach ausgeblasen. Die Außenluft strömt dabei ebenfalls über das Dach nach. Die Lüftungsöffnungen werden mit Lamellenhauben versehen. Die Außenluft wird nicht aufbereitet, also nicht beheizt und nicht zusätzlich gefiltert. Durch den ständigen Luftwechsel kühlt der Raum aus, deshalb wird der Raum thermisch abgetrennt. Der Raum muss gemäß EnEV 2007 [EnEV] vergleichbar einer Außenwand komplett und vollständig gedämmt werden.

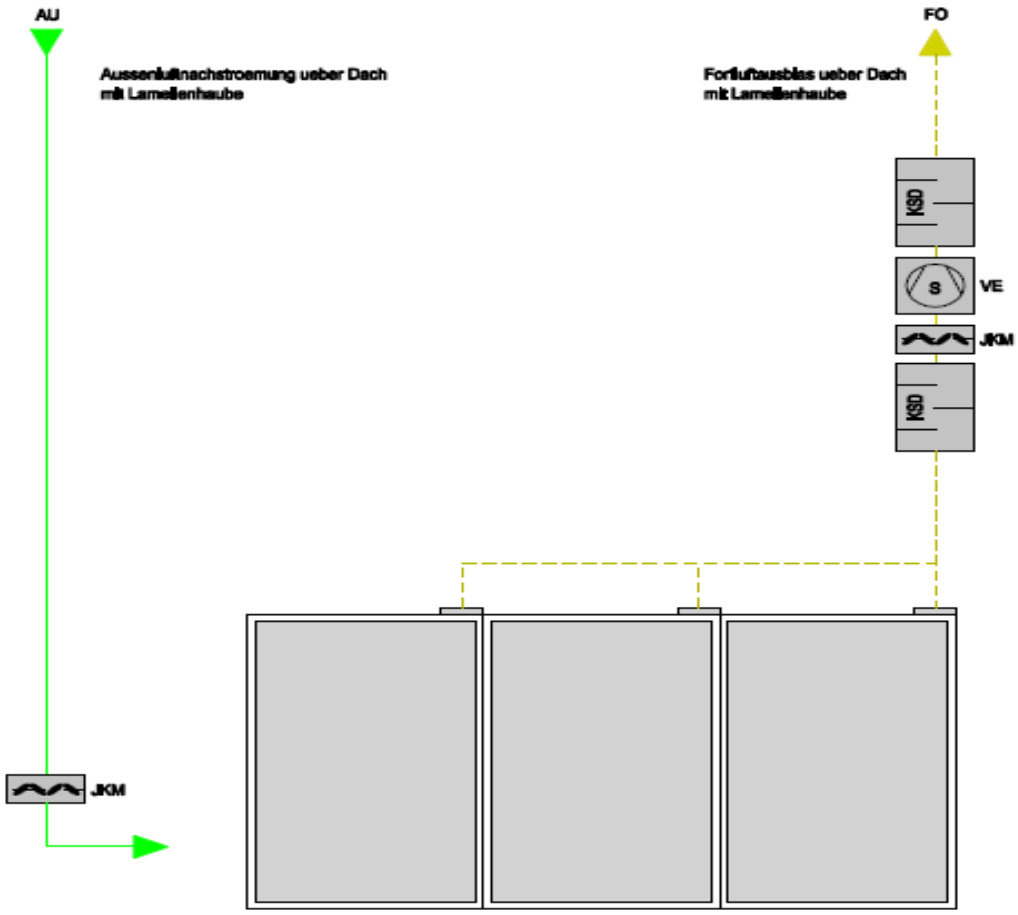



Abb. 85 RLT-Anlage Sonderabluft Gefahrgutschränke

**RLT-Anlage Küche**

Das Schulgebäude soll auf Wunsch des Auftraggebers auch eine Vollküche ähnlich einer Mensa erhalten. Die Anlagenauslegung basiert auf den vorliegenden Küchentechnikplänen des beauftragten Küchenplaners.

Entsprechend der Küchenausstattung liegt die elektrische Anschlussleistung über 25 kW, somit fällt die Küche unter die Vorschriften der VDI 2052 [VDI2052] Ausgabe Juni 2006.

Die Luftmengen sind entsprechend den Küchengeräten zu ermitteln und liegen bei ca. 5.500 m³/h. Das Anlagenkonzept wurde energetisch optimiert, um die Lüftungstechnik im Passivhaus zu integrieren. Die Kennwerte aus den zuvor beschriebenen RLT-Anlagen hinsichtlich Hilfsenergie für Ventilatoren wurden bei der Auslegung ebenso berücksichtigt.

Folgende thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen sind vorgesehen:
Heizen und Kühlen mit „doppelter“ Wärmerückgewinnung

Grundsätzlich soll die RLT-Zentrale in direkter Anbindung zur Küche angeordnet werden, um möglichst kurze Lüftungsleitungen (fettbeständig und dicht) zu erhalten. Dies ist auch hinsichtlich der Brandschutzanforderungen dringend erforderlich. Die Luftleitungen werden fettdicht aus nichtrostendem Stahl mit desinfektionsmittelbeständigen Dichtungen ausgeführt. Die Fettabluftkanäle müssen gegen Räume anderer Nutzung L90 abgekoffert werden. In der Zuluft können bei Durchdringungen von feuerwiderstandsfähigen Wänden und Decke konventionelle Brandschutzklappen eingesetzt werden.
Die Geräteauslegung der RLT-Anlage erfolgt analog den vorstehenden RLT-Geräten mit geringstmöglichen Durchtrittsgeschwindigkeiten zur Minimierung der internen Druckverluste. Die Anlage wird mit einer zentralen Wärmerückgewinnung in spezieller Ausführung (größerer Abstand der Wärmeleitbleche) ausgeführt. Der Wärmetauscher kann somit vom Haustechnik-Personal ohne großen Aufwand regelmäßig mit einem Wasserschlauch und den erforderlichen Fettlösemitteln gereinigt werden.
Zusätzlich wird die Außenluft der Anlage vorgewärmt, über eine Wärmerückgewinnung als sog. Kreislauf-Verbund-System zwischen einem Abluftwärmetauscher, der direkt in der Wrasenabluft installiert wird und einem Wärmetauscher der im RLT-Gerät als Vorwärmstufe integriert wird. Die Zuluftführung erfolgt über Deckenverdrängungsauslässe außerhalb des Kochfeldes, die Abluft wird über eine geschlossene Lüftungsdecke mit integrierten Ablufttrapezkanälen abgesaugt.
Die Außenluftansaugung erfolgt direkt durch die Fassade, die Fortluft wird über Dach des Gebäudes ausgeblasen, Fortluftführung komplett L90.

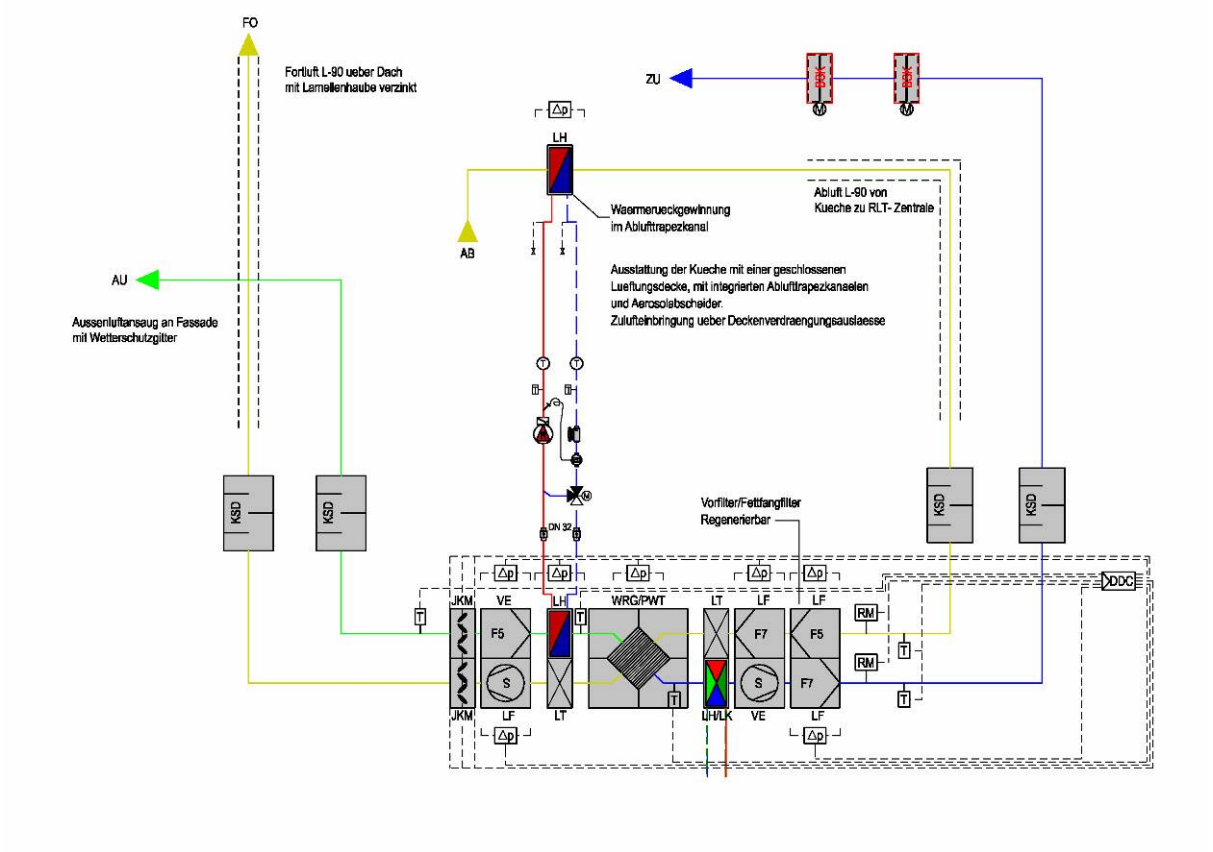



Abb. 86 RLT-Anlage Küche

**Digestorium – Fachraum Chemie/Biologie**

Der Fachraum 3.6 für Chemie und Biologie im 2. Obergeschoss benötigt ein Digestorium gemäß DIN 1946 Teil 7 [1946-7] und Laborrichtlinien, sowie GUV- Vorschriften. Als kostengünstiges und einfaches System wird eine fahrbare Absaugkabine inklusive Ventilator, Steuerung, Volumenstromfunktionsanzeige, Schalter und Motorschutz eingesetzt. Das kombinierte Gerät wird mit flexiblen Anschlussschläuchen geliefert. Der Anschluss der Absaugung erfolgt nach unten. Die Wanddurchführung wird gedämmt ausgeführt. Die Fortluft wird über eine selbsttätige Klappe gesteuert, um bei Stillstand einen ungewollten Kaltlufteinfall zu vermeiden. Dieses System ist nicht für gesundheitsbedenkliche Versuche geeignet. Das Digestorium fördert einen max. Luftvolumenstrom von 200 m³/h.
Ein spezialisierter Ausstattungsplaner wurde mittlerweile vom Bauherrn mit der Ausarbeitung dieses speziellen Gebietes beauftragt. Hierüber liegen allerdings noch keine Planunterlagen vor.

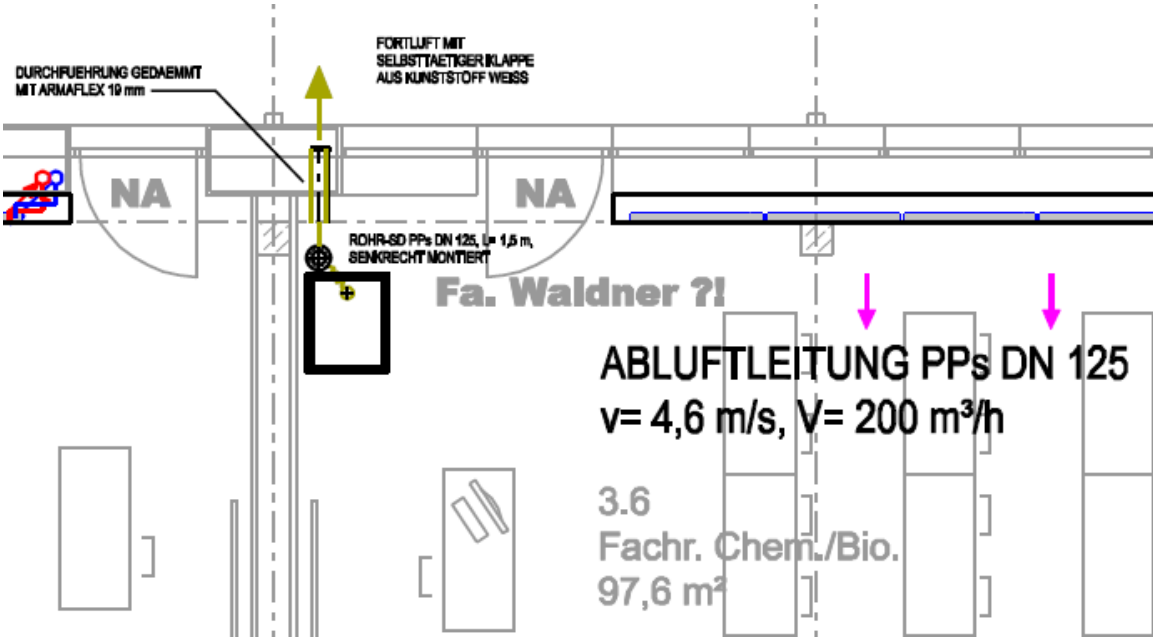



Abb. 87 Digestorium – Fachraum Chemie/Biologie

**Kanalnetz- und Komponentenauslegung**

**Kanalnetzberechnung**

**Druckverlust für Zu- und Abluft, extern**

| Anlage | Durchschnittsgeschwindigkeit m/s | Zuluft extern Pa | Außenluft extern Pa | Abluft extern Pa |
|---|---|---|---|---|
| RLT - Nord | 3 | 186,8 | 45,0 | 85,4 |
| RLT - Nord | 4 | 263,8 | | |

| Anlage | Durchschnittsgeschwindigkeit m/s | Zuluft extern Pa | Abluft extern Pa |
|---|---|---|---|
| RLT - Süd | 3 | 159,9 | 83,9 |
| RLT - Innenl. Räume | 3 - 4 | 138,2 | 134,8 |
| RLT - Event | 4 | 359,5 | 356,3 |
| RLT - Nord/Süd Fortluft ü. Dach | 2 - 3 | | 42,0 |

**Vergleich mit unterschiedlichen Kanalgrößen**

Das Kanalnetz von RLT Nord / Süd wird mit ca. 3,0 m/s dimensioniert. Um die Mehrkosten für den Kanal im Vergleich zu einer Dimensionierung mit 4,0 m/s zu erhalten, wird der ungünstigste Strang als Referenz verwendet, und die unterschiedlichen Kanaloberflächen dabei ermittelt. Dadurch erhält man die Mehrkosten für das Kanalnetz, sowie die Einsparung des Druckverlustes durch die größere Dimensionierung. Das Ergebnis kann überschlägig für das gesamte Kanalnetz zu Grunde gelegt werden.
Für die Berechnung werden spezifische Preise (Netto) entsprechend der Kantenlänge des Kanals angesetzt:

**Rechteckkanäle:**

| Kantenlänge max. | 500 | 1000 | 1500 |
|---|---|---|---|
| Preis / m² Oberfläche | | | |
| Kanal | 25 | 30 | 35 |
| **Preis / m² Oberfläche Formstück** | **30** | **37,5** | **45** |

Rechteckkanäle mit 3,0 m/s – Beispiel Strang Nord (Nur Zuluftkanal)

| | **Breite mm** | **Höhe mm** | **Oberfläche m²** | **Preis €** |
|---|---|---|---|---|
| Brandschutzklappe | 1200 | 700 | | 943,00 € |
| Kanal | 1200 | 700 | 56,66 | 1.983,10 € |
| Abzweig | 1200 | 700 | 6,27 | 282,15 € |
| Kanal | 1200 | 700 | 5,81 | 203,35 € |
| Querschnittsverengung | 1200 | 700 | 1,9 | 85,50 € |
| Kanal | 1150 | 700 | 7,44 | 260,40 € |
| Querschnittsverengung | 1150 | 700 | 1,95 | 87,75 € |
| Kanal | 980 | 700 | 19,32 | 579,60 € |
| Querschnittsverengung | 980 | 700 | 1,78 | 66,75 € |
| Kanal | 800 | 700 | 9,31 | 279,30 € |
| Querschnittsverengung | 800 | 700 | 1,52 | 57,00 € |
| Kanal | 700 | 700 | 16,46 | 493,80 € |
| Querschnittsverengung | 700 | 700 | 1,36 | 51,00 € |
| Kanal | 650 | 650 | 8,97 | 269,10 € |
| Querschnittsverengung | 650 | 650 | 1,29 | 48,38 € |
| Kanal | 520 | 520 | 12,08 | 362,40 € |
| Querschnittsverengung | 520 | 520 | 1 | 37,50 € |
| Kanal | 450 | 450 | 7,53 | 188,25 € |
| Querschnittsverengung | 450 | 450 | 0,86 | 25,80 € |
| Kanal | 360 | 360 | 8,67 | 216,75 € |

**Gesamtpreis ungünstiger Strang Nord : 6.520,88 €**

Rechteckkanäle mit 4,0 m/s – Strang Nord (nur Zuluftkanal)

| | Breite mm | Höhe mm | Oberfläche m² | Preis € |
|---|---|---|---|---|
| Brandschutzklappe | 920 | 700 | | 893,00 € |
| Kanal | 920 | 700 | 50,84 | 1.525,20 € |
| Abzweig | 920 | 700 | 4,8 | 180,00 € |
| Kanal | 920 | 700 | 5,51 | 165,30 € |
| Querschnittsverengung | 920 | 700 | 1,62 | 60,75 € |
| Kanal | 870 | 700 | 6,31 | 189,30 € |
| Querschnittsverengung | 870 | 700 | 1,63 | 61,13 € |
| Kanal | 730 | 700 | 16,45 | 493,50 € |
| Querschnittsverengung | 730 | 700 | 1,46 | 54,75 € |
| Kanal | 670 | 670 | 8,32 | 249,60 € |
| Querschnittsverengung | 670 | 670 | 1,37 | 51,38 € |
| Kanal | 630 | 630 | 14,82 | 444,60 € |
| Querschnittsverengung | 630 | 630 | 1,31 | 49,13 € |
| Kanal | 570 | 570 | 7,87 | 236,10 € |
| Querschnittsverengung | 570 | 570 | 1,22 | 45,75 € |
| Kanal | 450 | 450 | 9,06 | 226,50 € |
| Querschnittsverengung | 450 | 450 | 0,86 | 25,80 € |
| Kanal | 390 | 390 | 10,46 | 261,50 € |
| Querschnittsverengung | 390 | 390 | 0,74 | 22,20 € |
| Kanal | 310 | 310 | 6,53 | 163,25 € |

**Gesamtpreis ungünstiger Strang Nord : 5.398,73 €**

Ein Vergleich zwischen den beiden Berechnungen ergibt folgende Ergebnisse:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Länge des gewählten Strangs | | 56,85 | m |
| | bei 3 m / s | 114,70 | € / m |
| | bei 4 m / s | 94,96 | € / m |
| | **Mehrkosten :** | **17,21** | **%** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Druckverlust Strang Nord | | | |
| | bei 3 m / s | 186,8 | Pa |
| | bei 4 m / s | 263,8 | Pa |
| **Einsparung Druckverlust :** | | **41,22** | **%** |

Bei überschlägiger Berechnung tritt eine Amortisation der höheren Investitionskosten für das größere Kanalnetz mit 17,21 % Mehrkosten gegenüber einer konventionellen Kanaldimensionierung nach 21 Jahren ein.
Der elektrische Verbrauch stellt sich wie folgt dar: 15.840 kWh/a zu 28.800 kWh/a. Der vermiedene $CO_2$-Ausstoß beträgt 2,034 t/a; nach 21 Jahren ergeben sich 42,71 Tonnen.

### 3.3.8 Regenwassernutzungsanlage

Das folgende Schema zeigt den Anschluss der Dachflächenentwässerung an die Regenwasserzisternen. Das Speichervolumen der Zisternen beträgt je Zisterne 9,5 m³. Ist die maximale Füllmenge erreicht, läuft das Regenwasser zur Rigolenversickerung über. Bevor das Regenwasser in die Zisternen eingeleitet wird, durchströmt es eine Sedimentationsanlage nach ATV-DWA M 153, in der Verschmutzungen abgeschieden werden.

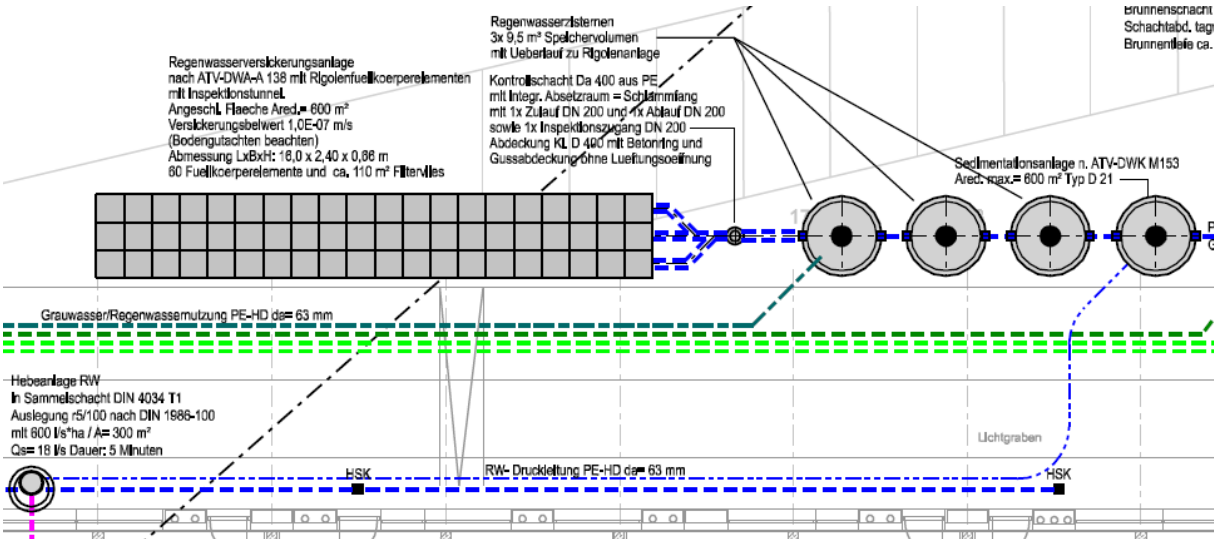



Abb. 88 Prinzipieller Aufbau der Regenwassernutzung

Der Zulauf erfolgt über einen zusätzlichen Filter, die Wasserverteilung in den einzelnen Zisternen wird über am Boden angeordnete Verbindungsleitungen gewährleistet. Die Wasserförderung erfolgt über eine nass aufgestellte Förderpumpe / Zubringerpumpe zur Gebäudeverteilung.

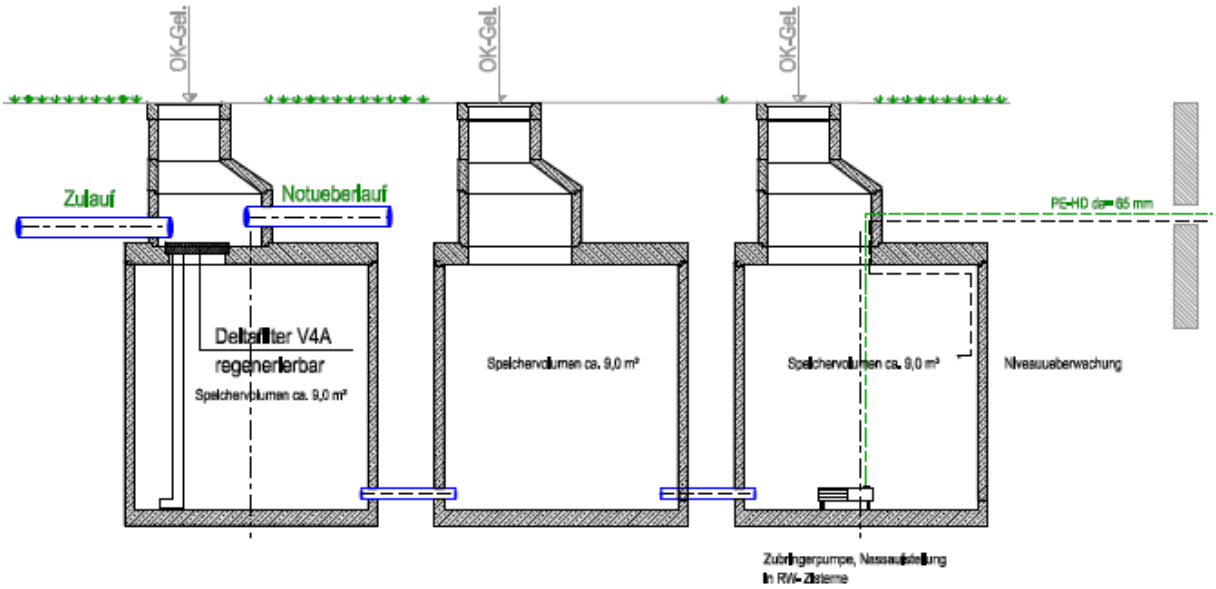



Abb. 89 Aufbau Zisternen

In der Technikzentrale befindet sich die Regenwassernutzungsanlage für die WC- und Urinalspülung. Der Planausschnitt zeigt die grundlegende Anordnung.

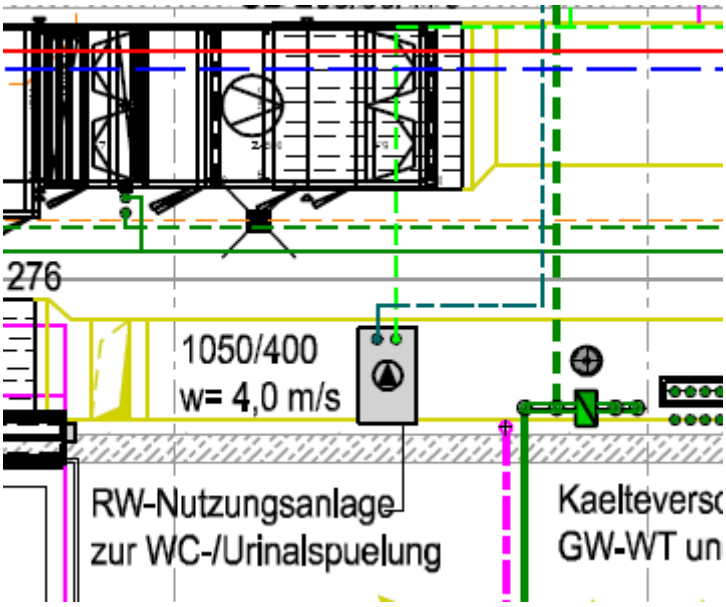



Abb. 90 Anordnung Regenwassernutzungsgerät

Über die Zubringerpumpe wird das Regenwasser in einen Vorlagebehälter gespeist. Durch die notwendige Systemtrennung wird eine separate Druckerhöhungspumpe als Versorgungspumpe / Doppelpumpe (Kreiselpumpe) benötigt.

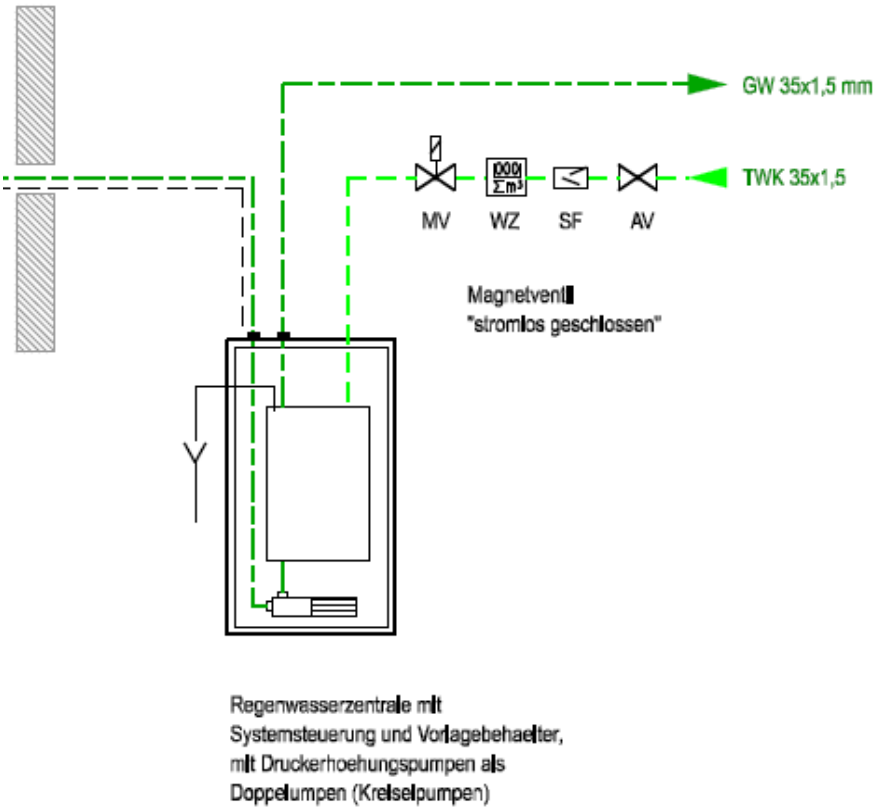



Abb. 91 Schema Regenwassernutzungsgerät

### 3.3.9 Gegenüberstellung Standardschule / Passivhausschule – Ökologische und technologische Bewertung

| **Standardschule mit Lüftungsanlage** | **Passivhausschule Erding** |
|---|---|
| **HEIZUNG**<br>Wärmeerzeugung über Fernwärmeanschluss mit Wärmeverteilung | **HEIZUNG**<br>Keine separate Wärmeerzeugung, Anschluss an best. Wärmeversorgung Berufsschule für Gastronomie. Verwendung des Anlagenrücklaufs zur zusätzlichen Unterkühlung der Rücklauftemperatur der Fernwärmeversorgung. |
| Hohe Anschlusskosten und Bereitstellungskosten | Kosten für Nahwärmenetz auf eigenem Grundstück |
| Raumheizung über Statische Heizflächen, Heizkörper mit „Fühler ohne Hilfsenergie“ als sog. Thermostatkopf<br>Günstige Anschaffungskosten<br>Höhere Heizmitteltemperaturen, dadurch höhere Bereitstellungsverluste und Verluste beim Wärmetransport<br>Höherer Energieaufwand/Heizkosten<br>Niedriges physiologisches Wohlbefinden durch hohen Konvektionsanteil der Heizkörper<br>Allergische Reaktionen bei empfindlichen Schülern durch hohe Staubfraktion und Staubverschwelung u. U. möglich | Raumbeheizung über Wandheizflächen, geringere Heizmitteltemperaturen,<br>dadurch geringerer Energieverbrauch durch Minimierung der Bereitstellungsverluste und Verluste beim Wärmetransport<br>keine sichtbaren Heizflächen<br>Hygienisch Einwandfrei<br>Gesteigertes physiologisches Wohlbefinden bei den Schülern, bedingt durch Wärmestrahlung<br>Regelung der Heizflächen über das zentrale Regelungssystem mit Einzelraumreglern, Elektrischer Stellantrieb |
| Rohrleitungsdämmung, Dämmstärken nach EnEV 2007 | Dämmung mit 200% Dämmschichtdicke aus EnEV 2007 |
| Normale Gebäudedichtigkeit, (natürliche Infiltration), d. h. Energetischer Aufwand für Lüftungswärmebedarf<br>Günstigere Kosten bei Anschaffung<br><br>Höhere Wärmeverluste / Heizkosten | Hohe Gebäudedichtigkeit ($n_{50}$), kaum Lüftungswärmebedarf durch Fenster-/ Gebäudefugen,<br>Höhere Herstellkosten, dafür geringerer Energieverbrauch<br>Innere Lasten größtenteils ausreichend zur Erwärmung des Gebäudes (bei Schulbetrieb), lange Speicherung der Wärme oder Kälte durch große Speichermassen |
| **LÜFTUNG**<br>Grundlegende Erkenntnisse:<br>Kein zentrales Lüftungssystem bedeutet<br>Höhere Heizkosten im Winter durch wiederkehrend erforderliches Stosslüften<br>Höhere $CO_2$-Konzentration, dadurch<br>können Kopfschmerzen, Benommenheit<br>und verringertes Leistungsvermögen verursacht werden | **LÜFTUNG** |

| | |
|---|---|
| Höhere Unbehaglichkeit durch Stosslüften im Winter und Hitze im Sommer (Zugerscheinungen)<br>-> Leistungsvermögen des Menschen fällt bei Unbehaglichkeit messbar ab. Beispiele dafür sind: Siesta, Hitzefrei, Arbeiten am Morgen/Abend, Klimaanlagen in Fahrzeugen, siehe Tierwelt: die Wüste lebt in der Nacht<br>Höherer Krankenstand, bzw. Ausfall im Winter, Minderleistung bei Erkältung<br>(relative Luftfeuchtigkeit < 35% im Winter, nur geringe Selbstreinigungsfunktion der Schleimhäute im Bronchialsystem und Nasen-Rachenraum -> Viren, Bakterien vermehren sich | |
| **Aus vorstehenden Gründen:**<br>Stand der Technik im Schulgebäude, Raumlufttechnische Anlage zur Förderung der Leistungsfähigkeit der Schüler<br>Anlagenauslegung mit Durchtrittsgeschwindigkeit von 2,5 – 3,0 m/s | Raumlufttechnische Anlage erforderlich, da unkontrolliertes Öffnen der Fenster nicht wünschenswert<br>Anlagenauslegung mit Durchtrittsgeschwindigkeit von 1,5 m/s zur Reduzierung der internen Druckverluste |
| Thermodyn. Luftbehandlungsfunktion:<br>Heizen | Thermodyn. Luftbehandlungsfunktion:<br>Heizen und Kühlen über nur einen Wärmeaustauscher |
| Beheizung erfolgt über zentrale Wärmeerzeugung, Heizkreis Dyn. Heizung | Beheizung:<br>Außenluftvorwärmung über Grundwasser als Wärmequelle<br>Nachheizung über effiziente Wärmerückgewinnung (Rotor) > 85 % WRG<br>Nachheizen über Niedrigsttemperatur-Heizsystem dT= 40/30 °C |
| Wärmerückgewinnung, Standard-Kreuzstromwärmeübertrager mit WRG bis max. 60%, Nachheizen über Dyn. Heizkreis dT= 70/45 °C | |
| Luftführung im Raum<br>Deckendrallauslass oder Schlitzauslass in einfachster Ausführung, Abluftführung über Kanalsystem zum RLT-Gerät / Wärmerückgewinnung. | Luftführung im Raum<br>Quelllüftung zur zugfreien Lufteinbringung<br>Abluft-Überströmung in die Nebenräume, Flure und Atrium über spezielle Überströmelemente<br><br>Höhere Investitionskosten, dafür effektive Beseitigung von Luftverunreinigungen, hoher thermischer Komfort, Zugfreiheit<br><br>Quellluftauslässe sind aufgrund geringer Turbulenz und niedriger Geschwindigkeit nahezu geräuschlos, automatisch hohe Luftqualität in der Aufenthaltszone – Abluftqualität in Deckennähe, gutes Teillastverhalten, eine gewünschte Luftqualität ist im Aufenthaltsbereich energetisch günstig erreichbar, bei Bedarf heizen über kombiniertes Luftheiz-/Kühlregister möglich. |

| | |
|---|---|
| | Quellluftauslässe erzeugen bei einer geringen Ausblasgeschwindigkeit von max. 0,2 m/s einen Kaltluftsee am Boden des Klassenzimmers. Personen, und Maschinen im Raum erwärmen die kalte Luft, dadurch strömt die Luft durch Eigenkonvektion nach oben und versorgt die Personen direkt mit Frischluft (Selbstregeleffekt). Maschinenlasten werden durch diesen Effekt gleichfalls gekühlt.<br><br>Quelllüftung in Kombination mit der freien Kühlung der Betonspeichermassen optimal, da nur die hygienisch erforderliche Luftmenge versorgt werden muss.<br>-> geringer Luftvolumenstrom<br>-> Geringere Energiekosten<br>Gleichmäßige Verteilung der Frischluft im Raum.<br><br>Arbeiten mit WRG, Verringerung des Wärme- und Kälteenergieverbrauchs<br>Keine Probleme mit erhöhten $CO_2$ Werten<br>Geringerer Krankenstand<br>Höhere Leistungsfähigkeit<br>Keine Stosslüftung notwendig -> geringere Heizkosten im Winter<br><br>Höhere Investitionskosten für Lüftungskanäle, größeres Kanalnetz zur Reduzierung der Druckverluste -> geringst möglicher elektrischer Verbrauch der Ventilatoren, um 0,4 W/m³h zu erreichen.<br><br>Investitionskosten für Überströmelemente. -> Geringe Kosten für Abluftkanalnetz, geringer Druckverlust -> geringe Druckerhöhung Abluftventilatoren > elektrischer Verbrauch sinkt<br><br>Abluftventilatoren Atrium; um an Tagen an denen die Wärme- oder der Kälterückgewinnung keinen Ertrag bring, die Abluft direkt über Dach abführen<br><br>Ventilatoren Atrium sind auch zur Nachtauskühlung erforderlich, Unterdruck im Atrium |
| Keine effektive Nachtlüftung mit dem Standardlüftungssystem möglich, da hierfür das gesamte Lüftungssystem in Betrieb sein müsste | Nachtauskühlung / Freie Kühlung<br>Abkühlen der Betonspeichermassen nachts, um tagsüber die entstehenden Wärmeströme aufzunehmen<br>Höhere Investitionskosten für Oberlichter<br>Geringe Betriebskosten |

| | |
|---|---|
| | Schulgebäude muss nicht zusätzlich mechanisch gekühlt werden,<br>Hohe Behaglichkeit<br>Besseres Leistungsvermögen |
| Konventionelle Kühlung in Schulen aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten nicht üblich, bzw. finanzierbar | Passive Kühlung der Lüftung über Grundwasser, wie auch Vorwärmung im Winter<br>Höhere Investitionskosten<br>Geringe Verbrauchskosten<br>Reduzierung der Heizenergie |
| **Lüftung Küche / Mensa**<br>Anlagenauslegung nach VDI 2052 mit 100 %-iger Außenluftversorgung,<br>Ventilatoren außerhalb des Luftstroms.<br>Abluftkanalnetz aus Edelstahl, fettdicht und desinfektionsmittelbeständig. | **Lüftung Küche / Mensa**<br>Anlagenauslegung nach VDI 2052 mit 100 %-iger Außenluftversorgung,<br>Ventilatoren außerhalb des Luftstroms.<br>Abluftkanalnetz aus Edelstahl, fettdicht und desinfektionsmittelbeständig. |
| Abluft über Ablufthauben oder Lüftungsdecke in geschlossener Ausführung<br>Zuluft über Deckendrallauslässe oder Verdrängungsauslässe | Abluft über Lüftungsdecke in geschlossener Ausführung<br>Zuluft über Deckenverdrängungsauslässe zur zugfreien Luftführung |
| Anlagenauslegung mit Durchtrittsgeschwindigkeit von 2,5 – 3,0 m/s | Anlagenauslegung mit Durchtrittsgeschwindigkeit von 1,5 m/s zur Reduzierung der internen Druckverluste |
| Thermodyn. Luftbehandlungsfunktion:<br>Heizen<br>Beheizung erfolgt über zentrale Wärmeerzeugung, Heizkreis Dyn. Heizung | Thermodyn. Luftbehandlungsfunktion:<br>Heizen und Kühlen über nur einen Wärmeaustauscher |
| Keine Wärmerückgewinnung | Zusätzliche Außenluftvorwärmung durch Wrasenwärmerückgewinnung im Ablufttrapezkanal der Lüftungsdecke<br>WRG als sog. „KVR-System“<br><br>Beheizung,<br>Außenluftvorwärmung über Grundwasser als Wärmequelle<br>Nachheizung über effiziente Wärmerückgewinnung PWT > 50 % WRG<br>Nachheizen über Niedrigsttemperatur-Heizsystem dT = 40/30 °C<br>Kühlung über Grundwasser als „passive Kühlung“, gem. VDI 2052 und Arbeitsstätten-Richtlinien max. Arbeitsplatztemperatur 26°C |

| | |
|---|---|
| **REGELUNGSTECHNIK**<br>Digitale, frei programmierbare Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik zur Steuerung und Regelung der einzelnen Heizkreise und RLT-Geräte<br>Nutzerabhängige Zeitprogramme und Anlagenstrategien<br><br><br><br><br>Keine Visualisierung, keine zentrale Leittechnik und keine Aufschaltung anderer Anlagentechnik | **REGELUNGSTECHNIK**<br>Digitale, frei programmierbare Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik zur Steuerung und Regelung der einzelnen Heiz- und Kühlkreise und RLT-Geräte<br>Nutzerabhängige Zeitprogramme und Anlagenstrategien<br>Einzelraumregelung aller Räume<br>Anlagenoptimierungen durch Monitoring<br>Erfassung aller Verbrauchswerte Heizung, Kühlung und Strom<br>Visualisierung aller Anlagen in graphischer Form auf einer Zentralen Leittechnik (GLT/ZLT)<br>Anbindung aller relevanten Betriebs- und Störmeldungen von externen Anlagen,<br>Jalousiesteuerungen<br>Beleuchtungen, etc… |

### 3.3.10 Bewertung der Vorhabensergebnisse unter ökonomischen Gesichtspunkten

Unter ökonomischen Gesichtspunkten muss das Bauvorhaben nicht nur betriebswirtschaftlich, sondern vor allem volkswirtschaftlich bewertet werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen des nachhaltigen Passivhausstandards mit einem Gesamtenergiebedarf von 60 kWh/m²a auf.

## Betriebswirtschaftliche Bewertung

## Bauliche Mehrkosten nachhaltiger Passivhausstandard:

| Nr. | Text | € | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 1. | Innenwände | 22.788,00 | weil tragende Wände anstelle von Mauerwerk in Beton ausgeführt werden, um einen Massenspeicher für die Nachtauskühlung zu erhalten, entstehen Mehrkosten |
| 2. | Abdichtung/Dämmungen | 94.110,60 | Abdichtung unter Bodenplatten, UG Außenwände, Dämmung unter Fundamentplatten und Perimeterdämmung. Erforderlich zur Erreichung des Passivhausstandards sowie zur Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs |
| 3. | Dachdämmung | 93.985,92 | Zusätzliche Dachdämmung zur Erreichung des Passivhausstandards |
| 4. | Fenster | 50.199,75 | Zur Erreichung des Passivhausstandards wurden sämtliche Fensterflächen in Dreifachverglasung ausgeführt |
| 5. | **Fassade Süd** | 63.549,72 | Auch in der Fassade Süd wurde anstelle von Mauerwerk Beton verwendet, um (s. o.) genügend Speichermassen für die Klimaverbesserung (Sommer Nachtabkühlung /Winter Erhaltung der Wärme) zu erzielen |
| | - Lüftungsflügel | 19.600,00 | Außerdem wurden über den Türen jeweils motorisch angesteuerte Oberlichtöffnungen vorgesehen, um über die Nachtauskühlung bei Durchströmen des Gebäudes Kühlung ohne zusätzliche Energie zuzuführen |
| | - Holzverschalung Fassaden | 146.800,00 | Die Mehrkosten ergeben sich aus der Tatsache, dass wir anstelle der Putzfassade einen nachwachsenden Rohstoff, nämlich Holz, verwenden |
| 6. | Gitterkonstruktion Technik | 5.495,00 | Diese Gitterroste wurden anstelle von aufwändigen Kanälen eingesetzt |
| 7. | Trockenbau | 24.380,00 + 10.500,00 | Die beiden Positionen wurden erforderlich, weil aufgrund des vom Technikplaner entwickelten Lüftungssystems Vorwandinstallationen erforderlich wurden |
| 8. | Heizanlagen in Außenanlagen | 17.072,00 | Rohrleitungsanbindung an Bestand<br>Mehrkosten durch Passivhausstandart mit ca. 60-70 kWh/m²a |
| 9. | Installationen Lüftung | 130.414,28 | Luftleitungen inkl. Dämmung, ohne Event und innenliegende Räume<br>Mehrkosten durch Passivhausstandart mit ca. 60-70 kWh/m²a |
| 10. | Zentrale Betriebstechnik Lüftung | 178.464,64 | RLT-Geräte, ohne Event und innenliegende Räume<br>Mehrkosten durch Passivhausstandart mit ca. 60-70 kWh/m²a |
| 11. | Zentrale Betriebstechnik Lüftung | 154.386,01 | Gebäudeautomation = Regelung, wie vor Mehrkosten durch Passivhaus mit ca. 60-70 kWh/m²a |
| 12. | Installationen Wasser | 29.700,00 | Grauwasser = Regenwassernutzung<br>zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |

| Nr. | Text | € | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 13. | Zentrale Betriebstechnik Wasser | 8.650,00 | Grauwasser = Regenwassernutzung<br>zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| 14. | Grauwasseranlagen in Außenanlagen | 22.815,00 | zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| 15. | Installationen Lüftung | 36.753,57 | Luftleitungen inkl. Dämmung/Mehrkosten Kanalnetz durch großzügige Dimensionierung zur Verringerung der Druckverluste/ Elektr. Hilfsenergie<br>zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| 16. | Wasserbauliche Anlagen in Außenanlagen | 26.200,00 | Grauwasserbrunnen<br>zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| 17. | Lüftungsanlagen in Außenanlagen | 13.100,00 | Brunnenleitungen, passive Kühlung<br>zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| 18. | Wärmemengenzähler | 0,00 | erforderlich für Monitoring |
| 19. | Kältemengenzähler passive Kühlung | 0,00 | erforderlich für Monitoring |
| 20. | Automatisation | 0,00 | erforderlich für Monitoring |
| 21. | Winddichte Leitungsdurchführungen Elt | 3.000,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 22. | Erfassung des differenzierten Energieverbrauchs insbesondere für Belüftung | 10.300,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 23. | Zus. Autom. Lichtschaltung in u. a. Flure, WCs | 4.000,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 24. | Tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung in Klassenräumen und Fachräumen | 20.800,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 25. | BUS-Steuerung der Elektroanlage | 19.000,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 26. | Verkabelung der Lamellensteuerung (ohne Steuerung) | 6.500,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 27. | autom. Entrauchungsöffnung für den Aufzugsschacht | 6.500,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 28. | Verwendung von Leuchten mit einem sehr hohen Wirkungsgrad | 12.700,00 | Zur Erzielung des Passivhausstandards |
| 29. | PVC-freie Installationen, Tageslichtabhängige Lichtsteuerung in den Klassenräumen Einsatz in der Ausschreibung von Produkten, die mit dem blauen Engel ausgezeichnet sind (Erläuterung s. vor) | 20.000,00 | Zur Umsetzung der Forderung der Nachhaltigkeit |
| | | | |
| | **Gesamtsumme** | **1.251.764,49 €** | |

**Wirtschaftlichkeitsberechnung nachhaltiger Passivhausstandard**

Zur Darstellung der tatsächlichen Wirtschaftlichkeit sind die Verfasser von angenommenen mittelfristigen Werten ausgegangen. Die Einzelwerte und Daten ergeben sich aus nachfolgender Tabelle.

Die Rentabilität der Investition zur Erreichung des nachhaltigen Passivhausstandards wird auf Basis der Untersuchungsergebnisse sowie aktuell geltenden Energiepreisen dargestellt. Da sich die Energiepreisentwicklung nicht vorhersagen lässt, wird eine Szenariobetrachtung angestellt und die statische und die dynamische Amortisation unter den jeweiligen Szenarios berechnet. Das Zinsniveau (5%) wird dabei nicht variiert.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stellt sich somit wie folgt dar:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mehrinvestitionskosten Passivhausstandard** | | | | | **1.252.000 €** | |
| | | | | | | |
| **Mögliche Wärmeenergiekosteneinsparung** | | | | | **449.275** | kWh |
| | | | | | | |
| Einsparung Verbrauch p.a.: | | | | | | |
| Szenario 1: | Energiepreis bei | 8 | Ct./kwh | | 35.942 € | p.a. |
| Szenario 2: | Energiepreis bei | 10 | Ct./kwh | | 44.928 € | p.a. |
| Szenario 3: | Energiepreis bei | 12 | Ct./kwh | | 53.913 € | p.a. |
| | | | | | | |
| **Mögliche Stromkosteneinsparung** | | | | | **127.931** | kWh |
| | | | | | | |
| Einsparung Verbrauch p.a.: | | | | | | |
| Szenario 1: | Strompreis bei | 24 | Ct./kwh | | 30.703 € | p.a. |
| Szenario 2: | Strompreis bei | 28 | Ct./kwh | | 35.821 € | p.a. |
| Szenario 3: | Strompreis bei | 32 | Ct./kwh | | 40.938 € | p.a. |
| | | | | | | |
| **Einsparung gesamt** (Wärme und Strom) | | | | | | |
| | | | | | | |
| Szenario 1: | Energiepreis bei | 8/24 | Ct./kwh | | 66.645 € | p.a. |
| Szenario 2: | Energiepreis bei | 10/28 | Ct./kwh | | 80.748 € | p.a. |
| Szenario 3: | Energiepreis bei | 12/32 | Ct./kwh | | 94.851 € | p.a. |
| | | | | | | |
| **Statische Amortisation** | | | | | | |
| | | | | | | |
| Szenario 1: | Energiepreis bei | 8/24 | Ct./kwh | | 18,8 | Jahre |
| Szenario 2: | Energiepreis bei | 10/28 | Ct./kwh | | 15,5 | Jahre |
| Szenario 3: | Energiepreis bei | 12/32 | Ct./kwh | | 13,2 | Jahre |
| | | | | | | |
| **Dynamische Amortisation** | | | | | | |
| | | | | | | |
| Szenario 1: | Energiepreis bei | 8/24 | Ct./kwh | | 48,4 | Jahre |
| Szenario 2: | Energiepreis bei | 10/28 | Ct./kwh | | 28,4 | Jahre |
| Szenario 3: | Energiepreis bei | 12/32 | Ct./kwh | | 21,0 | Jahre |
| | | | | | | |

Betrachtet man die allgemeinen Entwicklungstendenzen auf dem Energiemarkt und die Vorhersagen vieler Experten, so ist die Annahme von Szenario 2 durchaus realistisch. D.h. es ist davon auszugehen, dass sich die erforderlichen Mehrinvestitionen in einem Zeitraum von ca. 25 bis 30 Jahren amortisieren werden. Unter der Berücksichtigung des Lebenszyklus eines Gebäudes, der in jedem Fall einen Zeitraum von ca. 30 bis 40 Jahren umfasst, kann auch aus wirtschaftlicher Sicht eine positive Bilanz gezogen werden.
Die Wirtschaftlichkeit wird sich außerdem noch nach der noch zu ermittelnden Ökobilanz verbessern.

**Wirtschaftlichkeitsberechnung Zisternen / Regenwasserertrag**

**Regenwasserertrag:**

| | | |
|---|---|---|
| Jahresniederschlag | 1000 | mm / m² |
| Angeschlossene Dachfläche | 2623 | m² |
| Dachabflussbeiwert | 60 | % |
| Wirkungsgrad Filter | 90 | % |

**Regenwasserbedarf**

| | | |
|---|---|---|
| Personenzahl | 750 | |
| Gartenbewässerung | 350 | m² |
| Toilettenspülung | 8 | l pro Tag |
| Speicher-Reserven | 7 | Tage |

**Ergebnisse:**

| | | |
|---|---|---|
| Regenwasserertrag | 1312 | m³ / Jahr |
| Regenwasserbedarf | 2211 | m³ / Jahr |
| Deckungsgrad | 59,3 | % |
| Empfohlene Speichergröße | 27,3 | m³ |

| **Amortisationsrechnung:** | **netto** | **brutto** | |
|---|---|---|---|
| Anlagenkosten | 31465 | 61000 | € |
| Trinkwasser | | 1,38 | € / m³ |
| Abwasser | | 1,5 | € / m³ |
| Ersparnis | | 3777 | € |
| **Amortisation** | | **16,2** | **Jahre** |

**National-ökonomische Bewertung der Ergebnisse:**

Wesentlich wichtiger als die einzelwirtschaftlichen Ergebnisse sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Untersuchungen. In einer Zeit, die sehr stark durch die Energiediskussion geprägt ist, werden folgende Nachweise von erheblichem Interesse sein:

- Verzicht auf fossile Brennstoffe ohne wirtschaftliche Nachteile
- Die wirtschaftlichen Ergebnisse werden auch den Bayerischen Gesetz- und Zuschussgeber mittelfristig dazu bewegen, seine Zuschussrichtlinien zu ändern.
- Das Beispiel Fach- und Berufsoberschule in Erding wird durch entsprechende Verbreitungsmaßnahmen „Schule“ machen und Nachahmer finden.
- Nur durch die vielfache Anwendung und Weiterentwicklung von Passivhaus- und Nachhaltigkeitskriterien werden weitere Kostensenkungen erzielt werden.
- Die Wirtschaft wird sich unter dem Gesichtspunkt großer nachhaltiger Passivhausprojekte auf diese Bauweise einstimmen. Die Zahl der Anbieter wird steigen und damit die Baukosten und auch die passivhausbedingten Mehrkosten sinken.
- Für die Bayerische Volkswirtschaft ist auch wichtig, dass sich die Erkenntnisse über ein optimiertes Vergabeverfahren von Passivhaus- und Nachhaltigkeitsprojekten ebenfalls im Interesse der Kostensenkung durchsetzen.
- Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

### 3.3.11 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Der Endbericht und auch die Auswertung im Betrieb der Anlage werden von unterschiedlichen Medien (Fachzeitungen, Internetportale etc.) publiziert.

Außerdem wird auf der Homepage der Landkreise Ebersberg und Erding ein eigener Link mit der Zusammenfassung der Planung und Realisierungsschritte sowie den laufenden Auswertungsberichten erstellt, welcher für die Öffentlichkeit frei zugänglich ist. Um gerade in der Baubranche die Ergebnisse rasch zu verbreiten, werden die bisher gewonnenen Ergebnisse, sobald sie abgeschlossen sind, in Fachzeitschriften, insbesondere im Bau-, aber auch im Architekten- und Ingenieurbereich dargestellt.

Ein zusätzliches eindeutiges weiteres Projektziel besteht darin, mit den beschriebenen Maßnahmen die derzeitigen Missstände im Bestand und die dafür geltenden und veralteten Bayerischen Schulbaurichtlinien aufzuzeigen und die zuständigen Behörden (Bayer. Oberste Baubehörde, Finanzministerium sowie Kultusministerium) von den Erkenntnissen aus der Entwicklung und dem Bau nachhaltiger kommunaler Passivhausprojekte zu überzeugen. Mit der Bayer. Obersten Baubehörde ist bereits eine Abschlusskonferenz nach Abwicklung der ersten Projektphase mit allen beteiligten Behörden vereinbart.

Anhand von Daten, Berechnungen und Messungen sollen die sehr veralteten Richtlinien unter Berücksichtigung der nachstehenden wesentlichen Punkte dargestellt werden:

- Lifecyclekosten im Lebensdauerbetrachtungszyklus des Gesamtgebäudes
- Hygienische Anforderungen in den Lehrräumen mit hoher Personendichte
- Verbesserung des Lernumfeldes der nächsten Generation
- Leistungssteigerung der Lernenden durch ein geeignetes Lernumfeld
- Verminderung der Schadstoffemission, die zum Teil gesundheitsgefährdend sind
- Die zukünftigen Nutzer des geplanten Bauvorhabens sollen nicht nur in die Planung, sondern auch in die Realisierungsphase mit einbezogen werden.
- Schließlich ist vorgesehen, in einer sogenannten Abschlusskonferenz zur Planung mit den Projektbeteiligten (ip5, kplan® AG) die gewonnenen Ergebnisse vorzustellen und über die Maßnahmen in der Bauphase zu informieren.
- Für die Öffentlichkeit sollen wesentliche Erkenntnisse aus der Messdatenerfassung auf einer Homepage visualisiert werden, um die Erkenntnisse (laufende Auswertungsberichte) für „Jedermann“ darstellen zu können.

## 3.4 Monitoring-Konzept

Mittels eines detaillierten wissenschaftlichen Messprogramms (Monitoring) wird in den sich anschließenden Projektphasen die Möglichkeit der zielgerichteten energetischen Optimierung des Betriebs und der Verifikation der Primärenergiebedarfs-Prognosen eröffnet. Es ist geplant, die Ergebnisse dieses Monitorings über eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit (Publikationen, Vorträge, Führungen; evtl. öffentlich zugänglicher Bereich der Monitoring-Plattform) zu kommunizieren, damit möglichst breite Kreise, insbesondere auch interessierte Fachleute, von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren können. Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl der zu erfassenden Größen.

| Nr. | Messstelle | Physikalische Einheit | Messeinheit | Mindestintervall für Datenerfassung, min. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Wärmemenge gesamt (Übergabe Fernwärme, vor Wärmetauscher) | kWh | WMZ | 5 |
| 2 | Wärmemenge Flächenheizung Nord | kWh | WMZ | 5 |
| 3 | Wärmemenge Flächenheizung Süd | kWh | WMZ | 5 |
| 4 | Wärmemenge FBH | kWh | WMZ | 5 |
| 5 | Wärmemenge Heizregister RLT Nord+RLT Süd | kWh | WMZ | 5 |
| 6 | Wärmemenge Heizregister RLT Event + RLT Küche | kWh | WMZ | 5 |
| 7 | Kältemenge Brunnen, vor WT | kWh | WMZ | 5 |
| 8 | Kältemenge Serverraumkühlung | kWh | WMZ | 5 |
| 9 | Kältemenge Kühlregister RLT Nord+RLT Süd | kWh | WMZ | 5 |
| 10 | Kältemenge Kühlregister RLT Event + RLT Küche | kWh | WMZ | 5 |
| 11 | Stromverbrauch Kunstlicht HNF (ggf. exemplarisch) | kWh | EZ | 5 |
| 12 | Stromverbrauch Kunstlicht Erschließung (ggf. exemplarisch) | kWh | EZ | 5 |
| 13 | Stromverbrauch RLT Nord | kWh | EZ | 5 |
| 14 | Stromverbrauch RLT Süd | kWh | EZ | 5 |
| 15 | Stromverbrauch RLT Küche | kWh | EZ | 5 |
| 16 | Stromverbrauch RLT Event | kWh | EZ | 5 |
| 17 | Stromverbrauch Nachtlüftung | kWh | EZ | 5 |
| 18 | Stromverbrauch Heizungspumpen | kWh | EZ | 5 |
| 19 | Stromverbrauch Pumpen Kühlung | kWh | EZ | 5 |
| 20 | Stromverbrauch Hilfsenergien (Schaltschränke, LON-Komponenten, Aufzüge ...) | kWh | EZ | 5 |
| 21 | Raumlufttemperatur Klassenzimmer Süd 1 | °C | PT100 | 5 |
| 22 | Raumlufttemperatur Klassenzimmer Süd 2 | °C | PT100 | 5 |
| 23 | Raumlufttemperatur Klassenzimmer Nord 1 | °C | PT100 | 5 |
| 24 | Raumlufttemperatur Klassenzimmer Nord 2 | °C | PT100 | 5 |
| 25 | CO2-Konzentration Abluft | ppm | CO2-Sensor | 5 |
| 26 | Raumlufttemperatur Atrium, Schicht 1 | °C | PT100 | 5 |
| 27 | Raumlufttemperatur Atrium, Schicht 2 | °C | PT100 | 5 |
| 28 | Raumlufttemperatur Atrium, Schicht 3 | °C | PT100 | 5 |
| 29 | Außenlufttemperatur | °C | PT100 | 5 |
| 30 | Relative Außenluftfeuchte | % | PT100 | 5 |
| 31 | Windgeschwindigkeit | m/s | Anemometer | 5 |
| 32 | Windrichtung | ° | Windfahne | 5 |
| 33 | Einstrahlung Süd | W/m² | Solarimeter | 5 |
| 34 | Einstrahlung Ost | W/m² | Solarimeter | 5 |
| 35 | Einstrahlung Nord | W/m² | Solarimeter | 5 |
| 36 | Einstrahlung West | W/m² | Solarimeter | 5 |
| 37 | Einstrahlung global horizontal | W/m² | Solarimeter | 5 |

Tabelle 13 Messwertliste zum Monitoring-Konzept (Vorversion)

Wichtige Fragestellungen bezüglich des Haustechnik-Konzepts lauten beispielsweise:

- Verifikation der Primärenergieprognosen, insbesondere: Stromverbrauch Lüftungsanlagen und Beleuchtung; Stromverbrauch Abluftventilatoren Nachtauskühlung; Stromverbrauch Pumpe Grundwasserkühlung
- Wirksamkeit der Nachtauskühlung für den sommerlichen thermischen Komfort
- Thermischer Komfort unter dem Einfluss des Quellluft-Prinzips; maximal zulässige Untertemperatur der Zuluft.
- Lüftungseffektivität der Quelllüftung
- Korrekte Umsetzung und Bewährung von Regelungsstrategien
- Luftqualität in den Klassenzimmern
- Möglichkeit der weiteren Reduktion des Zuluftvolumenstroms wegen der hohen Lüftungseffektivität der Quelllüftung

Nicht alle Fragestellungen sind mit darstellbarem Aufwand durch kontinuierliche Messungen zu beantworten. Durch den Einsatz der so genannten „fliegenden Messtechnik“ können bspw. die folgenden Datenpunkte zusätzlich aufgenommen werden:

- zusätzliche Temperaturprofile
- Oberflächentemperaturen, insbesondere in Räumen mit Nachtauskühlung
- Aussagen zum thermischen Komfort
- Strömungsgeschwindigkeiten an Luftauslässen
- Tages- und Kunstlichtversorgung (z. B. Beleuchtungsstärke)

Der thermische und elektrische Energieverbrauch des Gebäudes, die Einzelkomponenten Heizungsanlage, Lüftungsanlage, Klima- und lichttechnische Anlagen sowie das Zusammenwirken dieser Komponenten stehen im Fokus der Messungen. Dazu müssen Sensoren und Zähler in größerem Umfang eingesetzt werden, die je nach nötigem Erfassungsintervall schon pro Tag mehrere Tausend und im gesamten Erfassungszeitraum mehrere Millionen einzelner Informationen liefern werden. Um die Datenqualität über einen längeren Zeitraum sicherzustellen und das große Datenvolumen noch leicht auswerten zu können, müssen Strategien für die Datenhaltung, -übertragung, -verarbeitung und schließlich für die Auswertung und Visualisierung eingesetzt werden.

Die Messwerterfassung im Gebäude sollte idealerweise durch die Ertüchtigung von sowieso für den Betrieb der Anlagen zu errichtender Gebäudeleittechnik bzgl. Messgenauigkeiten, Aufzeichnungsintervallen und Datentransferraten und die punktuelle Installation zusätzlicher Datenpunkte erfolgen. Die so an zentraler Stelle auflaufenden Daten werden dann bspw. über einen OPC-Server auf Betreiberseite und einen OPC-Client auf seiten des Monitoring-Teams auf einen Standard PC mit Linux-Betriebssystem in eine MySQL Datenbank übernommen und dabei geprüft, für die Onlineauswertungen aufbereitet und archiviert. Die Weiterverarbeitung der Daten erfolgt datenbankbasiert mit grafischer Darstellungsmöglichkeit über einen Web-Server. Eine Online-Visualisierung garantiert die durchgängige Präsentation der Messdaten und bietet die Möglichkeit zu schnellen Kontrollen durch die Projektbeteiligten, aber auch in dieser Phase schon durch den Betreiber der Anlage.

Die Erfahrung aus vielen Monitoring-Projekten lehrt, dass selbst die anspruchsvollsten Gebäude- und Technikkonzepte durch ungenügende Realisation, fehlerbehaftete Komponenten oder schlicht durch nachlässige Inbetriebnahme teilweise deutlich höhere Verbräuche aufweisen als ursprünglich prognostiziert. Es ist immer eine große Chance, ein Projekt in den ersten zwei Jahren nach der Inbetriebnahme zu begleiten, die Hemmnisse und Unzulänglichkeiten mittels der im Vergleich zu einem „normalen“ Gebäude höherwertigen und höherauflösenden Messtechnik zu identifizieren, die Missstände zu beheben und das Gebäude so dauerhaft gut „einzustellen“ und über viele Jahre mit dem anvisierten Energiebedarf zu betreiben. Die oben genannten Erkenntnisse dürfen auf keinen Fall als „Herrschaftswissen“ im Planungsteam oder gar nur an der begleitenden Institution verbleiben, sondern müssen durch Publikationen und Vorträgen einer breiteren Öffentlichkeit und Fachkreisen zugänglich gemacht werden. Dabei gilt es im Besonderen die Fehlerquellen und die Ursachen von Störungen zu benennen, da nur so Fehler in anderen Projekten vermieden werden können. Messkampagnen dieser Art sind im weitesten Sinne als sehr langfristig angelegte Qualitätssicherungsmaßnahmen zu sehen. Die Erfahrungen aus den Projekten EnSan und Solarbau:Monitor, die heute beide im Programm EnOB [Voss2005] der PTJ aufgegangen sind, zeigen deutlich den Erfolg der Begleitforschung. Durch das Engagement eines kommunalen Bauherren wird mit Sicherheit eine große Öffentlichkeit erreicht und das Projekt mit allen Stärken und Schwächen als Multiplikator zu verwenden sein.

## 3.5 Berechnungen zur Lebenszyklusanalyse (LEGEP)

### 3.5.1 Veranlassung

Für einen umfassenden Nachhaltigkeitsnachweis der geplanten Berufsoberschule in Erding sollen neben dem Energieeffizienznachweis nach PHPP der gesamte verursachte Stoffstrom und dessen Umweltbelastung für eine bestimmte Lebensdauer des Gebäudes berechnet werden.
Für diesen Nachweis ist es notwendig, eine Lebenszyklusanalyse (LCA) durchzuführen, um mittels der ökologischen Tiefenbewertung den Grad der Umweltinanspruchnahme zu ermitteln. Dazu wird die Software und Datenbank „LEGEP“ eingesetzt. Durch die integrale Arbeitsweise des Programms ist es möglich, eine Überprüfung und Validierung der Berechnungsergebnisse durch einen Vergleich mit den Arbeiten und Gutachten anderer Projektanten im Bereich Herstellungskosten und Energiebedarf durchzuführen.

### 3.5.2 Ausgangslage

Der vorliegende Bericht wurde zu einem Zeitpunkt erstellt, da sich das Projekt in der Ausschreibungsphase befindet, aber noch nicht alle Details festgelegt sind. Auf dieser Informationsbasis wurde in Legep eine Gliederungsstruktur für die Eingabe erstellt. Auf Basis der vorgelegten Dokumente wurde eine Elementliste erstellt und die Elementmengen erfasst (siehe Anhang). Für einzelne Bauteile, die seitens des AG noch nicht ausreichend spezifiziert worden sind, wurden Ersatzannahmen getroffen, die aber keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.
Die Abbildungen 92 bis 95 zeigen die geplante Berufsoberschule Erding.

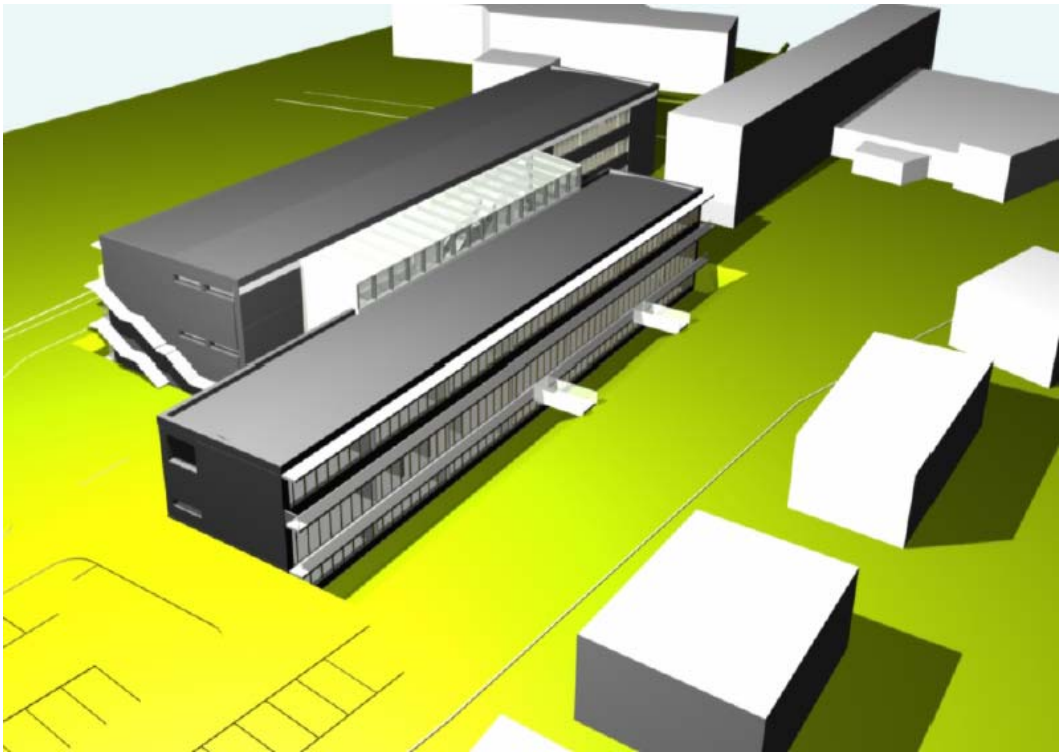


Abb. 92 Lageplan des Gebäudes

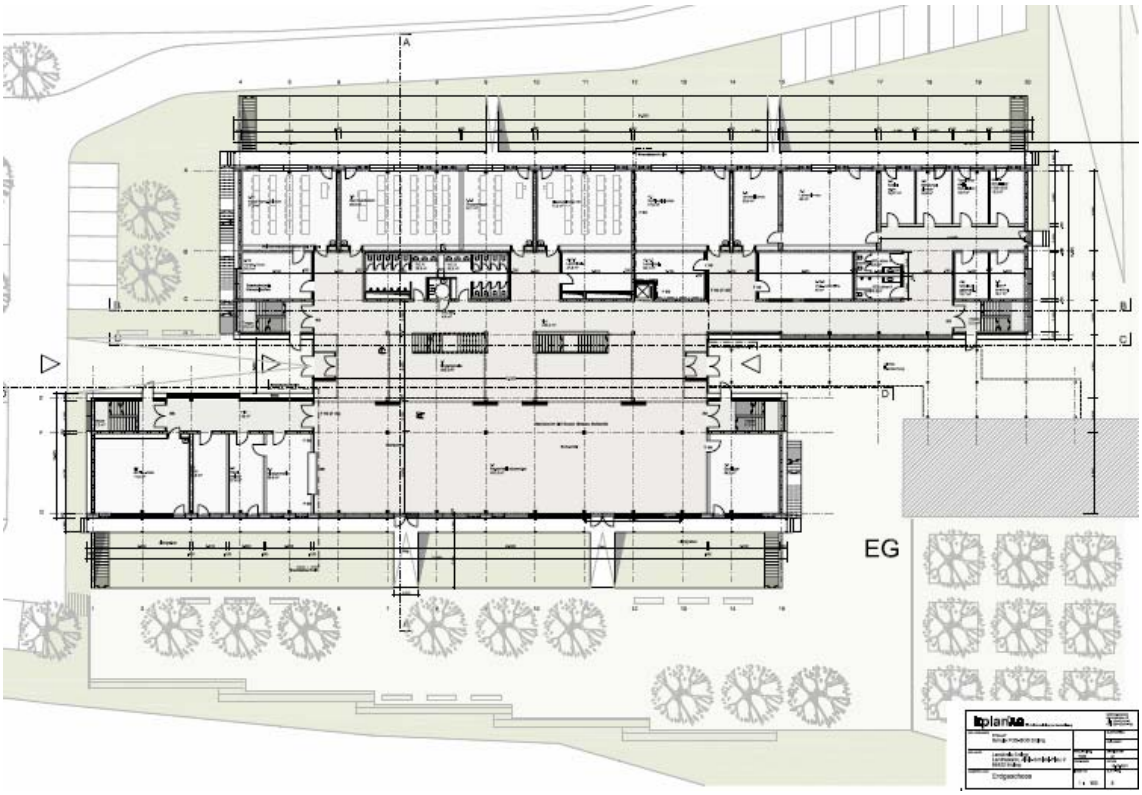



Abb. 93 Grundriss des Gebäudes, EG

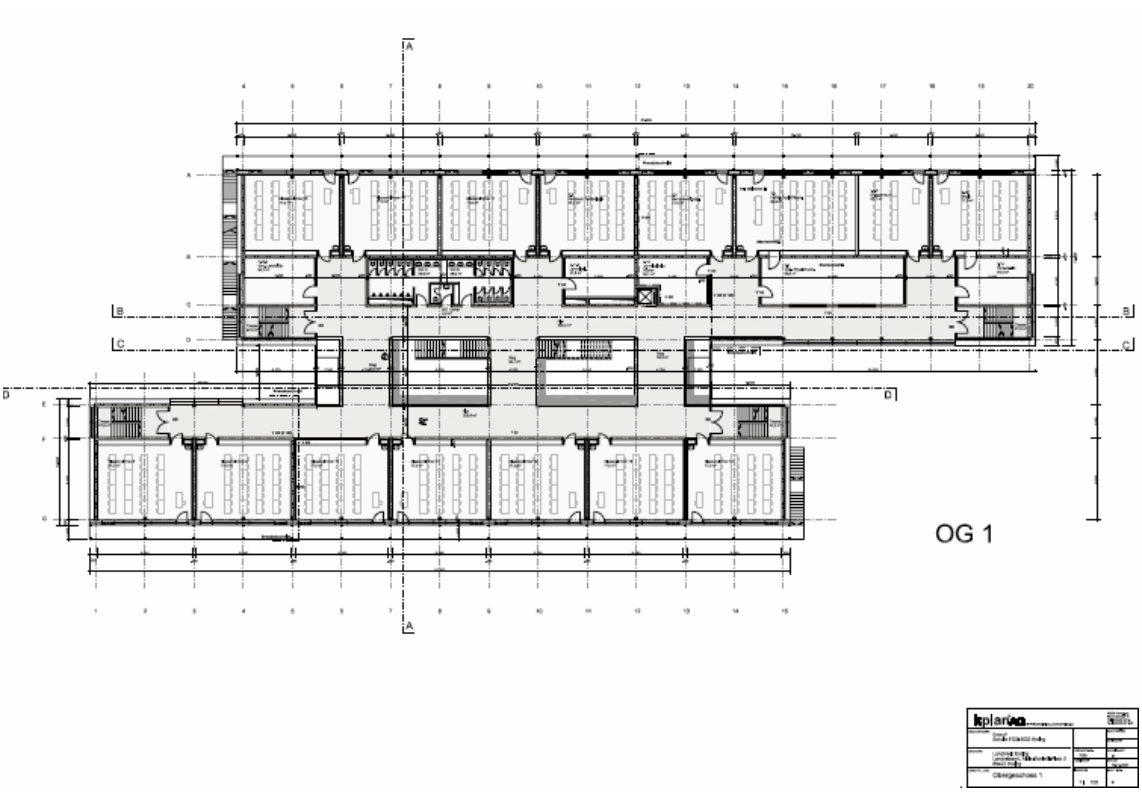



Abb. 94 Grundriss des Gebäudes OG

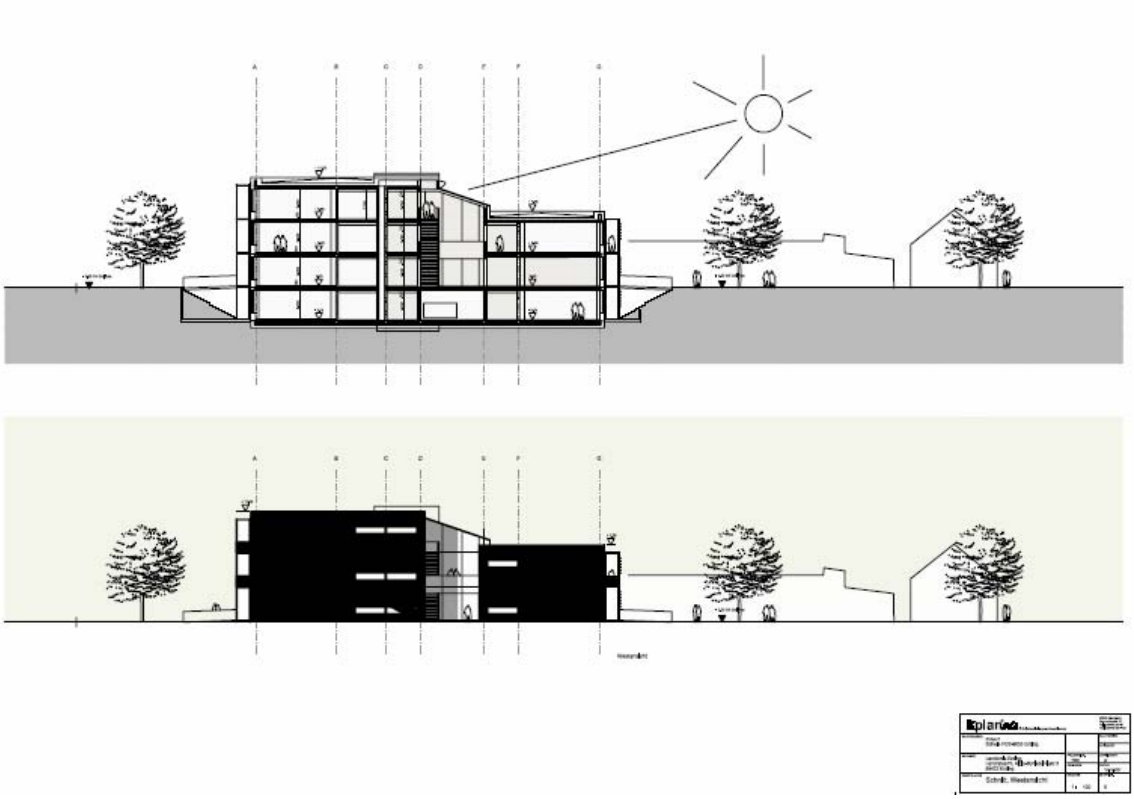


Abb. 95 Schnitt des Gebäudes

Bei der Flächenermittlung wurden bereits die Hüllflächen miterfasst und den spezifischen Hüllflächentypen und Orientierungen zugeordnet. Auf Basis der zu Verfügung gestellten Daten wurde das Gebäude nach der derzeitig dokumentierten Planlage, Stand August 2008, in LEGEP eingegeben**.**

Da der Autor dieser Arbeit nicht am komplexen Entwurfsprozess des Gebäudes beteiligt war, musste er sich im Wesentlichen durch die Pläne, die Bauantragsdokumente und die Dokumente der Fachplaner in die Ziele des Projektes und die verfolgten Absichten der Planung einarbeiten. Die Informationen wurden durch den Auftraggeber, bzw. die beauftragten Fachplaner zu Verfügung gestellt.

Die Gliederungsstruktur für die Projekteingabe wird in Abb. 96 dargestellt. Es wurde zur besseren Differenzierung der einzelnen Gebäudeteile sowohl eine Gliederung der Baukörper, als auch der Geschossebenen gewählt:

- Nordriegel
- Südriegel
- Atrium
- Geschosse unter Niveau
- Geschosse über Niveau
- Erdgeschoss
- Erstes Obergeschoss
- Zweites Obergeschoss

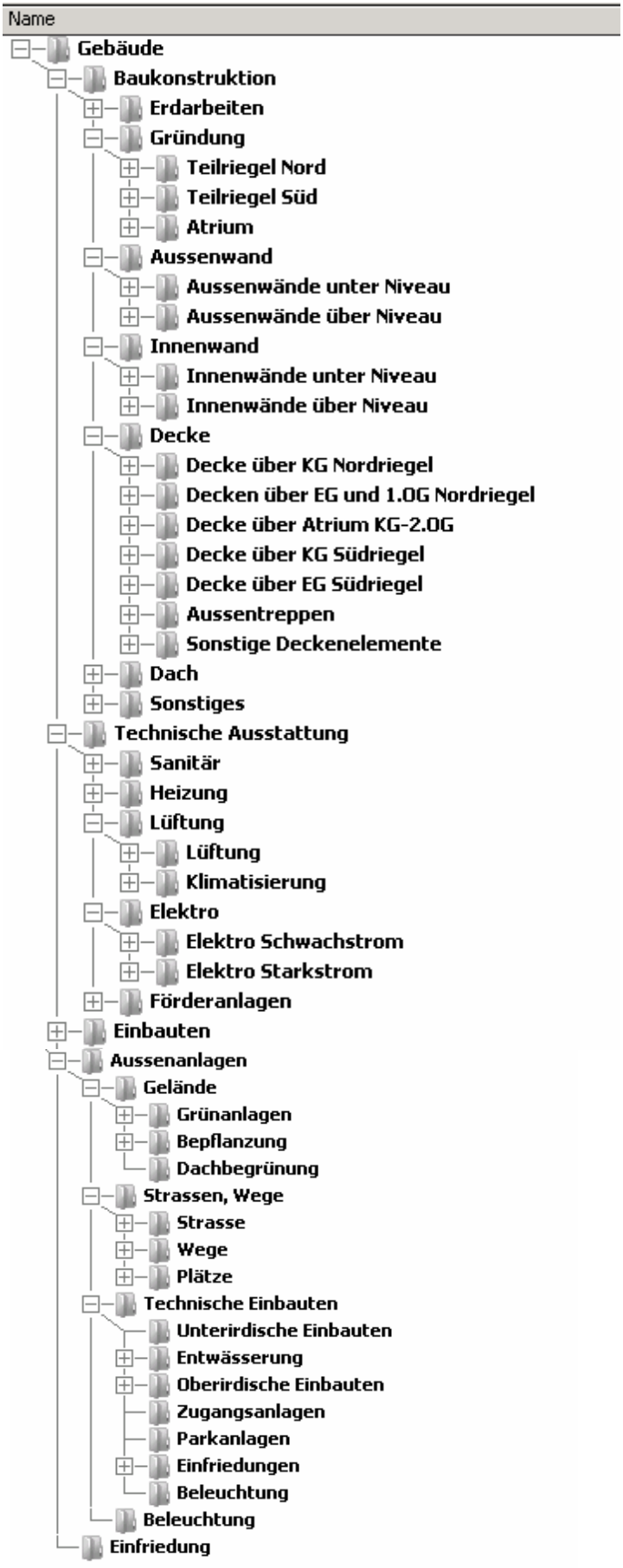



Abb. 96 Gliederungsstruktur des Projektes FOS/BOS-ERDING

### 3.5.3 Aufgabenstellung

Der integrale Ansatz der LEGEP-Software auf Basis der Elementmethode erlaubt mit einem gegenüber einer üblichen computergestützten Kostenermittlung geringem Mehraufwand eine komplexe Beschreibung und Beurteilung aller vorgesehenen Planungen.
Nach der Eingabe eines Projektes mit Elementen stehen Informationen zu den Herstellungskosten, den Nutzungskosten, dem wärmetechnischen Verhalten, den Kosten der Ver- und Entsorgung, den Energie- und Stoffströmen und der Ressourceninanspruchnahme, sowie der resultierenden Umweltbelastung eines Gebäudes zu Verfügung. Mit der zusammenfassenden Darstellung und Auswertung der Ergebnisse nähert sich der Bericht einer Beurteilung der Integrated Building Performance, wie sie derzeit Gegenstand der internationalen Normung ist.

Mit der Anwendung von LEGEP werden mehrere Absichten verfolgt:
- Das geplante Gebäude wird einer vollständigen Analyse bezüglich der Aspekte Kosten, Energie und Ökologie unterzogen.
- Die Plausibilitätsprüfung der Auswertung erlaubt in den Programmen „Kosten“ und „Energie“ eine Kontrolle der korrekten Eingabe des Gebäudes mit seinen Elementen und Massen. Dies ist notwendig, da für die Prüfung der Ergebnisse des Ökoprogramms bis heute nur wenige Vergleichswerte oder Kennwerte vorliegen, die eine Falscheingabe erkennbar machen. Dies ist auch der Mangel anderer Ökobilanzprogramme, deren Ergebnisse nur schwerlich einem „critical review“ unterzogen werden können.
- Der Vergleich mit den Berechnungen anderer Projektanten, soweit diese ähnliche Gebäudebezüge und Eingabequalität haben, dient dazu, die Belastbarkeit der Ergebnisse der LEGEP-Datenbank und der angewendeten Rechenverfahren zu überprüfen.

### 3.5.4 Integrale Planungsmethodik

Digitale Datenverarbeitung hat sich heute in weiten Bereichen des täglichen Lebens und der Wirtschaft durchgesetzt. Schreibprogramme, Tabellenkalkulationsprogramme, Datenbanken für die Informationsverwaltung sowie Kommunikation mit E-mail sind alltäglich geworden.
Der Einsatz von Software-Programmen im Bauwesen konzentriert sich im Wesentlichen auf vier Bereiche:
- CAD für Zeichnungen,
- AVA für die Ausschreibung,
- Berechnungsprogramme für den Energiebedarf,
- Information mit digitalen Dokumenten (Format rtf, doc, pdf).

Im Gegensatz zu anderen Branchen (Maschinenbau) ist der notwendige Datenaustausch zwischen diesen Programmen auch nach 20-jähriger Entwicklungsarbeit nur in bescheidenem Umfang realisiert. Zusätzlich wird der Informationsbedarf des Auftraggebers durch Forderung nach langfristiger Budgetierung einer Immobilie immer größer. Mit dem Informationsbedarf steigt auch der Zeitaufwand zur Bereitstellung dieser Informationen bei den Betroffenen. Dies führt einerseits zu einem erheblichen Mehraufwand in der Datenerfassung bei allen Beteiligten des Bauprozesses, und andrerseits zu einem Anstieg der Fehlerquote durch inkonsistente Daten.

#### 3.5.4.1 Grundlage der Berechnung

Bei der Anwendung von Bilanzierungswerkzeugen zur Gebäudebewertung (Kosten z.B. BKI, Energiebedarf z.B. Dämmwerk, Nutzungskosten z.B. RIB-FM, Umweltbelastung z.B. Umberto) wird deutlich, dass nur im Bereich der Herstellungskosten und des Energiebedarfs die Berechnungen empirisch überprüft (gemessen) werden können. Zur Beurteilung der Gesamtheit der Berechnungsergebnisse können die Planer den Entscheidungsträgern Ziel-

und Grenzwerte für die Alternativenbewertung anbieten, z.B. Kostenkennwerte und Energiekennzahlen. Diese Vorgaben setzen der Planung genau definierte Grenzen und ermöglichen es den Auftraggebern das Einhalten ihrer Vorgaben auch während des Planungsprozesses zu überprüfen und evtl. mit existierenden Gebäuden zu vergleichen („Benchmarking“). Dieser Ansatz wird auf die Umweltleistung von Gebäuden erweitert.
Die Anwendung von integralen Werkzeugen erleichtert die Systematisierung der Qualitäten in den empirisch vertrauten Sektoren (Kosten und Energiebedarf) und erlaubt eine Überprüfung der ökologischen Berechnungsergebnisse auf signifikante Unterschiede. Dieser Arbeitsansatz vermeidet die Schwächen monofunktionaler Studien, die ihre Ergebnisse nur schwerlich Plausibilitätsprüfungen unterziehen können. Zusätzlich wird eine hohe Datenkongruenz beim Einsatz von vier Rechenprogrammen sichergestellt.

Mit der Software und Datenbank LEGEP werden folgende Berechnungen durchgeführt:
- die Mengenermittlung (Bauteilkatalog)
- die Baukostenberechnung (DIN 276 Erstellungskosten)
- die Lebenszykluskostenberechnung (Herstellungs- und Nutzungskosten nach DIN 276, DIN 18960 und Final Report EU-TG4 LCC in Construction) differenziert nach Phasen (Reinigung, Wartung, Instandsetzung, Rückbau)
- den direkten Energiebedarf (Heizung, Warmwasser, Elektrizität) und die Betriebskosten
- die Erstellung des Energiebedarfsausweises (EnEV 2001, EN 832 und DIN 18599)
- die Umweltbilanzierung (Stoffflüsse und effektorientierte Bewertung basierend auf ISO 14040-43).

Damit werden wesentliche Informationen geliefert, die für die Nachhaltigkeitsbewertung eines Gebäudes benötigt werden. In der folgenden Abbildung werden die Themen des Nachhaltigkeitsdreieck dargestellt. Über diese Themen sind Nachweise bezüglich des konkreten Gebäudes, beschrieben als funktionelle Einheit, zu erbringen. Die seitens des Planers üblicherweise gelieferten Daten sind blau umrandet. Die Erfüllung dieser Aufgaben ist entweder Bestandteil der HOAI z.B. Kostenplanung nach DIN 276 oder eine gesetzliche Anforderung z.B. der Energiebedarfsausweis nach EnEV. Zusätzliche Anforderungen sind rot umrandet, z. B. die Lebenszyklusanalyse (LCA) oder die Lebenszykluskosten (LCC).

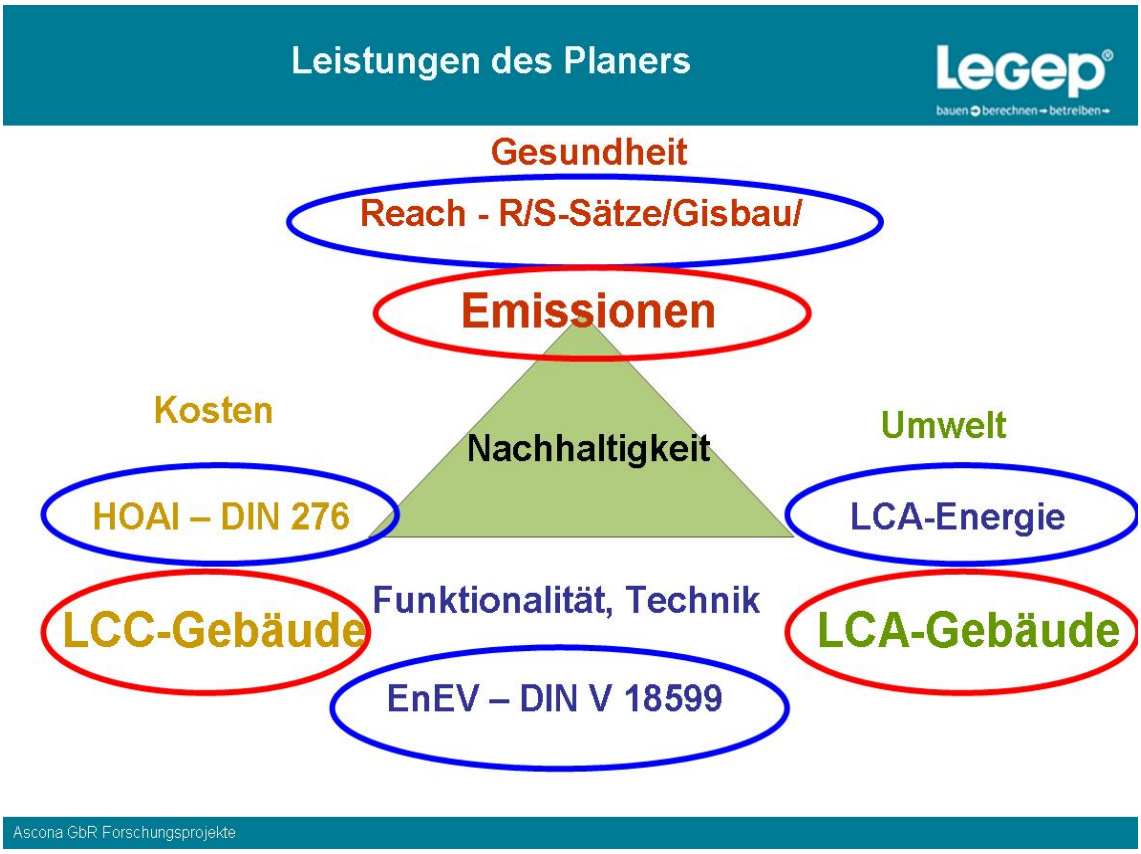



Abb. 97 Nachhaltigkeitsdreieck

Ziel der weiteren Bearbeitungsschritte ist es, das Gebäude in seinen wesentlichen Teilen für den gesamten Lebenszyklus von beliebiger Dauer zu beschreiben und zu berechnen. Die Bearbeitung soll folgende Inhalte umfassen:

- Beschreibung des Gebäudes in seinen Bestandteilen
- Kosten für die Errichtung
- Bedarf für den Gebäudebetrieb für alle Medien (Energie für Heizung und WW, elektrischer Strom, Wasser)
- Kosten für das Gebäudemanagement in der Nutzungsphase mit Informationen über Betrieb, Reinigung, Wartung, Instandsetzung, Rückbau
- Belastungen für die Umwelt durch Errichtung, Nutzung und Beseitigung.

### 3.5.4.2 Arbeitsansatz in LEGEP

Voraussetzung für die Ermittlung und Erstellung von lebenszyklusbezogenen Objektwerten und einem Vergleich mit anderen Objektwerten ist eine ausreichende Anzahl vollständig erfasster Gebäude. Durch die Erfassung aller Bauteile analog der Methodik der DIN 276 zur Kostenplanung von Gebäuden und der DIN 18960 zur Erfassung der Kosten der Nutzungsphase werden nach Eingabe und Berechnung bzw. Dokumentation die Voraussetzungen für die Einstufung des Gebäudes nach Orientierungswerten geschaffen.

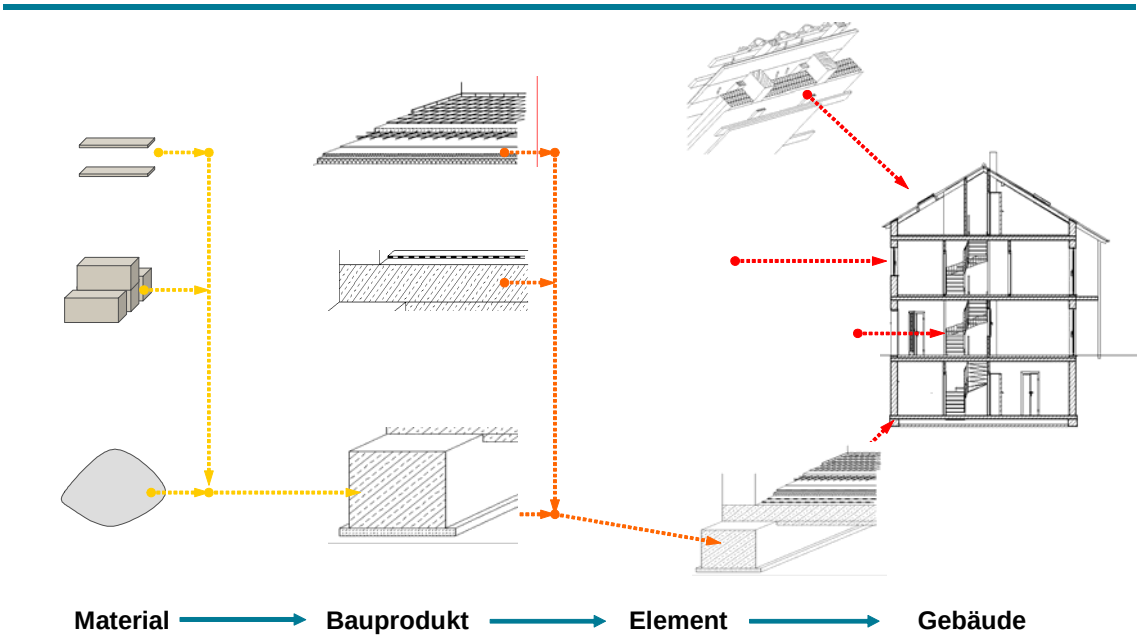



Abb. 98 Aufbau des Gebäudes aus Elementen, Positionen, Materialien

Zur Thematik Kennwerte liegt für die Bereiche Kosten und Energie umfangreiche Literatur vor, im Bereich Orientierungs-, Grenz- und Zielwerte für die Umweltbelastung ergab eine Auswertung der Bauforschungsdatenbanken nur wenige, sektorspezifische Arbeiten.
Für die vorliegende Arbeit ergibt sich methodisch eine Orientierung an der Kostenermittlung für Gebäude (DIN 276). Diese wird innerhalb der Datenbank bis auf die Ebene der Leistungspositionen und die darin verwendeten Materialien weiter aufgelöst. Damit ist ein sehr hohes Maß an Erfassungsgenauigkeit gegeben. Dieses ist notwendig, um mit evtl. Reduzierungen den Grad der möglichen zulässigen Abweichung in der Erfassungsgenauigkeit bestimmen zu können.

### 3.5.4.3 Aufbau der Datenbank

Voraussetzung für die Bereitstellung dieser Informationen mit einem vertretbaren Arbeitsaufwand ist die Zusammenstellung aller notwendigen Bestandteile innerhalb einer digitalen Kette. Die zu Verfügung gestellten Informationen müssen an einer zentralen Stelle verwaltet werden und durch entsprechende Schnittstellen den Planungsbeteiligten zur Weiterbearbeitung zu Verfügung gestellt werden.
Die zentrale Datenverwaltung wird durch die sirAdos-LEGEP-Datenbank gewährleistet. Diese Datenbank verwaltet auf verschiedenen Ebenen die notwendigen Daten, die an den verschiedenen Stellen des Bauprozesses benötigt werden.

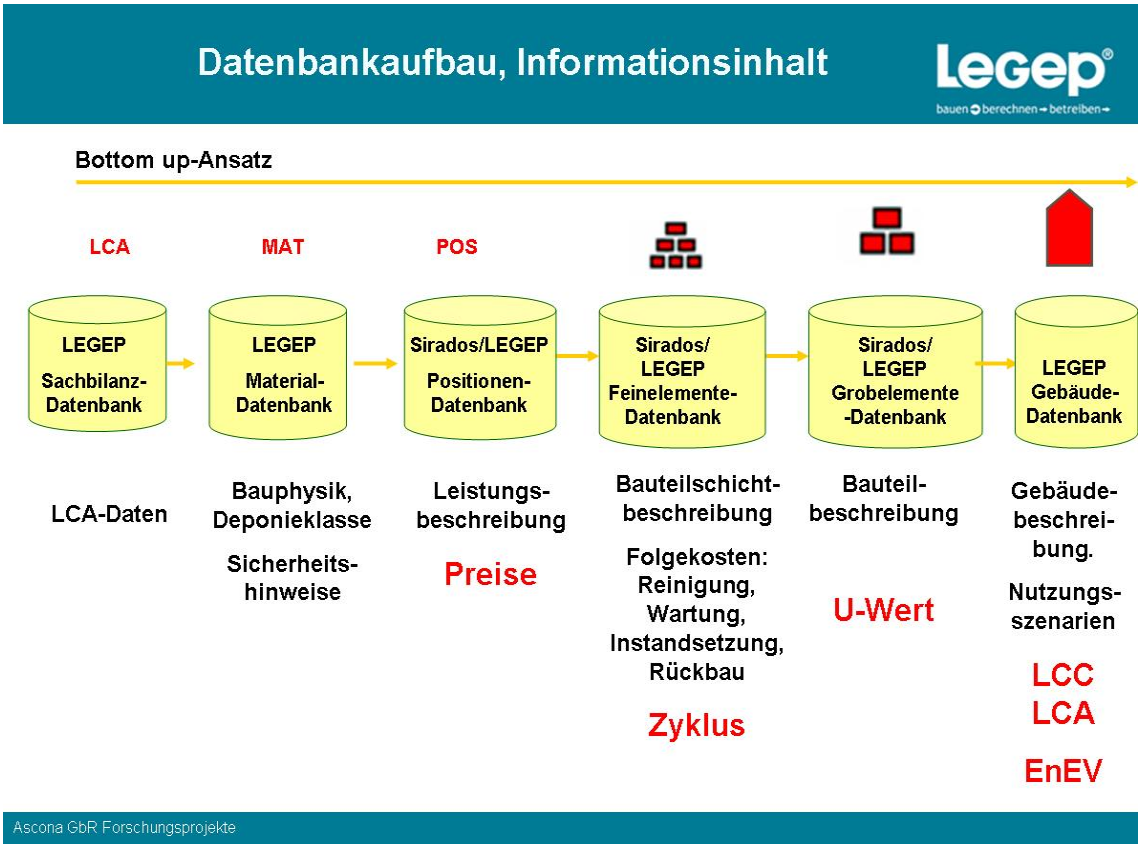



Abb. 99 Strukturaufbau Datenbank LEGEP

Die übliche Kostenerfassungsmethodik verfolgt keine logische Struktur hinsichtlich der Datenaggregation bei der Erfassung der Bauleistungen. Je nach Erfordernis werden hochkomplexe Einheiten (z.B. ein Personenaufzug) als „ein Stück“ ebenso erfasst wie ein Meter Fußbodenleiste. Die Erfassung orientiert sich an der Ausschreibungsmethodik der verschiedenen Gewerke. Daraus resultiert eine Kostenberechnungsmethodik, die jedes Projekt in sehr kleine Einheiten zerlegen muss, bis eine Aussage zu den Kosten vorliegt.
Die in LEGEP angewendete Elementmethode basiert ebenfalls auf Ausschreibungspositionen. Diese werden aber zu Elementen unterschiedlicher Komplexität (Feinelementen, Grobelementen, Makroelementen) zusammengestellt. Die Struktur des Elementaufbaus folgt dabei der DIN 276 und der dort dargestellten dreistufigen Gliederung. Der Anteil von Positionen in einem Feinelement bzw. von Feinelementen in Grobelementen wird nach statistischen Methoden ermittelt.

#### 3.5.4.3.1 Positionen

Zentrales Element der Datenbank sind die Leistungsbeschreibungen, auch Ausschreibungspositionen genannt. Diese Datenbank beschreibt mit über 30.000 Texten die gängigen Leistungen im Baugewerbe. Die Datenbank ist nach Gewerken strukturiert. Die Nummerierung der Gewerke basiert auf dem Standardleistungsbuch. Die Positionen verfügen über Preisinformationen. Die sirAdos-Baupreise für die Ausschreibungspositionen, welche die Grundlage für die Elementpreise darstellen, werden durch den Verlag sirAdos GmbH alljährlich einmal komplett überarbeitet und der Baukostenentwicklung angepasst. Über 100 Architekturbüros stellen dafür bundesweit die Ausschreibungsunterlagen und Preisspiegel realisierter und abgerechneter Bauprojekte zur Verfügung. Darüber hinaus werden jährlich in sämtlichen Gewerken die Änderungen in Normen und Technischen Baubestimmungen berücksichtigt. Damit ist gewährleistet, dass die Ausschreibungen und Preise immer den neuesten Vorschriften und der aktuellen ökonomischen Situation entsprechen. Eine Preisanpassung über Index wird nicht durchgeführt.

**Von-mittel-bis-Preis:**
Die Spreizung in von - mittel - bis - Preise berücksichtigt dabei regionale Besonderheiten (Verdichtungsraum – ländlicher Raum), Gebäudetyp und -größe (Einfamilienhaus - mehrgeschossiger Wohnungsbau, bzw. Wohnen - Verwaltung), Bauzeit oder Ausführungsstandards. Der Planer muss entsprechend seinem Auftrag und auf der Basis von Referenzpreisen das zutreffende Preisniveau auswählen. Dazu hilft ihm zusätzlich eine Programmfunktion: „Preisfaktoren“, die es ihm erlaubt eine prozentuale Anpassung der Preisdatenbank aufgrund mehrerer Einflussfaktoren durchzuführen.

### 3.5.4.3.2 Materialdaten

Die Positionen werden bezüglich ihrer Materialinhalte und der benötigten Maschinen zur Verarbeitung der Materialien analysiert. Die Informationen zu Material und Gerät werden einer Materialdatenbank entnommen. Die Materialien sind mit den wichtigsten bauphysikalischen Kennwerten ausgestattet.

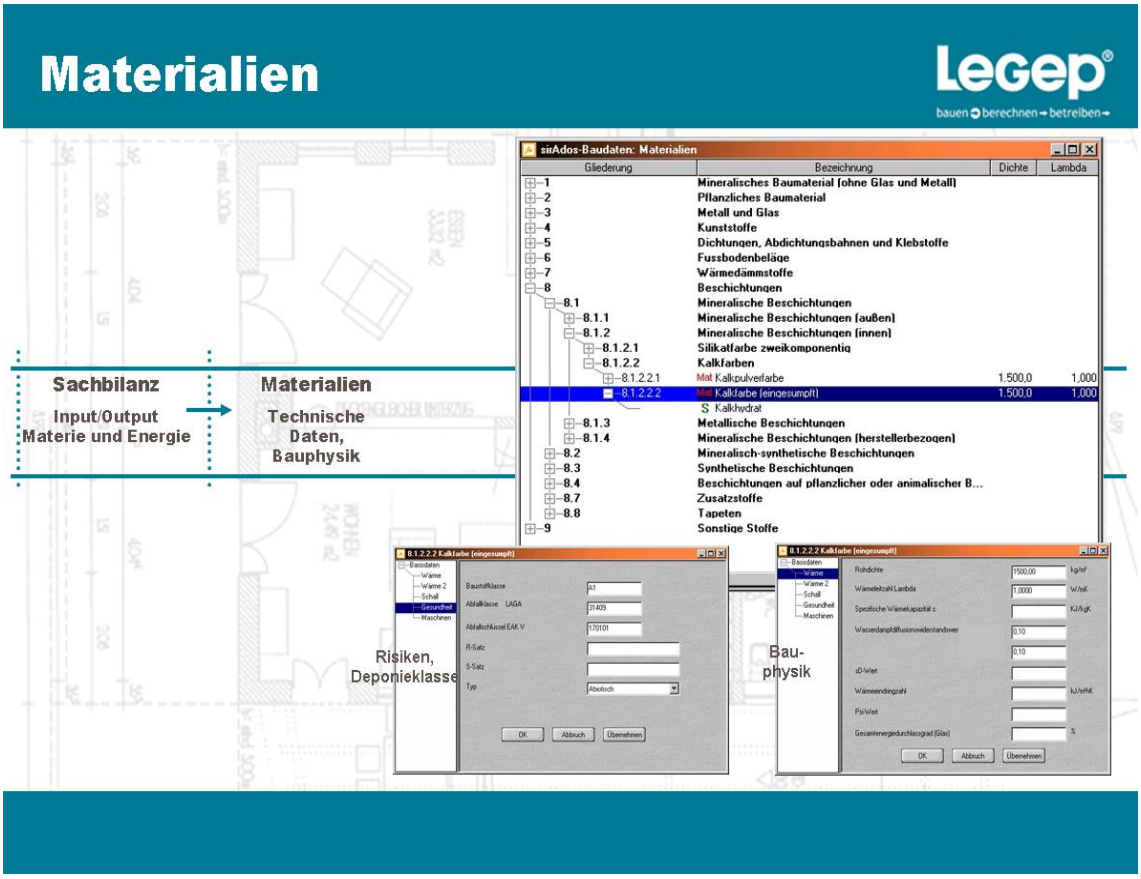



Abb. 100 Aufbau Position aus Materialien, Gerät und Umweltbelastung

#### 3.5.4.3.3 Ökobilanzdaten

**Sachbilanzen**

Allen Materialien und Geräteleistungen sind außerdem Ökobilanzdaten zugeordnet. Diese Daten bestehen aus Informationen zu den Inputdaten (Primärenergie, kumulierter Energieaufwand) und den Outputdaten (z.B. GlobalWarmingPotential).

Die Datenbasis für die ökologische Beurteilung von Elementen und Bauwerken sind die Sachbilanzdaten. Grundlage für die LEGEP-Datenbasis sind aktuelle Sachbilanzdaten, die in Ecoinvent unter Beachtung von SETAC-Regeln und ISO-Normen mit vergleichbaren Systemgrenzen erhoben und mit Methoden der Prozesskettenanalyse zu kumulierten bewerteten Sachbilanzen verarbeitet werden. Diese Datensätze können in der LEGEP Software zu weiteren Datenmodulen aggregiert werden. Zur Anwendung gelangt der UCPTE-Strommix = mittlere europäische Verhältnisse.

Zum Teil werden diese Daten durch Sachbilanzdaten ergänzt, die bis 1999 an der Bauhaus-Universität (IREB) und der Universität Karlsruhe (ifib) erhoben wurden. Als Quellen wurden i.d.R. Angaben von deutschen Verbänden und Unternehmen verwendet. In Ausnahmefällen werden diese durch Werte aus der Literatur bzw. aus der mit öffentlichen Mitteln geförderten und zugänglichen GEMIS-Datenbank (Öko-Institut) ergänzt. Bei der stofflichen Verwertung werden Produktionsabfälle (sog. closed loop) berücksichtigt, Verwertungsstoffe in Form des Recycling (sog. open loop) werden nicht belastet. Die Systemgrenze ist so gewählt, dass die Daten bis zu einer definierten Masseneinheit (kg oder t) aggregiert sind. Stoffeinsatz und resultierende Mengen an festen und flüssigen Abfällen werden auf der Ebene von Sachbilanzdaten zum Stoffstrom angegeben. Sie liefern die Grundlagen für eine Beurteilung der Ressourceninanspruchnahme und der entstehenden, nach Deponieklassen geordneten Abfallmengen.

**Inputbilanzen**

- Non renewable energy resources fossil, nuclear, biomass MJ KEA
- Renewable energy resources wind, solar, geothermal, water MJ KEA

**Wirkungsbilanzen**

Emissionen in Luft, Wasser und Boden werden einer effektorientierten Bewertung (Wirkungsbilanz) unter Verwendung der inzwischen weit verbreiteten CML-Kriterien unterzogen. Es wird ausdrücklich auf den Umstand verwiesen, dass im Bereich der Bewertungsmethoden bisher keine allgemeingültigen Verfahren und Kriterien vorliegen.

Neben effektorientierten Verfahren existieren auch Methoden, die sich am Stoffstrom (MIPS), an externen Kosten bzw. an der Knappheit (UBP) orientieren.

In Ecoinvent werden über 150 Indikatoren zur Auswertung angeboten. Innerhalb des LEGEP-Programms werden davon 10 ausgewählt:

- Climate change GWP 100 a CO2 CML 2001
- Acidification potential average European SO2 CML 2001
- Photochemical oxidation Summer smog NOx POCP Ethylene CML 2001
- Depletion of abiotic resources antimony CML 2001
- Eutrophication potential PO4 CML 2001
- Stratospheric ozone ODP 30 a CFC11 CML 2001
- Human Health indicator CML 2001, points
- Radioactivity

Es sollten für die ökologische Beurteilung vorzugsweise teilaggregierte und effektorientierte Bewertungskriterien verwendet werden. Eine Vollaggregation führt i.d.R. zu Informations-Verlusten (Nebeneffekte sind nicht erkennbar) und zu Problemen beim Nachvollziehen von Wichtungen.

Eine Berechnung des Gebäudes mit der vom Bund bereitgestellten Datenbasis kann in einem weiteren Bearbeitungsschritt erfolgen.

### 3.5.4.3.4 Feinelemente

Durch die dargestellte Verknüpfung von Informationen verfügt eine Leistungsbeschreibung über genaue Informationen zu

- den Preisen,
- den bauphysikalischen Kennwerten und
- der Umweltbelastung.

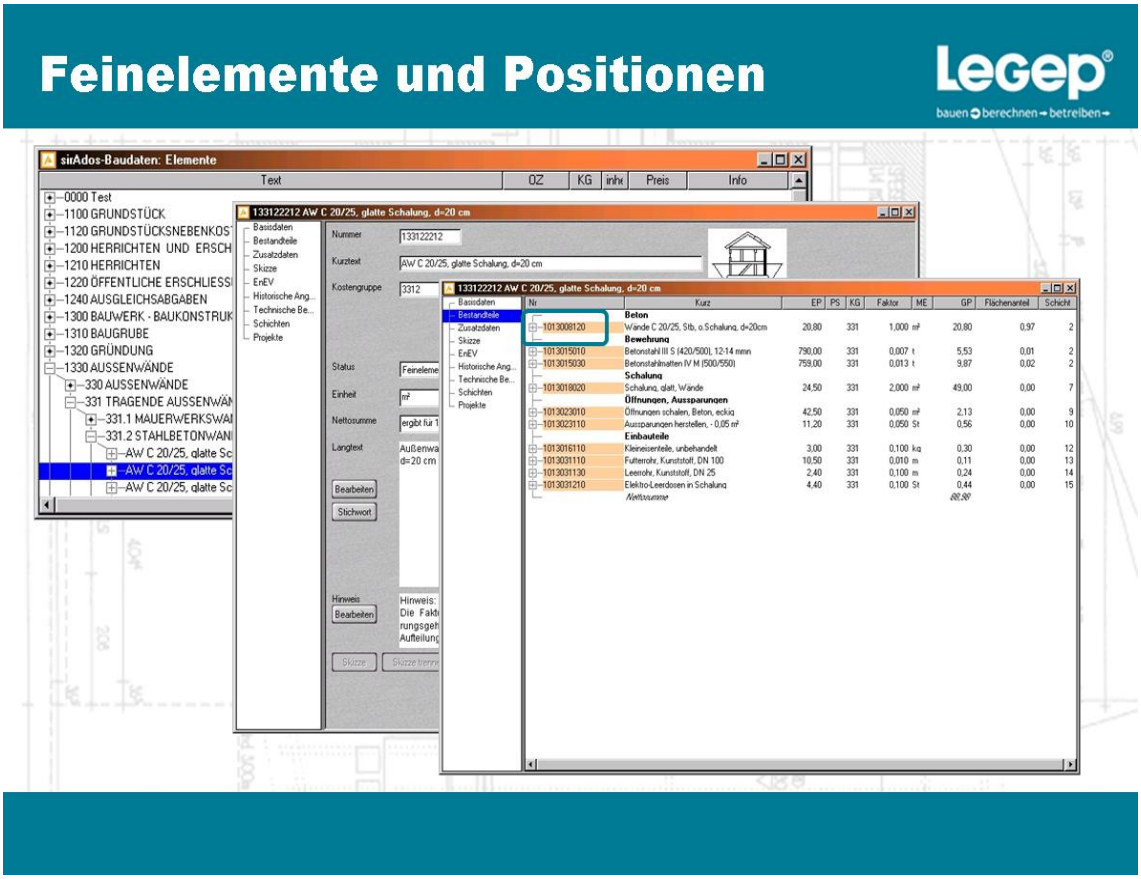



Abb. 101 Aufbau Feinelement aus Positionen

Für frühere Planungsphasen als die Ausschreibung benötigt der Planer komplexere Informationen z.B. zu Bauteilen oder dem vollständigen Gebäude. Um aus den Leistungspositionen Bauteile zusammenzusetzen, bedarf es eines Strukturwechsels. Die Gliederung erfolgt nicht mehr gewerkespezifisch, sondern bauteilbezogen. Die Gliederungsstruktur dafür liefert die DIN 276.
Erste Aggregationsstufe ist die Bauteilschicht. Diese berücksichtigt im Aufbau alle notwendigen Ausführungsleistungen z.B. beim Fenstereinbau, Rohrdurchführungen usw. Die notwendigen Arbeiten müssen durch Ausschreibungstexte auf der Positionsebene bereitgestellt werden.

### 3.5.4.3.5 Komplex/Grobelemente:

Die Bauteilschichten, die Feinelemente, können durch weitere Aggregation für alle Bauteile des Gebäudes den so genannten Komplex- oder Grobelementen zusammengefügt werden.
Der Planer setzt sein Projekt aus den ausgewählten Elementen mit den ermittelten projektspezifischen Mengen zusammen. Für die Beschreibung eines Gebäudes werden zwischen 50 und 200 Grobelemente benötigt. Das angelegte Projekt verfügt über alle notwendigen Informationen, um die Auswertung für die Herstellungskosten, Nutzungskosten, Energiebedarf und Umweltbelastung zu erlauben.

Abb. 102 Aufbau Grobelement aus Feinelementen

### 3.5.4.3.6 Lebenszyklus

Während des Nutzungszeitraums wird in dem Gebäude eine Fülle an Dienstleistungen ausgeführt, die jeweils mit weiteren Umweltbelastungen verbunden sind. Dies sind:

- Reinigungsarbeiten
- Wartungs- und Inspektionsarbeiten
- Reparaturarbeiten
- Instandsetzungsarbeiten, verbunden mit
- Rückbau- und Entsorgungsarbeiten
- Umbauarbeiten
- Sanierungsarbeiten
- Abbruch- und Entsorgungsarbeiten.

Vorhersehbar und kalkulierbar sind

- Reinigungs-,
- Wartungs-,
- Instandsetzungs-, und
- Rückbauarbeiten.

Entscheidenden Einfluss auf die Gebäudeleistung für den Nutzungszeitraum hat der Zyklus der auszuführenden Arbeiten.

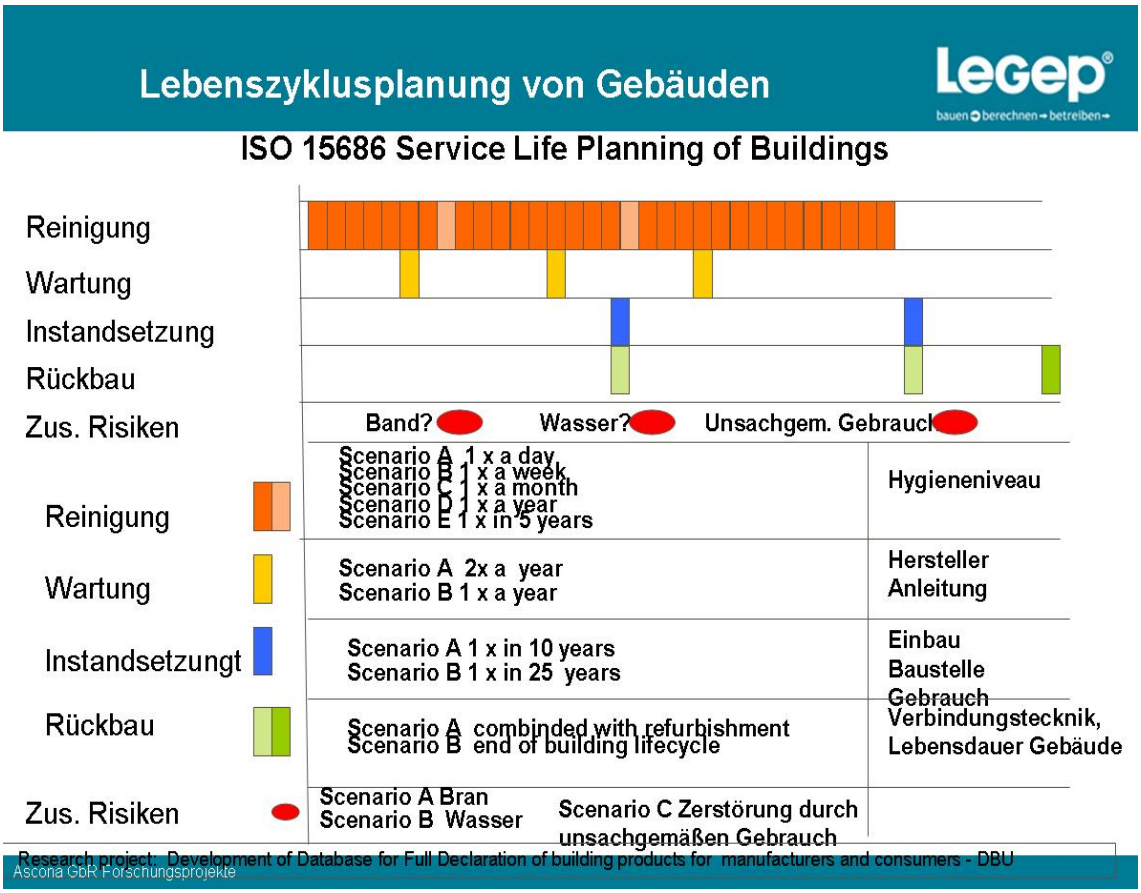



Abb. 103 Zyklen von Dienstleistungen für das Gebäude

**Reinigung**

**Der Reinigungszyklus unterliegt großer Variabilität hinsichtlich Ausführungselement, Nutzungsart und Hygiene**standard. Aus diesem Grunde werden je nach Element mehrere Reinigungs-Szenarien angegeben. Bei mehreren Szenarien (z.B. im Fußbodenbereich) ist eine Standardvariante aktiviert. Alternative Szenarien können bei Bedarf aktiviert werden. Außerdem hat bereits die Wahl der Gebäudenutzung einen Einfluss auf das aktivierte Szenario (Wohnen, Kindergarten). Außerdem kann der Planer selbst in der Eingabeabfrage ein Szenario hinsichtlich normaler, starker oder geringer Verschmutzung auswählen.

**Wartung**

Die Wartungszyklen entsprechen entweder den Empfehlungen der Hersteller oder berücksichtigen gesetzliche Vorgaben aufgrund von Verordnungen (z.B. Heizungswartung). Weiterhin berücksichtigt werden die Empfehlungen der AMEV [AMEV2006] .

**Instandsetzung**

Die Instandsetzungszyklen beziehen sich weitgehend auf die Angaben im „Leitfaden für nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnen [BMVBS01] . Die Angaben des Leitfadens wurden für einige Bauteile erweitert, wenn dies durch entsprechende Ausführungsvarianten notwendig wurde. Für die technischen Anlagen wird auf die Angaben der VDI 2067 [VDI2067] Bezug genommen. In besonders begründeten Fällen wurde der Zyklus geändert.

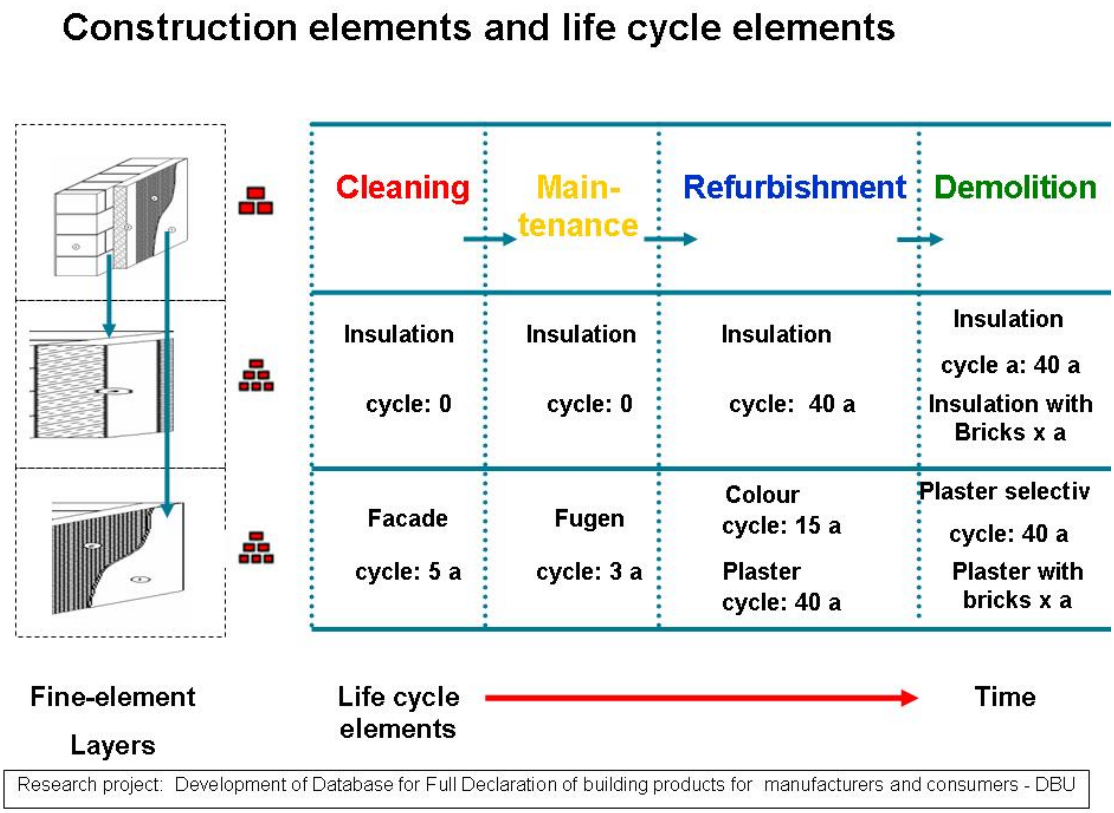



Abb. 104 Instandsetzungszyklen für Bauteile und ihre Planung

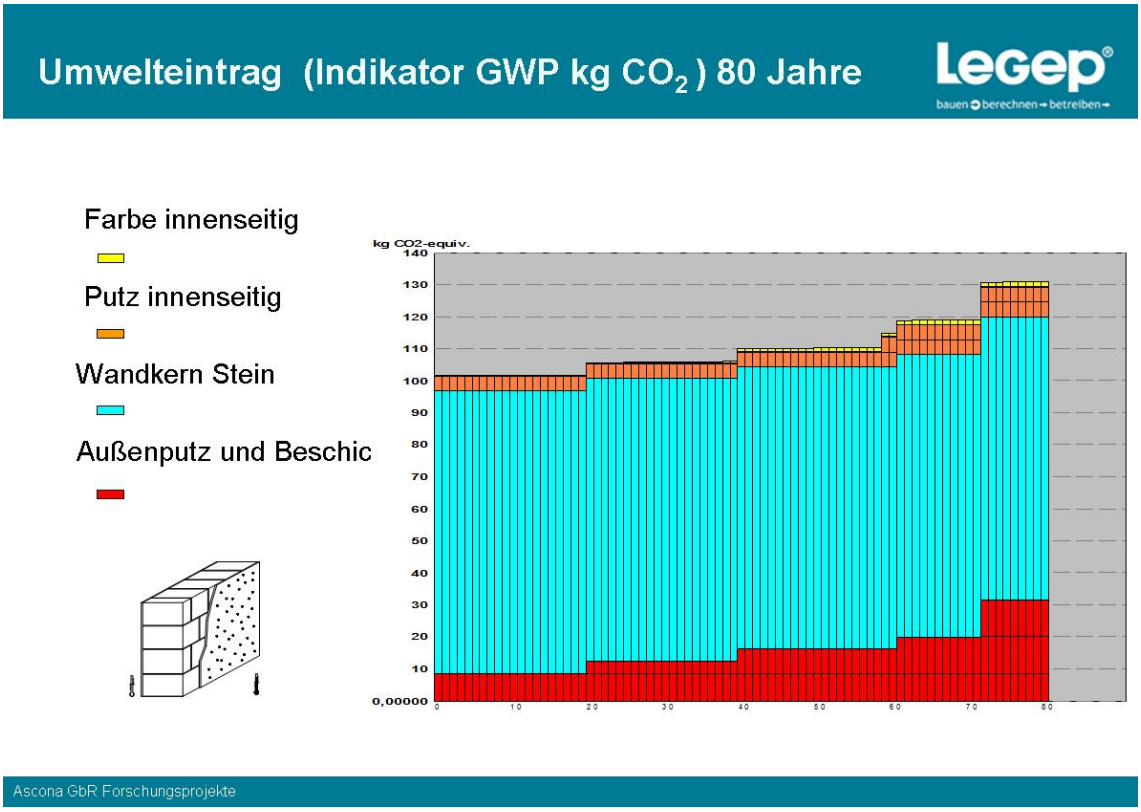



Abb. 105 Umweltwirkung von Instandsetzungsarbeiten im Laufe von 80 Jahren

Die Grundlagen für die Angaben von Instandsetzungszyklen für Bauteile sollen in Zukunft wissenschaftlich erhoben werden. Die ISO-Norm 15686 [ISO15686] versucht hierzu wesentliche Voraussetzungen zu schaffen.

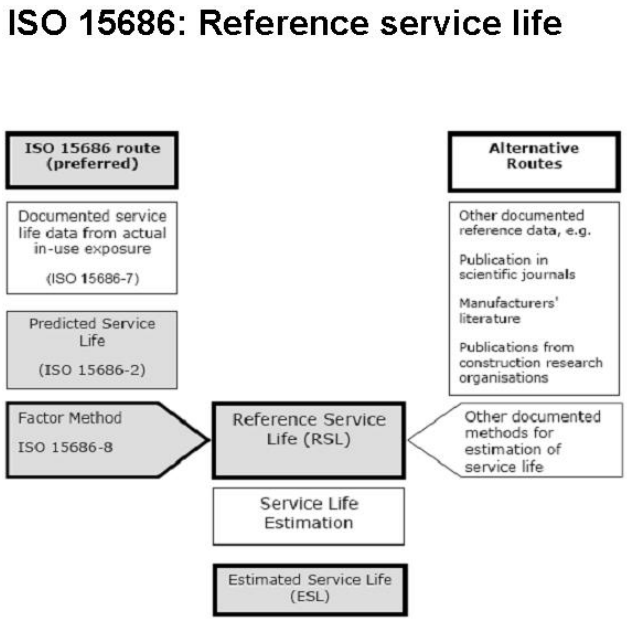



Abb. 106 Referenzszenario für den Lebenszyklus nach ISO 15686

Dabei wird eine Doppelstrategie verfolgt. Zum einen sollen die Lebensdauern von Bauteilen durch konkrete Daten angegeben werden [15686-7]. Diese beziehen sich auf Referenzszenarios[15686-2]. Zum anderen sollen diese Lebensdauerdaten können durch Anwendung der Faktor-Methode begründet abgeändert werden [15686-8]. Die Faktor-Methode soll für jedes Bauteil Kriterien berücksichtigen, die einen Einfluss auf die Lebensdauer – verlängernd oder verkürzend – haben können. Der daraus sich ergebende konkrete Wert der Bauteillebensdauer kann zu bekannten Erfahrungswerten in Bezug gesetzt werden.

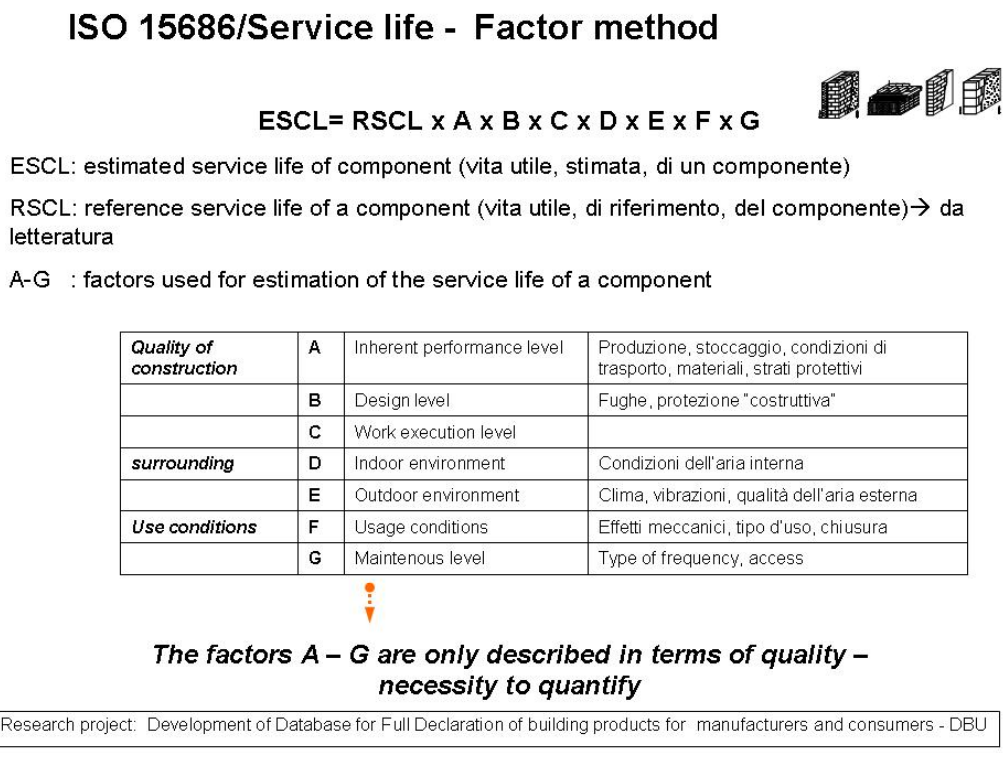



Abb. 107 Faktormethode in ISO 15686

In Deutschland sind verschiedenen Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft BAU“ anhängig. Durch das ISLM in Ahlen werden die Lebenszykluskosten realer Projekte erfasst. Dadurch sollen auch Hinweise für die Instandsetzungskosten unterschiedlicher Konstruktionstypen ermittelt werden[ROTH07]. Ein ähnliches Ziel wird mit einer Studie am Institut für Erneuerung und Modernisierung im Baubestand (IEMB) verfolgt. Beide Studien werden ihre Ergebnisse frühestens 2008 vorlegen können.

**Rückbau und Entsorgung**
Die Rückbauzyklen orientieren sich an den Instandsetzungszyklen (selektiver Rückbau) und an der Gesamtlebensdauer des Gebäudes (Abbruch des Gebäudes). Dabei wird unterschieden zwischen Rückbaumaßnahmen während der Nutzungsphase des Gebäudes durch notwendige Instandsetzungsmaßnahmen bzw. außerordentliche Umbaumaßnahmen. Diese Maßnahmen werden in der Datenbank durch selektive Rückbauelemente beschrieben. Der Abbruch am Ende der Lebenszyklusphase wird bestimmt durch den Gebäudetyp, die Menge des umbauten Raumes und die Art des Rückbaus. Dabei werden drei Szenarien unterschieden:

- Konventioneller Rückbau: Gesamte Kubatur wird ohne Entkernung abgebrochen, hohe Mengen in die Sortierung mit hohem Verschmutzungsanteil, nur energetische Wiederverwertung
- Teilselektiver Rückbau: Selektiver Rückbau für alle Bauteile mit Kennzeichen "Ausbau und Austausch" , d.h. höhere Kosten, aber Sortierung geringer und materielle Wiederverwertung
- Selektiver Rückbau: Selektiver Rückbau für alle Bauteile mit Kennzeichen "Ausbau und Austausch" und "Ausbau" d.h. sehr hohe Kosten, aber Sortierung sehr gering und materielle Wiederverwendung. Dadurch geringste Entsorgungskosten und Umweltbelastungen.

Die Materialien sind mit dem europäischen Abfallklassenschlüssel ausgestattet. Diese Klassifizierung regelt die vorgeschriebene Entsorgungsart. Zusätzlich werden aber höherwertige Entsorgungen mit geringeren Umweltentlastungen falls möglich vorgesehen. So wird für mineralische Baustoffe die Verbringung auf die Bauschuttdeponie vorgesehen, aber auch die Möglichkeit des materiellen Recyclings.
Jede Entsorgungsart ist mit einem Ökobilanzmodul verknüpft. Damit kann die Umweltbelastung entsprechend des vorgesehenen Entsorgungsweges berechnet werden.

#### 3.5.4.3.7 Lebenszykluselemente

Die Bauelemente im LEGEP Programm sind verknüpft mit so genannten Folgelementen. D.h. für jeden kostenrelevanten Aufwand während der Nutzungsphase eines Gebäudes sind Elemente vorhanden, die diesen Aufwand erfassen. Dies betrifft:

- Reinigung (Re)
- Wartung (Wa)
- Instandsetzung (Ins)
- Rückbau (Rü)
- Entsorgung (Ent).

Jedes Element verfügt über mehrere Folgelemente. Diese Folgelemente besitzen einen Zykluswert, der festlegt, in welcher Häufigkeit das Element in einer bestimmten Zeitspanne aktiviert wird. Das kann bei einer Reinigung täglich sein, bei einer Wartung jährlich und bei einer Instandsetzung eine zwanzigjährige Zeitspanne umfassen.

**Projekt LEGEP Zentrum Barnim, Dezernat I** **12.07.2005**

**Lebenszyklus Kosten / Elemente**

| Name | Nr | Menge | Einheit | Einzelpreis | Gesamtpreis | Reinigung | Maßnahme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dezernat I** | | | | | **3.561.048,21** | **36.691,66** | |
| **Baukonstruktion** | | | | | **3.452.494,57** | **36.691,66** | |
| **Baugrube** | | | | | **68.332,08** | **0,00** | |
| BG Oberboden abschieben, seitl. lagern, ca. 50% andecken | 131113111 | 1.500,000 | m² | 4,07 | 6.105,00 | | |
| BG-Aushub Bkl 3-5, seitl. lagern, hinterfüllen, Baugr. zu 100% abgeböscht | 131123111 | 1.370,000 | m³ | 16,06 | 22.002,20 | | |
| BGK-Aushub Bkl. 3-5, m. Oberbodenabtrag, Abfuhr, Hinterf.m.Liefermaterial | 131017111 | 1.432,000 | m³ | 28,09 | 40.224,88 | | |
| **Gründung** | | | | | **431.572,87** | **9.283,50** | |
| **Bodenplatte Gebäude** | | | | | **206.320,73** | **9.283,50** | |
| GRK Fdm-Pl. C 20/25, wu, 35 cm, Nutzestrich, Beschichtung | 132011719 | 40,000 | m² | 140,54 | 5.621,60 | 128,00 | |
| DEB,Beschichtung auf Estrich,reinigen | | | / Jahr | 0,05 | | 104,00 | |
| GR Fußbodenbeschichtung,ölbeständig,Schmutzsockel, auf Verbundestrich, erneuern | | | / Jahr | 17,36 | | | |
| GR Fußbodenbeschichtung,ölbeständig,Schmutzsockel,auf schw. Estrich,erneuern | | | / Jahr | | | | |
| DEB,Beschichtung auf Estrich,feucht wischen | | | / Jahr | | | | |
| GR Zementestrich ZE 20 auf Trennlage,d= 45 mm,Nutzestrich, erneuern, | | | / Jahr | 27,54 | | | |
| GR Zementestrich ZE 20 ,Trennlage,d= 45 mm, rückbauen (endgült.Verschleißbod.) | | | m² | 8,50 | | | |
| DEB,Estrich,unbeschichtet,feucht wischen | | | / Jahr | | | | |
| DEB,Estrich,unbeschichtet,trocken reinigen | | | / Jahr | 0,05 | | 24,00 | |
| GR Fundamentplatte Stb, d=35cm, rückbauen | | | m² | 50,96 | | | |
| GRK Stb 50 cm, CT bew., PS/PS 160 mm, FB-Heiz., Terrazzob i. Dickb. | 132046259 | 105,000 | m² | 224,48 | 23.570,40 | 1.086,75 | |
| DEB,Betonwerkstein,Unterhaltsreinigung | | | / Jahr | 0,05 | | 656,25 | |
| DEB,NST,M,JM,SP,poliert,Zwischenreinigung | | | / Jahr | | | | |
| GR Fugen elastisch, erneuern, Terrazzobelag 30/30/3 cm | | | / Jahr | 12,74 | | | |
| GR Bodenbelag und Sockel, natürliche Bausteine, rückbauen | | | m² | 16,40 | | | |
| DEB,NST,M,JM,SP,poliert,Unterhaltsreinigung 5x wöchentlich | | | / Jahr | | | | |
| DEB,Betonwerkstein,Grundreinigung | | | / Jahr | 4,10 | | 430,50 | |
| DEB,Estrich,unbeschichtet,feucht wischen | | | / Jahr | | | | |
| GR Heizestrich CT 20-S 100, bew., PUR 60mm, PS 100mm, Abd.,d=260 mm,rückbauen | | | m² | 0,36 | | | |

Abb. 108 Beispiel für Element mit Folgeelementen im Projekt

Diese Folgeelemente sind ebenso wie die Konstruktionselemente aus Leistungspositionen aufgebaut. Die Gliederung orientiert sich an der DIN 18960:

3 Betriebskosten
3.1 Ver- und Entsorgung
3.2 Reinigung und Pflege
3.3 Bedienung der technischen Anlagen
3.4 Inspektion und Wartung der Baukonstruktion
3.5 Inspektion und Wartung der technischen Anlagen
4 Instandsetzungskosten
4.1 Instandsetzung der Baukonstruktion
4.2 Instandsetzung der technischen Anlagen
7 Rückbau (nicht in DIN 18960 enthalten)
7.1 Rückbau der Baukonstruktion und Entsorgung
7.2 Rückbau Technische Anlagen und Entsorgung

### 3.5.4.3.8 TC 350 Working Group 1 Definitionen

In der europäischen Normenkommission CEN TC 350 Working Group 1 Building Level sind folgende Definitionen bezüglich des Lebenszyklus von Gebäuden getroffen worden.
*“There are differences between:*
- *the estimated service life*
- *the design life.*
- *Reference study period*

***Reference study period***
*The reference study period, that is the period over which the time dependent characteristics of the object of assessment are analysed, shall be defined.*

*The reference study period should be based on the design life, as specified in the client brief. Any deviations from this shall be clearly stated and reasons explained.*

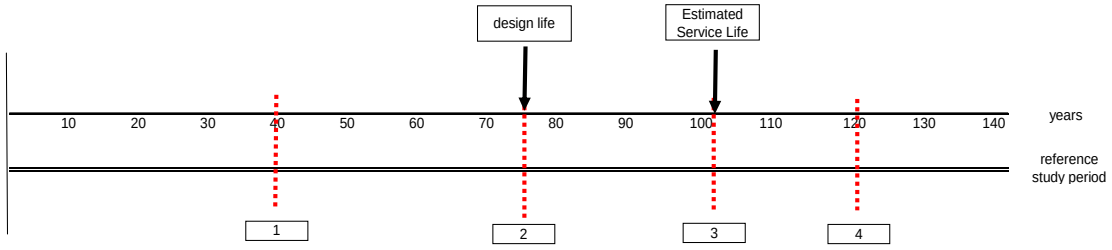



Abb. 109 Reference study period versus Design Life and Estimated Service Life of the assessed Object.

*Note: The reference study period may differ from the design life depending on the intended use of the result of the assessment (figure 3)."*

### 3.5.4.3.9 Lebenszykluskosten

Die Leistungspreise für Folgeleistungen in der Nutzungsphase des Gebäudes im Bereich Reinigung und Wartung werden in Zusammenarbeit mit spezialisierten Unternehmen ermittelt (Reinigungsfirmen, Wartungsfirmen für technische Anlagen). Die ermittelten Preise werden den Ausschreibungspositionen zugrunde gelegt. Zusätzlich werden Plausibilitätsprüfungen anhand von projektbezogenen Vergleichen durch bürointerne Controllingaufträge durchgeführt.
Die Instandsetzungspreise ergeben sich aus den aktuellen Herstellungspreisen zuzüglich der besonderen Aufwandskosten und den Rückbaukosten für selektiven Rückbau. Dabei werden über den Nutzungszeitraum keine weiteren inflationsbedingten Steigerungsraten der Baukosten berücksichtigt.
Der Bedarf für Energie und Wasser wird durch das Programm LEGEP berechnet und die Bedarfseinheiten mit den Preisen verknüpft und zu den Kosten der Ver- und Entsorgung summiert. Dieser Wert wird an das Programm „Lebenszykluskosten" gemeldet. Die Preise für die Medien orientieren sich an den Verbraucherinformationen der Großkommunen (München, Stuttgart, Frankfurt, Köln, Hamburg, Berlin), bzw. den Veröffentlichungen der Tageszeitungen. Sie beziehen sich im Wesentlichen auf die Bezugspreise von Kleinverbrauchern.

### 3.5.4.3.10 Diskontierung – Zinssatz

Kosten entstehen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Kostenzyklen von monatlichen Kosten für die Reinigung, jährlichen Kosten für die Energieversorgung oder die Wartung oder Instandsetzungskosten in 5 – 10 Jahresabständen sind vertreten. Um den unterschiedlichen Mittelabfluss in seinen zeitlichen Abfolgen in der Kostenrechnung verfolgen zu können, können alle Kosten mit einem Diskontierungssatz versehen werden. Dabei werden alle Kosten über den betrachteten Zeitraum zusammengefasst und mit einem Zinssatz beaufschlagt. Je später der Mittelabfluss vor sich geht, desto höher ist der Zinsbetrag und desto geringer muss der zu Verfügung gestellte Betrag sein.
Ein Diskontsatz von „0" bedeutet, dass alle Kosten über den gesamten Zeitraum gleich „wert" betrachtet werden. Heute sind aus langjähriger Erfahrung Diskontsätze von 3,0 % die Regelannahme bei langfristiger Kostenverfolgung im Bauwesen.
Im Lebenszykluskostenprogramm von LEGEP wird der Diskontsatz beim Elementvergleich auf „0" gesetzt. Bei der Gebäudeevaluierung ist ein Standardwert von 3% eingestellt, kann aber beliebig abgewandelt werden.
Von differenzierten Diskontsätzen bezüglich Lohn und Material oder für verschiedene Branchen oder für verschiedene Lebenszyklusphasen wird wegen des spekulativen Charakters dieser Annahmen über die betrachten langen Zeiträume abgesehen.

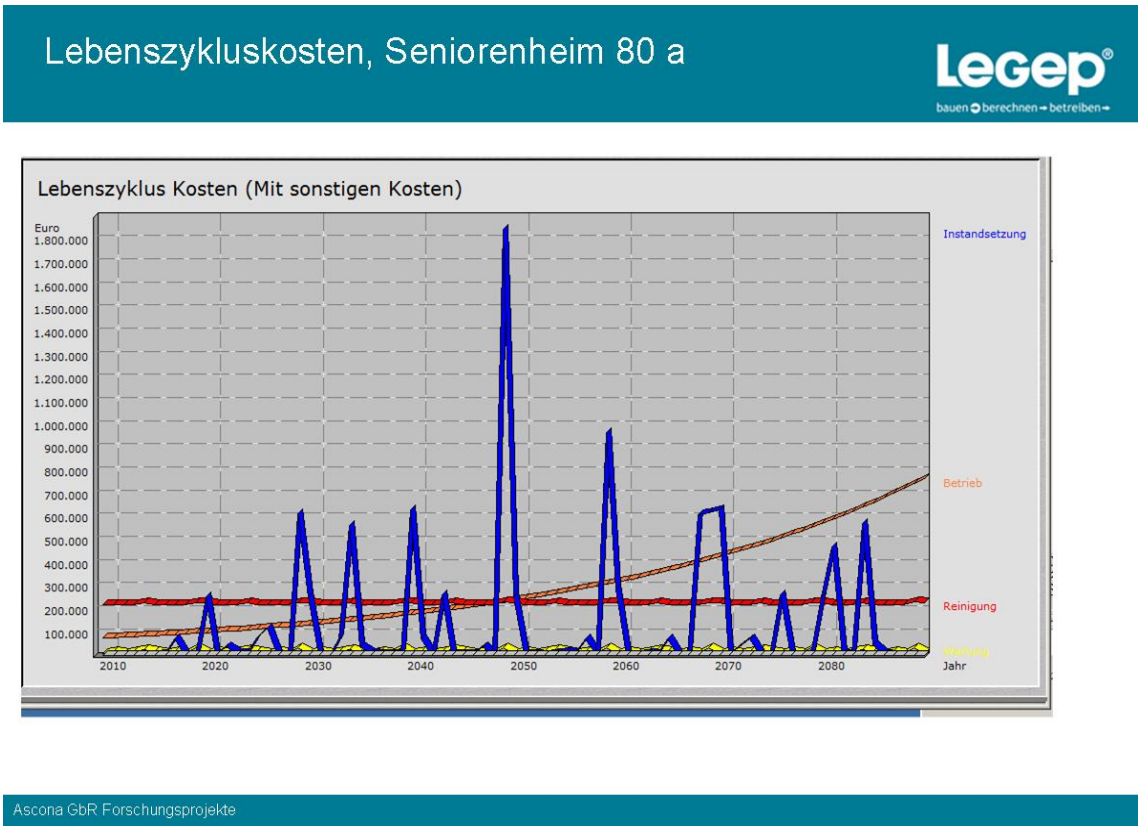



Abb. 110 Beispiel für Mittelabfluss über 80 Jahre

### 3.5.4.4 Umweltbelastung der Nutzungsphase

Die durch die Nutzungsphase veranlassten Dienstleistungen werden bezüglich des Material- und Maschineneinsatzes erfasst und der dadurch veranlasste Stoff- und Energiefluss berechnet. Verknüpft mit den entsprechenden Ökobilanzmodulen, können die Umweltbelastungen berechnet und bilanziert werden.
Dies gilt auch für die Umweltbelastungen durch die Entsorgung der Baustoffe durch Instandsetzungs- und Rückbaumassnahmen.

### 3.5.4.5 Zusammenfassung Datenbasis

Die Datenbasis für die Berechnung des Gebäudes stellt sich zusammengefasst folgendermaßen dar:

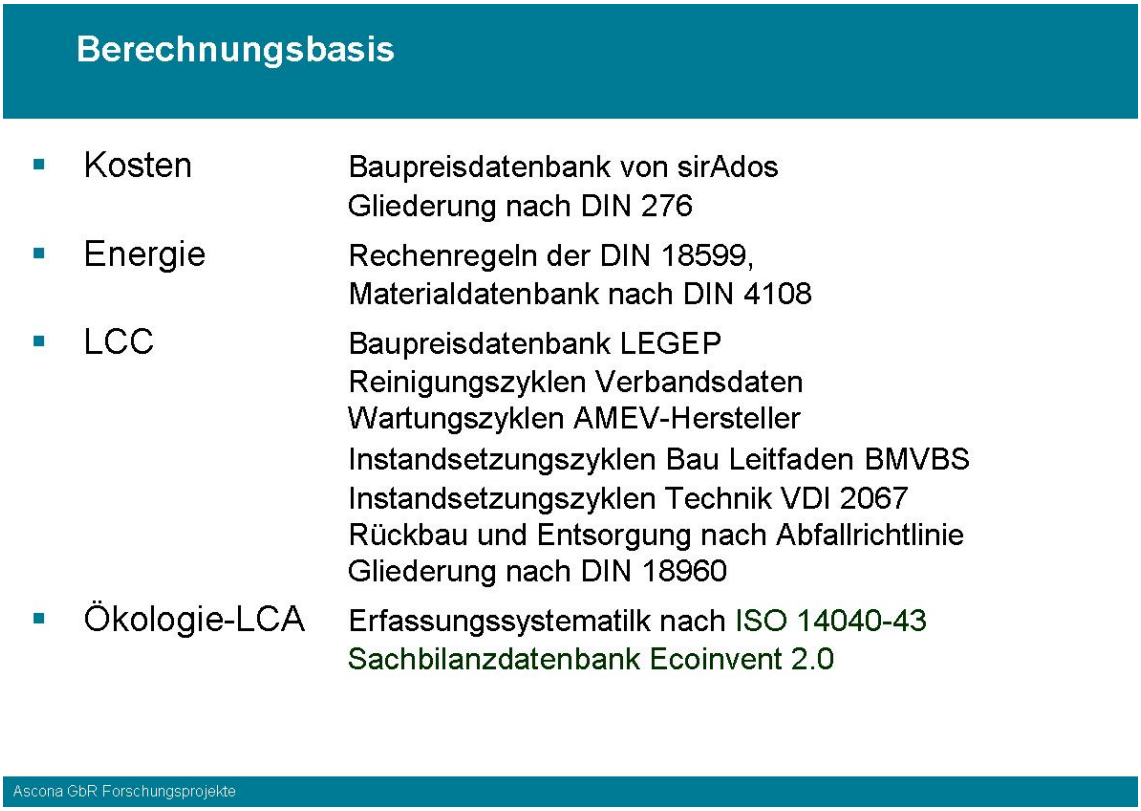



Abb. 111 Datengrundlage der Berechnung

### 3.5.5 Ergebnisse der Projektauswertung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Projektauswertungen in den einzelnen Legel-Programmen dargestellt und diskutiert.

#### 3.5.5.1 Kubatur und Flächen

Die Angaben zum umbauten Raum, BGF, NGF usw. haben für die Kennwertbildung des Gebäudes in allen Aspekten eine entscheidende Bedeutung. Deshalb wird auf die korrekte Erfassung dieser Werte nach DIN 277 besondere Sorgfalt gelegt.
Nach Erhebungen des Auftraggebers und der Projektanten gab es unterschiedliche Angaben zu Kubatur und Flächen nach DIN 277 und DIN 18599. Dies ist üblich, erschwert aber die Plausibilitätsprüfung der Angaben.
Die Auswertungen in dieser Untersuchung beruhen auf folgenden Angaben.

| **BRI m³** | | |
|---|---|---|
| 38724,5 | | |
| **BGF m²** | **KF m²** | |
| 9083,3 | 1401,4 | |
| **NGF m²** | **VF m²** | **FF m²** |
| 7681,9 | 2174,3 | 389,9 |
| **NF m²** | **NNF m²** | |
| 5117,7 | 66 | |
| **HNF m²** | | |
| 5051,2 | | |

Tabelle 14 Kubatur und Flächen nach DIN 277

#### 3.5.5.2 Baukosten

Seitens des Auftraggebers wurde eine Kostenberechnung nach DIN 276 Teil 3 erstellt. Die Kostengliederung beruht auf der alten DIN 276. Dieser Kostenberechnung liegen die Erfahrungswerte des Planungsbüros aus verschiedenen durchgeführten Projekten zu Grunde. Die Dokumentation der Kosten der Baukonstruktion ist nach Gewerken aufgebaut. Im Bereich der Kostengruppe 400 lieferten die Projektanten der technischen Anlage die Kostendaten nach den Kostengruppen der DIN 276. Eine Anpassung der Preisdatenbank an regionale oder konjunkturelle Besonderheiten wurde nicht vorgenommen.

##### 3.5.5.2.1 Projekteingabe

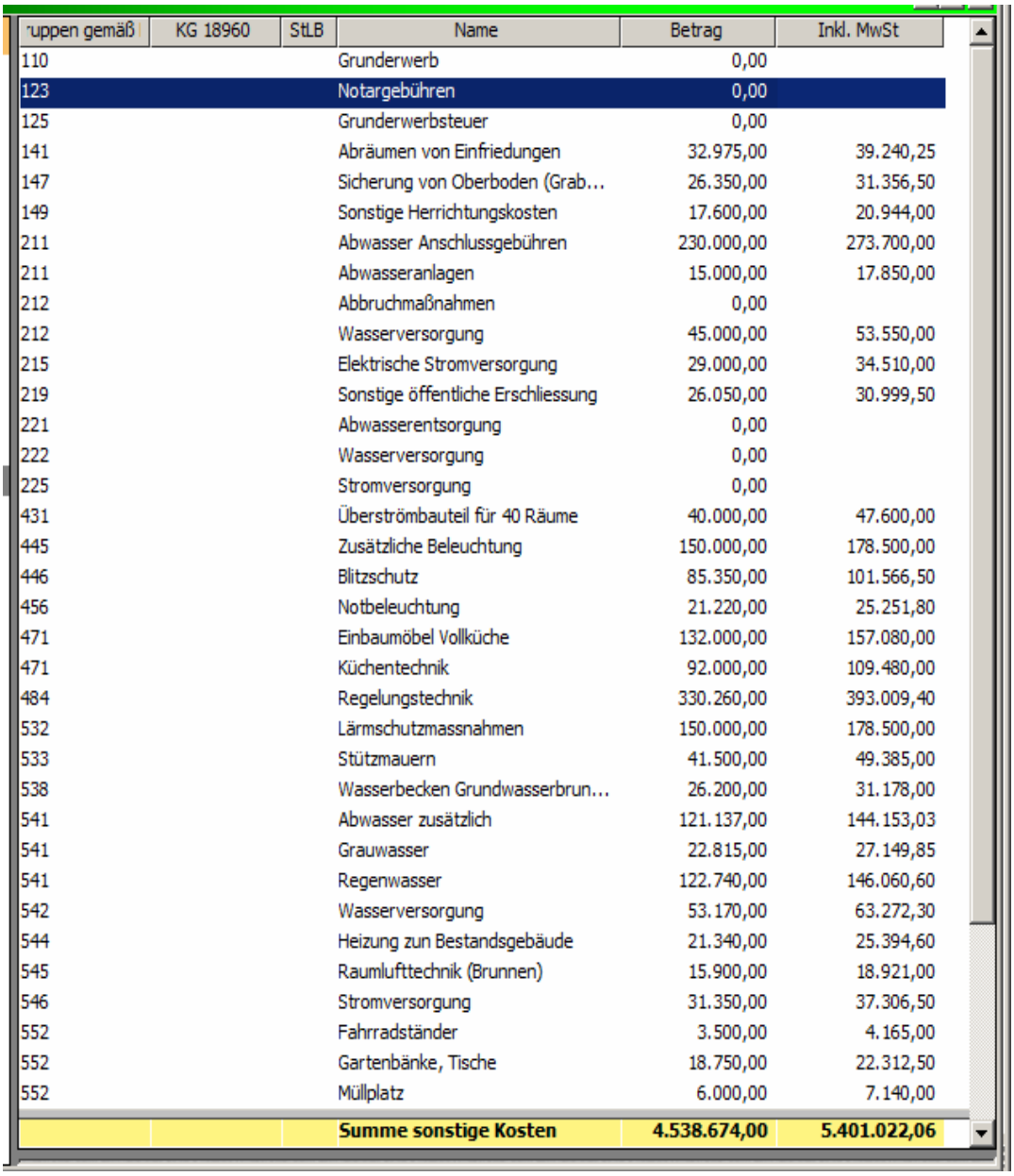
Die Kostenberechnung in LEGEP basiert auf der Erfassung des Gebäudes nach Elementen. Erfasst wurden die Bauteile im Bereich der Kostengruppen (KGR) 300 Baukonstruktion, KGR 400 Technische Anlagen und KGR 500 Außenanlagen. Die folgende Tabelle zeigt die Menge der eingesetzten Elemente gegliedert nach KGR und Grob- bzw. Feinelementen.

| **LEGEP-Elemente** | **Grobelemente** | **Feinelemente** |
|---|---|---|
| Elemente KGR 300 | 73 | 57 |
| Elemente KGR 400 | 70 | 39 |
| Elemente der KGR 500 | 11 | 4 |
| **Summe** | **154** | **100** |

Tabelle 15 Anzahl der erfassten Elemente

Die Kosten für das Projekt wurden durch den Bearbeiter nach Planlage ermittelt. Diese Bauteilbeschreibungen können im Laufe der Planung noch differenziert werden, wenn Änderungen notwendig werden. Die Einflüsse auf das Gesamtergebnis sind bezüglich einer

Veränderung des Qualitätsstandards der Ausstattung (z.B. Fußböden, Fliesen, Sanitärgegenstände) einerseits kostenrelevant, andrerseits haben sie auf den energetischen Standard des Gebäudes und die Umweltbelastung meist keinen wesentlichen Einfluss.
Kostenbasis ist für das Projekt das Jahr der Eingabe in LEGEP, im vorliegenden Fall das Jahr 2008. Dadurch braucht von den in LEGEP ermittelten Kosten kein Auf- oder Abschlag für mögliche Preisänderungen angesetzt werden.
Die Kosten für das Projekt können entweder mit Elementen aus der LEGEP-Stammdatenbank erfasst oder nach den Angaben der Kostenberechnung (Büro k-Plan) als Textbaustein im Projekt unter „Sonstige Kosten“ eingetragen werden (s. Abbildung 112). Diese Kostenangaben werden als numerisches Datum in der Projekt-Datenbank gespeichert und als Information unter „Herstellungskosten“ im Projekt mitverwaltet.



| ruppen gemäß | KG 18960 | StLB | Name | Betrag | Inkl. MwSt |
|---|---|---|---|---|---|
| 110 | | | Grunderwerb | 0,00 | |
| 123 | | | Notargebühren | 0,00 | |
| 125 | | | Grunderwerbsteuer | 0,00 | |
| 141 | | | Abräumen von Einfriedungen | 32.975,00 | 39.240,25 |
| 147 | | | Sicherung von Oberboden (Grab... | 26.350,00 | 31.356,50 |
| 149 | | | Sonstige Herrichtungskosten | 17.600,00 | 20.944,00 |
| 211 | | | Abwasser Anschlussgebühren | 230.000,00 | 273.700,00 |
| 211 | | | Abwasseranlagen | 15.000,00 | 17.850,00 |
| 212 | | | Abbruchmaßnahmen | 0,00 | |
| 212 | | | Wasserversorgung | 45.000,00 | 53.550,00 |
| 215 | | | Elektrische Stromversorgung | 29.000,00 | 34.510,00 |
| 219 | | | Sonstige öffentliche Erschliessung | 26.050,00 | 30.999,50 |
| 221 | | | Abwasserentsorgung | 0,00 | |
| 222 | | | Wasserversorgung | 0,00 | |
| 225 | | | Stromversorgung | 0,00 | |
| 431 | | | Überströmbauteil für 40 Räume | 40.000,00 | 47.600,00 |
| 445 | | | Zusätzliche Beleuchtung | 150.000,00 | 178.500,00 |
| 446 | | | Blitzschutz | 85.350,00 | 101.566,50 |
| 456 | | | Notbeleuchtung | 21.220,00 | 25.251,80 |
| 471 | | | Einbaumöbel Vollküche | 132.000,00 | 157.080,00 |
| 471 | | | Küchentechnik | 92.000,00 | 109.480,00 |
| 484 | | | Regelungstechnik | 330.260,00 | 393.009,40 |
| 532 | | | Lärmschutzmassnahmen | 150.000,00 | 178.500,00 |
| 533 | | | Stützmauern | 41.500,00 | 49.385,00 |
| 538 | | | Wasserbecken Grundwasserbrun... | 26.200,00 | 31.178,00 |
| 541 | | | Abwasser zusätzlich | 121.137,00 | 144.153,03 |
| 541 | | | Grauwasser | 22.815,00 | 27.149,85 |
| 541 | | | Regenwasser | 122.740,00 | 146.060,60 |
| 542 | | | Wasserversorgung | 53.170,00 | 63.272,30 |
| 544 | | | Heizung zun Bestandsgebäude | 21.340,00 | 25.394,60 |
| 545 | | | Raumlufttechnik (Brunnen) | 15.900,00 | 18.921,00 |
| 546 | | | Stromversorgung | 31.350,00 | 37.306,50 |
| 552 | | | Fahrradständer | 3.500,00 | 4.165,00 |
| 552 | | | Gartenbänke, Tische | 18.750,00 | 22.312,50 |
| 552 | | | Müllplatz | 6.000,00 | 7.140,00 |
| | | | **Summe sonstige Kosten** | **4.538.674,00** | **5.401.022,06** |

Abb. 112 Sonstige Kosten, Direkteingabe als Textelement

Diese Textelemente dienen nur als Dateninformation, haben also keine Relevanz für andere Bearbeitungsmodule (Energie, Lebenszykluskosten, Ökobilanz). Im Programm Lebenszykluskosten werden für diese Angaben **keine Folgekosten und im Ökologieprogramm keine Umweltbelastungen berücksichtigt**. Dies betrifft Kostenstellen aus den folgenden Kostengruppen:

- 100 (Herrichten)
- 200 (Erschließung)
- 400 (Haustechnik)
- 500 (Außenanlagen)
- 600 (Ausstattung)
- 700 (Planungskosten).

Diese Erfassungsmöglichkeit wird gewählt, wenn es sich um Kostenarten handelt,
- die nicht mit Elementen abbildbar sind z.B. Erschließungskosten
- die auf spezifischen Kostenangeboten beruhen, welche kaum spezifizierbar sind, z.B. Schulküche
- die als Einzelkomponenten angeboten werden und zurzeit keine ausreichenden Daten für die anderen Programme zu Verfügung stehen, z.B. Einzelaggregate der Haustechnik.

| **LEGEP-Elemente** | **Textelemente** | **Kostenwert ca. T€** |
|---|---|---|
| Textelemente KGR 100 | 3 | 81 |
| Textelemente KGR 200 | 9 | 345 |
| Textelemente KGR 400 | 7 | 991 |
| Textelemente KGR 500 | 13 | 502 |
| Textelemente KGR 600 | 5 | 803 |
| Textelemente KGR 700 | 2 | 1833 |
| **Summe** | **39** | **4538** |

Tabelle 16 Anzahl und Wert der erfassten Textelemente o. MWSt.

#### 3.5.5.2.2 Projektauswertung

Die Kostenzusammenstellung und -auswertung ergab folgenden Sachverhalt:
Die Herstellungskosten nach Kostengruppe 300 und 400 weisen einen Wert von 1.247 €/m²BGF inkl. MWST. auf. Ein Wert, der sich in der Datenbank des Baukosteninformationsdienstes ebenfalls findet. Hier werden Schulen mit 1.050 – 1.300 € Herstellungskosten für die KGR 300 + 400 genannt, bzw. mit einem Durchschnittswert von 1.103 €/m² BGF.
Eine Auswertung der Kostengruppen nach DIN 276 von der ersten bis zur dritten Stelle ist im Kostenmodul möglich.

| Name | Neubau | GP inkl. MwSt |
|---|---|---|
| **Kostengruppen gemäß DIN 276.2006** | **14.004.079,63** | **16.664.854,76** |
| 100 Grundstück | 76.925,00 | 91.540,75 |
| 200 Herrichten und Erschließen | 345.050,00 | 410.609,50 |
| 300 Bauwerk-Baukonstruktionen | 7.195.472,54 | 8.562.612,32 |
| 400 Bauwerk-Technische Anlagen | 2.324.077,47 | 2.765.652,19 |
| 500 Außenanlagen | 1.435.455,62 | 1.708.192,19 |
| 600 Ausstattung und Kunstwerke | 822.341,00 | 978.585,79 |
| 700 Baunebenkosten | 1.804.758,00 | 2.147.662,02 |

Abb. 113 Kostenzusammenstellung nach DIN 276 1. Stelle

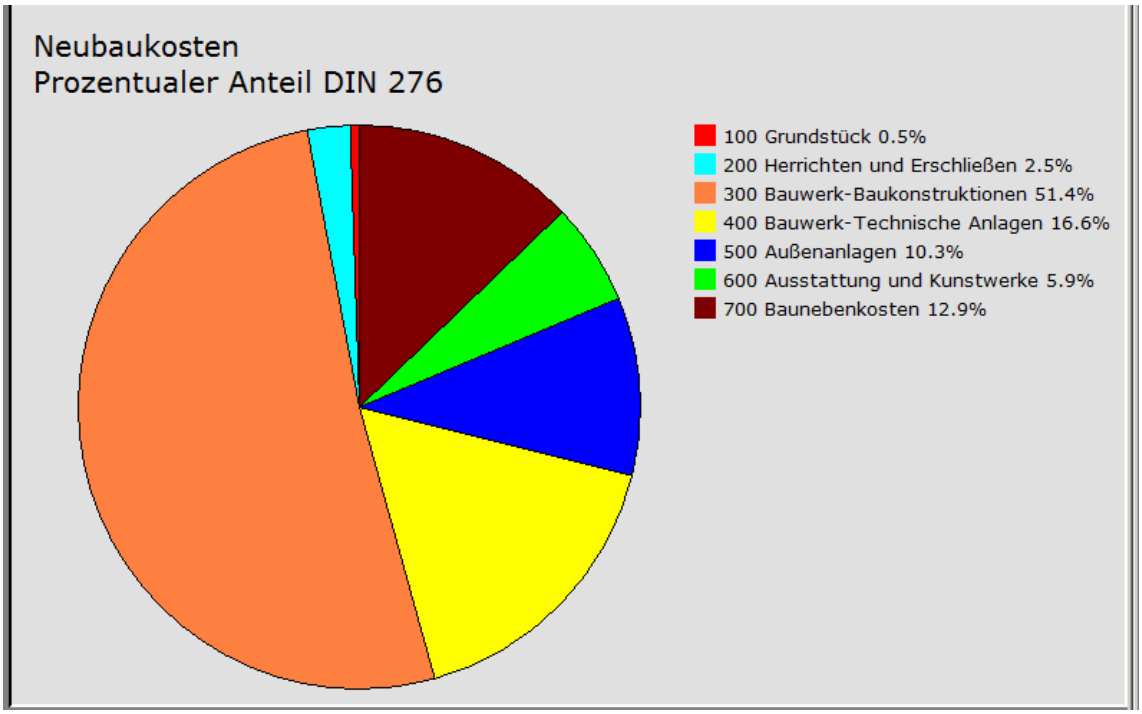



Abb. 114 Kostenzusammenstellung nach Kostengruppen 100 – 700 prozentual

Die Verhältnisse der Kostenanteile der KG 300 mit 51,4 % zu der KG 400 mit 16,6 % weisen auf die kostengünstig projektierte technische Anlage hin. Die Baunebenkosten der KGR 700 liegen mit 12,9 % ebenfalls im üblichen Rahmen. Die Außenanlagen der KGR 500 fallen wegen der Parkierungs- und Fahrbahnanlagen mit 10,3 % etwas höher als gewöhnlich aus. Die Ausstattungskosten der KGR 600 mit 5,9 % sind für eine Schule günstig.

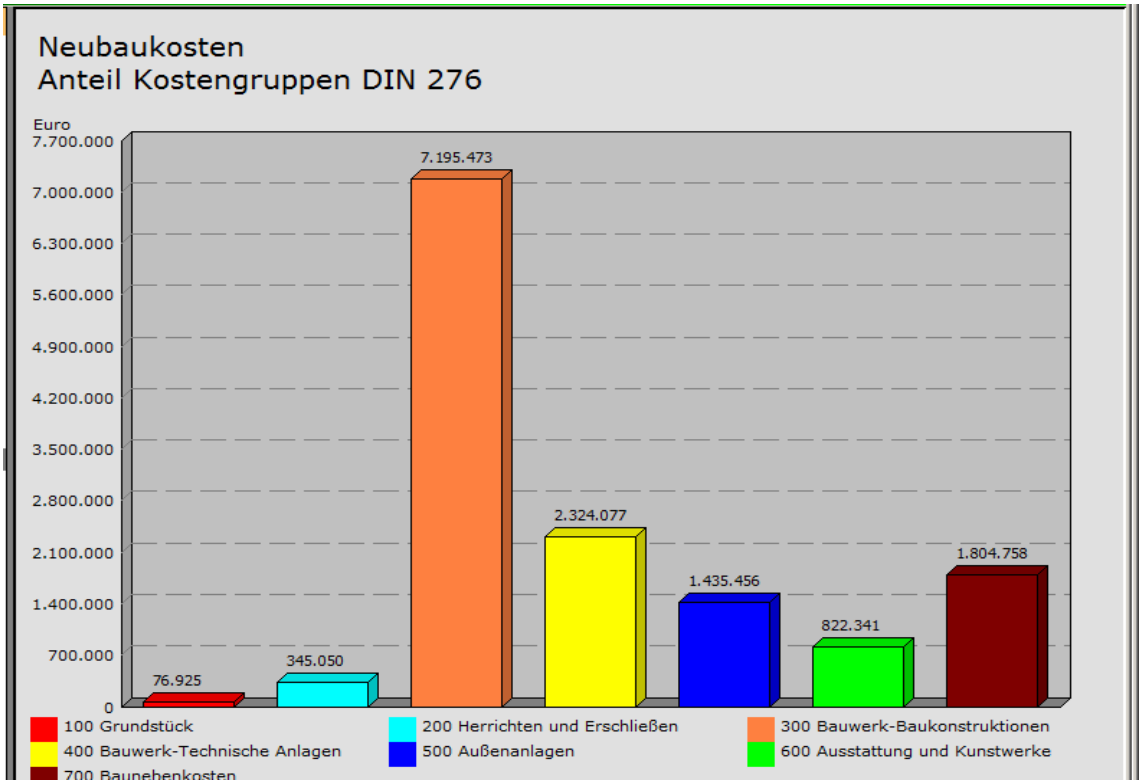



Abb. 115 Kostenzusammenstellung KGR 100 – 700 nach Kostengruppen absolut

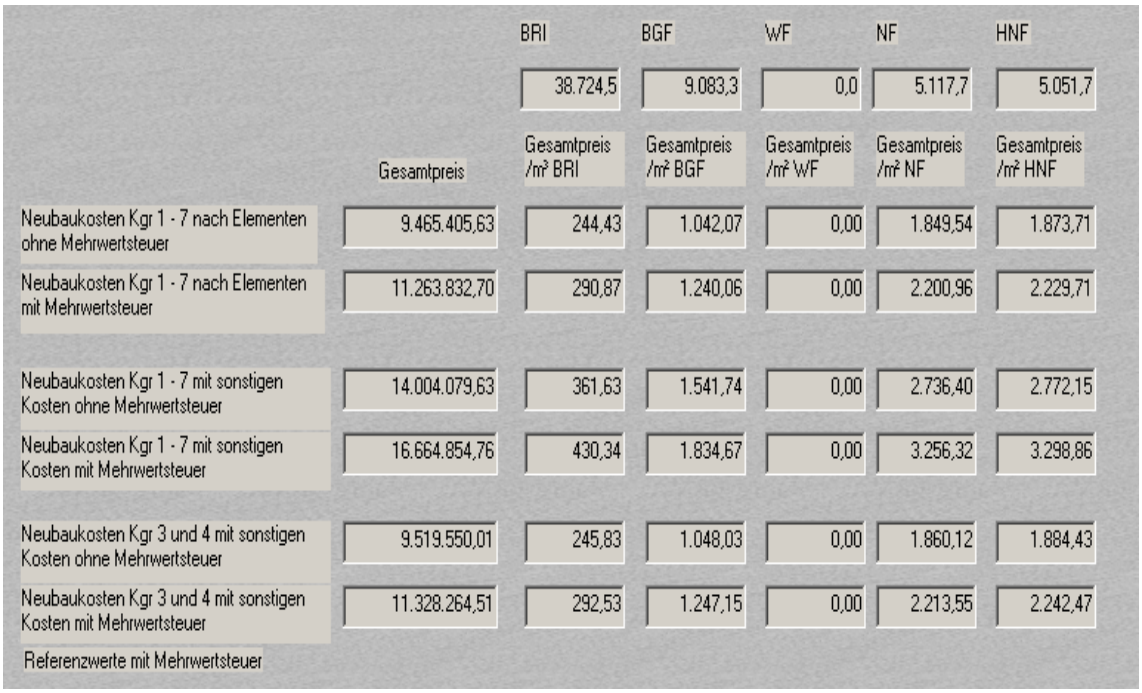
Die verwendeten Elemente und ihre Codierung nach dem LEGEP-Stammdatenkatalog wurden in separaten Excellisten erfasst und können im Anhang eingesehen werden (050320kubatur-flächen.xls/050331-Flächen-Außenwände.xls/0503elemente.xls).

Die Bilanzierung aller technischen Anlagen/Kostengruppe 400 bezüglich ihrer ökologischen Folgen für das Projekt wäre zwar wünschenswert, die Datenlage in Hinblick auf die Vielfalt der Anlagen lässt dies aber im Moment nicht vollständig zu. Dazu ist im Moment ein Forschungsprojekt beim Bundesamt für Bauordnung und Raumplanung (BBR) anhängig, bei dem der Verfasser beteiligt ist [BBR2008]. Aus der Analyse ähnlicher Objekte ist bekannt, dass der Einfluss auf die ökologische Gesamtbilanz der noch fehlenden Anlagen bei maximal 2 – 3 % liegt.

| **Gebäude** | **LEGEP o.MWSt €** | **LEGEP m.MWSt. €** | | **kplan o. MWSt.** | **kplan m.MWSt. €** |
|---|---|---|---|---|---|
| KGR 100 | 76925 | 91540 | | 76925 | 91540 |
| KGR 200 | 345050 | 410609 | | 345050 | 410609 |
| KGR 300 | 7195472 | 8562612 | | 6722501 | 7999776 |
| KGR 400 | 2324077 | 2765652 | | 2391559 | 2845955 |
| KGR 500 | 1435455 | 1708192 | | 1471682 | 1751302 |
| KGR 600 | 822341 | 978585 | | 804175 | 956968 |
| KGR 700 | 1804758 | 2147662 | | 1801092 | 2142300 |
| | | | | | |
| **Gesamtsumme** | 14004079 | 16664854 | | 13808377 | 16431968 |
| **Gebäude** | **LEGEP o.MWSt €** | **LEGEP m.MWSt. €** | | **k-Plan o. MWSt.** | **k-Plan m.MWSt. €** |

Tabelle 17 Herstellungskosten nach LEGEP und k-Plan

Die Herstellungskosten der Bauteile, die nicht mit Ihrer Umweltleistung erfasst wurden, liegen bei der Kostengruppe bei diesem Projekt im Bereich von 35% der Kosten der technischen Anlagen, bzw. 6 % Anteil an den Gesamtkosten.
Die differenzierten Daten aus der Auswertung der Kostengruppen wurden mit den Kostenangaben des Büro kplan verglichen.
Die Daten in der Tabelle zeigen eine sehr hohe Kongruenz der Kostenberechnung durch LEGEP und der Kostenberechnung nach kplan. In LEGEP könnte zusätzlich ein Regionalfaktor bei der Kostenermittlung berücksichtigt werden. Dieser berücksichtigt die Ortsgröße, das Bauvolumen und die Baukonjunktur. Für Erding wurde ein Faktor von 1,03 ermittelt.
Die numerische Gesamtübersicht erlaubt einen Kennwertevergleich nach Flächenansätzen. Dabei wird der absolute Betrag der jeweiligen Kostengruppe auf den umbauten Raum (BRI), die Bruttogrundfläche (BGF) oder die Nutzfläche (NF) bezogen. Der dabei ermittelte Wert kann als Benchmark mit anderen dokumentierten Zahlen verglichen werden. Da im Schulbereich nur wenige Orientierungswerte vorhanden sind, wird auf Vergleichszahlen der Nutzungsklasse „Bürogebäude“ zurückgegriffen.



| | | BRI | BGF | WF | NF | HNF |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 38.724,5 | 9.083,3 | 0,0 | 5.117,7 | 5.051,7 |
| | Gesamtpreis | Gesamtpreis /m² BRI | Gesamtpreis /m² BGF | Gesamtpreis /m² WF | Gesamtpreis /m² NF | Gesamtpreis /m² HNF |
| Neubaukosten Kgr 1 - 7 nach Elementen ohne Mehrwertsteuer | 9.465.405,63 | 244,43 | 1.042,07 | 0,00 | 1.849,54 | 1.873,71 |
| Neubaukosten Kgr 1 - 7 nach Elementen mit Mehrwertsteuer | 11.263.832,70 | 290,87 | 1.240,06 | 0,00 | 2.200,96 | 2.229,71 |
| Neubaukosten Kgr 1 - 7 mit sonstigen Kosten ohne Mehrwertsteuer | 14.004.079,63 | 361,63 | 1.541,74 | 0,00 | 2.736,40 | 2.772,15 |
| Neubaukosten Kgr 1 - 7 mit sonstigen Kosten mit Mehrwertsteuer | 16.664.854,76 | 430,34 | 1.834,67 | 0,00 | 3.256,32 | 3.298,86 |
| Neubaukosten Kgr 3 und 4 mit sonstigen Kosten ohne Mehrwertsteuer | 9.519.550,01 | 245,83 | 1.048,03 | 0,00 | 1.860,12 | 1.884,43 |
| Neubaukosten Kgr 3 und 4 mit sonstigen Kosten mit Mehrwertsteuer | 11.328.264,51 | 292,53 | 1.247,15 | 0,00 | 2.213,55 | 2.242,47 |
| Referenzwerte mit Mehrwertsteuer | | | | | | |

Abb. 116 Kostenzusammenstellung absolut und nach Flächenkennwerten

Zum Projektvergleich werden auch die Kubatur- bzw. Flächenkosten über alle Kostengruppen 1 – 7, bzw. nur die KGR 300 und 400, mit und ohne MWSt. ermittelt.

| **Gebäude** | **€/m³ BRI inkl. MWSt.** | **BRI m³** | **€/m² BGF inkl. MWSt.** | **BGF m²** | **€/m² NGF inkl. MWSt.** | **NGF m²** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOS Erding | 366 | 38274 | 1646 | 9083 | 2921 | 7682 |

Tabelle 18 Herstellungskosten nach BRI, BGF und NGF Kostengruppe 1-7

Eine Auswertung nur der Kostengruppen 3 und 4 ergab folgende Werte (s. Tabelle 19). Diese Berechnung bezieht sich bei der Schule Erding allerdings auf die Kubatur und die Flächen inklusive der überdachten Atriumflächen

| **Gebäude** | **€/ m³ BRI inkl. MWSt.** | **BRI m³** | **€/ m² BGF inkl. MWSt.** | **BGF m²** | **€/ m² NGF inkl. MWSt.** | **NGF m²** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOS Erding | 252 | 38724 | 1074 | 9083 | 1270 | 7682 |
| | | | | | | |
| **Vergleichsobjekt** | | | | | | |
| BKI 40100-11 | | 364288 | 1.103 | 9697 | BKI 40100-11 | |
| Biberach | 309 | 44993 | 1192 | 11659 | | 9750 |
| Erding:Biberach | - 57 | | - 118 | | - | |

Tabelle 19 Herstellungskosten nach BRI, BGF und NGF Kostengruppen 3 und 4

### 3.5.5.3 Wärme und Energie

Für die Ermittlung des Wärmebedarfs und der Energiekosten kann in LEGEP das Verfahren für Nichtwohngebäude nach DIN 18599 angewendet werden. Dadurch kann auch ein Vergleich mit einer Energiebedarfs-Berechnung nach Passivhausprojektierungsprogramm (PHPP), die vom Auftraggeber in Auftrag gegeben worden war, durchgeführt werden.
Aus Zeitgründen wird in diesem Bericht auf eine Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse verzichtet. Deshalb wird ein abgekürztes Verfahren verwendet. Dazu kann das Ergebnis der

bereits vorliegenden Berechnung durch den Energieprojektanten, das Büro ip5 aus Karlsruhe, Anwendung finden.

#### 3.5.5.3.1 Projekteingabe

Grundlage der Berechnung in LEGEP sind die Elemente, die entsprechende Daten über Materialien, Schichtaufbau und daraus resultierenden U-Wert bereitstellen. Diese Elemente werden mit ihren entsprechenden Flächen den Hüllflächentypen zugeordnet.
Eine rote, orange, gelbe oder grüne Kennzeichnung der Hüllflächenbauteile zeigt die Qualität der U-Werte je nach Hüllflächentyp an. In diesem Projekt dokumentiert das Programm die sehr guten Ergebnisse des U-Wertes der Einzelbauteile. Realisiert wurde dies durch mehrere Maßnahmen:

- eine starke Dämmung der Außenwände
- eine Dämmung der Bodenplatte gegen das Erdgeschoss
- eine sehr gute Dachdämmung
- niedrige U-Werte der transluzenten Bauteile.

Weitere notwendige Festlegungen der Berechnung:

- Wärmebrückennachweis
- Gebäudedichtheit
- Zonierung der Flächen nach Klassenräumen, Verkehrsfläche, WC-Räume usw.
- Technik der Heizung, Lüftung, Klimatisierung
- Technik der Belichtung.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Heizung | | | | | 414.691,22 | kWh/a |
| Wärmesenken | | | | | 737.625,67 | kWh/a |
| QT | | | | | 272.977,34 | kWh/a |
| Atrium NORD | | | | | 62,35 | W/K |
| Atrium Fenster Norden | N | 60,0 | 0,901 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | | 28,0 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Atrium OST | | | | | 0,02 | W/K |
| Opake Konstruktion | | 0,1 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Atrium SÜD | | | | | 14,23 | W/K |
| Opake Konstruktion | | 75,0 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Atrium WEST | | | | | 0,02 | W/K |
| Opake Konstruktion | | 0,1 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Außentüren Fluchttreppenhaus Osten | | | | | 1,42 | W/K |
| Opake Konstruktion | O | 2,1 | 0,625 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Nordriegel Außentüren Fluchttreppenhaus Süden | | | | | 2,84 | W/K |
| Opake Konstruktion | S | 4,2 | 0,625 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Nordriegel Außenwand Norden | | | | | 592,41 | W/K |
| Nordriegel Fenster Norden | N | 482,9 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | N | 762,5 | 0,147 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Nordriegel Außenwand Osten | | | | | 93,60 | W/K |
| Atrium Fenster Osten | O | 47,4 | 0,901 | 1,00 | | W/K |
| Nordriegel Fenster Osten | O | 15,3 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | O | 182,0 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Nordriegel Außenwand Süden | | | | | 242,83 | W/K |
| Atrium Fenster Süden | S | 75,0 | 0,901 | 1,00 | | W/K |
| Nordriegel Fenster Süden | S | 116,6 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | S | 341,4 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Nordriegel Außenwand Westen | | | | | 99,04 | W/K |
| Südriegel Außentüren Fluchttreppenhaus Norden | | | | | 2,84 | W/K |
| Opake Konstruktion | N | 4,2 | 0,625 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Südriegel Außenwand Norden | | | | | 67,28 | W/K |
| Südriegel Fenster Norden | N | 30,3 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | N | 208,4 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Südriegel Außenwand Osten | | | | | 26,61 | W/K |
| Außentüren Eingang Osten | O | 4,2 | 0,789 | 1,00 | | W/K |
| Südriegel Fenster Osten | O | 5,8 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | O | 93,7 | 0,140 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Südriegel Außenwand Süden | | | | | 435,02 | W/K |
| Südriegel Fenster Süden | S | 372,9 | 0,866 | 1,00 | | W/K |
| Opake Konstruktion | S | 474,9 | 0,147 | 1,00 | 0,00 | W/K |
| Südriegel Außenwand Westen | | | | | 23,11 | W/K |

Abb. 117 Bauteilkennwerte

**Ergebnis des rechtlichen EnEV-Nachweises**

Der rechtliche Nachweis des Energiebedarfs beruht auf normierten Annahmen, nach denen alle Gebäude in der BRD berechnet werden müssen. Dies ermöglicht einen Vergleich der Ergebnisse.

**V-DIN 18599 – konforme Berechnung [18599]**

Die DIN V 18599 berücksichtigt die Kühlung eines Gebäudes. Weiterhin wird je nach Nutzungstyp ein Nutzungsprofil für den Energiebedarf für den Strombedarf notwendiger die Geräte (Hilfsenergie Heizung, Transportmittel, EDV-Anlagen usw.) angenommen. Die Beleuchtung des Gebäudes wird entsprechend einem angenommenen Lampentyp berücksichtigt. Dadurch wird ein wesentlicher höherer Bedarf an elektrischem Strom berechnet, als dies bisher bei EnEV-Berechnungen möglich war. Dies führt durch die Beaufschlagung des Stroms um den Faktor 2,7 zu einem ungewohnt hohen Primärenergiebedarf. Die funktionelle Einheit ist nicht mehr der m³ beheizter Raum, sondern der m² beheizte Nettogrundfläche (NGF).

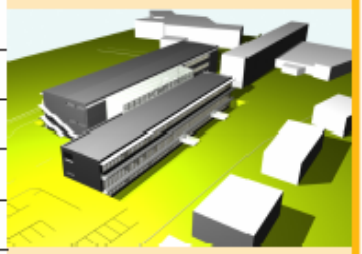
**ENERGIEAUSWEIS** für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Gültig bis: 09.07.2018 **1**

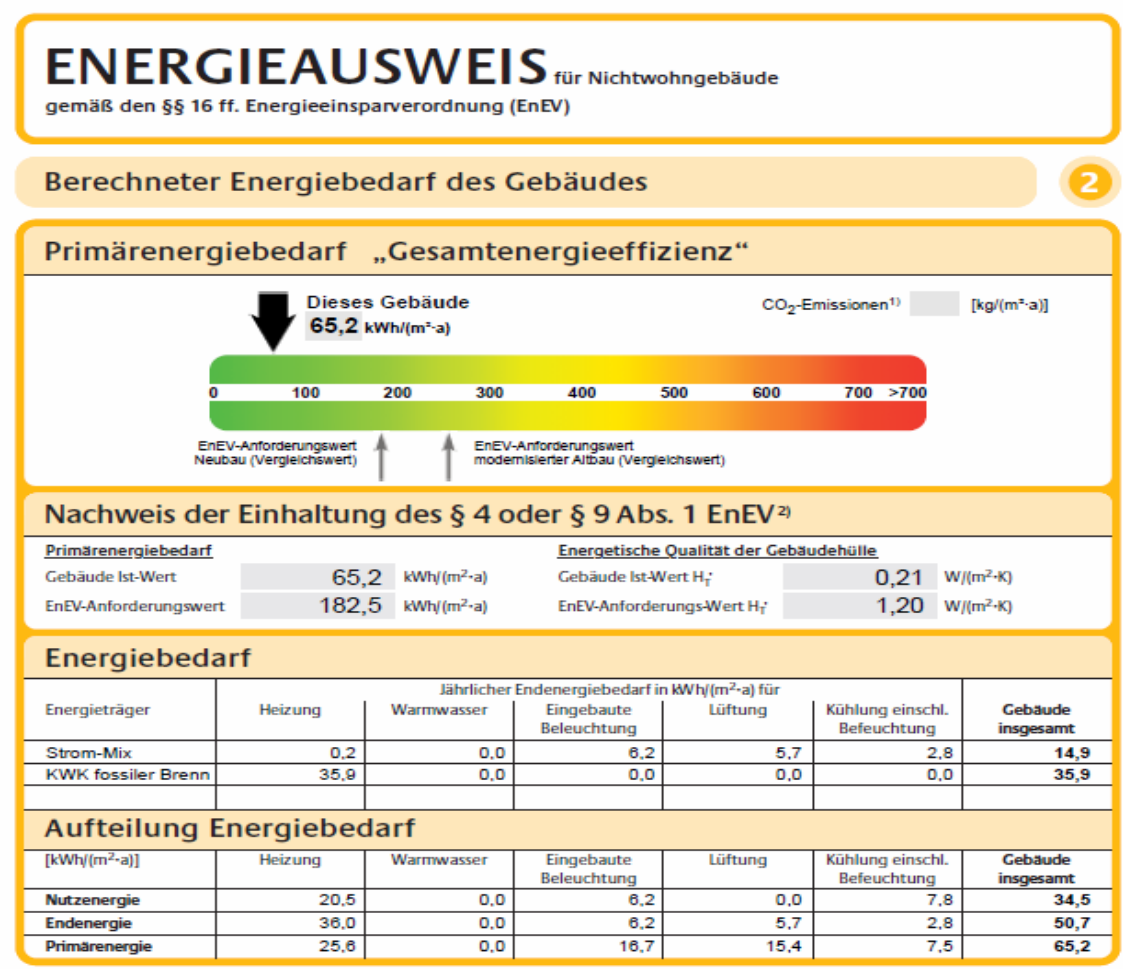
**Gebäude**

| | |
|---|---|
| Hauptnutzung/ Gebäudekategorie | FOS / BOS Erding |
| Adresse | Freisinger Straße, 85442 Erding |
| Gebäudeteil | Schulgebäude |
| Baujahr Gebäude | 2009 |
| Baujahr Wärmeerzeuger | 2008 |
| Baujahr Klimaanlage | 2008 |
| Nettogrundfläche | 7.974 m² |



Anlass der Ausstellung des Energieausweises: ☒ Neubau ☐ Vermietung/Verkauf ☐ Modernisierung (Änderung/Erweiterung) ☒ Aushang bei öffentlichen Gebäuden ☐ Sonstiges (freiwillig)

Abb. 118 Energieausweis der FOS/BOS Erding



# ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

## Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

2

### Primärenergiebedarf „Gesamtenergieeffizienz“

Dieses Gebäude
65,2 kWh/(m²·a)

$CO_2$-Emissionen[1] [kg/(m²·a)]

0 100 200 300 400 500 600 700 >700

EnEV-Anforderungswert Neubau (Vergleichswert)

EnEV-Anforderungswert modernisierter Altbau (Vergleichswert)

### Nachweis der Einhaltung des § 4 oder § 9 Abs. 1 EnEV[2]

| Primärenergiebedarf | | | Energetische Qualität der Gebäudehülle | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gebäude Ist-Wert | 65,2 | kWh/(m²·a) | Gebäude Ist-Wert $H_T'$ | 0,21 | W/(m²·K) |
| EnEV-Anforderungswert | 182,5 | kWh/(m²·a) | EnEV-Anforderungs-Wert $H_T'$ | 1,20 | W/(m²·K) |

### Energiebedarf

| Energieträger | Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m²·a) für Heizung | Warmwasser | Eingebaute Beleuchtung | Lüftung | Kühlung einschl. Befeuchtung | Gebäude insgesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Strom-Mix | 0,2 | 0,0 | 6,2 | 5,7 | 2,8 | **14,9** |
| KWK fossiler Brenn | 35,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **35,9** |
| | | | | | | |

### Aufteilung Energiebedarf

| [kWh/(m²·a)] | Heizung | Warmwasser | Eingebaute Beleuchtung | Lüftung | Kühlung einschl. Befeuchtung | Gebäude insgesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nutzenergie** | 20,5 | 0,0 | 6,2 | 0,0 | 7,8 | **34,5** |
| **Endenergie** | 36,0 | 0,0 | 6,2 | 5,7 | 2,8 | **50,7** |
| **Primärenergie** | 25,6 | 0,0 | 16,7 | 15,4 | 7,5 | **65,2** |

Abb. 119 Energieausweis 2. Seite

Diese Änderungen bedeuten, dass die vertrauten Kennwerte des Primärenergiebedarfs der EnEV-Berechnung keinerlei Anwendungen mehr finden können. Die Größenordnung von 10 - 30 kWh/m³a müssen ersetzt werden durch Werte im Bereich von 150 – 250 kWh/m²a.
Als Ergebnis der Berechnung wird der Energiebedarfsausweis erzeugt, der in abgekürzter Form des komplexen Rechenweges die Ergebnisse zusammenfasst. Die Angaben zum Endenergiebedarf entsprechend der eingesetzten Energieträger können in LEGEP eingesetzt werden.
In LEGEP werden Betriebselemente für die einzelnen Medienarten erzeugt und mit einer Bedarfseinheit berechnet, z.B. für Heizwärmebedarf Fernwärme oder Hilfsenergie Strom. Diese berechneten Werte können überschrieben werden durch Zahlen, die in externen Programmen erzeugt wurden. In diesem Falle werden diese Element mit einem „Schloss“ versehen. Diese Medienmengen werden der weiteren Berechnung der Lebenszykluskosten und der Umweltbelastung zugrunde gelegt.

| lame | Menge | Nr | Einheit | gn | Zyklus | Betrieb | elpreis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Betriebsmittel** | | | | | | **67.014,57** | |
| Betrieb elektrischer Strom, Beleuchtung, öffentliches Netz | | | kWh ... | | 49.438,800 | 10.382,15 | 0,21 |
| Betrieb elektrischer Strom, Geräte, öffentliches Netz | | | kWh ... | | 67.779,000 | 14.233,59 | 0,21 |
| Betrieb elektrischer Strom, Hilfsenergie Heizung, öffentliches Netz | | | kWh ... | | 1.594,800 | 334,91 | 0,21 |
| Grundpreis Strom | | | St / J... | | 1,000 | 0,00 | 0,00 |
| Vergütung für Einspeisung Solar-Strom | | | kWh ... | | 0,000 | | -0,50 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Öl | | | l / Jahr | | 0,000 | | 0,95 |
| Betrieb Warmwasser, Öl | | | l / Jahr | | 0,000 | | 0,95 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Erdgas | | | m³ / ... | | 0,000 | | 0,85 |
| Betrieb Warmwasser, Erdgas | | | m³ / ... | | 0,000 | | 0,85 |
| Grundpreis Gas | | | St / J... | | 1,000 | 0,00 | 0,00 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Holzhackschnitzel | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb Warmwasser, Holzhackschnitzel | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Holzpellet | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,20 |
| Betrieb Warmwasser, Holzpellet | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,20 |
| Betrieb, Fernwärme Heizung KWK erneuerbare | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,00 |
| Betrieb, Fernwärme Heizung KWK fossiler Brennstoff | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Heizung HW erneuerbare Energien | | | kWh ... | | 286.229,000 | 25.760,61 | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Heizung HW fossile Brennstoffe | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Warmwasser KWK erneuerbare Energien | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Warmwasser KWK fossiler Brennstoff | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Warmwasser HW erneuerbare Energien | | | kWh ... | | 80.940,492 | 7.284,64 | 0,09 |
| Betrieb, Fernwärme Warmwasser HW fossile Brennstoffe | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,09 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Braunkohle | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,60 |
| Betrieb Warmwasser, Braunkohle | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,60 |
| Betrieb konventionelle Wärmeerzeugung, Steinkohle | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,80 |
| Betrieb Warmwasser, Steinkohle | | | kg / J... | | 0,000 | | 0,80 |
| Betrieb, konventionelle Wärmeerzeugung, elektr. Strom, öffentl. Netz | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,14 |
| Betrieb, Warmwasser, elektr. Strom, öffentl. Netz | | | kWh ... | | 0,000 | | 0,14 |
| Betrieb Brauchwasser | | | m³ / ... | | 0,000 | | 0,00 |
| Betrieb Regenwasser | | | m³ / ... | | 0,000 | | 0,00 |
| Betrieb Frischwasser | | | m³ / ... | | 1.279,425 | 2.571,64 | 2,01 |
| Betrieb Abwasser, öffentlicher Kanal (Schmutzwasser) | | | m³ / ... | | 1.279,425 | 2.737,97 | 2,14 |

Abb. 120 Betriebselemente mit eingetragenen Bedarfswerten

Die Verhältnisse zwischen Endenergie und Primärenergie werden durch die folgenden Grafiken (Abbildung 121, 122) verdeutlicht. Bei der Stapelsäule Endenergie ist das Verhältnis Heizwärme (rot) zu elektrischem Strom Beleuchtung (blau) gleich, gefolgt von Warmwasser (türkis) und Strom Geräte (gelb). Der Gesamtbedarf liegt bei ca. 760.000 kWh/a.
Bei der Darstellung der Primärenergie wird der elektrische Strom mit dem Faktor 3,0 beaufschlagt. Dies führt zu einer Dominanz des blauen und gelben Stromanteils bei der Stapelsäule. Der Gesamtbedarf der Primärenergie liegt bei ca. 1.150.000 kWh/a.

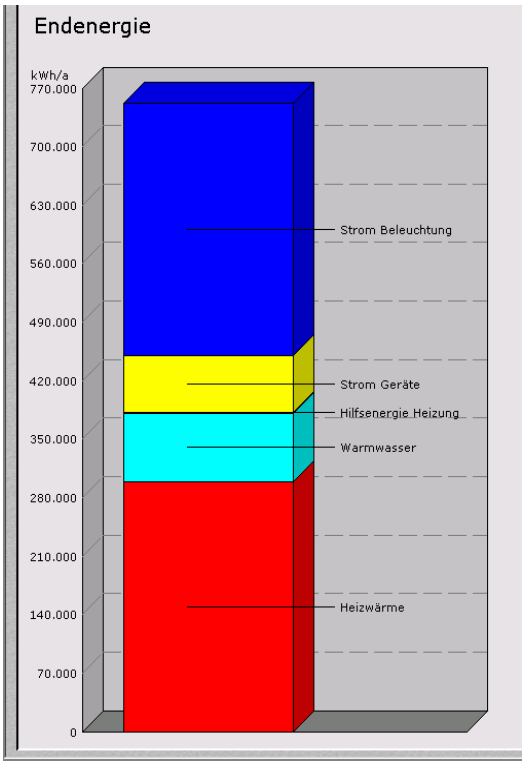



Abb. 121 Endenergie FOS/BOS Erding

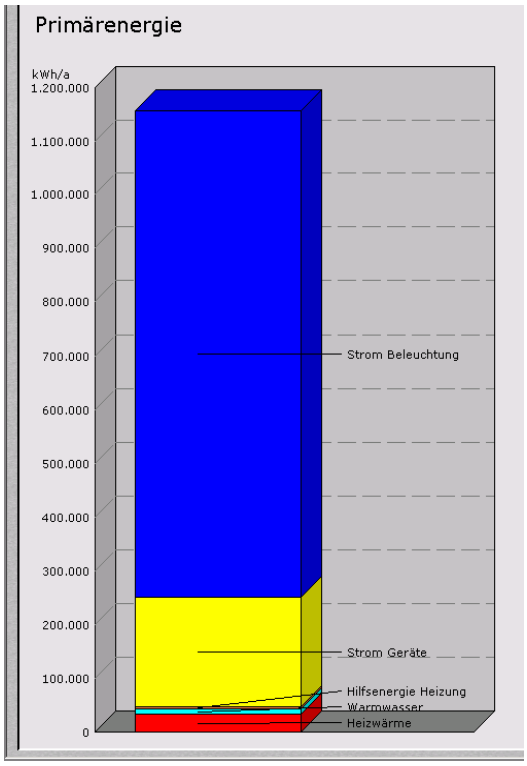



Abb. 122 Primärenergie FOS/BOS Erding

### 3.5.5.3.2 Kosten der Ver- und Entsorgung mit Medien

Der Bedarf an Heizung, Warmwasser, Beleuchtungsstrom wird auf Basis der Berechnung nach DIN 18599 ermittelt, der Bedarf an Frischwasser wird bezogen auf die m² BGF statistisch erfasst und der weiteren Berechnung zugrunde gelegt. Die angegebenen Kosten für die Medienver- und -entsorgung wurden auf der Basis von Kostenwerten für Strom und Wasser entsprechend der LEGEP-Datenbank ermittelt [OSC2004], [NIED03]. Hier könnte noch eine Projektanpassung der Medienpreise erfolgen, wie sie in Verträgen der Betreiber (Landkreis, Kommune) mit den Medienlieferanten vertraglich geregelt sind.

- Strom 0,21 €/kWh
- Fernwärme 0,09 €/kWh
- Frischwasser 2,01 €/m³
- Abwasser 2,14 €/m³
- Regenwasser 1,10 €/m³.

| | **Betriebskosten Strom €/kWhm²a** | **Betriebskosten Wasser / Abwasser €/m²a** | **Betriebskosten Heizung+WW €/m²a** | **Betriebskosten Gesamt €/m²a** |
|---|---|---|---|---|
| FOS/BOS Erding | 3,25 | 1,17 | 4,45 | **8,87** |
| **Vergleichswerte** | | | | |
| Schule Biberach nach DIN 18599 | 5,29 | 0,92 | 6,83 | **13,04** |
| Plakoda 2004 | | | | **12,78** |
| OSCAR 2004 | | | | **8,04** |
| Nieders. 2003 | | | | **6,77** |
| Baden-Württ. 2004 | | | | **9,26** |
| IFMA 2005 | | | | **12,75** |

Tabelle 20 Betriebskosten nach Medien pro m² NGF

### 3.5.5.4 Nutzungskosten

#### 3.5.5.4.1 Projekteingabe

Für die Ermittlung der Folgekosten wird ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angenommen. Berücksichtigt werden alle Phasen des Lebenszyklus:

- Ver- und Entsorgung
- Reinigung
- Wartung
- Instandsetzung
- Rückbau
- Entsorgung.

Diese Darstellungen berücksichtigen keinen Diskontierungsfaktor, d.h. alle Werte werden in der realen heute fälligen Höhe dargestellt. Für die Barwertberechnung werden die Kosten mit einem Diskontierungszins von 3% berechnet.

Die Phase Rückbau und Entsorgung wird getrennt berechnet. Für den Rückbau wird die Bauweise festgelegt, da je nach Konstruktionstyp die Abbruchkosten differieren. Für die Entsorgung können drei verschiedene Szenarien festgelegt werden.

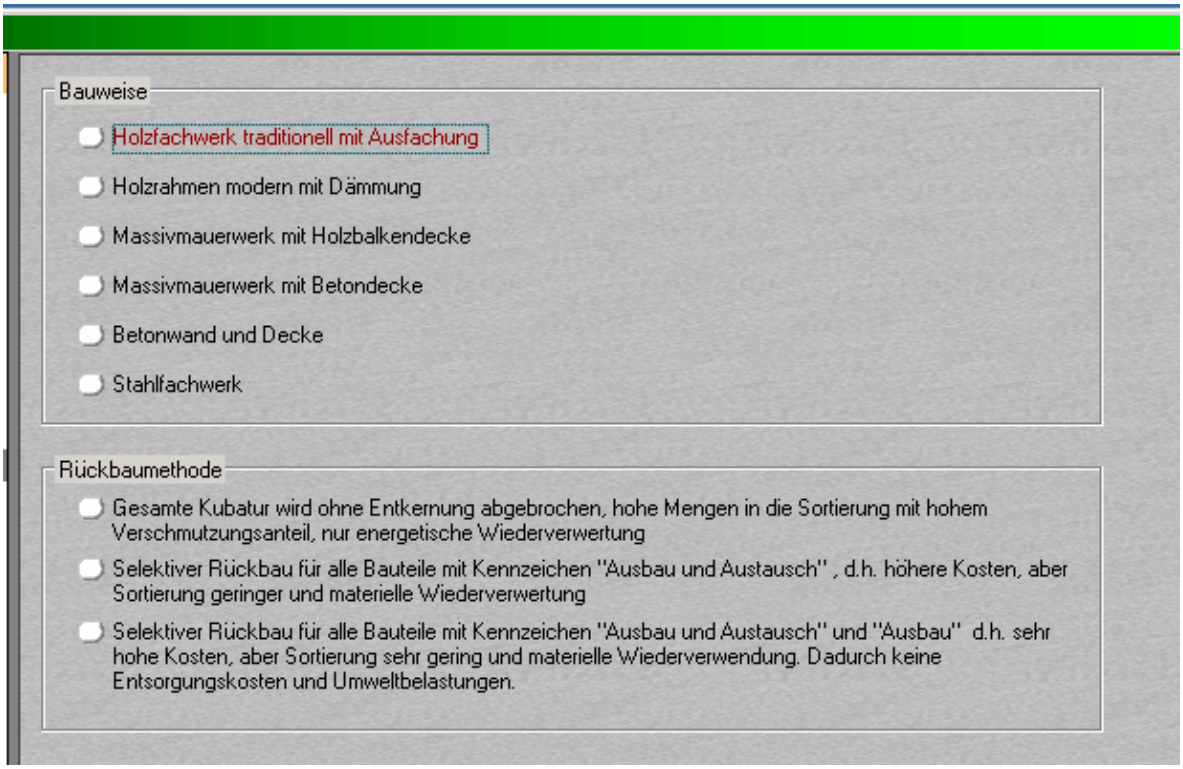



Abb. 123 Rückbau und Entsorgungsszenarien

#### 3.5.5.4.2 Projektauswertung

Die Folgekosten werden in der nachstehenden Grafik im Verhältnis zu den Herstellungskosten dargestellt. Die Herstellungskosten (türkis) dominieren mit 37,8 % Anteil, gefolgt von den Ver- und Entsorgungskosten des Betriebs (orange) mit 20,7 %. Rückbaukosten (grün) stellen einen wesentlichen Kostenfaktor dar (17,8 %). Aufwendungen für Reinigung (rot) und Instandsetzung (blau) sind fast gleich hoch. Wartungskosten (gelb) fallen sowohl bei den Fenstern, der Fassade und den technischen Anlagen an. Die Betriebskosten beinhalten eine jährliche Steigerung der Energieträger von 5 %. Wegen dieser dynamischen Berechnung kann der jährliche Wert für die Betriebskosten in der Tabelle nicht mit dem Betrachtungszeitraum multipliziert werden.

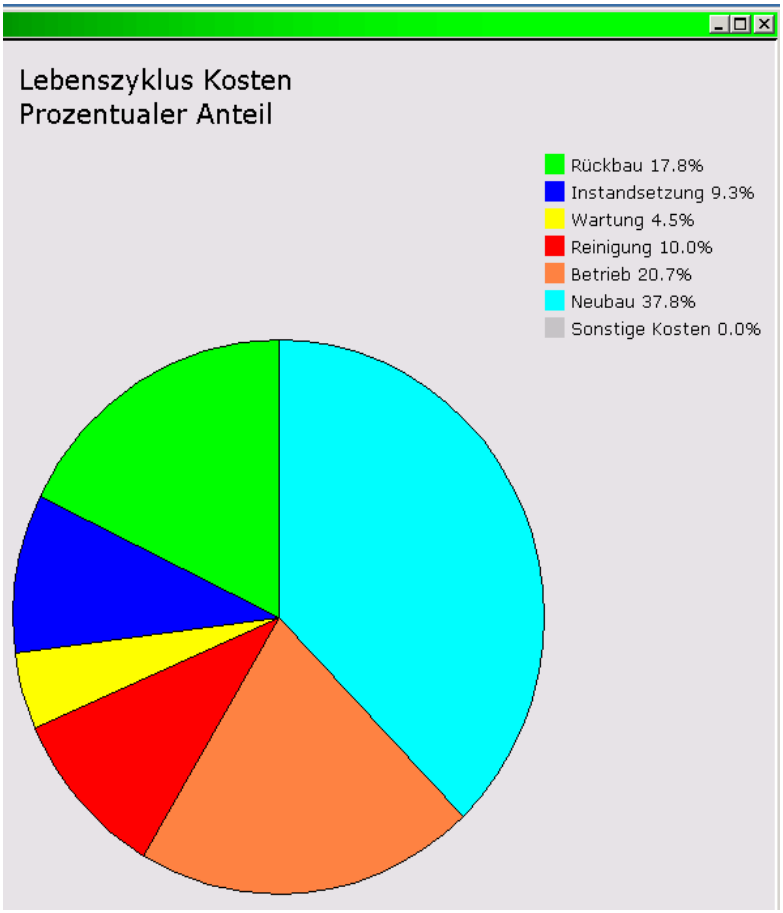



Abb. 124 Lebenszykluskosten über alle Phasen in 50 Jahren, prozentuales Verhältnis

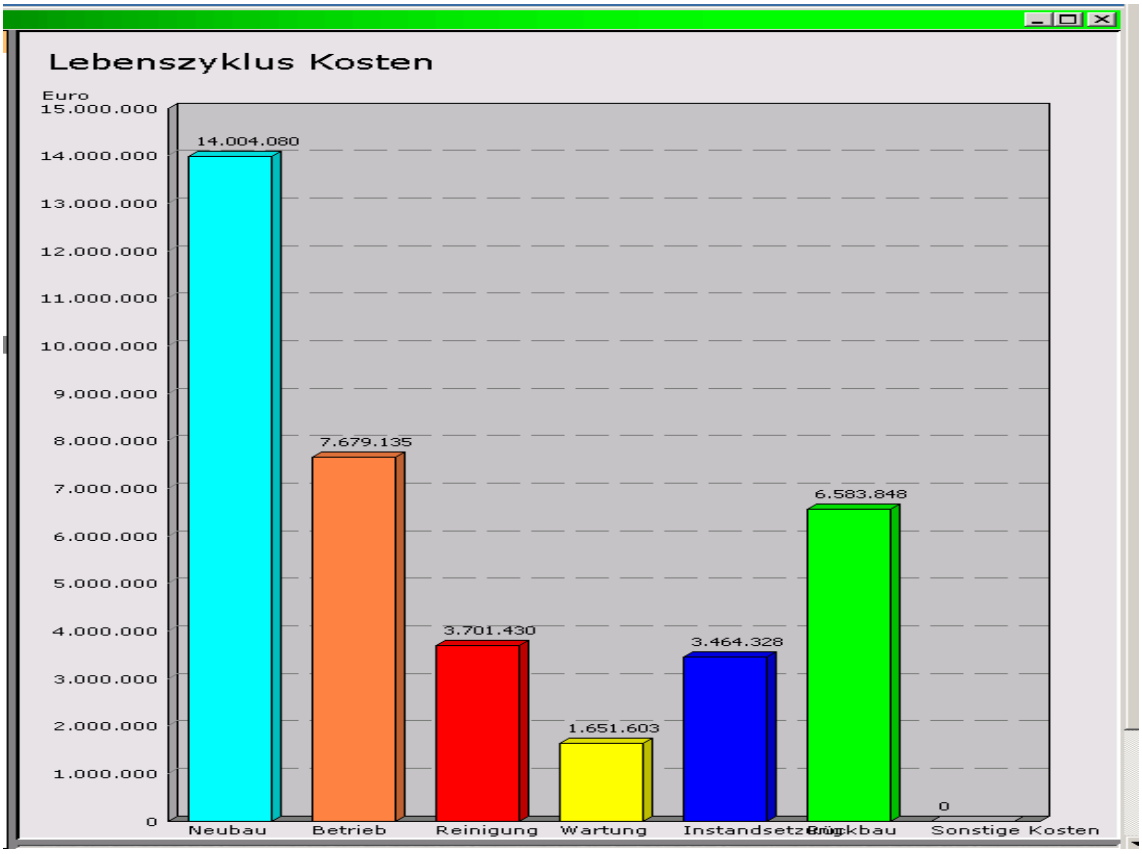



Abb. 125 Lebenszykluskosten über alle Phasen in 50 Jahren absolut

Die grafische Analyse der Lebenszykluskosten kann über den Betrachtungszeitraum für jeden Kostenverursacher getrennt aufgezeigt werden. Abbildung 126 zeigt den Mittelabfluss der für die Reinigung gleich bleibend hoch ist, bei der Wartung dreijährige Spitzen aufweist, bei dem Betriebskosten die Dynamisierung der Preissteigerung zum Ausdruck bringt und bei der Instandsetzung die Spitzen entsprechend der Lebensdauer der Einzelbauteile aufweist.

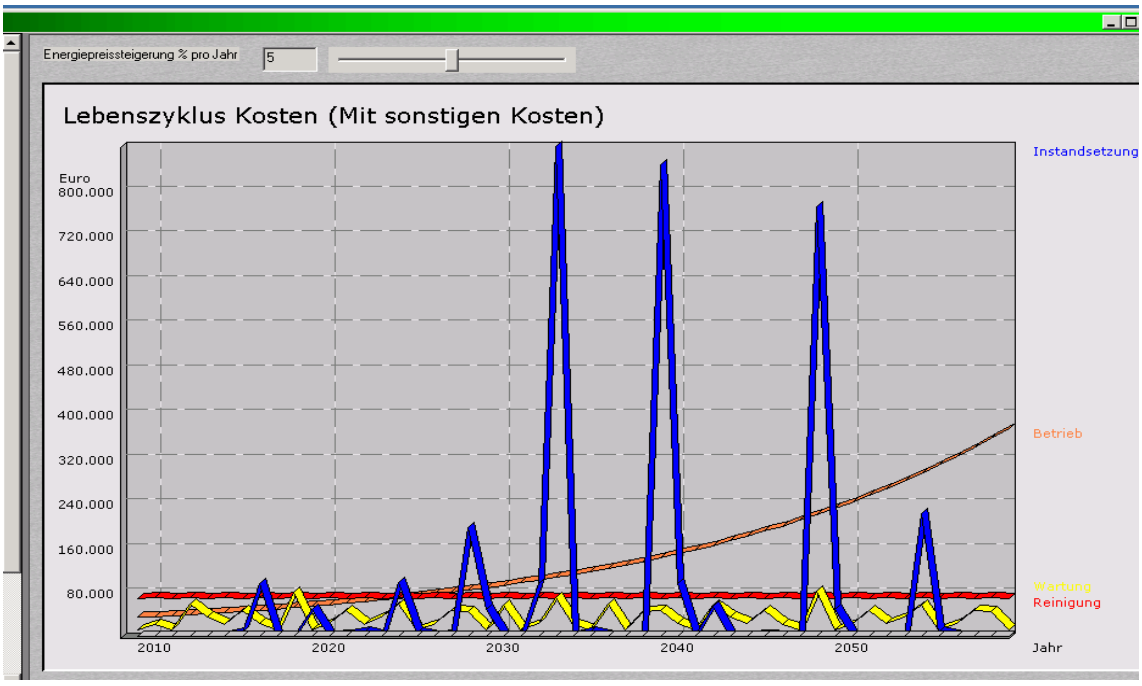



Abb. 126 Lebenszykluskosten über 50 Jahren, getrennt nach Phasen

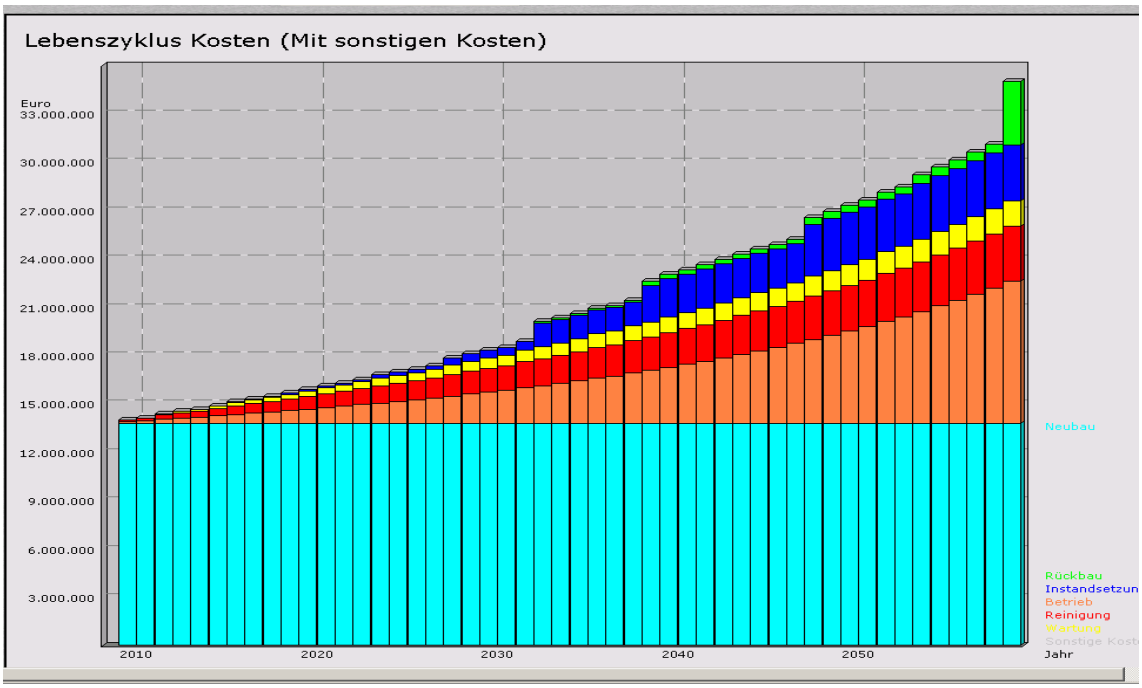



Abb. 127 Lebenszykluskosten summiert, Energiepreissteigerung 5%/a, Barwertberechnung

Die kumulierte Darstellung der Lebenszykluskosten in Abbildung 128 zeigt das günstige Verhältnis der Herstellungskosten zu den Folgekosten bei einer 50 jährigen Nutzungsphase. Die nicht abgezinsten Gesamtkosten liegen bei knapp über 33.500.000 Mio. €.

Der Barwert zeigt bei einem angenommenen Realzinssatz von 3% einen Gesamtwert von ca. 22.000.000 Mio. €.

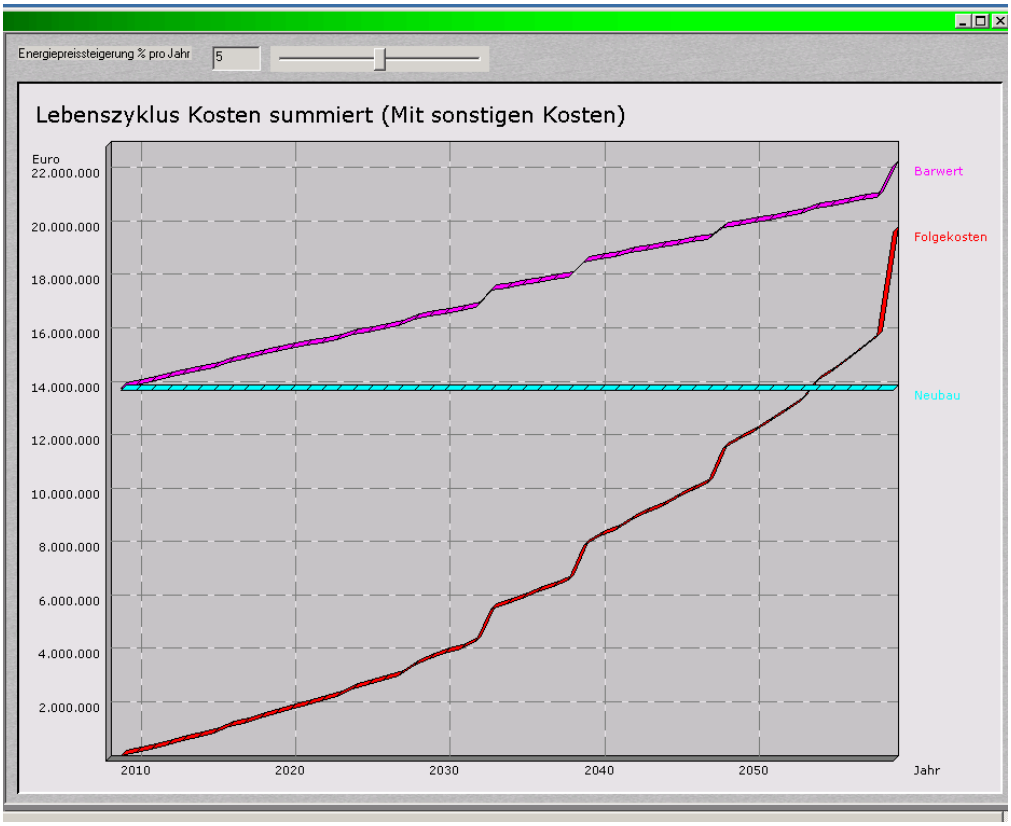



Abb. 128 Lebenszykluskosten summiert, Energiepreissteigerung 5%/a, Barwertberechnung

Die numerische Gesamtübersicht (Abbildung 129) erlaubt einen Kennwertevergleich nach Flächenansätzen. Dabei wird der absolute Betrag der jeweiligen Kostengruppe auf den umbauten Raum (BRI), die Bruttogrundfläche (BGF), der Nettogrundfläche (NGF) oder die Nutzfläche (NF) bezogen. Der dabei ermittelte Wert kann als Benchmark mit anderen dokumentierten Zahlen verglichen werden. Da im Schulbereich nur wenige Orientierungswerte vorhanden sind, wird auf Vergleichszahlen der Nutzungsklasse „Bürogebäude“ zurückgegriffen.
Neben dem Flächenkennwert kann auch eine Verhältniszahl zum Vergleich herangezogen werden - der Anteil der Kosten bezogen auf die Herstellungskosten. Diese betragen für die FOS/BOS Erding (in Klammern die Werte für die BOS Biberach):

- Reinigung 0,49 % jährlich (1,0)
- Wartung 0,23 % jährlich (0,31)
- Instandsetzung 0,51 % jährlich (1,05)
- Betrieb 0,49% jährlich (0,46)
- Rückbau 0,08 % jährlich. (0,14)

| | | Neubaukosten | BRI | BGF | NGF | NF | WF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 13.763.171,75 | 38.724,5 | 9.083,3 | 7.681,9 | 5.117,7 | 0,0 |
| | Gesamtpreis | % der Neubaukosten | Gesamtpreis /m² BRI | Gesamtpreis /m² BGF | Gesamtpreis /m² NGF | Gesamtpreis /m² NF | Gesamtpreis /m² WF |
| Ohne Mehrwertsteuer | | | | | | | |
| Reinigung / a | 67.805,39 | 0,49 | 1,75 | 7,46 | 8,83 | 13,25 | 0,00 |
| Wartung / a | 31.910,83 | 0,23 | 0,82 | 3,51 | 4,15 | 6,24 | 0,00 |
| Instandsetzung / a | 70.123,44 | 0,51 | 1,81 | 7,72 | 9,13 | 13,70 | 0,00 |
| Betrieb / a | 67.015,06 | 0,49 | 1,73 | 7,38 | 8,72 | 13,09 | 0,00 |
| Rückbau (Austausch) / a | 11.141,09 | 0,08 | 0,29 | 1,23 | 1,45 | 2,18 | 0,00 |
| Sonstiges / a | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mit Mehrwertsteuer | | | | | | | |
| Reinigung / a | 80.688,41 | | 2,08 | 8,88 | 10,50 | 15,77 | 0,00 |
| Wartung / a | 37.973,89 | | 0,98 | 4,18 | 4,94 | 7,42 | 0,00 |
| Instandsetzung / a | 83.446,89 | | 2,15 | 9,19 | 10,86 | 16,31 | 0,00 |
| Betrieb / a | 79.747,92 | | 2,06 | 8,78 | 10,38 | 15,58 | 0,00 |
| Rückbau (Austausch) / a | 13.257,90 | | 0,34 | 1,46 | 1,73 | 2,59 | 0,00 |
| Sonstiges / a | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Abb. 129 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten und Flächenbezug

Im Vergleich mit einer ähnlichen Berufsoberschule erreicht die FOS/BOS Erding um 10 % höhere Werte. Die Schule in Biberach hat wesentlich günstigere Betriebswerte, 8,72 €/m² NGFa zu 4,69 €/m²NGFa. Diese Werte wurden aber auch erst nach einer zweijährigen Monitoringphase erreicht.

| | Reinigungs-kosten €/m²NGFa | Wartungs-kosten €/m²NGFa | Instandsetz-ungskosten €/m²NGFa | Betriebs-kosten €/m²NGFa | Rückbau-kosten €/m²NGFa |
|---|---|---|---|---|---|
| FOS/BOS Erding | 8,83 | 4,15 | 9,13 | 8,72 | 1,45 |
| | | | | | |
| **Vergleichswerte** | | | | | |
| Schule Biberach nach DIN 18599 | 9,78 | 3,04 | 10,25 | 4,69 | 1,33 |

Tabelle 21 Betriebskosten nach Medien pro m² NGF

In den zugänglichen Studien werden die Folgekosten fast ausschließlich auf die Nutzfläche (NF) bezogen.

| Gebäude | Nutzfläche (NF) m² | Reinigung €/m²a | Wartung €/m²a | Instandsetzung €/m²a |
|---|---|---|---|---|
| FOS/BOS Erding | 5117,7 | 13,25 | 6,24 | 13,70 |
| **Vergleichsobjekte** | | | | |
| Plakoda 2004 | | 11,76 | | 8,70 |
| OSCAR 2004 | | 4,51 | 6,19 | --- |
| Nieders. 2003 | | 9,14 | 1,38+7,61 | --- |
| Baden-Württemb. 2004 | | 10,00 | 0,66 | --- |
| IFMA 2005 | | 14,56 | 19,50 | 23,56 |

Tabelle 22 Lebenszyklus-Nutzungskosten jährlich bezogen auf den m² Nutzfläche

Die Folgekosten können auch den Kostengruppen nach DIN 276 zugeordnet werden (KGR 300 Baukonstruktion, KGR 400 Technische Anlagen (Abbildung 130). Dabei wird deutlich, dass bezogen auf die Kostengruppen, die Folgekosten über 50Jahre entweder so hoch wie die Herstellungskosten sind (KGR300) oder diese sogar übertreffen (KGR 400). Für die übrigen KGR sind keine Folgekosten über Elemente ermittelbar.

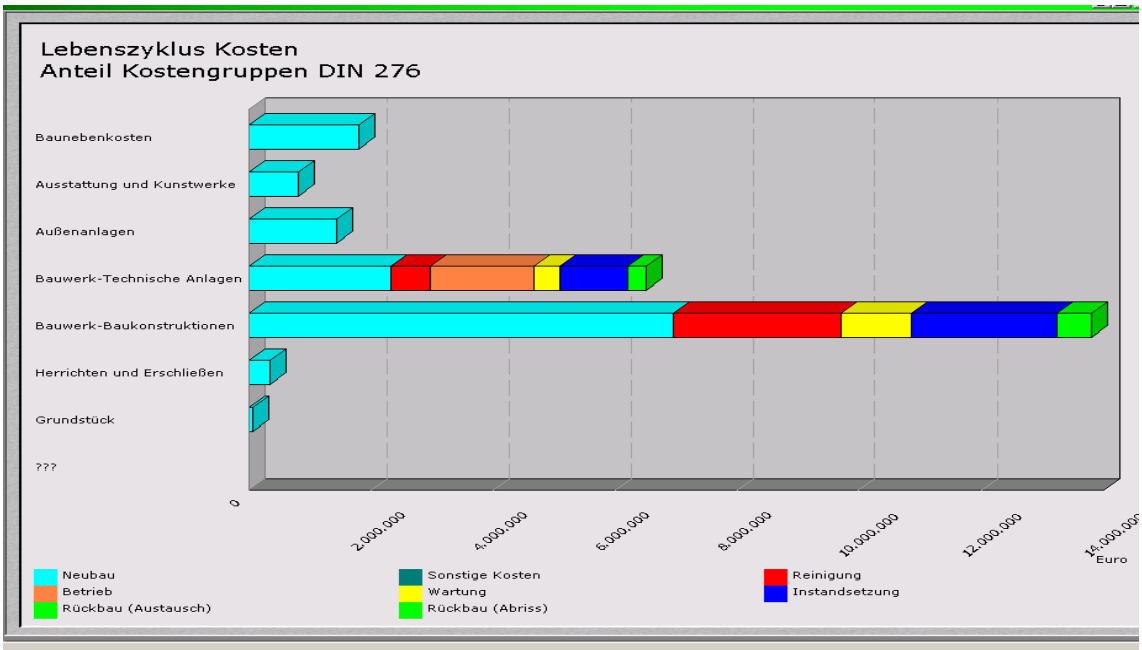



Abb. 130 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten nach KGR 300 und 400

Nach DIN 18960 können zwei KGR miteinander verglichen werden: KGR 300 Betriebskosten (türkis) und KGR 400 Instandsetzungskosten (beige).

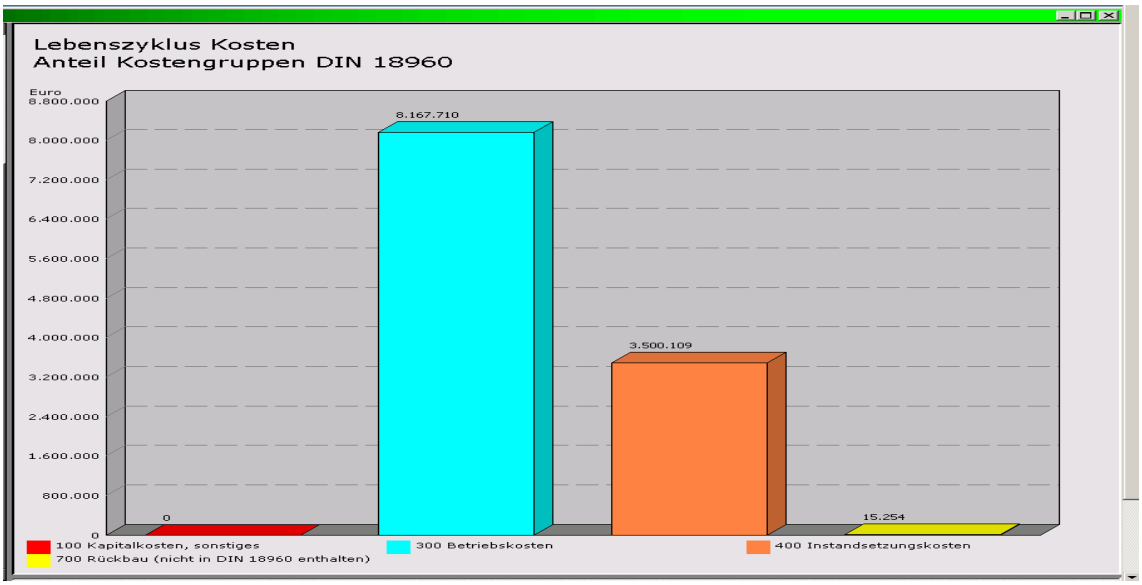



Abb. 131 DIN 18960 KGR 300 und KGR 400

Die Angaben lassen sich für jede KGR weiter differenzieren, bis zur zweiten bzw. dritten Kostenstelle. Dadurch können differenzierte Aussagen zu der Verteilungsstruktur der Kosten gewonnen werden. Die folgende Abbildung zeigt die Struktur der KGR 300 Betriebskosten bis zur dritten Kostenstelle,
rot = 310 Versorgung
türkis = 320 Entsorgung
orange = 330 Reinigung und Pflege
gelb = Bedienung, Wartung, Inspektion.

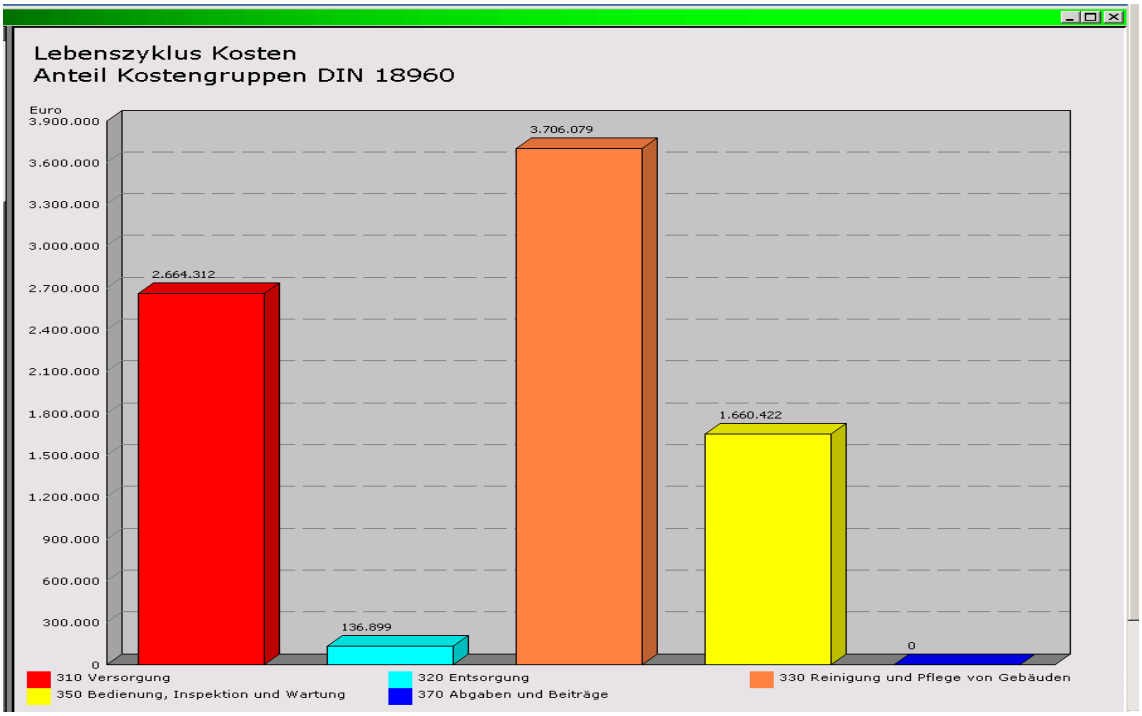



Abb. 132 DIN 18960 KGR 310 bis 350.

Die Reinigungskosten dominieren. Dies ist auf die niedrigen Energiebedarfswerte des Gebäudes zurückzuführen, da üblicherweise die Ver- und Entsorgungskosten den höchsten Betrag pro Jahr erreichen. Dieselbe Differenzierung bei der KGR 400 Instandsetzungskosten bis zur dritten Stelle zeigt die Dominanz der Kostenverursacher KGR 412 Außenwand (orange) und KGR 415 Dachkonstruktion (blau).

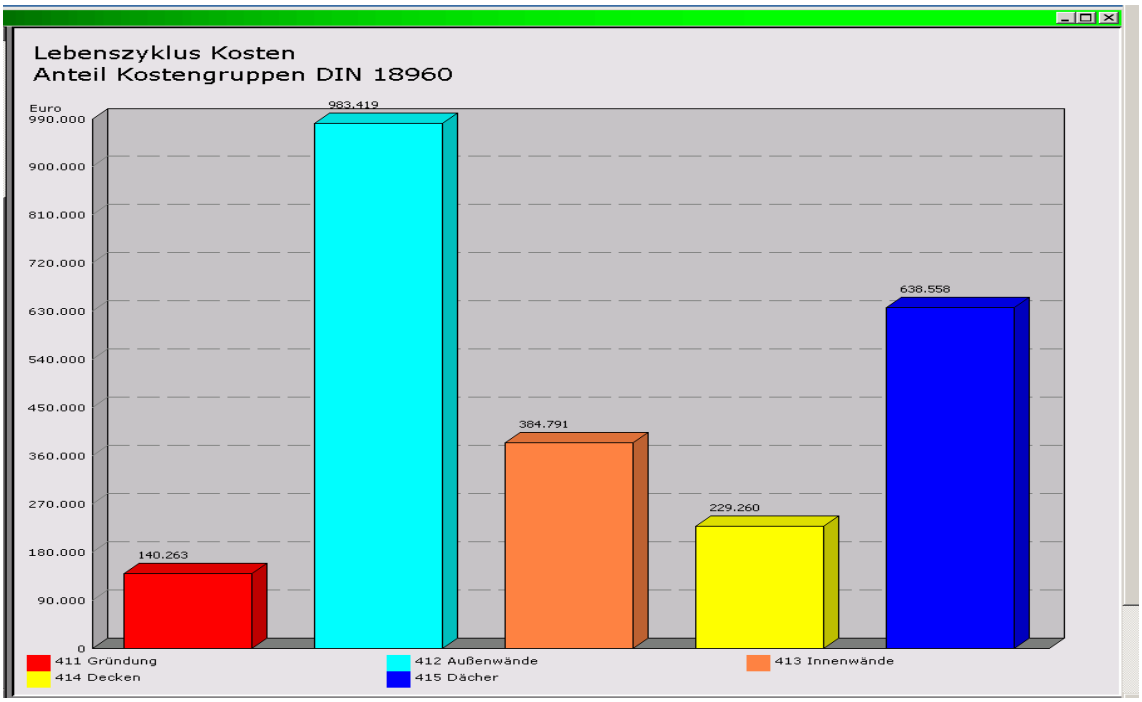



Abb. 133 DIN 18960 KGR 411 bis 415

Eine Analyse der KGR 420 zeigt den Instandsetzungsbedarf der Technischen Anlagen über 50 Jahre auf. Hier dominiert der Bereich der lufttechnischen KGR 423 (orange) und Starkstromanlagen KGR 424 (gelb).

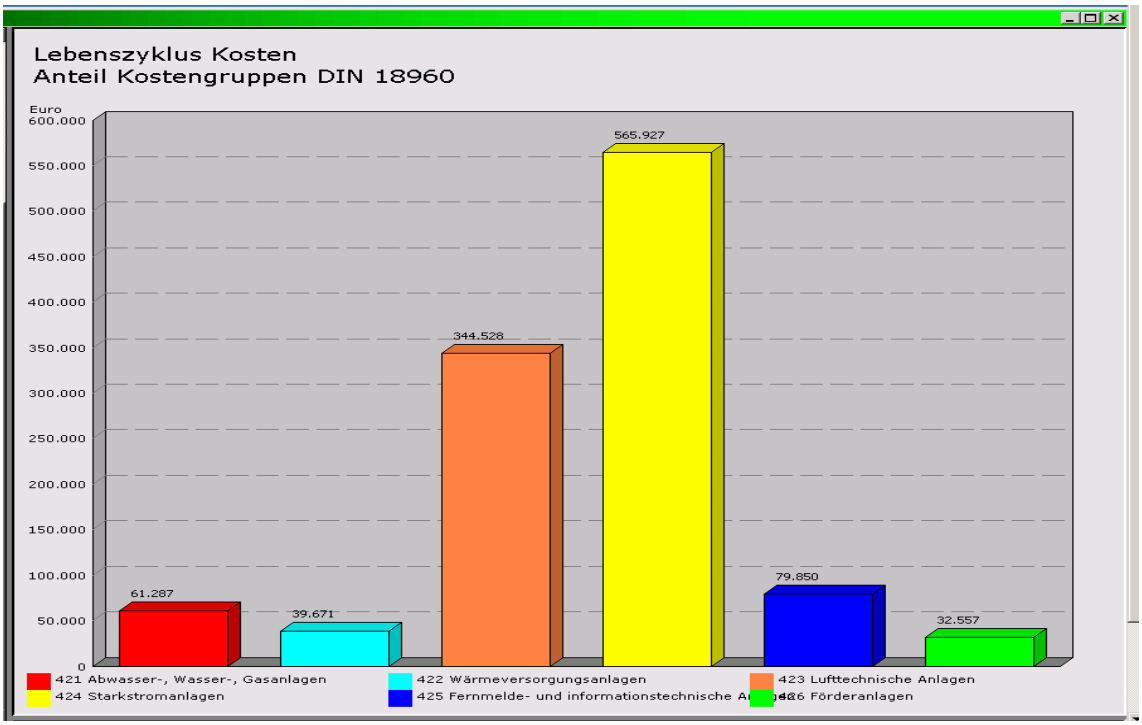



Abb. 134 DIN 18960 KGR 421 bis 426

### 3.5.5.5 Ökologie

#### 3.5.5.5.1 Projekteingabe

Im Rahmen der Projektbearbeitung müssen verschiedene Festlegungen in der Datenbank getroffen werden. Diese betreffen

- Die Wahl eines Energiemix für den Strombedarf
- Die Wahl einer Ökomoduldatenbank
- Die Wahl eines Energiemix für Heizungs- und Warmwasserbedarf.

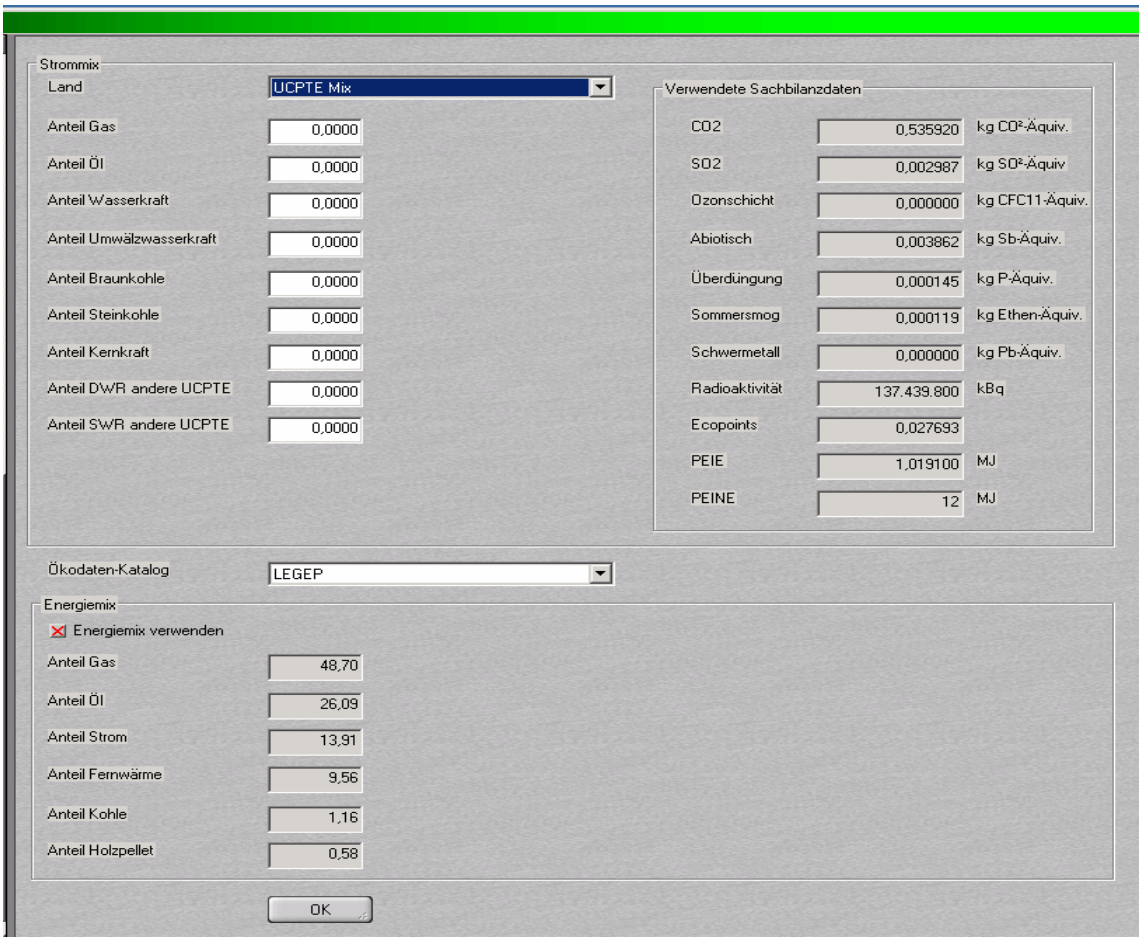


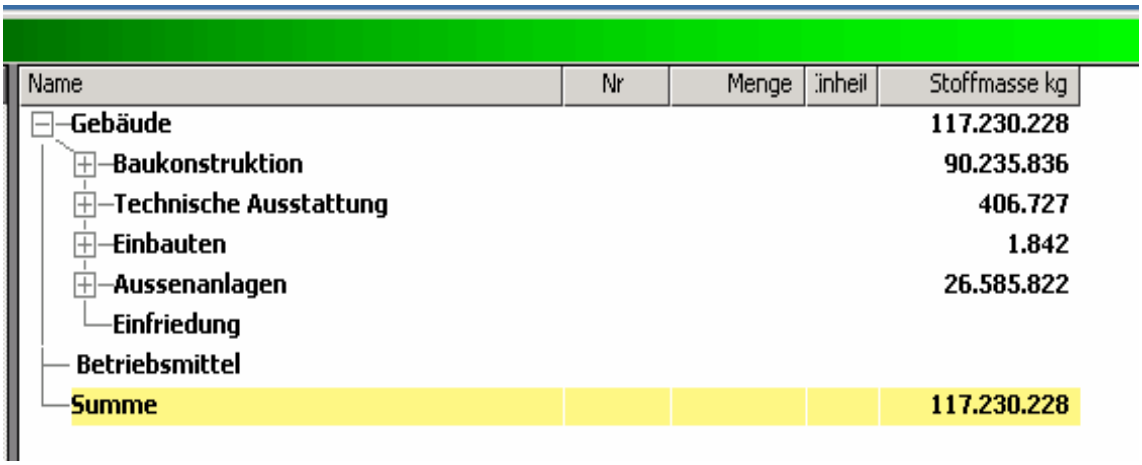

Abb. 135 Strommix, Datenbank und Energiemix

Im Projekt BOS Erding wird mit einem europäischen Strommix gerechnet, die LEGEP Ökomoduldatenbank zu Grunde gelegt und mit einem einzigen Energieträger gerechnet (Fernwärme).

#### 3.5.5.5.2 Projektauswertung

**Stoffmasse**

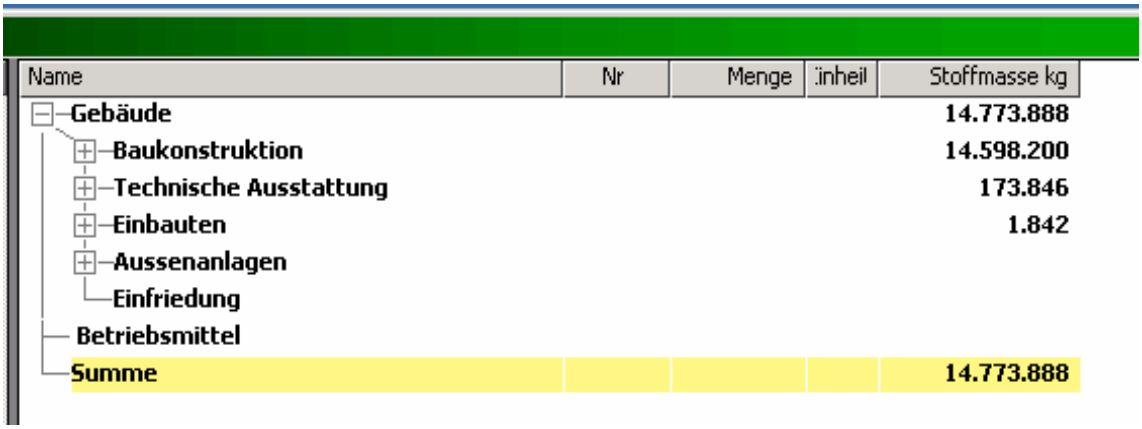
Jede Ökobilanz beginnt mit einer umfassenden und vollständigen Auswertung aller Bauteile des Gebäudes bezüglich der stofflichen Zusammensetzung und Stoffmenge. Die Darstellung der Stoffmasse ist das einzige Kriterium um die Plausibilität der Eingabe zu überprüfen. Die Auswertung erfolgt numerisch und graphisch. Die folgenden drei Tabellen zeigen unterschiedliche Stoffmassen an. Die erste Abbildung 136 zeigt den gesamten Stofffluss über 50 Jahre inklusive der Erdmassen für den Aushub und den Außenbereich. Da Sand, Kies und Erden mit 2 to/m³ Rohdichte angesetzt werden, sind hier sehr große Massenströme dokumentiert, die bezüglich der Umweltbelastung nur geringe Bedeutung habe.



| Name | Nr | Menge | :inheil | Stoffmasse kg |
|---|---|---|---|---|
| Gebäude | | | | 117.230.228 |
| Baukonstruktion | | | | 90.235.836 |
| Technische Ausstattung | | | | 406.727 |
| Einbauten | | | | 1.842 |
| Aussenanlagen | | | | 26.585.822 |
| Einfriedung | | | | |
| Betriebsmittel | | | | |
| Summe | | | | 117.230.228 |

Abb. 136 Stoffmasse Herstellung, Instandsetzung und Baugrubenaushub.

Deshalb kann dieser Stoffbereich ausgeblendet werden (s. Abbildung 137). Eine Reduktion um 100.000 to ist zu erkennen.



| Name | Nr | Menge | :inheil | Stoffmasse kg |
|---|---|---|---|---|
| Gebäude | | | | 14.773.888 |
| Baukonstruktion | | | | 14.598.200 |
| Technische Ausstattung | | | | 173.846 |
| Einbauten | | | | 1.842 |
| Aussenanlagen | | | | |
| Einfriedung | | | | |
| Betriebsmittel | | | | |
| Summe | | | | 14.773.888 |

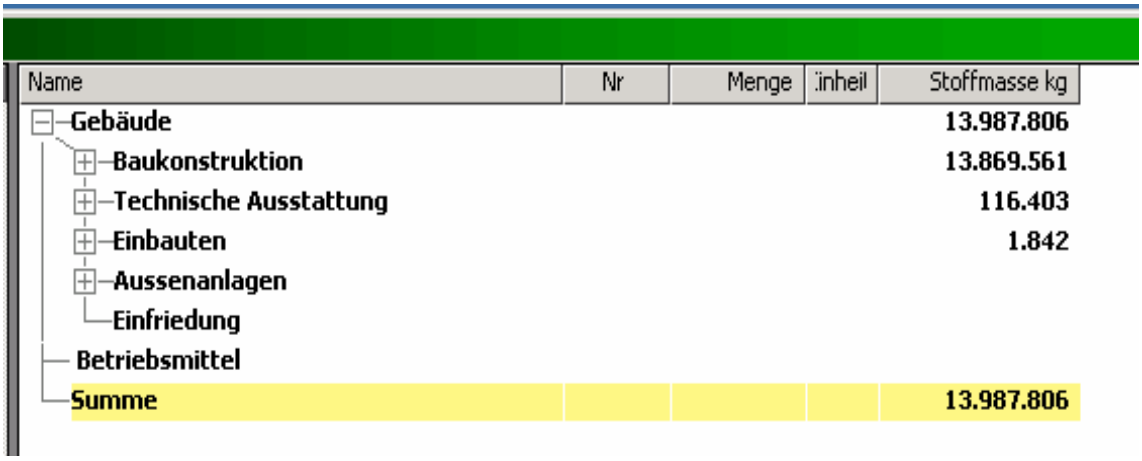
Abb. 137 Stoffmasse Herstellung und Instandsetzung.

Je nach Bedarf können durch die Buttonleiste weitere Lebenszyklusphasen aktiviert oder deaktiviert werden. Folgende Phasen können berücksichtigt werden:
- Neubau (Ne)
- Reinigung (Re)
- Wartung (Wa)
- Betrieb (Be)
- Instandsetzung (Ins)
- Rückbau (Rü)
- Entsorgung (Ent)
- Erdaushub
- Beleuchtungsstrom
- Wasser und Abwasser.

Die beiden letzten Aspekte sind Teilmengen der Betriebsphase. Sie werden aber von der Energieeinsparungsverordnung für Wohngebäude nicht regulär erfasst. Deshalb besteht hier die Möglichkeit bei Vergleichsrechnungen mit anderen Berechnungswerkzeugen diese Umweltbelastungen auszuschalten.
Ebenso hat die Phase Wartung zurzeit keine Folgen für die Ökobilanz, da bei dieser Dienstleistung keine Stoffströme anfallen.

Abb. 138 Phasenbutton – Aktivierung - Deaktivierung

Die nächste Abbildung zeigt den Stoffstrom nur für die Herstellung des Gebäudes.



| Name | Nr | Menge | inheil | Stoffmasse kg |
|---|---|---|---|---|
| Gebäude | | | | 13.987.806 |
| Baukonstruktion | | | | 13.869.561 |
| Technische Ausstattung | | | | 116.403 |
| Einbauten | | | | 1.842 |
| Aussenanlagen | | | | |
| Einfriedung | | | | |
| Betriebsmittel | | | | |
| Summe | | | | 13.987.806 |

Abb. 139 Stoffmasse nur Herstellung

Eine Auswertung der Daten über den Lebenszyklus erlaubt eine Anzeige desjenigen Stoffstroms, der durch alle Aktivitäten in der Nutzungsphase ausgelöst wird. Signifikant treten dabei zu bestimmten Zeitpunkten die Instandsetzungsmassnahmen hervor. Typisch sind die Schlüsseljahre nach 20 – 25, bzw. 45 – 50 Jahren. Zu diesem Zeitpunkt werden aufgrund der Instandsetzungszyklen die technischen Anlagen instand gesetzt oder die Dachdeckung und die Fenster. Die gleichmäßige rote Linie ist der Stoffinput durch die jährlich gleich bleibenden Reinigungsmassnahmen

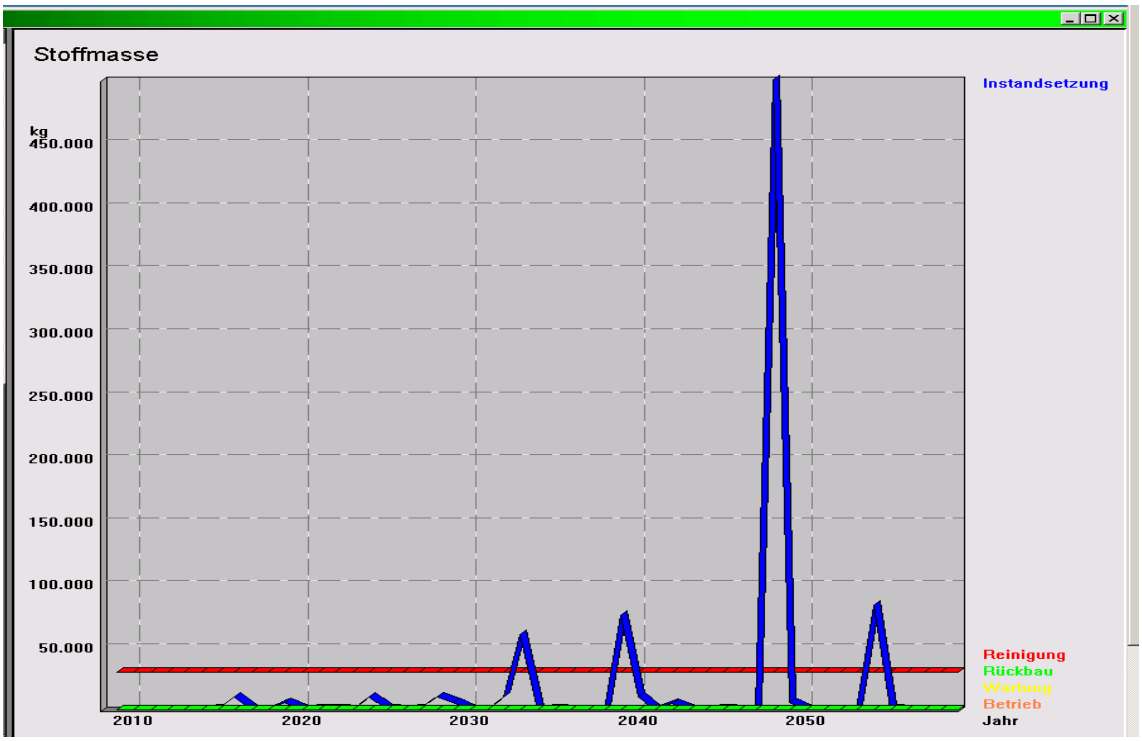



Abb. 140 Stoffffluss innerhalb 50 Jahren

Mengenmäßig ist die Stoffmenge durch die Instandsetzung je nach Gebäudetyp innerhalb 50 Jahren bei 3 – 7% der Herstellungsmasse. Die Stoffmasse der Reinigungsprozesse besteht vor allem aus Wasser.

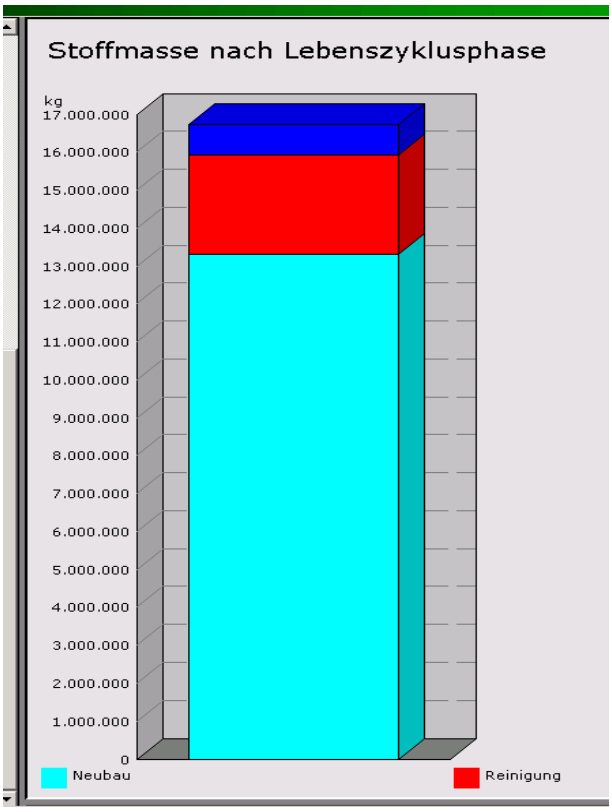



Abb. 141 Stoffmasse nach Lebenszyklusphase

Die Verteilung der Stoffmassen auf die Kostengruppen in Abbildung 142 zeigt eindeutig, dass der Schwerpunkt der Massen bei der Kostengruppe 300 liegt.

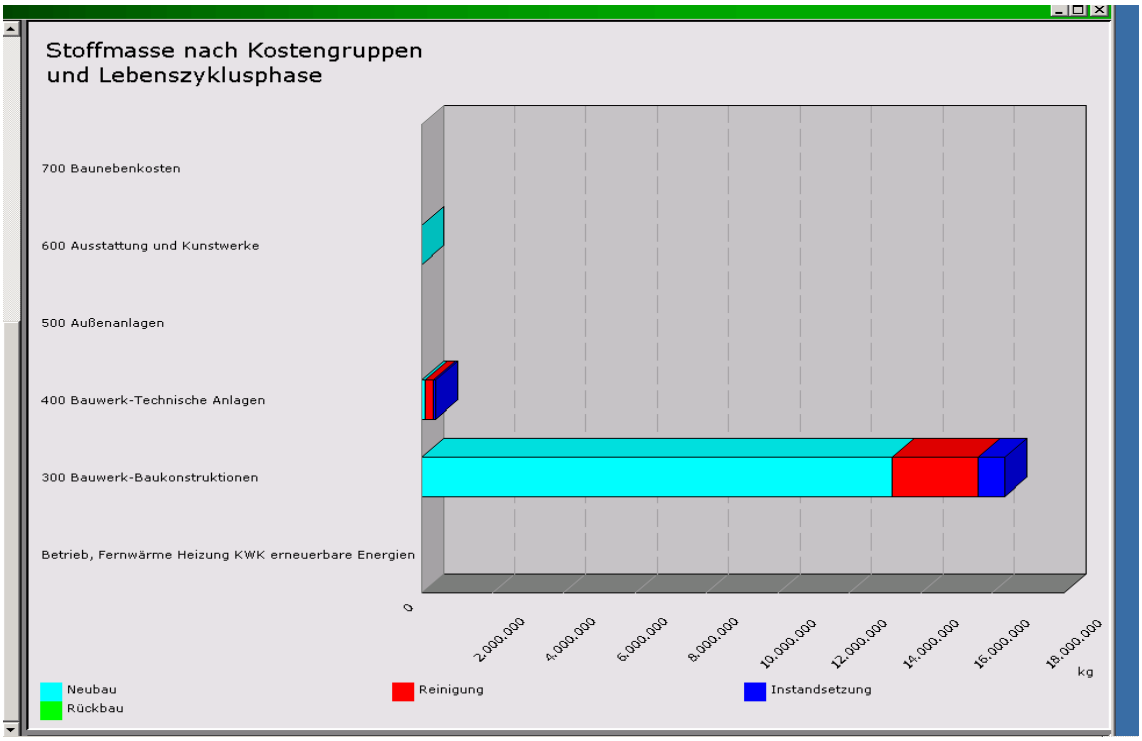



Abb. 142 Stoffffluss innerhalb 50 Jahren aufgeteilt auf die Kostengruppen nach DIN 276

Da die Materialien in LEGEP den europäischen Abfallklassen (EWC) zugeordnet sind, ist eine Auswertung nach den jeweiligen Deponiemengen für das gesamte Gebäude möglich. Bei der BOS Erding dominiert das mineralische Material bestehend aus Beton, Estrich, Bodenbelag, das im Standardszenario auf einer Monodeponie entsorgt wird. Sämtliche anderen Materialgruppen sind von geringer Bedeutung.

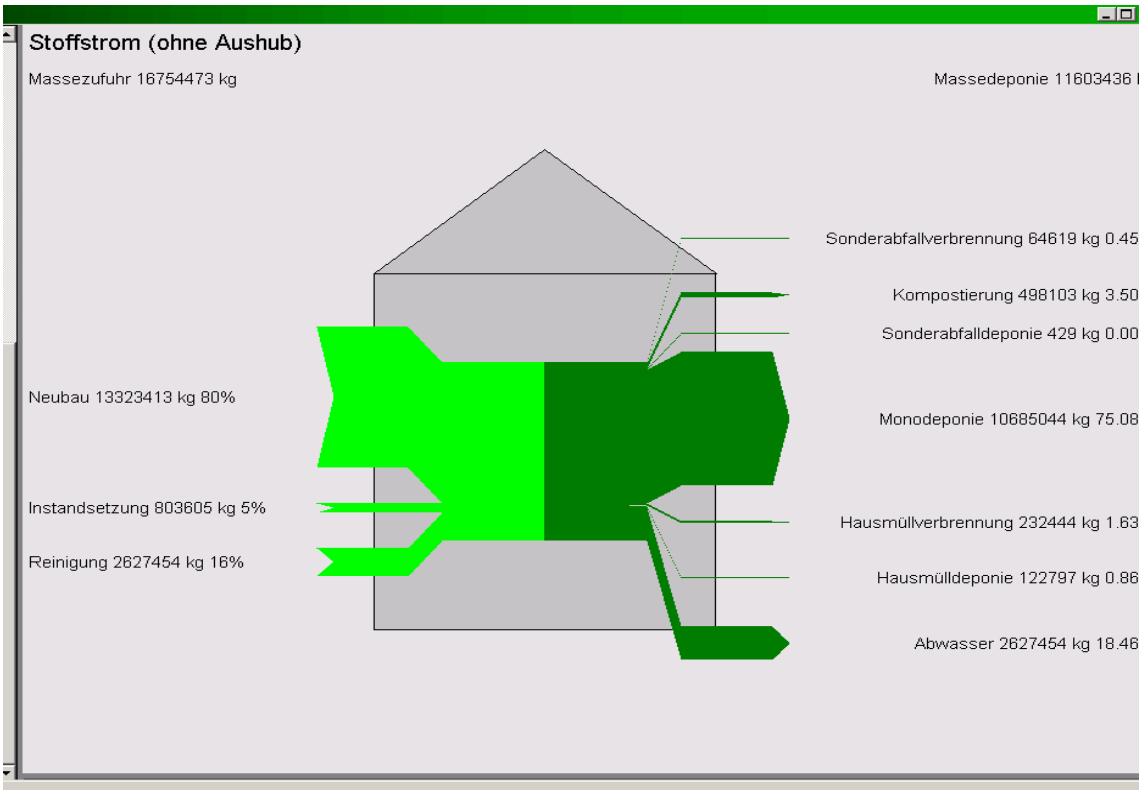



Abb. 143 Deponiemengen nach EWC

**Energieinput**

Der benötigte Aufwand an Energie zur Herstellung aller Bauprodukte und die Bereitstellung der Medien für die Betriebsphase des Gebäudes wird durch die Indikatoren „Primärenergie erneuerbar“ und „Primärenergie nicht erneuerbar“ ausgedrückt. Da hierbei alle Vorketten der Energiebereitstellung erfasst werden, werden auch die Begriffe „Graue Energie“ oder „kumulierter Energieaufwand (KEA)“ verwendet.

Da die erneuerbare Primärenergie bei nachwachsenden Rohstoffen auch den inkorporierten Heizwert umfasst, ist ein Addieren der beiden Primärenergien zu vermeiden. Es soll entweder nur die nicht eneuerbare Primärenergie dargestellt werden oder erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie in getrennter Darstellung.

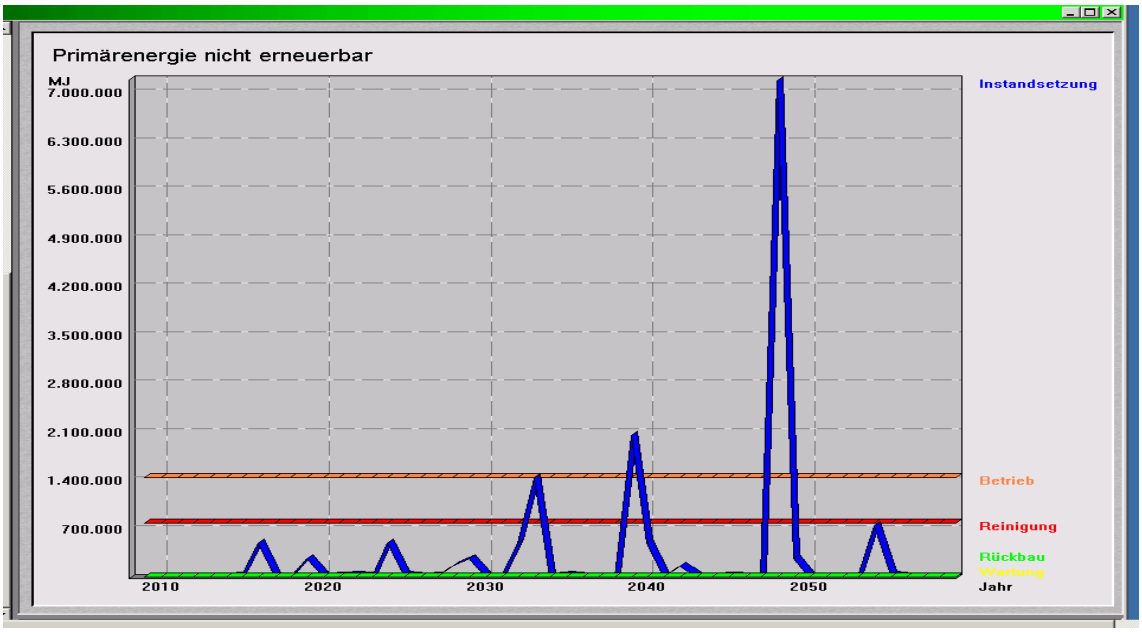



Abb. 144 Primärenergie nicht erneuerbar nach Lebenszyklusphase

Die zeitlich kumulierte Darstellung zeigt die Bedeutung der einzelnen Lebenszyklusaspekte. Durch den relativ geringen Bedarf an Betriebsenergie und den Anteil regenerativer Energie durch den Einsatz von Fernwärme bei der Beheizung ist die sonst übliche Dominanz dieser Phase nicht allzu stark ausgeprägt.

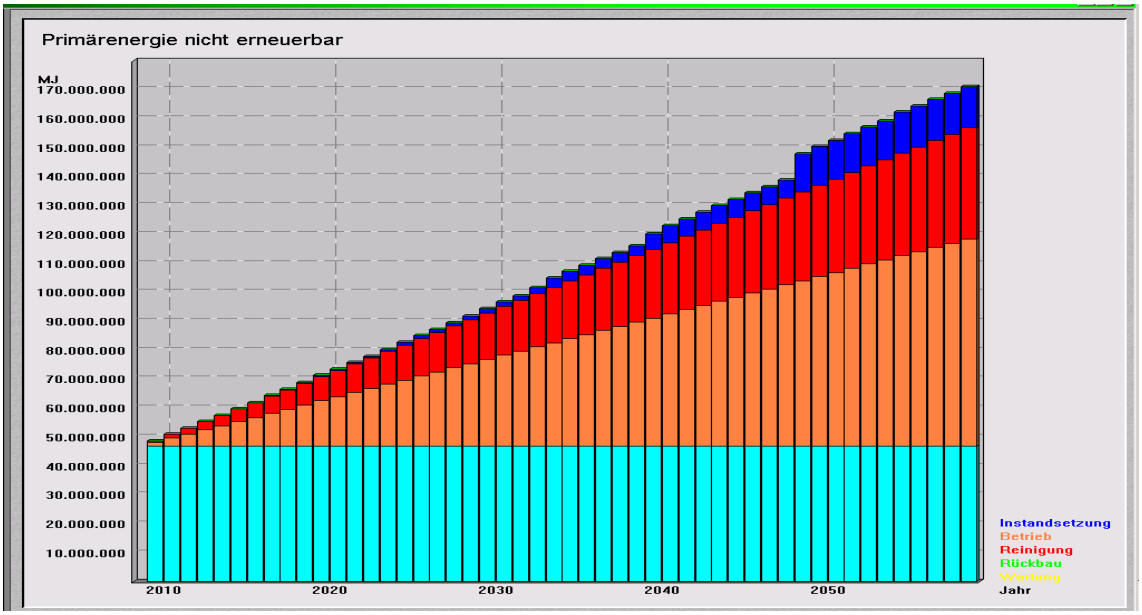



Abb. 145 Primärenergie nicht erneuerbar kumuliert nach Lebenszyklusphase

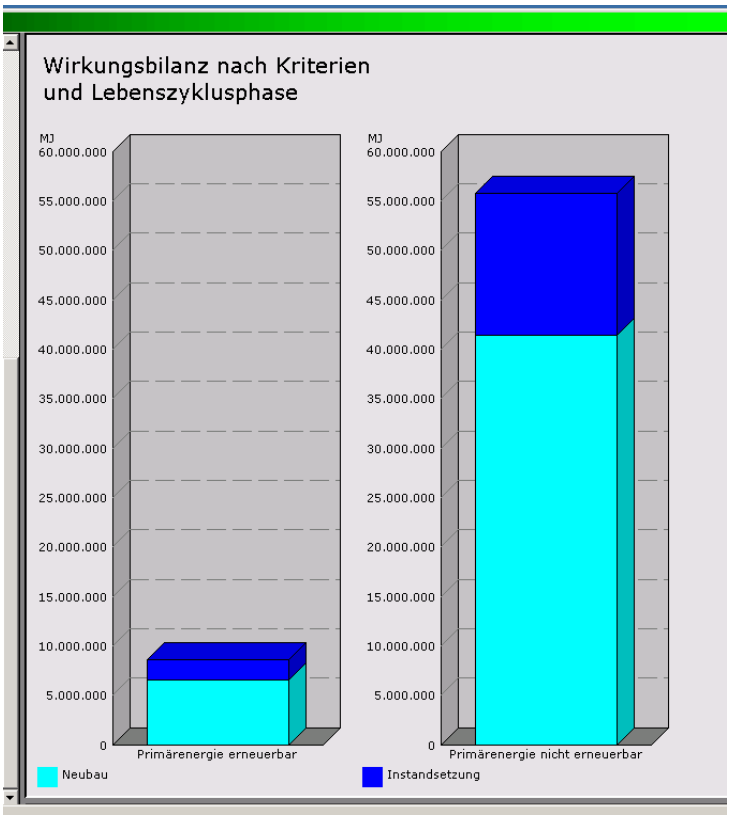



Abb. 146 Verhältnis erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie

Das Verhältnis der erneuerbaren Primärenergie zu nicht erneuerbarer ist 1 zu 6, bzw. der Anteil der erneuerbaren an der Gesamtenergie ist 14 %. Dies ist auf den regenerativen Anteil der Fernwärme und des elektrischen Stromes zurückzuführen.

**Umweltwirkung**

Die Wirkungen auf die Umwelt werden durch verschiedene Indikatoren beschrieben. Diese Indikatoren drücken quantitativ bestimmte Umweltbelastungen aus:

- Klimagase kg CO2 äquivalent
- Versauerung kg SO2 äquivalent
- Ozonzerstörung kg CFC11 äquivalent
- Ozonbildung kg Ethen äquivalent
- Überdüngung kg POP4 äquivalent

Die Anzeige erfolgt wie bei der Stoffmasse numerisch und grafisch.

| Name | al kg CO2-Äq. | enzial kg SO2-Äq. | g CFC11-Äq. | Ethen-Äq. | rauch kg Sb-Äq. | tential kg P-Äq. | ht erneuerbar MJ | erneuerbar MJ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gebäude | 3.145.113 | 17.491,8 | 0,04306273 | 2.164,4 | 77.572 | 2.069,492 | 56.662.841 | 8.820.381 |
| Baukonstruktion | 2.963.963 | 16.260,0 | 0,04301317 | 2.094,3 | 75.965 | 1.946,571 | 52.712.807 | 8.518.867 |
| Technische Ausstattung | 181.615 | 1.200,8 | 0,00004956 | 69,3 | 1.591 | 117,246 | 3.913.614 | 258.318 |
| Einbauten | -465 | 31,0 | | 0,9 | 16 | 5,675 | 36.420 | 43.197 |
| Aussenanlagen | | | | | | | | |
| Einfriedung | | | | | | | | |
| Betriebsmittel | | | | | | | | |
| Summe | 3.145.113 | 17.491,8 | 0,04306273 | 2.164,4 | 77.572 | 2.069,492 | 56.662.841 | 8.820.381 |

Abb. 147 Wirkungsindikatoren numerisch

Die Darstellung der Umweltbelastung ist für alle Phasen gesamt (Abbildung 148) oder für jede Phase einzeln möglich.

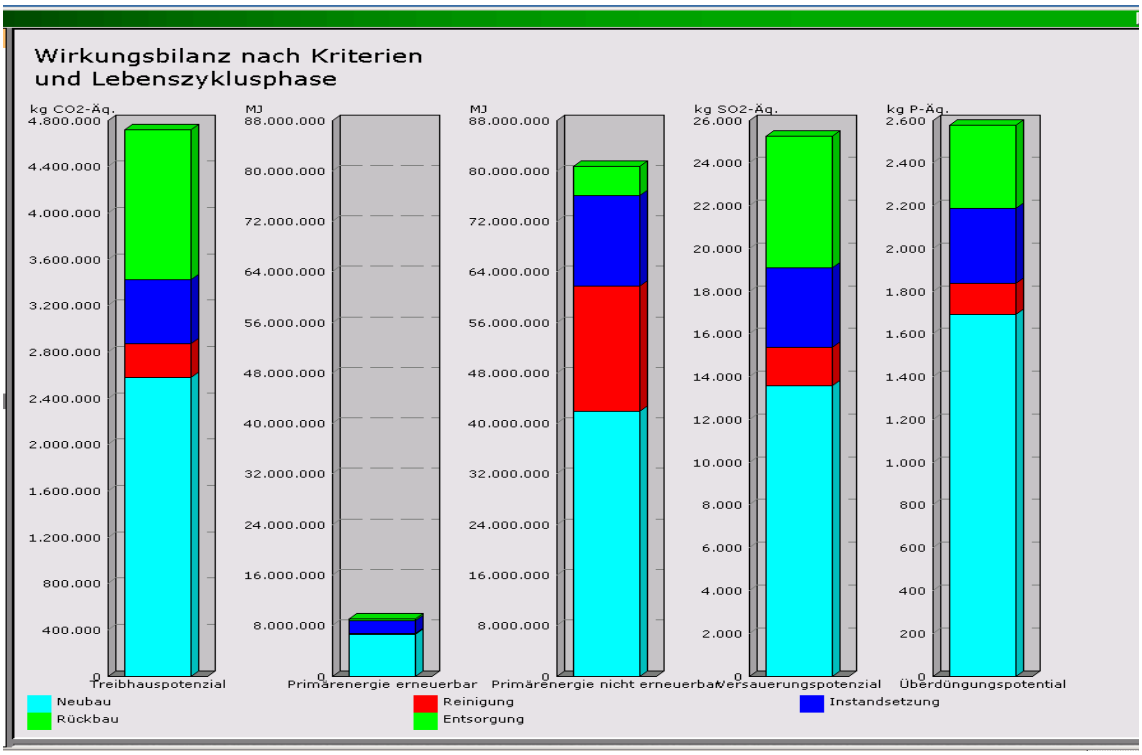



Abb. 148 Gesamtübersicht Umweltbelastung im Lebenszyklus

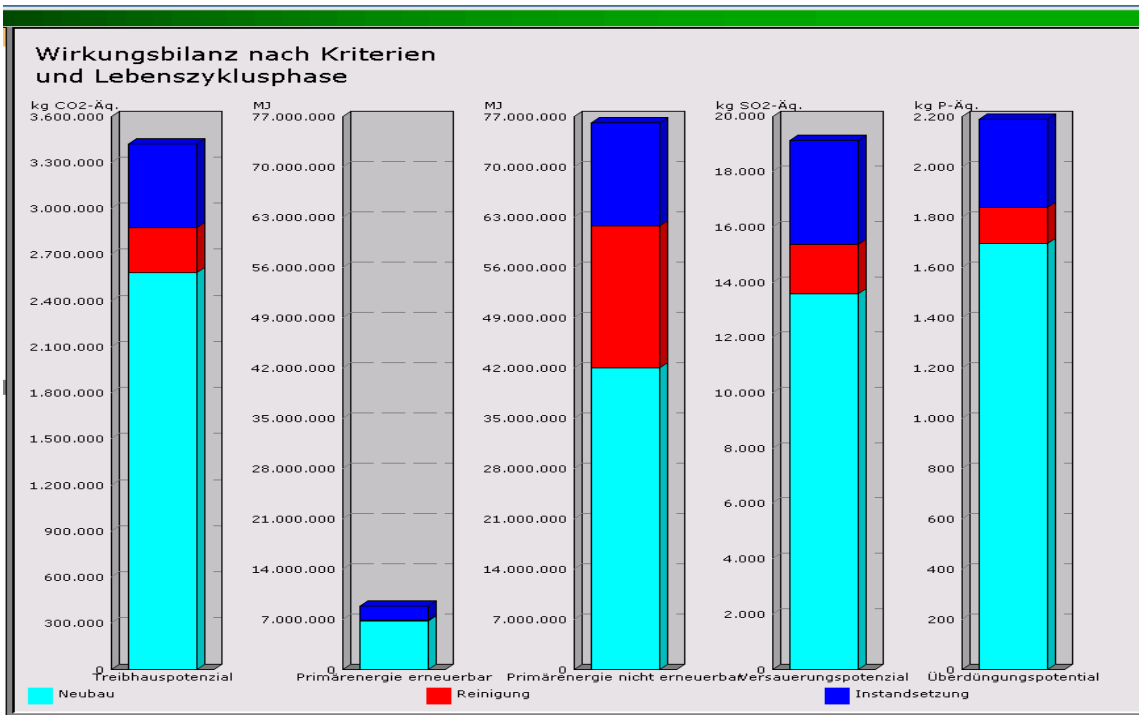



Abb. 149 Übersicht Umweltbelastung Herstellung, Instandsetzung Reinigung50 Jahre

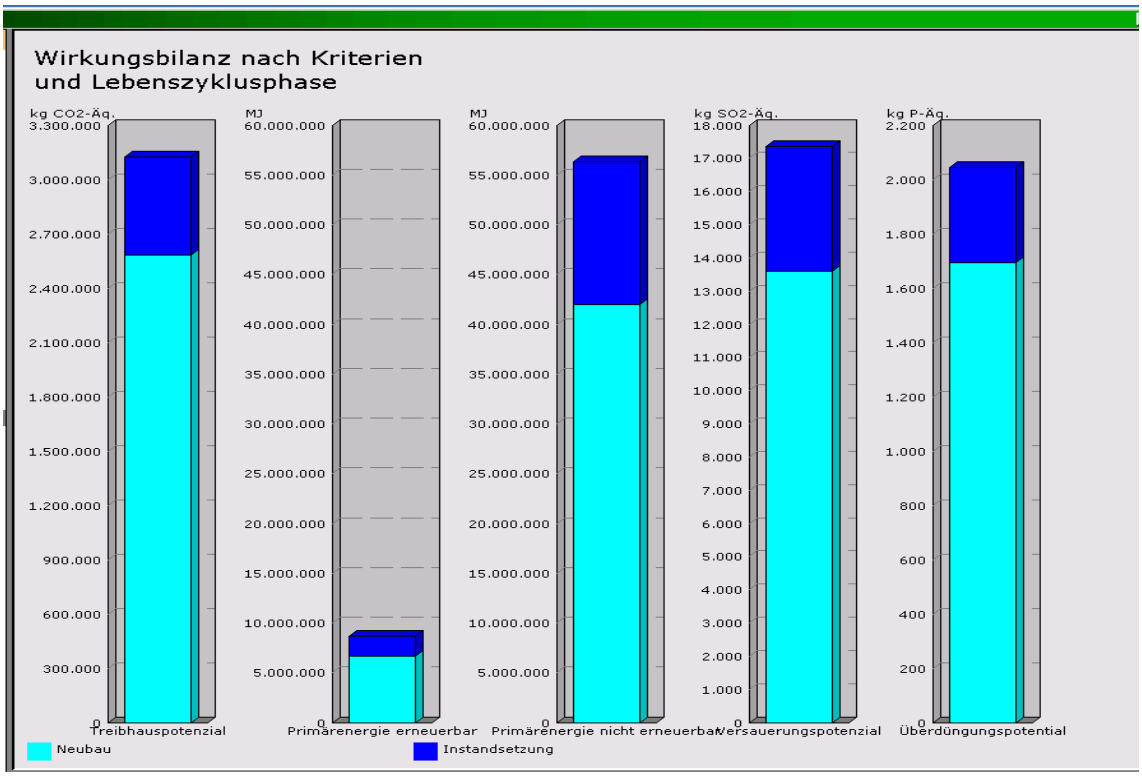
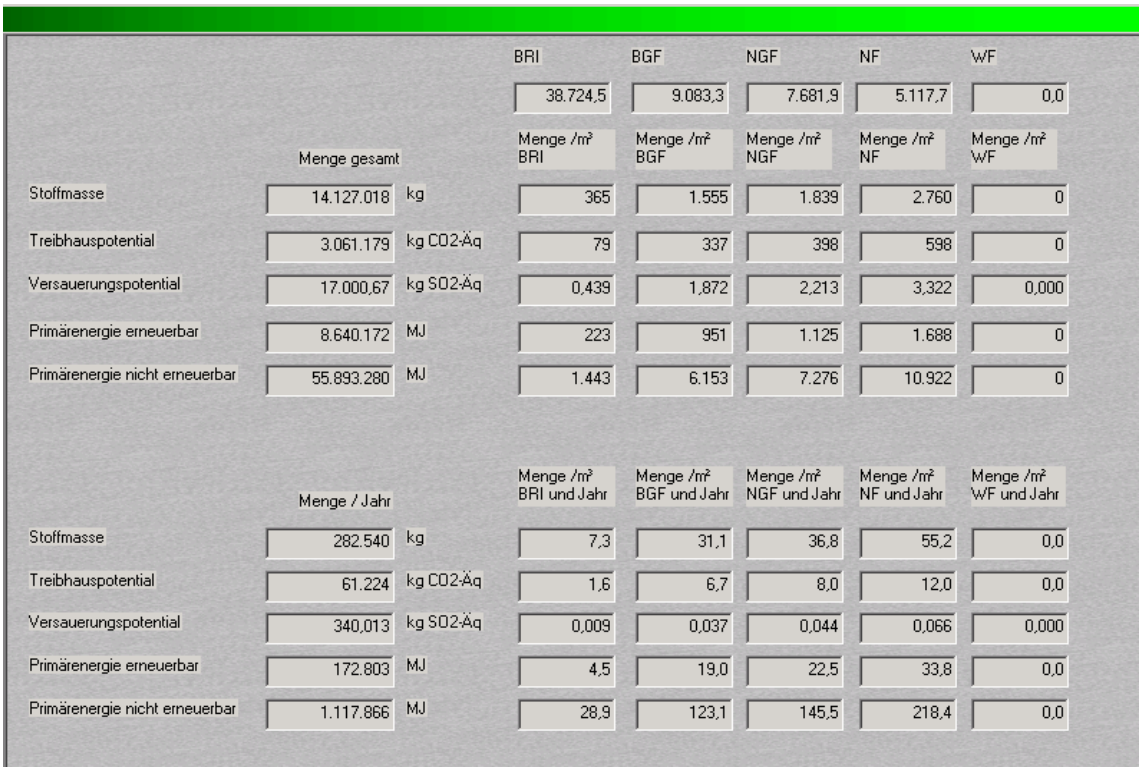



Abb. 150 Übersicht Umweltbelastung Herstellung und Instandsetzung 50 Jahre

Griffigere Aussagen ermöglicht die Kennwertbildung durch den Kubatur- oder Flächenbezug. Dabei können die Kennwerte sich auf das Gebäude innerhalb der 50 Jahre beziehen (oberer Teil der Tabelle) oder als Kennwertbezug die Lebensdauer einbeziehen (unterer Teil der Tabelle in Abbildung 151), indem die Mengen durch den Betrachtungszeitraum (hier 50 a) geteilt werden. Dabei kann zwischen dem Gebäude ohne Betrieb und Gebäude mit Betrieb unterschieden werden.



| | | | BRI | BGF | NGF | NF | WF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 38.724,5 | 9.083,3 | 7.681,9 | 5.117,7 | 0,0 |
| | Menge gesamt | | Menge /m² BRI | Menge /m² BGF | Menge /m² NGF | Menge /m² NF | Menge /m² WF |
| Stoffmasse | 14.127.018 | kg | 365 | 1.555 | 1.839 | 2.760 | 0 |
| Treibhauspotential | 3.061.179 | kg CO2-Äq | 79 | 337 | 398 | 598 | 0 |
| Versauerungspotential | 17.000,67 | kg SO2-Äq | 0,439 | 1,872 | 2,213 | 3,322 | 0,000 |
| Primärenergie erneuerbar | 8.640.172 | MJ | 223 | 951 | 1.125 | 1.688 | 0 |
| Primärenergie nicht erneuerbar | 55.893.280 | MJ | 1.443 | 6.153 | 7.276 | 10.922 | 0 |
| | Menge / Jahr | | Menge /m² BRI und Jahr | Menge /m² BGF und Jahr | Menge /m² NGF und Jahr | Menge /m² NF und Jahr | Menge /m² WF und Jahr |
| Stoffmasse | 282.540 | kg | 7,3 | 31,1 | 36,8 | 55,2 | 0,0 |
| Treibhauspotential | 61.224 | kg CO2-Äq | 1,6 | 6,7 | 8,0 | 12,0 | 0,0 |
| Versauerungspotential | 340,013 | kg SO2-Äq | 0,009 | 0,037 | 0,044 | 0,066 | 0,000 |
| Primärenergie erneuerbar | 172.803 | MJ | 4,5 | 19,0 | 22,5 | 33,8 | 0,0 |
| Primärenergie nicht erneuerbar | 1.117.866 | MJ | 28,9 | 123,1 | 145,5 | 218,4 | 0,0 |

Abb. 151 Gesamtübersicht Umweltindikatoren und Flächenbezug, Gebäude ohne Betrieb

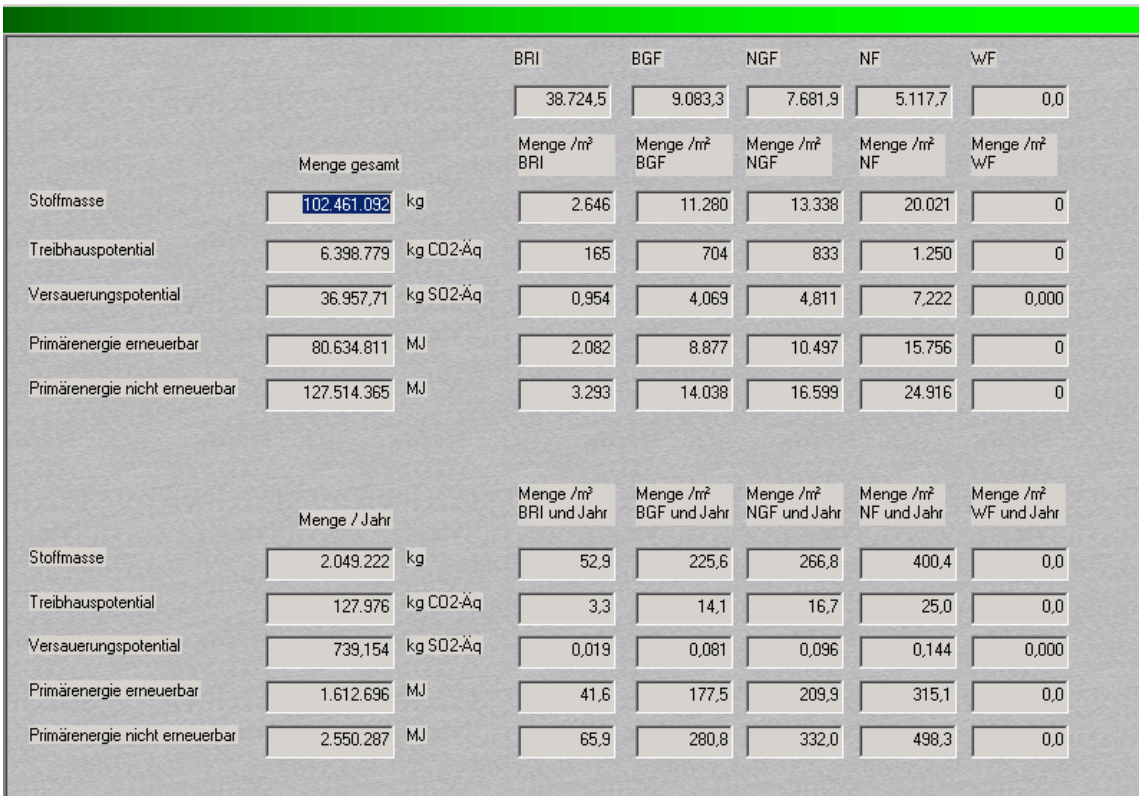
Je zwei Input- und zwei Output-Indikatoren mit der größten Akzeptanz werden bei dieser Berechnung angezeigt:

- Treibhauspotenzial kg CO2 äquival.
- Versauerungspotenzial kg SO2 äquival.
- Primärenergie erneuerbar MJ
- Primärenergie nicht erneuerbar MJ
- Stoffmasse in kg zur Plausibilitätsprüfung

Die Werte bezogen auf einen m² NGF pro Nutzungsjahr bei 50Jahren sind:

| | Stoff-masse | Treibhaus-potenzial | Versauerungs-potenzial | Primärenergie erneuerbar | Primärenergie nicht erneuerb. |
|---|---|---|---|---|---|
| Gebäude ohne Betrieb | 36,8 | 8,0 | 0,044 | 22,5 | 145,5 |
| Gebäude mit Betrieb | 36,8 | 16,7 | 0,096 | 209,9 | 332 |

Tabelle 23 Vergleich Umweltindikatoren pro Jahr ohne Betrieb und mit Betrieb



| | | | BRI | BGF | NGF | NF | WF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 38.724,5 | 9.083,3 | 7.681,9 | 5.117,7 | 0,0 |
| | Menge gesamt | | Menge /m² BRI | Menge /m² BGF | Menge /m² NGF | Menge /m² NF | Menge /m² WF |
| Stoffmasse | 102.461.092 | kg | 2.646 | 11.280 | 13.338 | 20.021 | 0 |
| Treibhauspotential | 6.398.779 | kg CO2-Äq | 165 | 704 | 833 | 1.250 | 0 |
| Versauerungspotential | 36.957,71 | kg SO2-Äq | 0,954 | 4,069 | 4,811 | 7,222 | 0,000 |
| Primärenergie erneuerbar | 80.634.811 | MJ | 2.082 | 8.877 | 10.497 | 15.756 | 0 |
| Primärenergie nicht erneuerbar | 127.514.365 | MJ | 3.293 | 14.038 | 16.599 | 24.916 | 0 |
| | Menge / Jahr | | Menge /m² BRI und Jahr | Menge /m² BGF und Jahr | Menge /m² NGF und Jahr | Menge /m² NF und Jahr | Menge /m² WF und Jahr |
| Stoffmasse | 2.049.222 | kg | 52,9 | 225,6 | 266,8 | 400,4 | 0,0 |
| Treibhauspotential | 127.976 | kg CO2-Äq | 3,3 | 14,1 | 16,7 | 25,0 | 0,0 |
| Versauerungspotential | 739,154 | kg SO2-Äq | 0,019 | 0,081 | 0,096 | 0,144 | 0,000 |
| Primärenergie erneuerbar | 1.612.696 | MJ | 41,6 | 177,5 | 209,9 | 315,1 | 0,0 |
| Primärenergie nicht erneuerbar | 2.550.287 | MJ | 65,9 | 280,8 | 332,0 | 498,3 | 0,0 |

Abb. 152 Gesamtübersicht Lebenszykluskosten und Flächenbezug, Gebäude mit Betrieb

Indikatoren und Phasenauswertung

Betrachtungszeitraum: 50 Jahre NGF: 7681,9

| | Stoff-masse | GWP | ODP | POCP | AP | EP | PEI - Gesamt | Anteil ern. PEI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg | kg $CO_2$ä | kg R11ä | kg $C_2H_4$ä | kg $SO_2$ä | kg $PO_4$ä | kWh | % |
| Herstellung | 14127018 | 2508596 | 0,00004956 | 1520 | 13222 | 1663 | 41498845 | 6684426 |
| Instand-setzung | 803605 | 552583 | | 614 | 3779 | 354 | 14394435 | 1955746 |
| Entsorgung | ----- | 1305992 | 0,00222042 | 244 | 6086 | 378 | 4470102 | 220937 |
| Ver- und Entsorgung | | 3277738 | | 748 | 19650 | 1678 | 70915919 | 223948 |
| Gesamt | 14930623 | 7642909 | 0,00226998 | 3126 | 42747 | 4073 | 131279362 | 9095057 |
| **E/m²NGFa** | **38,87** | **19,90** | **0,000000006** | **0,00814** | **0,11** | **0,01** | **341,78** | **6,48** |
| Mittelwert | 37,808 | 46,609 | 3,05E-09 | 0,01366 | 0,2277 | 0,015 | 976 | 9,66 |
| Referenz-wert | 27,265 | 39,33 | 2,51E-09 | 0,0106 | 0,1855 | 0,0116 | 797 | 7,33 |

Tabelle 24 Indikatorenauswertung für Input und Output nach Phasen und Gesamt

Die unterschiedlichen Reaktionen zwischen Umweltindikator und Lebenszyklusphase wird hier beispielhaft am Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial aufgezeigt. Das Treibhauspotenzial wird bei diesem Objekt maßgeblich durch die Betriebsphase beeinflusst. Das Versauerungspotenzial dagegen wird vor allem durch die Materialien des Gebäudes beeinflusst.

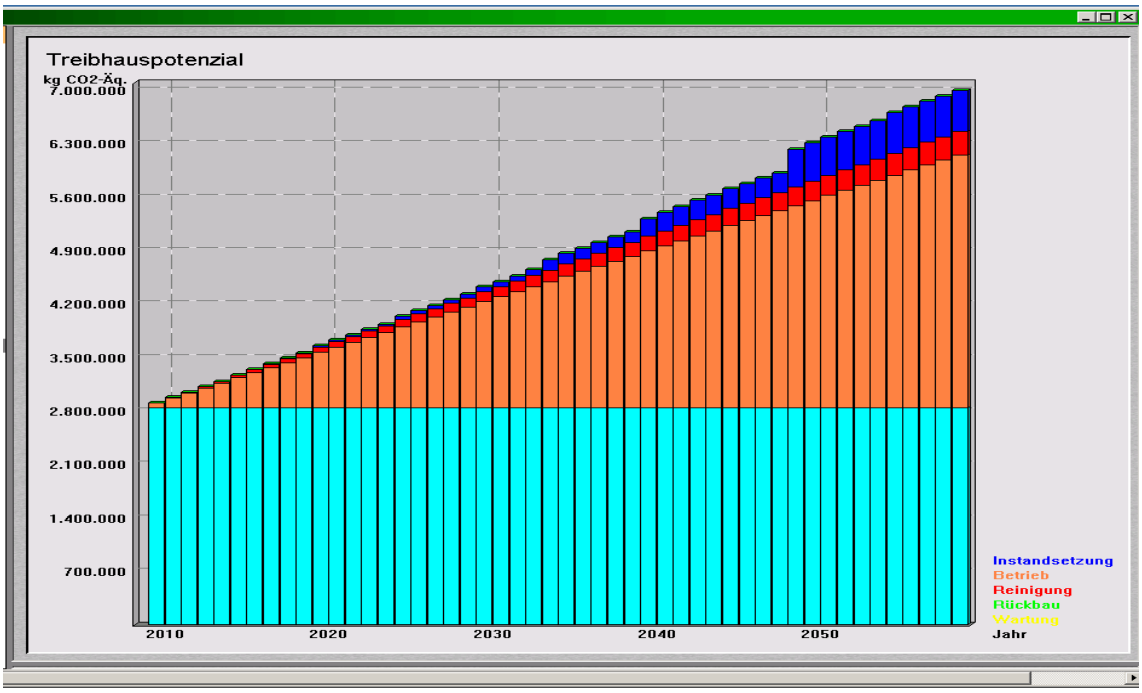



Abb. 153 Wirkungsbilanz kg CO2-Äquivalente kumuliert nach Phasen

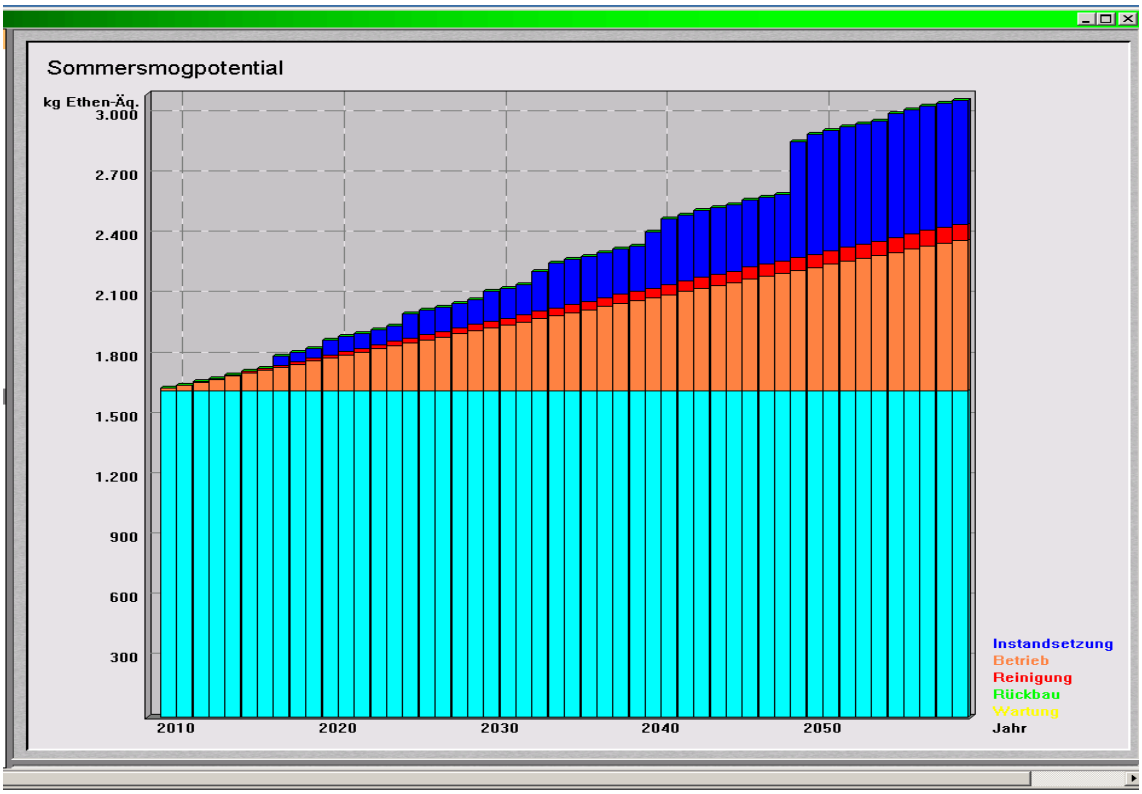



Abb. 154 Wirkungsbilanz kg SO2-Äquivalente kumuliert nach Phasen

**Materialdokumentation**

Die Materialdokumentation unterscheidet zwischen Gewichts- und Volumenanteilen. Dies erlaubt eine bessere Differenzierung der Stoffanteile.
Die Gliederung der Materialien unterscheidet zwischen verschiedenen Gebäudebauteilen:

Materialien der Primärstruktur:
- Gruppe 1 Mineralisches Baumaterial
- Gruppe 2 Pflanzliches Baumaterial
- Gruppe 3 Metall
- Gruppe 4 Kunststoffe

der Sekundärkonstruktion bzw. Ausbaumaterialien
- Gruppe 5 Abdichtung, Klebstoffe
- Gruppe 6 Bodenbeläge, Estriche
- Gruppe 7 Dämmstoffe (Schall/Wärme)
- Gruppe 8 Putz, Ausbauplatten, Fassadenplatten
- Gruppe 9 Beschichtungen

der technischen Anlagen
- Gruppe 11 Technischer Ausbau

der Baukomponenten
- Gruppe 12 Transluzente Bauteile.

Die numerische Auswertung erlaubt zusätzlich jedes Material bezüglich seines verursachenden Bauelements im Gebäude zu lokalisieren.

| Text | Menge | Einheit | Masse kg |
|---|---|---|---|
| Material | | | 13.971.179,1 |
| 1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall) | | | 11.282.242,6 |
| 10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten | | | 6.724,7 |
| 11 Reinigungsmittel | | | 706,3 |
| 12 Transluzente Bauteile | | | 38.191,8 |
| 15 Sonstige Stoffe | | | 3.936,5 |
| 2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend | | | 143.061,6 |
| 3 Metall | | | 597.390,6 |
| 4 Kunststoffe, fossil | | | 10.226,0 |
| 5 Abdichtungen, Klebstoffe, Dachdeckungen | | | 176.509,4 |
| 6 Bodenbeläge, Estriche | | | 1.337.695,9 |
| 7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle) | | | 77.974,7 |
| 8 Putz, Ausbauplatten, Fassadenbekleidung | | | 277.114,0 |
| 9 Beschichtungen | | | 19.404,9 |

Abb. 155 Numerische Auswertung der Materialmengen

Die Materialzusammensetzung zeigt die Dominanz des mineralischen Baustoffs der Primärkonstruktion, in diesem Fall Beton. Weitere Anteile sind im Wandbereich der Putz und die mineralischen Ausbauplatten des Trockenbaus, der Estrich und die Bodenbeläge. Wichtig ist auch die Materialkomponente Metall mit 4,7%, vor allem in Form des Bewehrungseisens, bzw. der Fensterrahmen. Das pflanzliche Material Holz ist kaum erkennbar, trotz der Fassadenmenge. Unbedeutend sind auch die Anteile der transluzenten Bauteile der Verglasung.

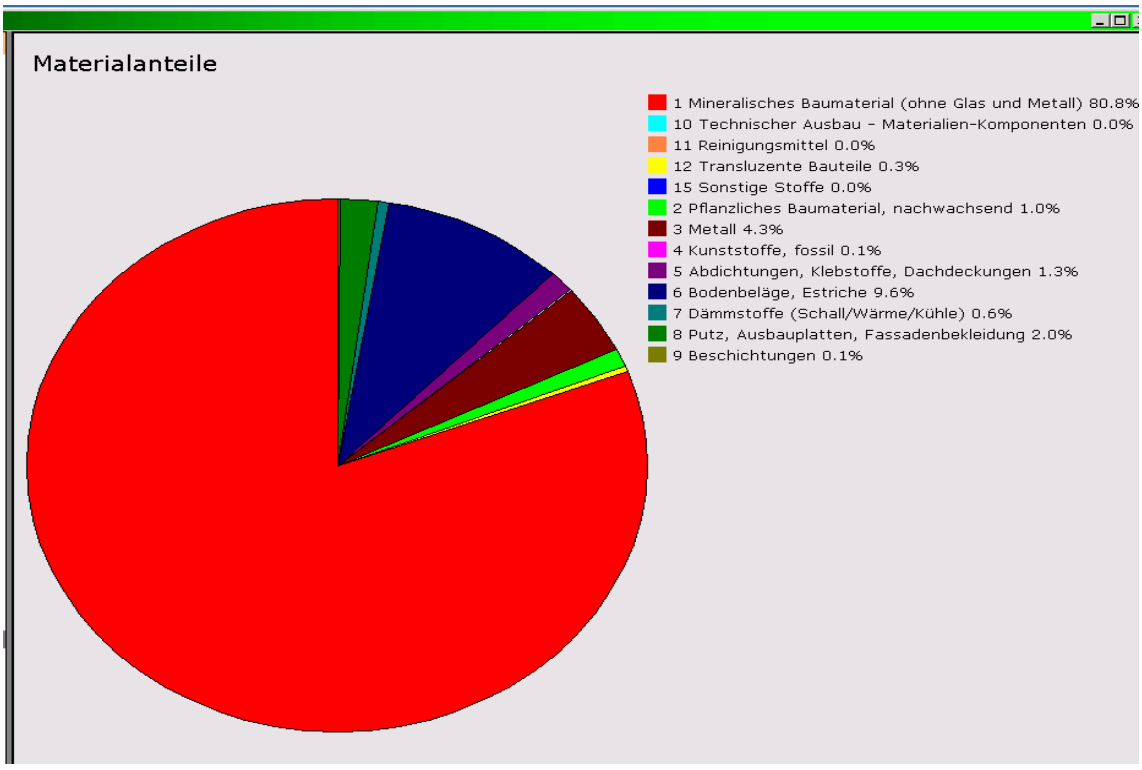



Abb. 156 Materialzusammensetzung des Gebäudes Gewicht prozentual

Die Säulendarstellung unterstreicht nochmals die Bedeutung des mineralischen Werkstoffs.

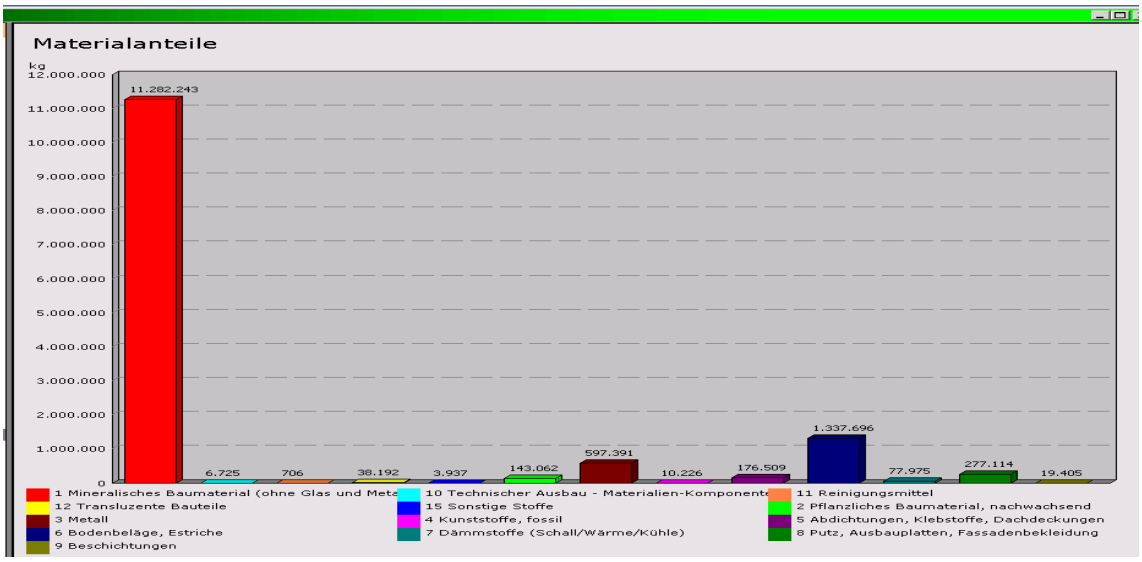



Abb. 157 Materialzusammensetzung des Gebäudes Gewicht absolut

Da die unterschiedlichen Rohdichten die schweren Materialien wie Metalle und mineralische Produkte des Gebäudes überbetonen, wird zusätzlich eine Volumenauswertung der Materialien dokumentiert.
Diese zeigt die große Volumenmenge der Dämmstoffe an diesem Gebäude (28,9%) am gesamten Materialvolumen.

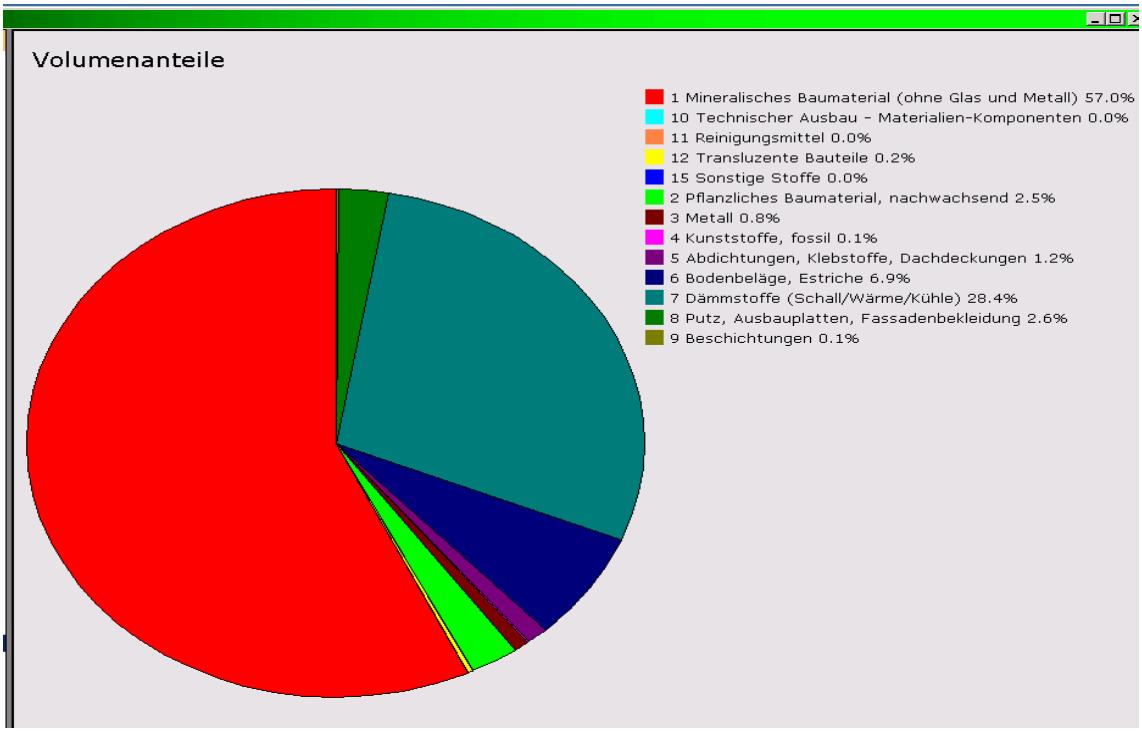



Abb. 158 Materialzusammensetzung des Gebäudes Volumen prozentual

### 3.5.6 Elementevergleich

Durch den Kommentar eines Antragprüfers der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wurde angeregt, in der Entwurfs- und Werkplanungsphase bei der Konzeptionierung der Bauelemente die Software LEGEP zu benützen. Für die Durchführung entsprechender Modellierungen wurden folgende Elemente ausgewählt.

Außenwand:

Vorhandene Lösung Stahlbetonscheibe, Dämmung, Holzverkleidung
Mögliche Lösung Holzboxelemente mit Dämmstoff und vorgehängte Fassade

Fenster:
Vorhandene Lösung Aluminium-Rahmenkonstruktion
Mögliche Lösung Holz oder Holz-Aluminium-Konstruktion

Decke:
Vorhandene Lösung Stahlbetonplatten
Mögliche Lösung Holz-Betonverbundkonstruktion

Dach: Folienkissen sind als bilanzierte Konstruktionen in der LEGEP Datenbank nicht erhalten. Dazu müssten erst Materialdaten beschafft werden.

Basis des Vergleichs: Funktionelle Einheit
Größe: 1 m²
Betrachtungszeitraum 80 Jahre
U-Wert (W/m²K) bei Hüllflächenbauteilen

Betrachtungsfeld je Element:
Herstellungskosten
Bauphysik
Umweltbelastung

Elementevergleich:
Umweltbelastung anhand von 4 Indikatoren (PEI erneuerbar und nicht erneuerbar, Klimagase, Versauerung)

Herstellungsphase - cradle to gate = von der Wiege frei Werktor
Herstellungs- und Nutzungsphase über 80 Jahre (ohne Rückbau und Entsorgung)

#### 3.5.6.1 Außenwand

**Standard Außenwand des Projektes:**
Außenwandkonstruktion aus Stahlbeton C 20/25 (B 25), d=25 cm, Boden-Deckelschalung auf Unterkonstruktion aus TJY-Trägern, Wärmedämmung aus Mineralwolle d= 300 m, Kunstharzlasur, innen Kalk-Zementputz mit Kunstharzdispersion

U-Wert 0,13 W/m²K

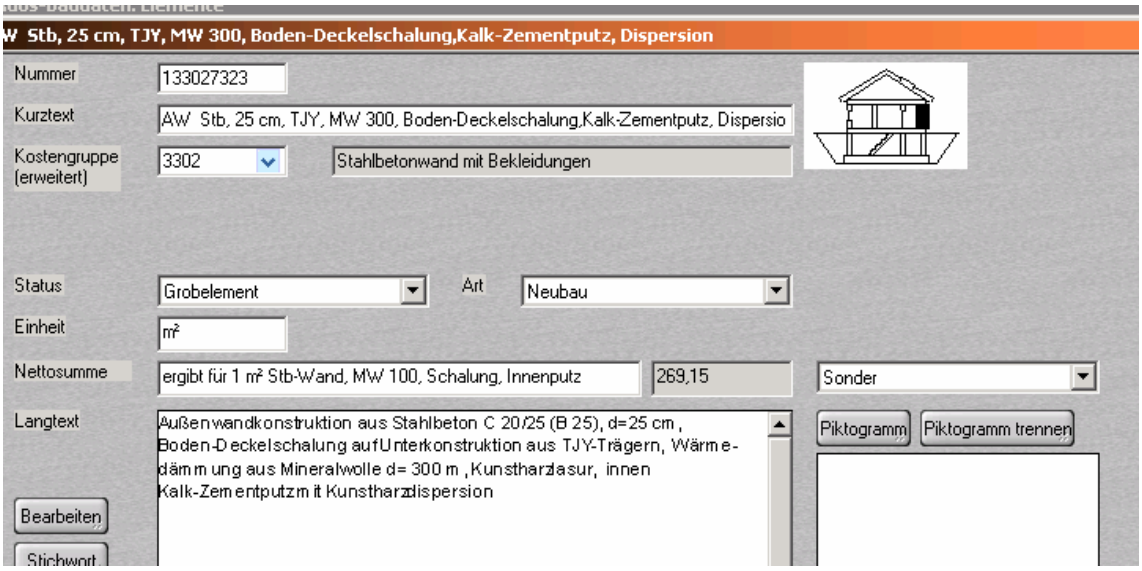



Abb. 159 Standard Außenwand in der LEGEP-Datenbank

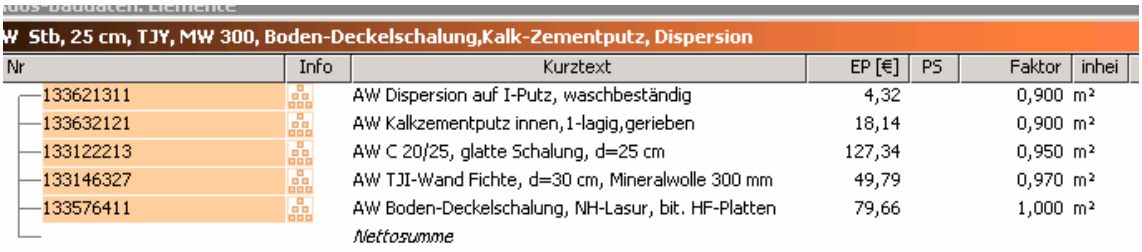



Abb. 160 Schichtaufbau de Standard-Außenwand

**Alternative 1**

Außenwandkonstruktion aus Holz als Ständerkonstruktion, Dämmung Mineralfaser d=180 mm, hinterlüftete Verkleidung mit Faserzementplatten, Gipsfaserlochplatte d=12,5 mm, mit Schalldämmung Mineralwolleplatten, d=40 mm

U-Wert 0,19 W/m²K

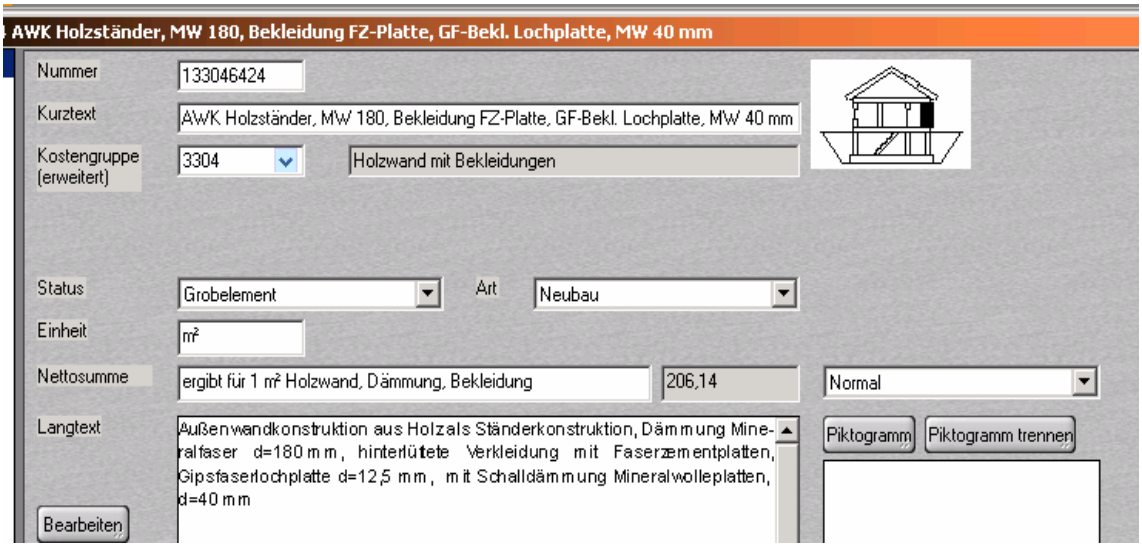



Abb. 161 Alternativ Außenwand in Primärkonstruktion aus Holz

| Holzständer, MW 180, Bekleidung FZ-Platte, GF-Bekl. Lochplatte, MW 40 mm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Info | Kurztext | EP [€] | PS | Faktor | inhei |
| 133623331 | | AW Dispersion auf GK-Wand, innen, scheuerbest. | 5,47 | | 0,900 | m² |
| 133642127 | | AW Trockenputz m. SD, innen, GK Lochplatte, 12,5 + MW 40 mm | 38,20 | | 0,900 | m² |
| 133142724 | | AW Holzständer, Fi, d=18 cm, WD MW 180 mm, Holzwerkstoffplatte, innen u. außen | 86,22 | | 0,950 | m² |
| 133564311 | | AW Bekleidung, Faserzementplatten 8 mm | 84,93 | | 1,000 | m² |
| | | *Nettosumme* | | | | |

Abb. 162 Schichtaufbau de Standard-Außenwand

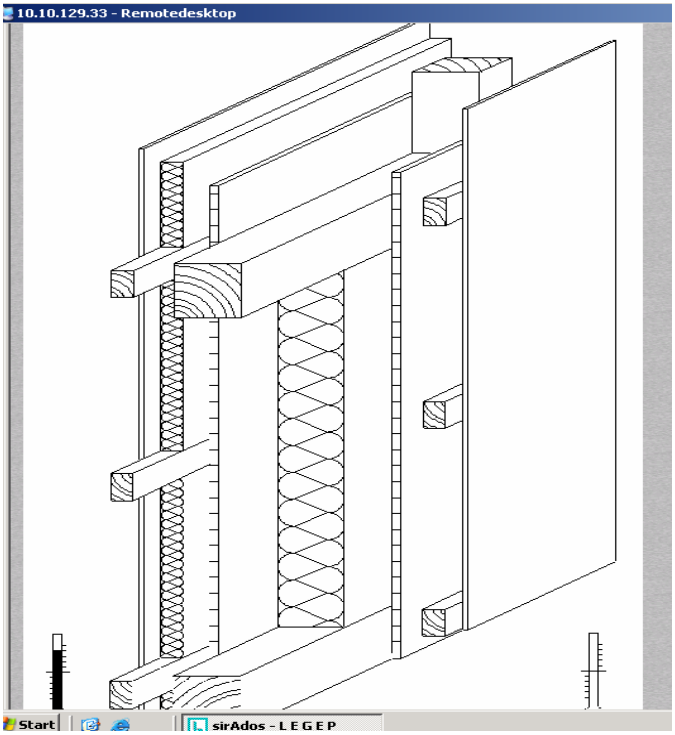



Abb. 163 Alternativ Außenwand in Holzständerausführung

**Alternative 2**

Außenwandkonstruktion aus Holz als BSH-Ständerkonstruktion, d=24 cm, Zellulose 240 mm zwischen den Ständern, außen hinterlüftete Lärchenschalung, Naturharzlasur, innen OSB Beplankung; mit Lasurbeschichtung

U-Wert 0,16 W/m²K

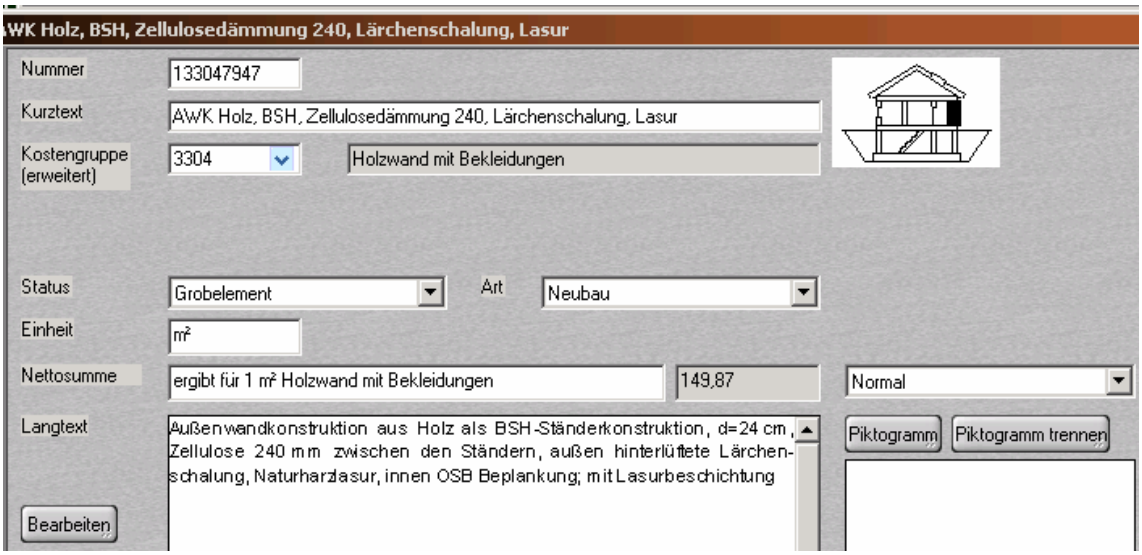



Abb. 164 Alternativ Außenwand in BSH-Ausführung mit Holzverschalung

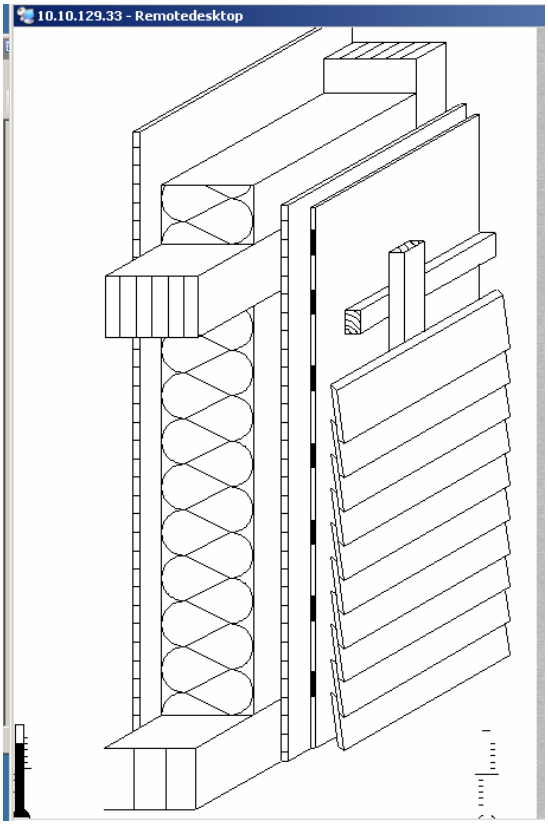
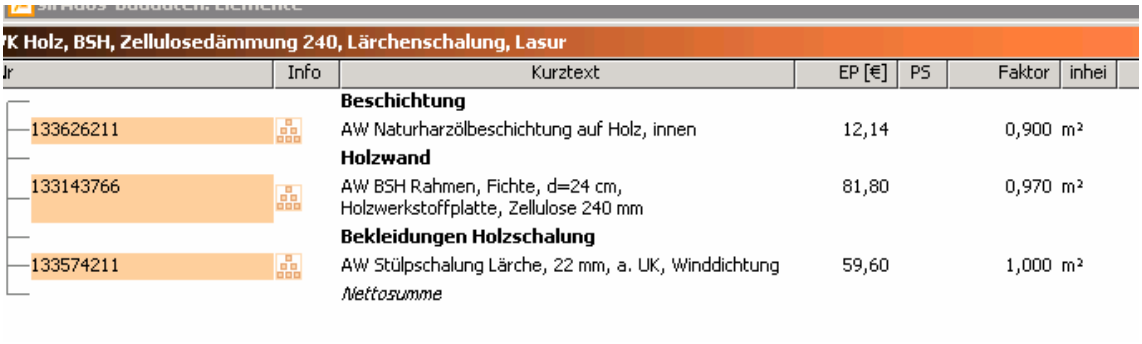



Abb. 165 Alternativ Außenwand in BSH-Ausführung mit Zellulosedämmung



K Holz, BSH, Zellulosedämmung 240, Lärchenschalung, Lasur

| Ir | Info | Kurztext | EP [€] | PS | Faktor | inhei |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Beschichtung** | | | | |
| 133626211 | | AW Naturharzölbeschichtung auf Holz, innen | 12,14 | | 0,900 | m² |
| | | **Holzwand** | | | | |
| 133143766 | | AW BSH Rahmen, Fichte, d=24 cm, Holzwerkstoffplatte, Zellulose 240 mm | 81,80 | | 0,970 | m² |
| | | **Bekleidungen Holzschalung** | | | | |
| 133574211 | | AW Stülpschalung Lärche, 22 mm, a. UK, Winddichtung | 59,60 | | 1,000 | m² |
| | | *Nettosumme* | | | | |

Abb. 166 Schichtaufbau de BSH-Außenwand

## Elementevergleich

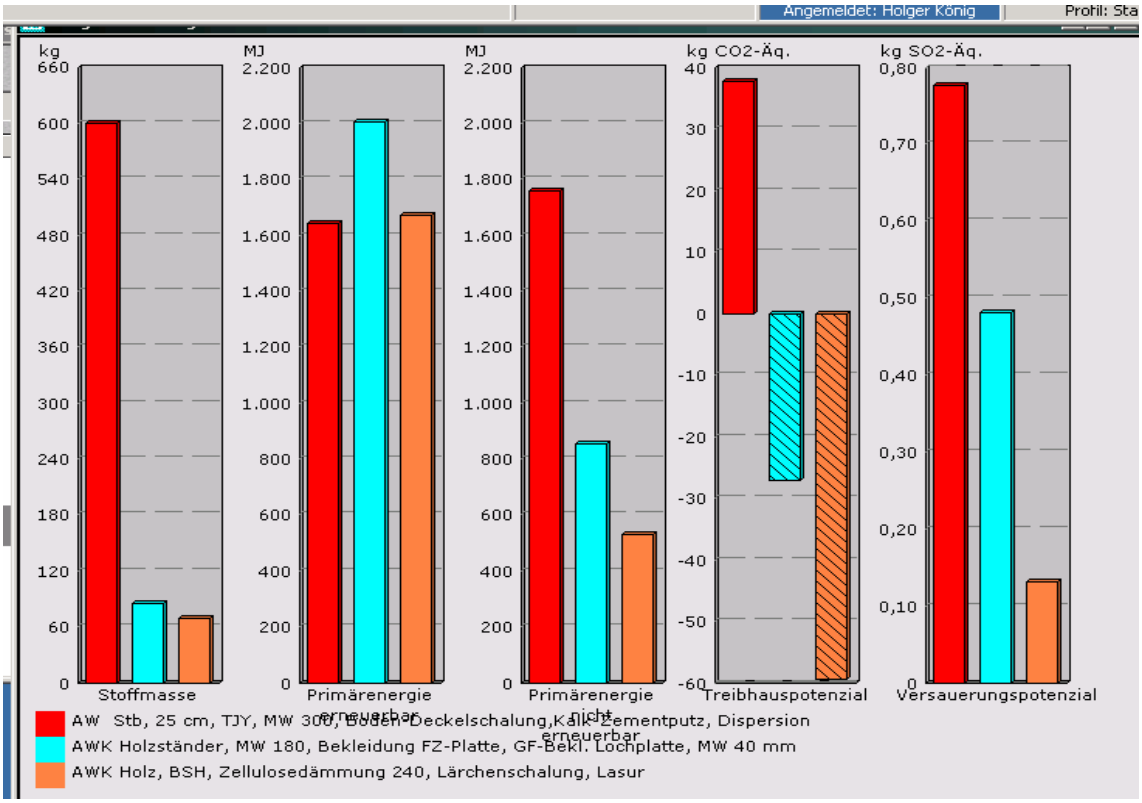



Abb. 167 Außenwand Elementvergleich Herstellungsphase

Die Holzkonstruktionen zeichnen sich durch eine sehr geringe Stoffmasse aus. Typisch ist auch der geringe Aufwand nicht erneuerbarer Primärenergie und die $CO_2$-Gutschriften. Diese Gutschriften aus der Herstellungsphase gehen in der Nutzungsphase durch partielle Erneuerungen wieder verloren, bis sie am Ende des Lebenszyklus durch thermische Verwertung wieder auf „0“ zurückgeführt werden.

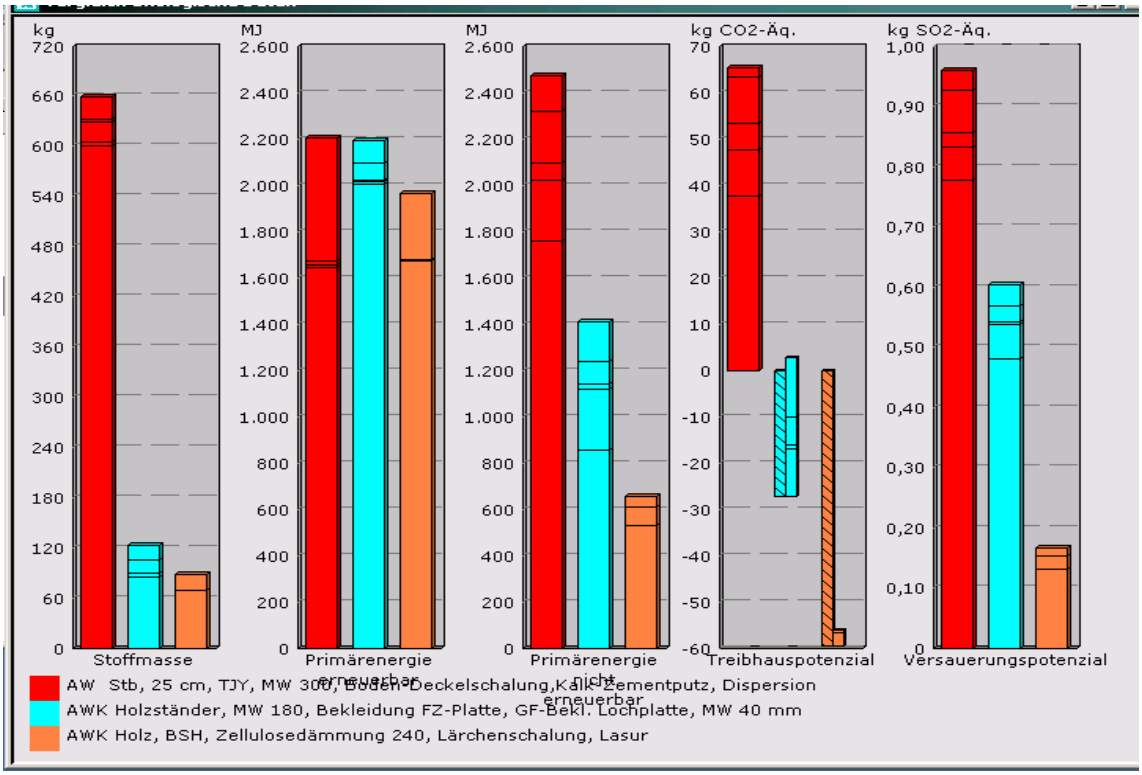



Abb. 168 Außenwand Elementvergleich Herstellungs- und Instandsetzungsphase

### 3.5.6.2 Fenster

**Standardfenster des Projektes**

Außenwand, Fenster aus Aluminium, einflügelig, 2,0-3,0 m², mit Wärmeschutzverglasung Ug=0,70 und Fensterbank außen und innen, Passivhaus geeignet

U-Wert 0,83 W/m²K

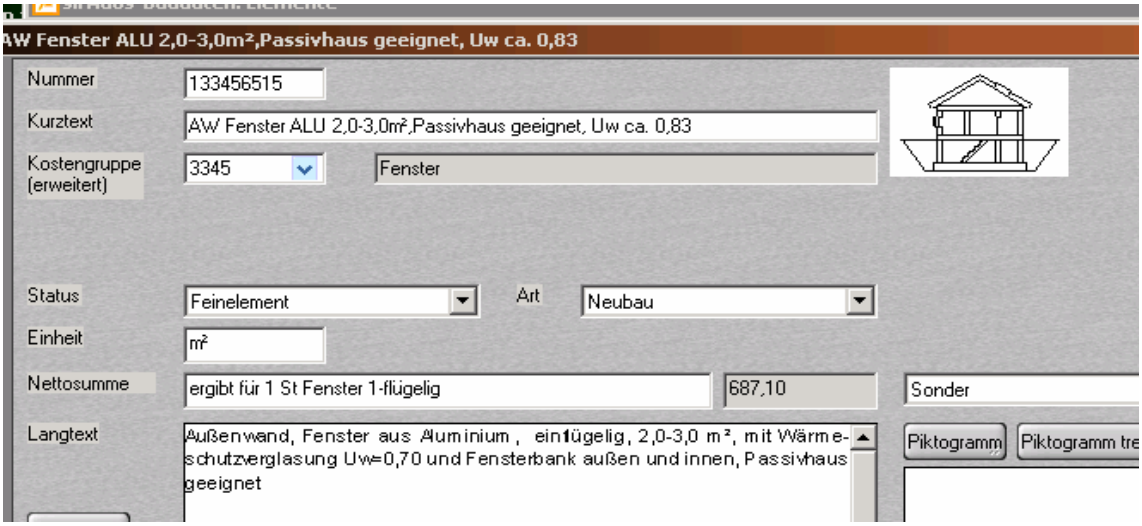



Abb. 169 Standard Außenfenster Aluminium

### Alternative Fenster Holz-Aluminium

Außenwand, Fenster aus Fichtenholz, mit Aluminium-Vorsatzschale, einflügelig, ohne Sprossen, 2,0 - 3,0 m², mit Wärmeschutzverglasung Ug.0,7 und Fensterbank außen und innen

U-Wert 0,88 W/m²K

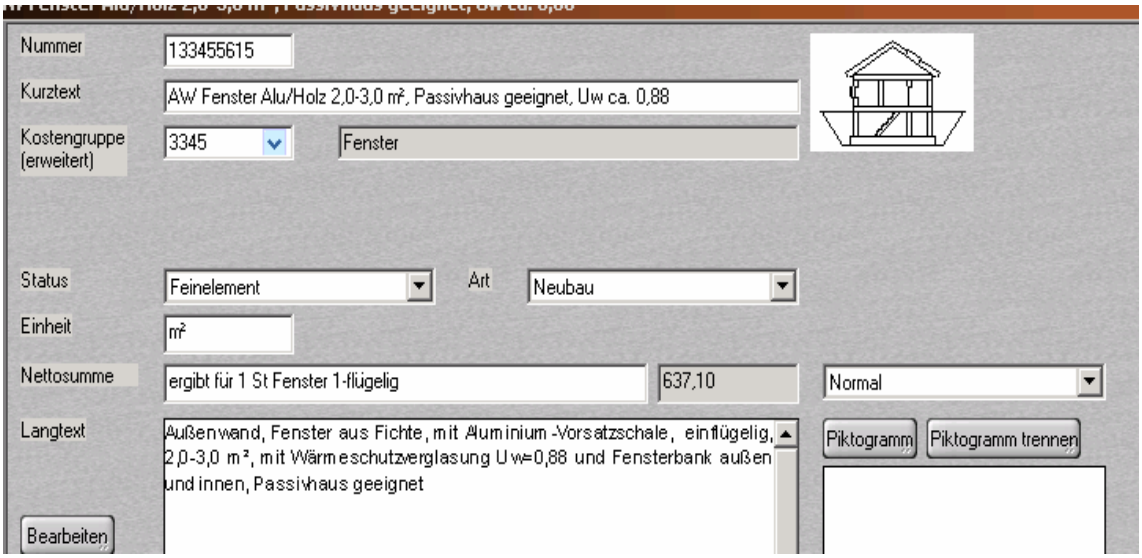



Abb. 170 Alternative Außenfenster Holz-Aluminium

### Alternative Holzfenster

Außenwand, Fenster aus Fichtenholz, einflügelig, ohne Sprossen, 2,0 - 3,0 m², mit Wärmeschutzverglasung Ug.0,7 und Fensterbank außen und innen

U-Wert 0,84 W/m²K

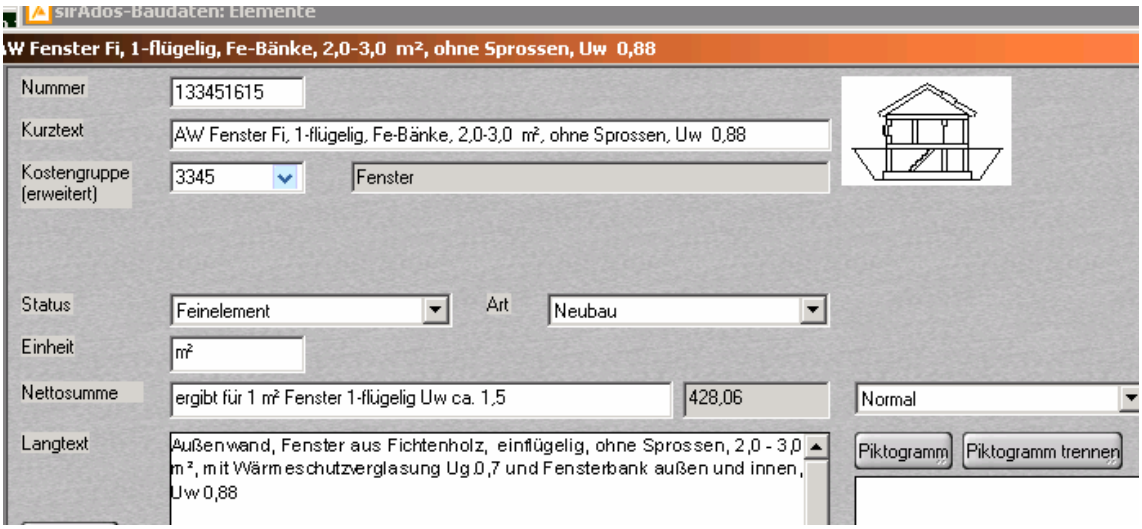



Abb. 171 Alternative Außenfenster Holz

## Elementevergleich

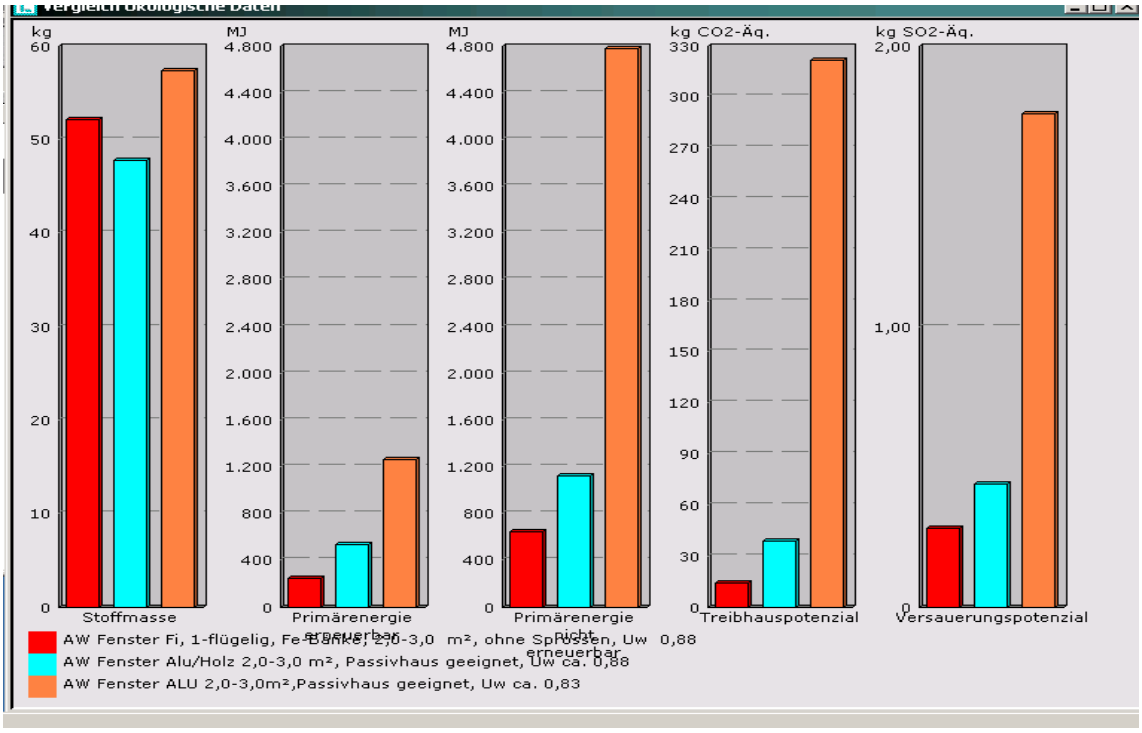



Abb. 172 Fenster Elementvergleich Herstellungsphase

Die Holzrahmenkonstruktion im Passivhausstandard, bei gleichem Verglasungsgewicht aller drei Fenster, ist relativ am schwersten. Das Holzfenster zeichnet sich trotzdem durch geringen bei allen Indikatoren aus. $CO_2$-Gutschriften werden aber durch die anderen Konstruktionsteile (Beschläge Verglasung kompensiert. Während der 80 – jährigen Nutzungsphase verliert das Holzfenster seine Position. Ursache hierfür ist die mit 40 Jahren begrenzte Lebensdauer und die dadurch notwendige Erneuerung. Damit wird die dauerhafte Konstruktion Holz-Aluminium als vorteilhaftere Lösung erkennbar.

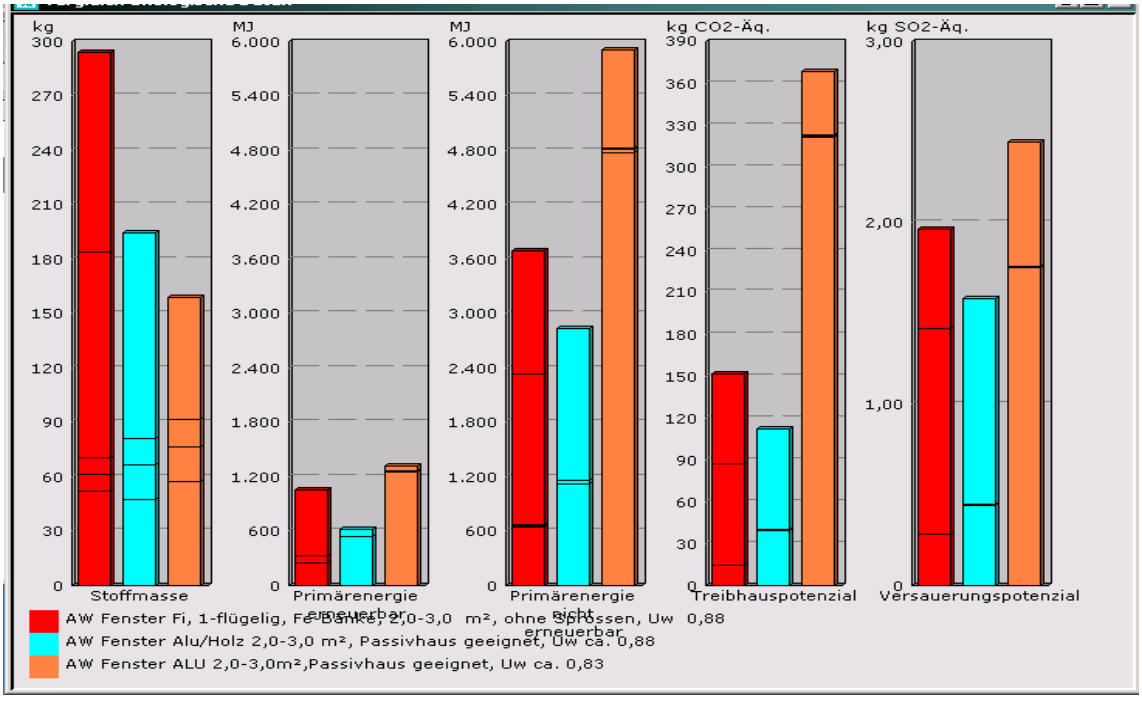



Abb. 173 Elementvergleich Fenster Herstellungs- und Instandsetzungsphase

### 3.5.6.3 Deckenkonstruktion

## Standardkonstruktion des Projektes

Deckenkonstruktion aus Stahlbeton C 20/25 (B 25), Konstruktionshöhe 18 cm, Polystyrol, schwimmender Zementestrich, Konstruktionshöhe 70 mm, Fliesenbelag, Dispersionsbeschichtung

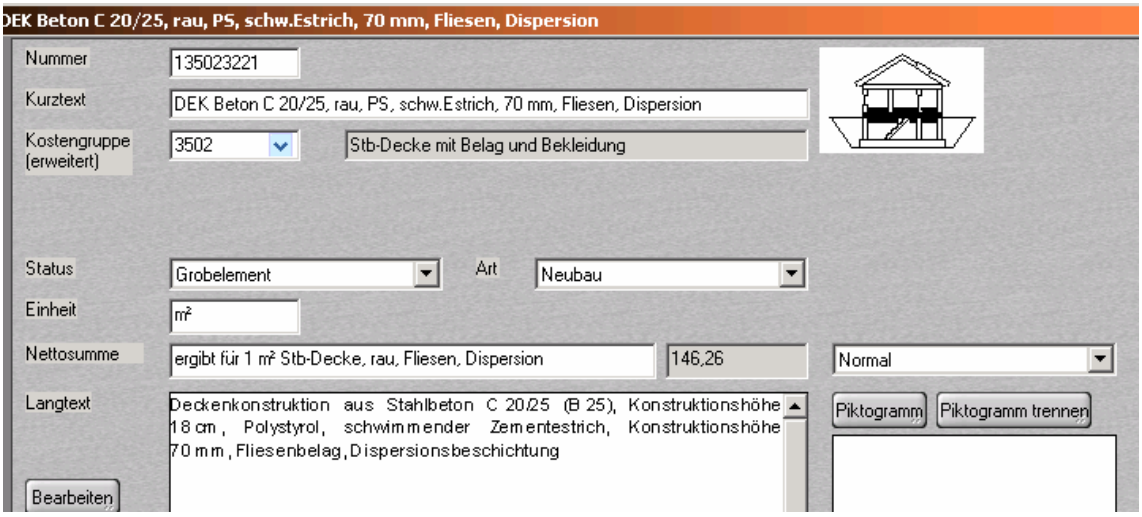



Abb. 174 Standard Decke in der LEGEP-Datenbank

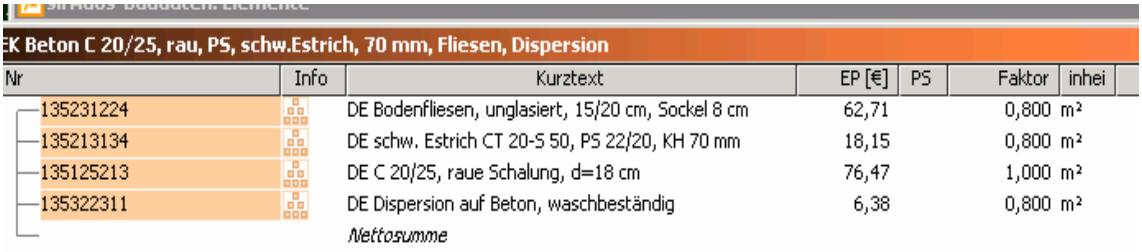



Abb. 175 Schichtaufbau de Standard-Decke

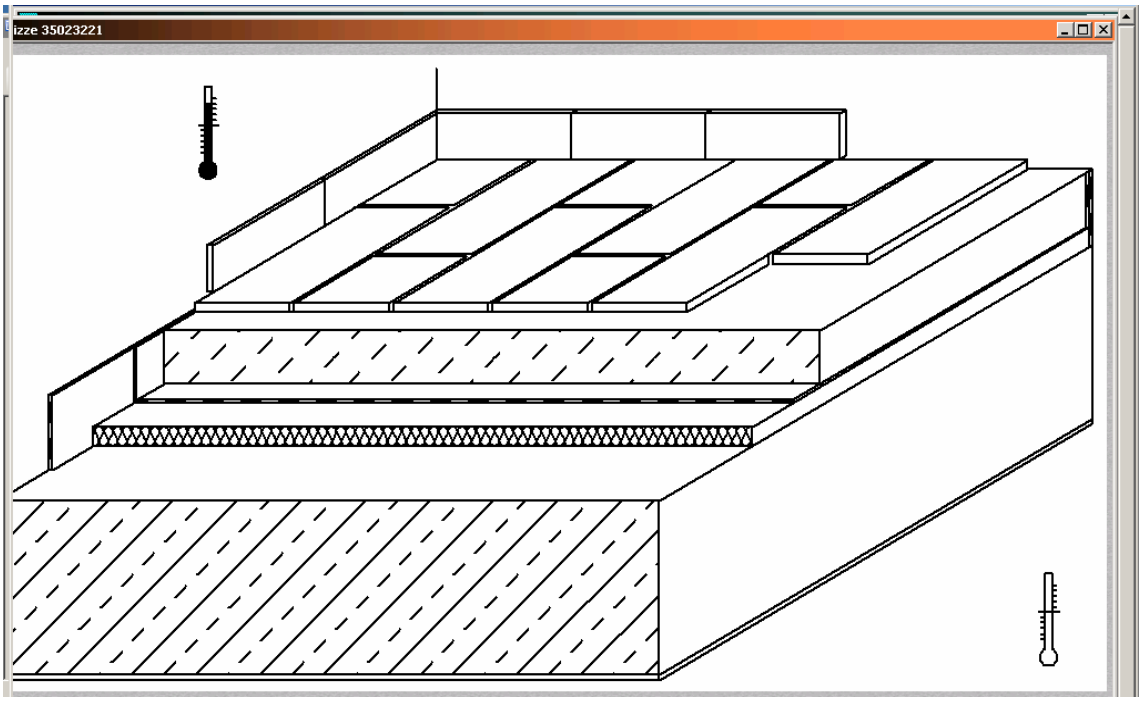



Abb. 176 Standard Decke in Primärkonstruktion aus Beton

## Alternative 1

Deckenkonstruktion, Brettstapelelement sichtbar, 120 mm, Aufbeton 90 mm, Trittschalldämmung Mineralwolle, Zementestrich 50 mm, Linoleumbelag

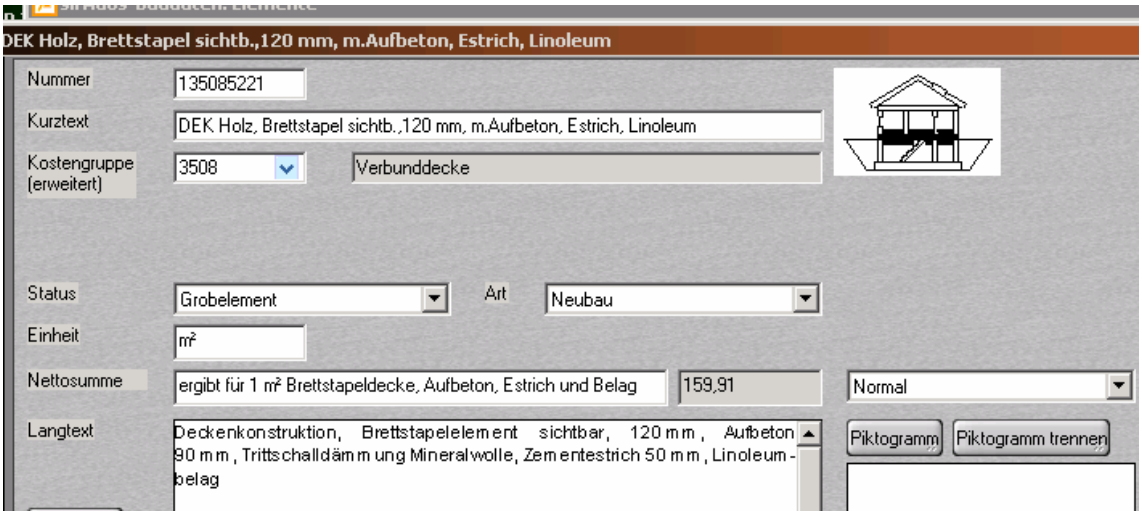



Abb. 177 Alternative Decke in Brettstapelkonstruktion mit Aufbeton

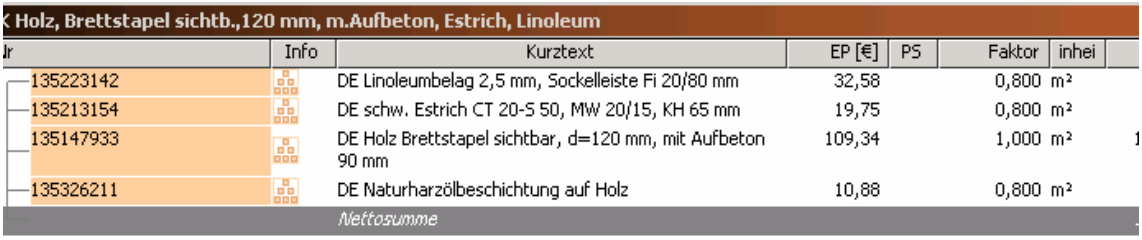



Abb. 178 Schichtaufbau der Brettstapeldecke

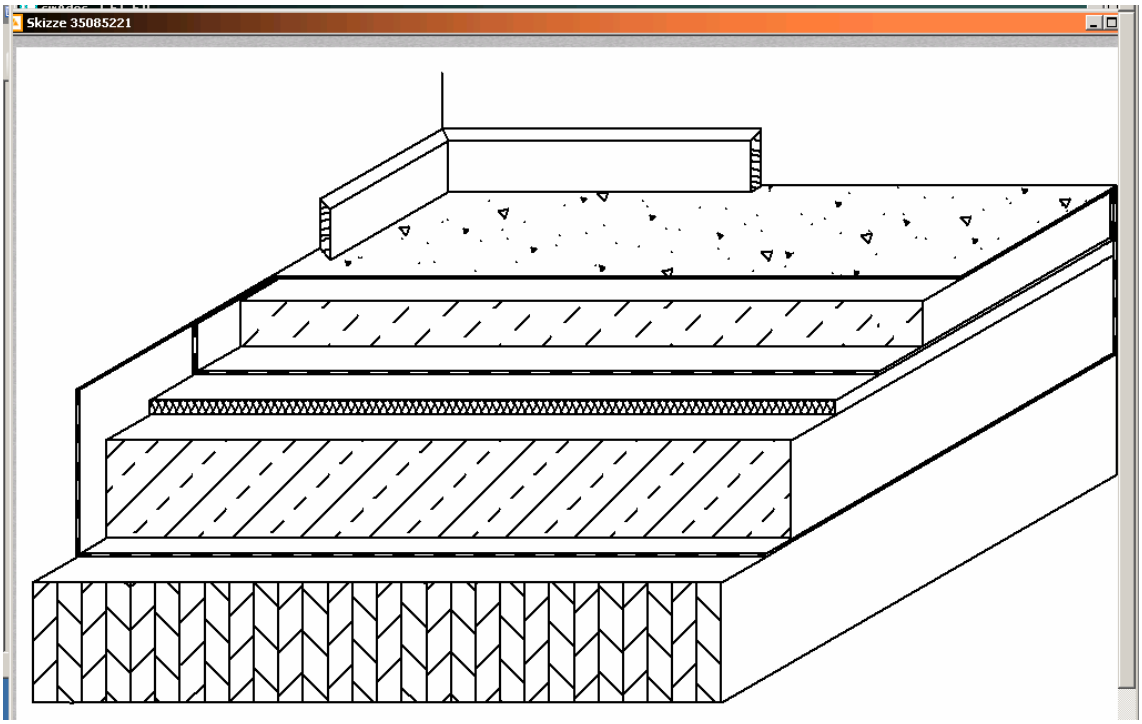



Abb. 179 Brettstapeldecke in Holz-Betonverbundbauweise

## Elementevergleich

Die Holz-Betonverbundkonstruktion zeichnet sich durch eine günstigere Stoffmasse aus. Typisch ist auch der geringe Aufwand nicht erneuerbarer Primärenergie und die $CO_2$-Gutschriften. Diese Gutschriften aus der Herstellungsphase gehen in der Nutzungsphase durch partielle Erneuerungen wieder verloren, bis sie am Ende des Lebenszyklus durch thermische Verwertung wieder auf „0“ zurückgeführt werden.

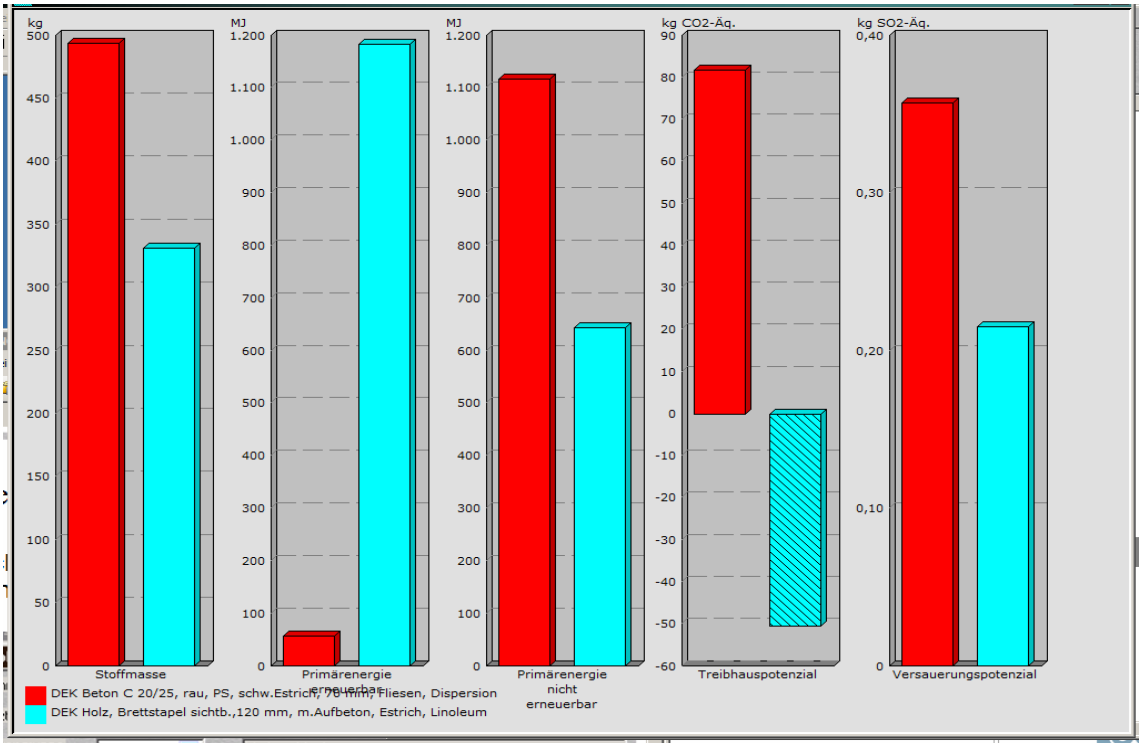



Abb. 180 Außenwand Elementvergleich Herstellungsphase

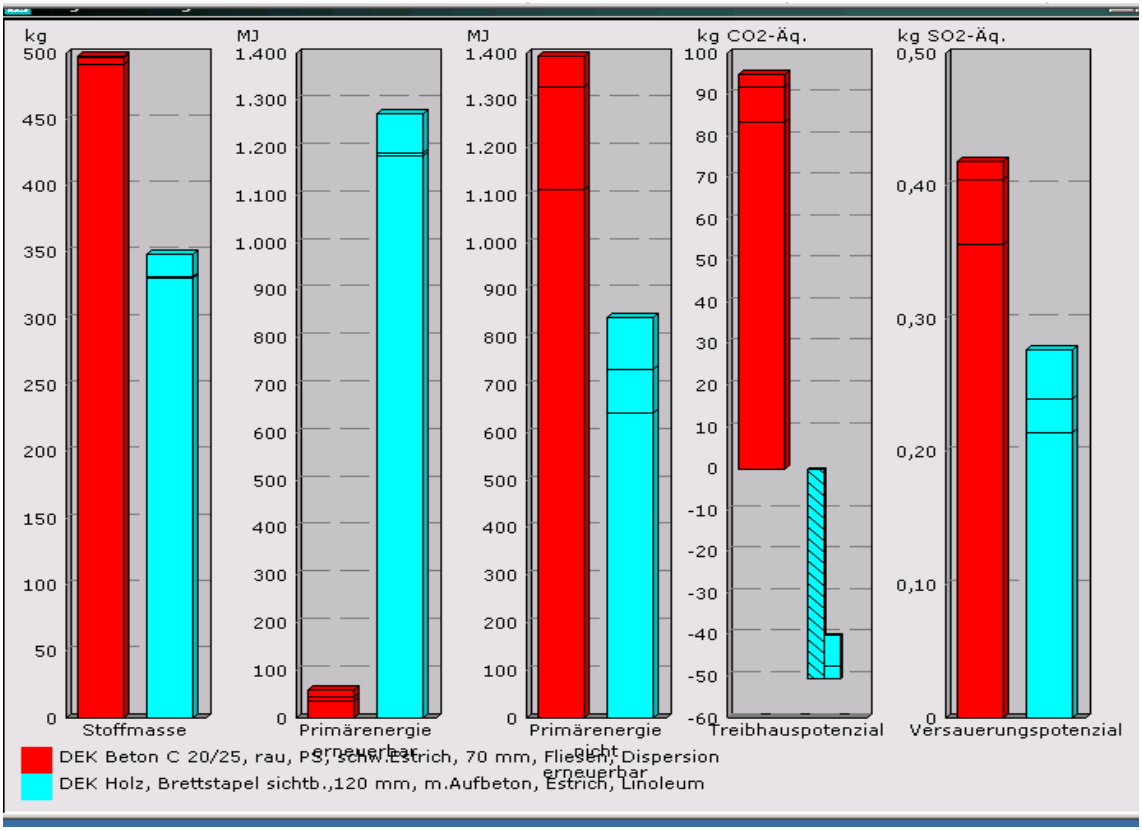



Abb. 181 Elementvergleich Decken Herstellungs- und Instandsetzungsphase

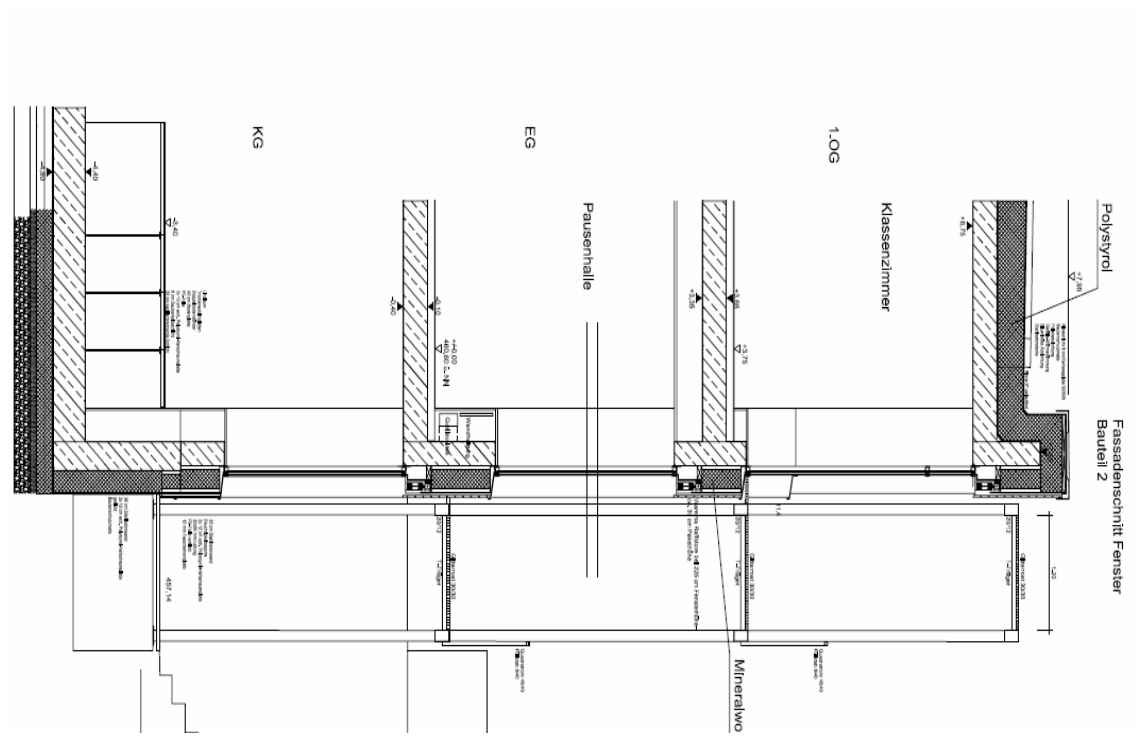



Abb. 182 Schnitt durch die Gebäudeaußenwand

### 3.5.7 Zusammenfassung

Die Schule BOS Erding zeigt in der ökologischen Gesamtbewertung (s. Tabelle 24) ein positives Gesamtergebnis. Dies beruht auf der Kombination von effizient genütztem umbautem Raum (Schulräume im UG mit Abgrabungen), der sehr guten Gebäudehülle und einem innovativen Haustechnikkonzept. Die positiven Kennwerte sind aber auch auf die Kubatur bzw. NGF des Atriums zurückzuführen, das aber wiederum wesentlicher Bestandteil des Klimakonzeptes ist, das sehr gute Komfortwerte bei reduziertem Technikeinsatz ermöglicht. Diese Kombination kompensiert die im Elementevergleich unvorteilhaft abschneidenden Einzelkonstruktionen.
Die integrale Betrachtungsweise des Gebäudekonzepts ist in der Lage, einerseits die Einzelaspekte aufzuzeigen, deren Beurteilung aber immer wieder unter dem Gesamtaspekt interagierender Gebäudeteile durchzuführen.
Damit wird auch deutlich, dass erfolgreiche Bau- und Nutzungskonzept nur dann gelingen können, wenn das Zusammenspiel der Einzelkomponenten in der Entwurfs- und Baudurchführungsphase von allen Beteiligten berücksichtigt wird.

## 3.6 Fazit

Das entwickelte baulich-technische Energiekonzept hat die außergewöhnlich anspruchsvollen energetischen und komforttechnischen Ziele voll umfänglich erreicht. So wird der Passivhausstandard mit einem rechnerisch ermittelten spezifischen Heizwärmebedarf von ca. 11 kWh/(m² a) sicher eingehalten. Aufgrund der sorgfältigen Auswahl sämtlicher energierelevanter Komponenten kann auch der Zielkorridor des Primärenergiebedarfs Haustechnik von 60 … 70 kWh/(m² a) rechnerisch erreicht werden. Insbesondere durch die erhebliche Reduktion notwendiger haustechnischer Komponenten durch z. B. die Nutzung des Atriums als Abluftplenum und die Gewährleistung eines guten sommerlichen thermischen Komforts allein durch Nachtauskühlung (und somit ohne z. B. eine Betonkernaktivierung oder anderweitig realisierte Flächenkühlung) können auch die in einer Lebenszyklusanalyse erfassten Größen wie „Graue Energie“ und mit der Herstellung des Gebäudes assoziierte Schadstoffemissionen signifikant reduziert werden. Einige der ursprünglich formulierten Technologie-Ansätze wurden modifiziert, insbesondere sind folgende Änderungen hervorzuheben:

1. Die Führung der Zuluft in der Dämmebene der Fassade wurde aufgrund der damit verbundenen rechnerisch ermittelten Beeinträchtigung der Wärmeschutzeigenschaften verworfen. Die Zuluft wird nunmehr fassadennah innerhalb der thermischen Gebäudehülle in die Klassenräume geführt.

2. Die ursprünglich geplante Realisierung von

   - Fassadenmodulen mit lüftungstechnischer Funktion und integrierten Wärmerückgewinnungs-Einheiten sowie
   - auf PCM-Materialien basierenden Speichereinheiten wurde wegen
   - der Anschlussproblematik (Dichtigkeit, Fassadendurchdringungen),
   - des unwesentlichen Einsparpotentials durch PCM-Materialien (geringer, nicht zielführend nutzbarer Temperaturhub im dianen Rhythmus, verbunden mit der relativ niedrigen in ein Fassadenelement einbringbaren Menge an PCM-Materialien) und
   - der geringeren Effizienz „kleiner“ lüftungstechnischer Komponenten gegenüber größeren, zentralen Einheiten

   nicht weiterverfolgt.

   Es konnte zudem gezeigt werden, dass eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit einer Führung der Abluft über die Verkehrswege und das Atrium bessere volumetrische Kennwerte und mindestens ebenso gute Wärmerückgewinnungsgrade aufweist wie dezentrale Anlagen.

3. Die Überströmung der verbrauchten Luft aus den Klassenzimmern ins zentrale Atrium mittels Kleinventilatoren konnte durch die Entwicklung eines extrem druckverlustarmen Überströmelements überflüssig gemacht werden, welches gleichzeitig Telefonieeffekte unterbindet und bei Bedarf Brandabschnitte voneinander abtrennt.

In den nachfolgenden Projektphasen ist eine sorgfältige Überwachung bei der Umsetzung des entwickelten ressourcenschonenden baulich-technischen Konzepts erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass alle zum Einsatz kommenden Komponenten den in der Planungsphase formulierten hohen energetischen Anforderungen entsprechen. Alternativvorschläge sind bezüglich ihrer potentiellen Auswirkungen auf den Energiebedarf, den thermischen Komfort und die mit der Herstellung und der Entsorgung verbundene Umweltbelastung hin zu überprüfen. Im einzelnen ist folgenden Punkten besondere Beachtung zu schenken:

- Gebäudedichtigkeit (insbesondere rechtzeitige Durchführung des Blower-Door-Tests)
- Sicherstellung des geforderten Dämmstandards
- Wärmebrückenfreiheit
- Einhaltung des geforderten Gesamt-U-Werts der verwendeten Fenster
- Druckverluste von mechanischen Lüftungsanlagen und Komponenten der Lüftungstechnik, insbesondere Überströmelement Klassenzimmer-Flure
- Hydraulischer Abgleich / Raumbezogene Volumenströme der mechanischen Lüftungsanlagen
- Hydraulischer Abgleich Heizungssystem und Brunnenwassersystem
- Wirkungsgrade von Ventilatoren und Pumpen (insbesondere auch große Abluftventilatoren für die Nachtlüftung)
- Wirkungsgrade von Beleuchtungskörpern
- Leistungsaufnahme Diverse Technik (Schaltkästen, GLT-Komponenten, Aufzüge etc.)
- Fehlerfreie Umsetzung der Steuerungs- und Regelungskonzepte (insbesondere Nachtauskühlung, tagsüber erfolgende Be- und Entlüftung, präsenz- und tageslichtabhängige Beleuchtung, Sonnenschutz)
- Vollständige, fehlerfreie Implementierung der für das Monitoring-Programm erforderlichen Messtechnik; rechtzeitige Funktions- und Plausibilitätstests der Messtechnik
- Enge Einbindung des Nutzers bei der Inbetriebnahme
- Nutzung der Messdatenerfassung zur fehlerfreien Überführung des Gebäudes in die geplante Betriebsweise
- Verifikation der prognostizierten erreichbaren Primärenergiebedarfe
- Kommunikation der gewonnen Erkenntnisse

## 3.7 Literaturverzeichnis


[BMVBS07] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.): CO2 Gebäudereport, 2007.

[Voss2005] Voss, Löhnert, Herkel, Wagner, Wambsganß (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte – Analysen – Erfahrungen. 2005

[PHPP] Feist et al.: Passivhaus Projektierungs Paket 2007. Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser. Darmstadt, 2007.

[5034] DIN 5034-1:1999-10, Tageslicht in Innenräumen. Allgemeine Anforderungen.

[12464] DIN EN 12464-1:2003-03, Beleuchtung von Arbeitsstätten. Arbeitsstätten in Innenräumen.

[LEE] Hennings, Detlef: Leitfaden elektrische Energie im Hochbau. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. Darmstadt, 2001.

[1946-2] DIN 1946-2:1994-01, Raumlufttechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Zurückgezogen. 1994.

[VDI6022] VDI 6022, Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte. 2006.

[EnEV] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), 2007.

[VDI2052] VDI 2052, Raumlufttechnische Anlagen für Küchen. 2006.

[1946-7] DIN 1946-7:1992-06, Raumlufttechnik; Raumlufttechnische Anlagen in Laboratorien (VDI-Lüftungsregeln). 1992.

[AMEV2006] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden Vertragsmuster, Bestandsliste, Leistungskatalog, Berlin 2006

[BMVBS01] Bundesministerium für Verkehr Bauen und Städtebau, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Berlin 2001

[VDI2067] Richtlinie über die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Köln 2003

[ISO15686] ISO/CD 15686-1 "Buildings and constructed assets — Service life planning Part 1: General principles"

[15686-7] ISO 15686-7, Documented service-life data from in-use exposure

[15686-2] ISO 15686-2, Predicted service life

[15686-8] ISO 15686-8, Factor Method

[ROTH07] Rothermund, Lebenszykluskosten. Konkretisierung der nötigen Lebenszyklusdaten, Ahlen 2007-2008

[BBR2008] Kreissig, König, Stoffregen, Ökologische Bewertung der Haustechnik, Forschungsprojekt des BBR im Programm Zukunft BAU, 1. Zwischenbericht Stuttgart 2008

[18599] DIN V 18599:2007-02, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1 bis 10

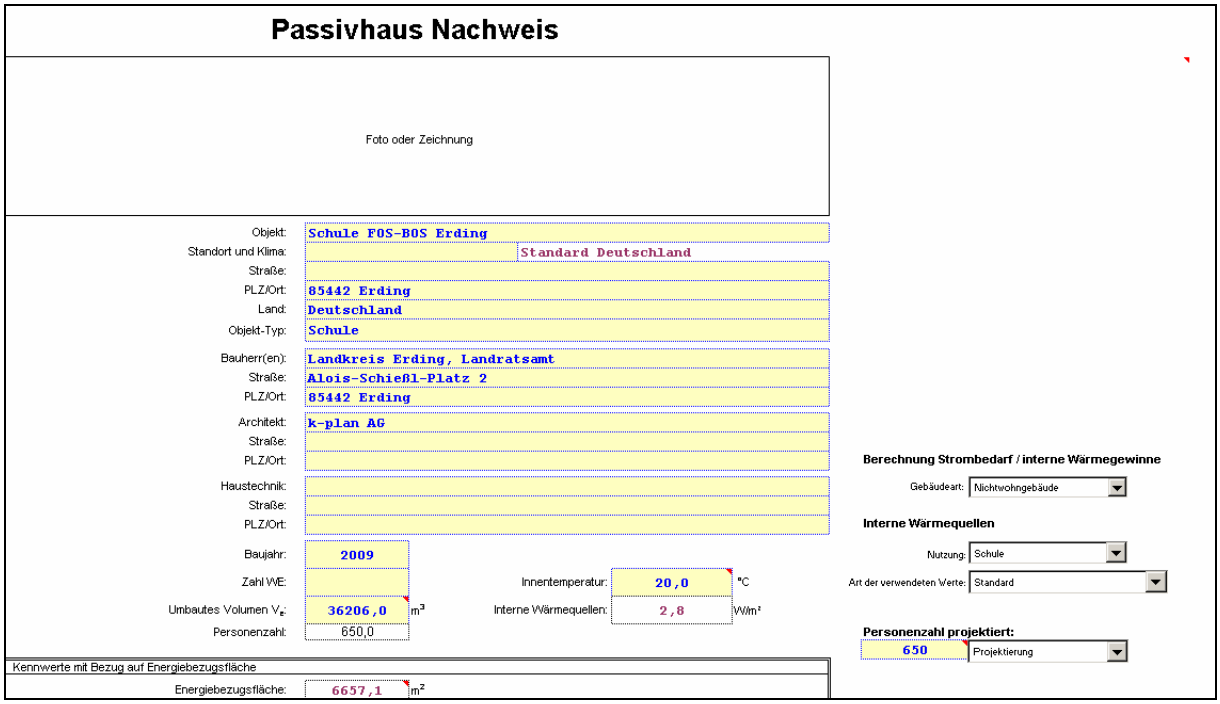
[OSC2004] Jones, Lang, LaSalle: OSCAR 2004. Büronebenkostenanalyse. Berlin, 2004.

[SIA 123] Steiger: Ökologische Baukonstruktionen, Zürich 1996, veröffentlicht in der Schriftenreihe des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins Nr. 123

[NIED03] Staatlliches Baumanagement Niedersachsen: Jahresbericht Energie- und Gebäudemanagement des Landes Niedersachsen. Hannover, 2003.

# 4 Anhang

## 4.1 Berechnungsgang Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)



**Passivhaus Nachweis**

Foto oder Zeichnung

| | |
|---|---|
| Objekt: | Schule FOS-BOS Erding |
| Standort und Klima: | Standard Deutschland |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | 85442 Erding |
| Land: | Deutschland |
| Objekt-Typ: | Schule |
| Bauherr(en): | Landkreis Erding, Landratsamt |
| Straße: | Alois-Schießl-Platz 2 |
| PLZ/Ort: | 85442 Erding |
| Architekt: | k-plan AG |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | |
| Haustechnik: | |
| Straße: | |
| PLZ/Ort: | |
| Baujahr: | 2009 |
| Zahl WE: | |
| Umbautes Volumen $V_e$: | 36206,0 m³ |
| Personenzahl: | 650,0 |
| Innentemperatur: | 20,0 °C |
| Interne Wärmequellen: | 2,8 W/m² |

Berechnung Strombedarf / interne Wärmegewinne

Gebäudeart: Nichtwohngebäude

Interne Wärmequellen

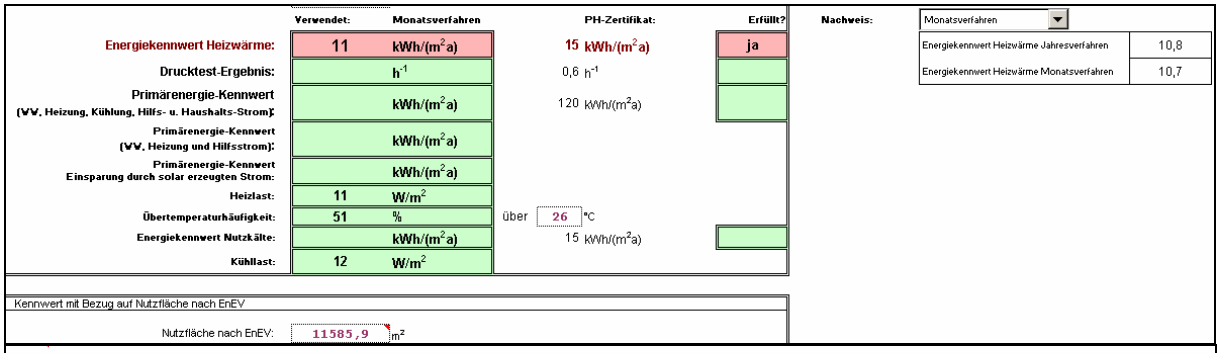
Nutzung: Schule

Art der verwendeten Werte: Standard

Personenzahl projektiert: 650 Projektierung

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche

Energiebezugsfläche: 6657,1 m²



| | Verwendet: | Monatsverfahren | PH-Zertifikat: | Erfüllt? |
|---|---|---|---|---|
| Energiekennwert Heizwärme: | 11 | kWh/(m²a) | 15 kWh/(m²a) | ja |
| Drucktest-Ergebnis: | | $h^{-1}$ | 0,6 $h^{-1}$ | |
| Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- u. Haushalts-Strom): | | kWh/(m²a) | 120 kWh/(m²a) | |
| Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom): | | kWh/(m²a) | | |
| Primärenergie-Kennwert Einsparung durch solar erzeugten Strom: | | kWh/(m²a) | | |
| Heizlast: | 11 | W/m² | | |
| Übertemperaturhäufigkeit: | 51 | % | über 26 °C | |
| Energiekennwert Nutzkälte: | | kWh/(m²a) | 15 kWh/(m²a) | |
| Kühllast: | 12 | W/m² | | |

Nachweis: Monatsverfahren

| | |
|---|---|
| Energiekennwert Heizwärme Jahresverfahren | 10,8 |
| Energiekennwert Heizwärme Monatsverfahren | 10,7 |

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV

Nutzfläche nach EnEV: 11585,9 m²

**Passivhaus-Projektierung**

**F L Ä C H E N E R M I T T L U N G**

Objekt: Schule FOS-BOS Erding Heizwärme 11 kWh/(m²a)

**Zusammenstellung**

| Gruppe Nr. | Flächengruppe | Temperaturzone | Fläche | Einheit | Bemerkung | Bauteil-Übersicht | U-Mittelwert [W/(m²K)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Energiebezugsfläche | | 6657,09 | m² | *Wohnfläche nach WofIV bzw. Nutzfläche nach DIN 277 innerhalb der thermischen Hülle* | | |
| 2 | Fenster Nord | A | 517,38 | m² | Ergebnisse kommen aus dem Blatt "Fenster" | Fenster Nord | 0,870 |
| 3 | Fenster Ost | A | 74,83 | m² | | Fenster Ost | 0,864 |
| 4 | Fenster Süd | A | 493,63 | m² | | Fenster Süd | 0,850 |
| 5 | Fenster West | A | 74,83 | m² | | Fenster West | 0,864 |
| 6 | Fenster horizontal | A | 220,00 | m² | | Fenster horizontal | 0,879 |
| 7 | Außentür | A | 0,00 | m² | *Fläche der Außentür bitte selbst im entsprechenden Bauteil abziehen* | Außentür | |
| 8 | Außenwand Außenluft | A | 2339,06 | m² | *Fensterflächen werden bei den Einzelflächen abgezogen, die im Blatt "Fenster" angegeben sind.* | Außenwand Außenluft | 0,128 |
| 9 | Außenwand Erdreich | B | 598,48 | m² | *Temperaturzone "A" ist Außenluft* | Außenwand Erdreich | 0,123 |
| 10 | Dach/Decken Außenluft | A | 2363,60 | m² | *Temperaturzone "B" ist Erdreich* | Dach/Decken Außenluft | 0,095 |
| 11 | Bodenplatte | B | 2583,60 | m² | | Bodenplatte | 0,188 |
| 12 | | | 0,00 | m² | *Temperaturzone "A", "B","P" und "X" dürfen verwendet werden. NICHT "I"* | | |
| 13 | | | 0,00 | m² | *Temperaturzone "A", "B","P" und "X" dürfen verwendet werden. NICHT "I"* Faktor zu X | | |
| 14 | | X | 0,00 | m² | *Temperaturzone "X": Bitte Temperaturgewichtfaktor hier selbst eingeben ( 0 < $f_t$ < 1):* 75% | | |
| | | | | | | ΨBY - Übersicht | Ψ [W/(mK)] |
| 15 | Wärmebrücken Außenluft | A | 0,00 | m | *Einheit in lfm* | Wärmebrücken Außenluft | |
| 16 | Wärmebrücken Perimeter | P | 0,00 | m | *Einheit in lfm; Temperaturzone "P" ist Perimeter (siehe Erdreichblatt)* | Wärmebrücken Perimeter | |
| 17 | Wärmebrücken Bodenplatte | B | 0,00 | m | *Einheit in lfm* | Wärmebrücken Bodenplatte | |
| 18 | Wand zum Nachbarn | I | 0,00 | m² | *kein Wärmeverlust, nur für die Heizlastauslegung berücksichtigen* | Wand zum Nachbarn | |
| Summe thermische Hülle | | | 9265,38 | m² | | Mittel thermische Hülle | 0,246 |

## Flächeneingabe

| Fläche Nr. | Bauteil Bezeichnung | zu Gruppe Nr. | Zuordnung zu Gruppe | Anzahl | x ( | a [m] | x | b [m] | + | Eigene Ermittlung [m²] | - | eigener Abzug [m²] | - | Abzug Fenster [m²] | ) = | Fläche [m²] | Auswahl des zugehörigen Bauteilaufbaus | Nr. | U-Wert [W/(m²K)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Energiebezugsfläche | 1 | Energiebezugsfläche | 1 | x ( | | x | | + | 6657,09 | - | | | | ) = | 6657,1 | | | |
| | Fenster Nord | 2 | Fenster Nord | | | | | | | | | | | | | 517,4 | Wert aus Fensterblatt | | 0,870 |
| | Fenster Ost | 3 | Fenster Ost | | | | | | | | | | | | | 74,8 | Wert aus Fensterblatt | | 0,864 |
| | Fenster Süd | 4 | Fenster Süd | | | bitte nur im Fensterblatt ausfüllen! | | | | | | | | | | 493,6 | Wert aus Fensterblatt | | 0,850 |
| | Fenster West | 5 | Fenster West | | | | | | | | | | | | | 74,8 | Wert aus Fensterblatt | | 0,864 |
| | Fenster horizontal | 6 | Fenster horizontal | | | | | | | | | | | | | 220,0 | Wert aus Fensterblatt | | 0,879 |
| | Außentür | 7 | Außentür | | x ( | | x | | + | | - | | ) - | | = | | U-Wert Außentür | | |
| 1 | Wand Süd Südriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 71,30 | x | 11,89 | + | | - | | ) - | 372,9 | = | 474,9 | Außenwand Elementbauw | 2 | 0,140 |
| 2 | Wand Ost Südriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 12,83 | x | 7,76 | + | | - | | ) - | 5,8 | = | 93,7 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 3 | Wand Ost Südriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 12,83 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 53,0 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 4 | Wand West Südriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 12,83 | x | 7,76 | + | | - | | ) - | 5,8 | = | 93,8 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 5 | Wand West Südriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 12,83 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 53,0 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 6 | Wand Nord Südriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 71,30 | x | 7,76 | + | | - | 310,40 | ) - | 34,5 | = | 208,4 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 7 | Wand Nord Südriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 71,30 | x | 4,13 | + | | - | 165,20 | ) - | 0,0 | = | 129,3 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 8 | Wand Süd Nordriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 81,30 | x | 11,19 | + | | - | 447,60 | ) - | 120,8 | = | 341,4 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 9 | Wand Süd Nordriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 81,30 | x | 4,13 | + | | - | 165,20 | ) - | 0,0 | = | 170,6 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 10 | Wand Ost Nordriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 17,83 | x | 11,19 | + | | - | | ) - | 17,4 | = | 182,0 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 11 | Wand Ost Nordriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 17,83 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 73,6 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 12 | Wand West Nordriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 17,83 | x | 11,19 | + | | - | | ) - | 17,4 | = | 182,0 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 13 | Wand West Nordriegel | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 17,83 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 73,6 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 14 | Wand Nord Nordriegel | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 81,30 | x | 15,32 | + | | - | | ) - | 482,9 | = | 762,6 | Außenwand Elementbauw | 2 | 0,140 |
| 15 | Bodenplatte Südriegel | 11 | Bodenplatte | 1 | x ( | 71,30 | x | 12,83 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 914,4 | Bodenplatte | 3 | 0,188 |
| 16 | Bodenplatte Nordriegel | 11 | Bodenplatte | 1 | x ( | 81,30 | x | 17,83 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 1449,2 | Bodenplatte | 3 | 0,188 |
| 17 | Bodenplatte Atrium | 11 | Bodenplatte | 1 | x ( | 40,00 | x | 5,50 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 220,0 | Bodenplatte | 3 | 0,188 |
| 18 | Dach Südriegel | 10 | Dach/Decken Außenluft | 1 | x ( | 71,30 | x | 12,83 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 914,4 | Dach | 4 | 0,095 |
| 19 | Dach Nordriegel | 10 | Dach/Decken Außenluft | 1 | x ( | 81,30 | x | 17,83 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 1449,2 | Dach | 4 | 0,095 |
| 20 | Wand West Atrium | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 5,50 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 22,7 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 21 | Wand Ost Atrium | 9 | Außenwand Erdreich | 1 | x ( | 5,50 | x | 4,13 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 22,7 | Außenwand massiv gg. Er | 5 | 0,123 |
| 22 | Wand West Atrium | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 5,50 | x | 9,40 | + | | - | | ) - | 51,6 | = | 0,1 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 23 | Wand Ost Atrium | 8 | Außenwand Außenluft | 1 | x ( | 5,50 | x | 9,40 | + | | - | | ) - | 51,6 | = | 0,1 | Außenwand massiv | 1 | 0,116 |
| 24 | Dach Atrium | 10 | Dach/Decken Außenluft | 1 | x ( | 5,50 | x | 40,00 | + | | - | | ) - | 220,0 | = | 0,0 | Dach | 4 | 0,095 |

# Passivhaus-Projektierung

## U - LISTE

Zusammenstellung der im Blatt U-Werte berechneten Aufbauten und weiterer Aufbauten aus Datenbanken.

| | TYP | | |
|---|---|---|---|
| Aufbau Nr. | Aufbau-Bezeichnung | Gesamtdicke | U-Wert |
| | | m | W/(m²K) |
| 1 | Außenwand massiv | 0,535 | 0,12 |
| 2 | Außenwand Elementbauweise | 0,285 | 0,14 |
| 3 | Bodenplatte | 0,430 | 0,19 |
| 4 | Dach | 0,560 | 0,10 |
| 5 | Außenwand massiv gg. Erdreich | 0,498 | 0,12 |

# Passivhaus-Projektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Objekt: Schule FOS-BOS Erding

Keilförmige Bauteilschichten (Gefälldämmung) und ruhende Luftschichten -> Hilfsmittel rechts

**1 Außenwand massiv**

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung

Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen $R_{si}$: 0,13

außen $R_{se}$: 0,04

| | Teilfläche 1 | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Summe Breite Dicke [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Innenputz | 0,350 | | | | | 15 |
| 2. | Stahlbeton | 2,100 | | | | | 200 |
| 3. | Wärmedämmung | 0,035 | | | | | 280 |
| 4. | Luftschicht | 0,108 | | | | | 20 |
| 5. | Holzverschalung | 0,130 | | | | | 20 |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | |

Flächenanteil Teilfläche 2 | Flächenanteil Teilfläche 3 | Summe: 53,5 cm

**U-Wert: 0,116** W/(m²K)

**2 Außenwand Elementbauweise**

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung

Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen $R_{si}$: 0,13

außen $R_{se}$: 0,04

| | Teilfläche 1 | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Summe Breite Dicke [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Innenputz | 0,350 | | | | | 15 |
| 2. | Faserzementplatte | 0,350 | | | | | 15 |
| 3. | Wärmedämmung | 0,035 | | | | | 240 |
| 4. | Faserzementplatte | 0,350 | | | | | 15 |
| 5. | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | |

Flächenanteil Teilfläche 2 | Flächenanteil Teilfläche 3 | Summe: 28,5 cm

**U-Wert: 0,140** W/(m²K)

**3 Bodenplatte**

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung

Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen $R_{si}$: 0,17

außen $R_{se}$: 0,00

| | Teilfläche 1 | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Summe Breite Dicke [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Estrich | 0,600 | | | | | 30 |
| 2. | Stahlbeton | 2,100 | | | | | 200 |
| 3. | Wärmedämmung | 0,040 | | | | | 200 |
| 4. | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | |

Flächenanteil Teilfläche 2 | Flächenanteil Teilfläche 3 | Summe: 43,0 cm

**U-Wert: 0,188** W/(m²K)

| 4 | Dach |
|---|---|

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung

Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen $R_{si}$: 0,10

außen $R_{se}$: 0,04

| | Teilfläche 1 | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Summe Breite Dicke [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Stahlbeton | 2,100 | | | | | 200 |
| 2. | Wärmedämmung | 0,035 | | | | | 360 |
| 3. | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | |

Flächenanteil Teilfläche 2 | Flächenanteil Teilfläche 3 | Summe

| | | 56,0 cm |
|---|---|---|

**U-Wert:** 0,095 W/(m²K)

| 5 | Außenwand massiv gg. Erdreich |
|---|---|

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung

Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen $R_{si}$:

außen $R_{se}$:

| | Teilfläche 1 | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Teilfläche 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Summe Breite Dicke [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Innenputz | 0,350 | | | | | 15 |
| 2. | Stahlbeton | 2,100 | | | | | 200 |
| 3. | Wärmedämmung | 0,035 | | | | | 280 |
| 4. | Bitumenabdichtung | 0,150 | | | | | 3 |
| 5. | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | |

Flächenanteil Teilfläche 2 | Flächenanteil Teilfläche 3 | Summe

| | | 49,8 cm |
|---|---|---|

**U-Wert:** 0,123 W/(m²K)

# Passivhaus-Projektierung

## WÄRMEVERLUSTE GEGEN ERDREICH

| Eigenschaften des Erdreichs | | | |
|---|---|---|---|
| Wärmeleitfähigkeit | λ | 2,0 | W/(mK) |
| Wärmekapazität | ρc | 2,0 | MJ/(m³K) |
| periodische Eindringtiefe | δ | 3,17 | m |

| Klimadaten | | | |
|---|---|---|---|
| mittl. Innentemperatur Winter | $T_i$ | 20,0 | °C |
| mittl. Innentemperatur Sommer | $T_i$ | 26,0 | °C |
| mittl. Erdoberflächentemp. | $T_{e,m}$ | 10,0 | °C |
| Amplitude von $T_{e,m}$ | $T_{e,\wedge}$ | 8,6 | °C |
| Länge der Heizperiode | n | 7,4 | Monate |
| Heizgradstunden außen | $G_t$ | 84,0 | kKh/a |

| Gebäudedaten | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fläche Bodenplatte | A | 2583,6 | m² | U-Wert Bodenplatte | $U_f$ | 0,188 | W/(m²K) |
| Umfang Bodenplatte | P | | m | Wärmebrücken Bodenplatte | $\Psi_B$*l | 0,00 | W/K |
| charakt. Bodenplattenmaß | B' | #DIV/0! | m | U-Wert Bodenplatte incl. WB | $U_f$' | 0,188 | W/(m²K) |
| | | | | wirksame Dicke des Bodens | $d_t$ | 10,6 | m |

| Art der Bodenplatte (nur ein Feld ankreuzen) | | | |
|---|---|---|---|
| | Beheizter Keller oder Bodenplatte im Erdreich | | Unbeheizter Keller |
| | Bodenplatte auf Erdreich | | Aufgeständerte Bodenplatte |

| Bei Unterkellerung oder Bodenplatte im Erdreich | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiefe Keller | z | | m | U Kellerwand unterirdisch | $U_{wK}$ | | W/(m²K) |
| **Zusätzlich bei unbeheiztem Keller** | | | | Höhe Kellerwand oberirdisch | h | | m |
| Luftwechsel im unbeh. Keller | n | 0,20 | $h^{-1}$ | U Kellerwand oberirdisch | $U_W$ | 0,116 | W/(m²K) |
| Kellervolumen | V | | m³ | U-Wert Kellerboden | $U_{fK}$ | | W/(m²K) |

| Bei Randdämmung für Bodenplatte auf Erdreich | | | |
|---|---|---|---|
| Breite/Tiefe Randdämmung | D | | m |
| Dicke Randdämmung | $d_n$ | | m |
| Wärmeleitfähigkeit Randdämmung | $\lambda_n$ | | W/(mK) |
| Lage Randdämmung | waagerecht | | |
| (nur ein Feld ankreuzen) | senkrecht | | |

| Bei aufgeständerter Bodenplatte | | | |
|---|---|---|---|
| U-Wert Hohlraumboden | $U_{Hohl}$ | | W/(m²K) |
| Höhe Hohlraumwand | h | | m |
| U-Wert Hohlraumwand | $U_W$ | | W/(m²K) |
| Fläche Lüftungsöffnungen | εP | | m² |
| Windgeschw. in 10 m Höhe | v | 4,0 | m/s |
| Windabschirmungsfaktor | $f_W$ | 0,05 | - |

| Zusätzlicher Wärmebrückenverlust am Perimeter | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | stationärer Anteil | $\Psi_{P,stat}$*l | 0,000 | W/K |
| Phasenverschiebung | β | | Monate | harmonischer Anteil | $\Psi_{P,harm}$*l | 0,000 | W/K |

Randbedingungen der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung im Klassenzimmer

**Geometrie:**

| | |
|---|---|
| Grundfläche | 79,1 m² |
| Lichte Höhe: | 3,00 m |
| Raumvolumen: | 237,2 m³ |
| Ausrichtung der Fassade: | -15,8 ° |
| Nettofläche Fassade (von innen): | 28,91 m²; Fenster: 22,17 m² |
| Konstruktionsanteil Fenster: | 15 % |

**Bauphysik**

- Der untersuchte Klassenraum ist von Bereichen gleicher Temperatur umgeben (adiabat, d. h. ohne Wärmeaustausch mit umgebenden Bereichen).
- Sonnenschutz als außenliegende Lamelle mit einem Fc-Wert von 0,25; dieser wird oberhalb einer Einstrahlung von 200 W/m² auf die Fassade geschlossen; bei Abwesenheit ist er immer geschlossen (!).
- g-Wert/U-Wert Glas Fassade 50 %/0,7 W/(m² K)
- Angenommene Infiltrations-Luftwechselrate: 0,04 h-1.
- Es wird keine Eigen- und Fremdverschattung des Gebäudes berücksichtigt (konservative Annahme).
- Freiliegende Betondecke; weitere Einzelheiten zu den Bauteilaufbauten siehe unten

**Bauteilaufbauten (außer bei der Decke jeweils vom Raum her beginnend):**
Boden/Decke:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| Lino o.ä. | 0,1 | 0,21 | 1,47 | 1.300 |
| Estrich | 5,0 | 1,40 | 1,05 | 2.200 |
| Luftschicht | ca. 5 | - | - | - |
| Normalbeton | 30,0 | 2,04 | 0,92 | 2.100 |

Fassade:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| Gipsputz | 1,0 | 0,35 | 1,00 | 1.200 |
| Mineralwolle | 32,0 | 0,035 | 0,90 | 80 |

Trennwand:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| GK | 2,5 | 0,41 | 1,0 | 900 |
| Mineralwolle | 4,0 | 0,035 | 0,90 | 80 |
| GK | 2,5 | 0,41 | 1,0 | 900 |

**Nutzung/Lastprofile/Klima/Haustechnik**

- Klimatische Randbedingungen: Neues Testreferenzjahr 13, pauschal um 1 K angehoben zur Berücksichtigung der Stadtlage und der allgemeinen Klimaerwärmung
- Nutzungszeit des Raums montags bis freitags von 8 bis 18 Uhr; Mittagspause von 12 bis 13 Uhr
- Interne Lasten: 31 Personen; pro Person 70 W sensible Wärmeabgabe (VDI 2078, Aktivitätsgrad I bis II, 26 °C)
- Gleichzeitigkeitsfaktor 1,0 für die Nutzung
- Nachtlüftung durch gekipptes Fenster/Oberlicht mit angegebenem Luftwechsel bei Erfordernis; 100% Auslegungsvolumenstrom entspricht einem 2,61-fachen Luftwechsel. Die Nachtlüftung ist bei Abwesenheit aktiv, falls die Deckentemperatur 23 °C übersteigt (Hysterese 2 K, d. h. bei Unterschreitung von 21 °C wird sie wieder beendet.).
- Spez. installierte Leistung Beleuchtung 7 W/m²; Beleuchtung an bei Anwesenheit und einer Einstrahlung global horizontal von unter 150 W/m²
- Außenluftvolumenstrom durch Lüftungsanlage: 20 m³/h pro Person während der Nutzungszeit, entsprechend einem 2,61-fachen Luftwechsel; Zulufttemperatur mit konstant 24 °C angenommen.

## 4.2 Randbedingungen der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung im Atrium

**Geometrie:**

| | |
|---|---|
| Grundfläche: | 1.045,0 m² |
| Raumvolumen: | 7.366,0 m³ |
| Wände zu angrenzenden Bereichen: | 1.882,3 m² |
| Türen: | 156,0 m² |
| Dachfläche: | 281,0 m² (Verglasungsanteil Basisfall: 100 %) |
| Außenwand Süd: | 364,9 m² (davon Fenster: 161,5 m²) |
| Außenwand Nord: | 100,0 m² (davon Fenster: 36,0 m²) |
| Verglasung Ost/West: | 69,7 m² (Eigenverschattung des Gebäudes in Simulation hier berücksichtigt) |
| Ausrichtung der Fassaden: | Süd -15,8 ° |
| Dachneigung Atrium: | 6,8 ° |
| Konstruktionsanteil Fenster/Verglasung: | 15 % |

**Bauphysik**

- Das Atrium ist von Bereichen gleicher Temperatur umgeben (adiabate Näherung, d. h. ohne Wärmeaustausch mit umgebenden Bereichen).
- Sonnenschutz, wo vorhanden, als außenliegende Lamelle o. ä. mit einem Fc-Wert von 0,25; geschlossen oberhalb einer Einstrahlung von 200 W/m² auf die Fassade; bei Abwesenheit immer geschlossen (!).
- g-Wert Glas/UW-Wert Fenster 50 %/0,7 W/(m² K)
- Angenommene Infiltrations-Luftwechselrate: 0,04 h-1

**Bauteilaufbauten (jeweils vom Raum her beginnend):**

Boden:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| Lino o.ä. | 0,1 | 0,21 | 1,47 | 1.300 |
| Estrich | 5,0 | 1,40 | 1,05 | 2.200 |
| Normalbeton | 30,0 | 2,04 | 0,92 | 2.100 |

Fassade:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| Gipsputz | 1,0 | 0,35 | 1,00 | 1.200 |
| Mineralwolle | 32,0 | 0,035 | 0,90 | 80 |

Trennwand:

| **Material** | **Schichtdicke (cm)** | **λ (W/m K)** | **c (kJ/kg K)** | **ρ (kg/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| Normalbeton | 25,0 | 2,04 | 0,92 | 2.100 |

**Nutzung/Lastprofile/Klima/Haustechnik**

- Klimatische Randbedingungen: Neues Testreferenzjahr 13, pauschal um 1 K angehoben zur Berücksichtigung der Stadtlage und der allgemeinen Klimaerwärmung
- Nutzungszeit montags bis freitags von 8 bis 18 Uhr; Mittagspause von 12 bis 13 Uhr
- Interne Lasten: 20 Personen; pro Person 70 W sensible Wärmeabgabe (VDI 2078, Aktivitätsgrad I bis II, 26 °C)
- Gleichzeitigkeitsfaktor 1,0 für die Nutzung
- Aus angrenzenden Bereichen strömt Tag und Nacht Luft mit einer Temperatur von 26 °C und mit einem 1,5-fachen Luftwechsel (bezogen auf das Atrium) in das Atrium über. Es findet kein Außenluftwechsel statt.
- Lasten durch Beleuchtung 19.048 W; Beleuchtung an während der Betriebszeit und bei einer Einstrahlung global horizontal von unter 200 W/m²

## 4.3 Abschätzung des erzielbaren Primärenergiebedarfs Haustechnik

### Standardschule:

#### Zonierung

| Zonenbezeichnung | Klassenzimmer | Fachräume | Gruppenräume | Büro | Nebenräume | VF | WC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zonen-Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Teilfläche (NGF) m² | 2.263 | 968 | 325 | 132 | 932 | 2.891 | 249 |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 |

**Flächenkontrolle:**
**Gesamte NGF, m²**
**7.760**

#### Heizen/Warmwasser

| | |
|---|---|
| Wärmeverbrauch, kWh/a thermisch gemäß vorhandenen Unterlagen | 571.804 |
| Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger, % | 95 |
| Wirkungsgrad Wärmeverteilung, % | 95 |
| Resultierende Anlagenaufwandszahl Wärmeerzeugung | 1,108 |
| Resultierender Nutzwärmeverbrauch gesamt, kWh/a | 516.053 |
| Anteil WW (Endenergie) am obigen Wärmeverbrauch, kWh/a | |
| **Anteil Heizen für Raumheizung, Lufterwärmung und ggf. Kühlung über AKM, Endenergie, kWh/a** | **571.804** |

#### Warmwasser direkt elektrisch:

| | |
|---|---|
| Wassermenge direkt elektrisch erwärmt pro m² und Arbeitstag, l | 0,3 |
| Kaltwassertemperatur | 10 |
| Gewünschte Temperatur | 40 |
| Aufschlag für Speicher-/Leitungsverluste in % | 100 |
| EBF, m² | 7.760 |
| **El. Energiebedarf WW, kWh/a** | **40.648** |

#### Wärmeverteilung:

| | |
|---|---|
| Leistungsaufnahme Pumpen Heizkreisläufe gesamt, kW | 1,0 |
| Jährliche Laufzeit Pumpen Heizkreisläufe , h/a | 800 |
| **El. Energiebedarf Pumpen Heizkreisläufe , kWh/a** | **800** |

#### Beleuchtung

| Zonenbezeichnung | Klassenzimmer | Fachräume | Gruppenräume | Büro | Nebenräume | VF | WC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zonen-Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Teilfläche (NGF) m² | 2.263 | 968 | 325 | 132 | 932 | 2.891 | 249 |
| Meßwert vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe in kWh/a el.; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der sieben darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | | | | | | |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 |
| Spez. installierte Leistung Beleuchtung incl. Netzteil(e) bzw.Vorschaltgerät(e), W/m² | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 15,0 | 10,0 | 6,0 | 6,0 |
| Tageslichtautonomie der Zone, bezogen auf Betriebsstunden allg., % | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 30,0 | 0,0 |
| Nutzungsfaktor zur Berücksichtigung nur temporärer Nutzung, bezogen auf Betriebsstunden allg. für diese Zone | 1,00 | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 1,00 |
| Regelungsfaktor zur Berücksichtigung nicht optimaler Bedienung (1,0 ... 1,2) | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Vollbetriebszeitfaktor, bez. auf Betriebsstunden allg.; berücksichtigt Tageslichtnutzung, Nutzungsfaktor und Regelung | 0,48 | 0,34 | 0,38 | 0,48 | 0,24 | 0,84 | 1,20 |
| Energieäquivalente Vollaststunden Beleuchtung, h/a | 806 | 564 | 645 | 806 | 403 | 1.411 | 2.016 |
| Bedarf el., kWh/a | **18.245** | **5.464** | **2.098** | **1.599** | **3.758** | **24.480** | **3.016** |

| Gesamtsumme Energiebedarf Beleuchtung, kWh/a |
|---|
| **58.658** |

# Luftförderung

**Anlagen mit Nennvolumenstrom < 5.000 m³/h und/oder Q_el < 4.500 kWh/a können auch unten pauschal berücksichtigt werden!**

| Anlagenbezeichnung (möglichst aussagekräftiger Text) | Klassenzimmer | Nachtlüftung |
|---|---|---|
| **Lüftungsanlage Nr.** | **1** | **2** |
| Jahresverbrauchs-Meßwert Luftförderung vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe Q_el in kWh/a; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der acht darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 3.000 |
| Leistungsaufnahme Ventilator in kW, falls Wert bekannt und verlässlich (Angaben auf Typenschild sind i. d. R. zu ungenau!). Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der vier darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | |
| Volumenstrom gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Nenn-Volumenstrom gemäß Planung/Typenschild, m³/h | 15.000 | 15.000 |
| Gesamt-Druckverlust gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Gesamt-Druckverlust gemäß Planung/Auslegung, Pa | 1.800 | 1.800 |
| Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung als Produkt aus am Betriebspunkt genommenen Teilwirkungsgraden für Ventilator, Motor, Transmission und ggf. FU-Regelung, % | 60 | 60 |
| Angenommene Leistungsaufnahme Ventilator(en), kW | 12,5 | 12,5 |
| Energieäquivalenter Nutzungsfaktor zur Berücksichtigung nur temporärer Nutzung und verringerten Volumenstroms, bezogen auf Betriebsstunden allg. für diese Zone | 1,00 | 1,00 |
| Energieäquivalente Volllaststunden pro Jahr (Bezogen auf Leistungsaufnahme der Ventilatoren; Teillast-Charakteristik der Lüftungsanlage berücksichtigen!); h/a | 1.680 | 3.000 |
| Jährlicher elektrischer Energiebedarf Zone, kWh/a | **21.000** | **37.500** |

| **Abgeschätzter elektrischer Energiebedarf Luftförderung für alle "kleinen" Lüftungsanlagen, die in der ausführlichen Erfassungstabelle nicht berücksichtigt werden, kWh/a** |
|---|
| **2.016** |

| **Gesamtsumme elektrischer Energiebedarf Luftförderung, kWh/a** |
|---|
| **60.516** |

# Grobschätzung Luftkonditionierung

**Hier bitte nur den Außenluftvolumenstrom berücksichtigen (keine Umluftanteile), ggf. durch Verringerung der volumenstromäquivalenten Vollaststunden pro Jahr!**
**Abluftanlagen und Anlagen mit einer geförderten Luftmenge < 5.000.000 m³/a können auf diesem Blatt ignoriert werden!**

| Anlagenbezeichnung | Klassenzimmer | Nachtlüftung |
|---|---|---|
| **Lüftungsanlage Nr.** | **1** | **2** |
| Volumenstrom gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Nenn-Volumenstrom gemäß Planung/Typenschild, m³/h | 15.000 | 15.000 |
| Zur Orientierung: Energieäquivalente Volllaststunden pro Jahr aus Blatt "Luftförderung"; h/a | 1.680 | 3.000 |
| Volumenstromäquivalente Volllaststunden pro Jahr, bezogen auf Volumenstrom; h/a | 1.680 | 3.000 |
| Außenluftanteil am oben genannten Volumenstrom, % | 100 | |
| Grober jährlicher Energiebedarf für Luftkühlung/-entfeuchtung gemäß untenstehender Tabelle bzw. DIN V 18599-3; Anhang A; Wh/(m³ h a) thermisch | 2.500 | |
| Grober jährlicher Energiebedarf für Lufterwärmung/-befeuchtung gemäß untenstehender Tabelle bzw. DIN V 18599-3; Anhang A; Wh/(m³ h a) thermisch | 3.000 | |
| Grobabschätzung Energiebedarf Luftkühlung Zone, kWh/a thermisch | **14.384** | **0** |
| Grobabschätzung Energiebedarf Lufterwärmung Zone, kWh/a thermisch | **17.260** | **0** |

| **Wirkungsgrad Kälteverteilung, wie in Blatt "Raumkühlung" angegeben; %** |
|---|
| **95** |

| **Grobabschätzung Energiebedarf Luftkühlung gesamt, kWh/a thermisch:** |
|---|
| **15.141** |

| **Anlagenaufwandszahl Wärmeerzeugung, berechnet aus Angaben auf Blatt "Heizen-WW"** |
|---|
| **1,108** |

| **Grobabschätzung Energiebedarf Lufterwärmung gesamt, Endenergie kWh/a thermisch:** |
|---|
| **19.125** |

# Kühlung: Pumpen und Rückkühlwerke

Hier bitte nur Hilfsenergien zur Kühlung eintragen, nicht zur Heizung!

| | |
|---|---|
| Meßwert vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe in kWh/a; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der sechs darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | |
| Gesamte Leistungsaufnahme Pumpen Kaltwasserkreise, W | |
| Energieäqivalente Vollaststunden Pumpen Kaltwasserkreise; h/a | |
| Gesamte Leistungsaufnahme Pumpen Rückkühlung, W | 500 |
| Energieäqivalente Vollaststunden Pumpen Rückkühlung, h/a | 3.000 |
| Gesamte Leistungsaufnahme Ventilatoren Rückkühlung, W | |
| Energieäqivalente Vollaststunden Ventilatoren Rückkühlung, h/a | |

| Gesamtsumme Energiebedarf Pumpen+Rückkühlwerke, kWh/a el.: |
|---|
| 1.500 |

# Diverse Technik ohne Trafoverluste

| |
|---|
| Hinweis: Die auch zur Diversen Technik gehörenden Trafoverluste (nur Anteil gemäß Bedarf der haustechnischen Anlagen) werden im Blatt "Gesamtbilanz" berechnet und dort zum Wert für Diverse Technik addiert. |
| Diverse Technik (bezogen auf die Haustechnik, nicht nutzerbezogen: z.B. Schaltkästen, Stand-By-Verbräuche LON-Komponenten, Aufzüge etc.; keine Pumpen!); W/m² NGF durchschnittlich (übliche Werte: 0,8 ... 1,5 W/m²) |
| 1,20 |

| Gesamtsumme elektrischer Energiebedarf diverse Technik, kWh/a el. |
|---|
| 81.575 |

## Gesamtbilanz

Nicht abgedeckte Fälle (Z. B. Heizen mit Wärmepumpe und Gas-Spitzenlastkessel) bitte auf Basis der ausgewiesenen Jahresbedarfe gesondert berechnen und dokumentieren!

Auflösung gemäß Systematik des Erfassungswerkzeugs - bitte Aufteilung Wärme in den Berechnungsblättern so wählen, dass Wert für Heizwärme in Spalte "Endenergie Wärme" nicht negativ wird!

| Sektor | Jahres-Endenergiebedarf, kWh/a | Energieart | Endenergie Strom, kWh/a | Endenergie Wärme, kWh/a | Primärenergie-faktor, ggf. kombiniert | Primärenergie-bedarf (PEB), kWh/a |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Luftförderung | 60.516 | Strom | 60.516 | 0 | 2,70 | 163.393 |
| Luftkühlung/-entfeuchtung | 15.141 | Kälte | 5.047 | 0 | 2,70 | 13.627 |
| Beleuchtung | 58.658 | Strom | 58.658 | 0 | 2,70 | 158.377 |
| Hilfsenergie Kühlung Umluft | 0 | Strom | 0 | 0 | 2,70 | 0 |
| Pumpen und Rückkühlwerke | 1.500 | Strom | 1.500 | 0 | 2,70 | 4.050 |
| Raumkühlung | 0 | Kälte | 0 | 0 | 2,70 | 0 |
| Nutzerbezogen | 3.343 | Strom | 3.343 | 0 | 2,70 | 9.026 |
| Lufterwärmung/-befeuchtung | 19.125 | Wärme | 0 | 19.125 | 1,10 | 21.037 |
| WW el. | 40.648 | Strom | 40.648 | 0 | 2,70 | 109.749 |
| WW nicht el. | 0 | Wärme | 0 | 0 | 1,10 | 0 |
| Heizwärme statisch, Endenergie; in Spalte "Jahresbedarf" noch incl. etwaiger Antriebswärme für AKM | 552.679 | Wärme | 0 | 552.679 | 1,10 | 607.947 |
| Wärmeverteilung | 800 | Strom | 800 | 0 | 2,70 | 2.160 |
| Diverse Technik incl. Trafoverluste für Anteil Bedarf Haustechnik | 86.583 | Strom | 86.583 | 0 | 2,70 | 233.775 |
| Summen | | | 257.095 | 571.804 | | 1.323.142 |

| | |
|---|---|
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Strom: | 3,0 |
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Wärme: | 0,6 |
| Anteil Kältearbeit aus Strom, % | 100 |
| Anteil Kältearbeit aus Wärme, % | 0 |

5.047

| | |
|---|---|
| Verluste Transformatoren, % (Der Anteil dieser Verluste, der auf den elektrischen Energiebedarf der Haustechnik zurückgeht, wird dem Sektor "Diverse Technik" zugeschlagen. Der Rest der Verluste wird in der obigen Tabelle zum Wert aus dem Arbeitsblatt "Nutzerbezogen" addiert.) | 2,0 |

## PEB nur Haustechnik:

| | PEB, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Beleuchtung | 158.377 | 20 |
| Heizung | 631.145 | 81 |
| Luftförderung | 163.393 | 21 |
| Kühlung | 17.677 | 2 |
| Diverse Technik | 233.775 | 30 |
| WW | 109.749 | 14 |
| Summe | 1.314.116 | 169 |
| EBF, m² | 7.760 | |
| Spez. PEB, kWh/(m² a) | 169 | |

## Primärenergiebilanz FOS/BOS Erding gemäß Planung:

### Zonierung

| Zonenbezeichnung | Klassenzimmer | Fachräume | Gruppenräume | Büro | Nebenräume | VF | WC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zonen-Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Teilfläche (NGF) m² | 2.263 | 968 | 325 | 132 | 932 | 2.891 | 249 |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 |

**Flächenkontrolle:**
**Gesamte NGF, m²**
**7.760**

### Heizen/Warmwasser

| | |
|---|---|
| Wärmeverbrauch, kWh/a thermisch gemäß vorhandenen Unterlagen | 122.529 |
| Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger, % | 95 |
| Wirkungsgrad Wärmeverteilung, % | 95 |
| Resultierende Anlagenaufwandszahl Wärmeerzeugung | 1,108 |
| Resultierender Nutzwärmeverbrauch gesamt, kWh/a | 110.583 |
| Anteil WW (Endenergie) am obigen Wärmeverbrauch, kWh/a | |
| Anteil Heizen für Raumheizung, Lufterwärmung und ggf. Kühlung über AKM, Endenergie, kWh/a | **122.529** |

### Warmwasser direkt elektrisch:

| | |
|---|---|
| Wassermenge direkt elektrisch erwärmt pro m² und Arbeitstag, l | 0,3 |
| Kaltwassertemperatur | 10 |
| Gewünschte Temperatur | 40 |
| Aufschlag für Speicher-/Leitungsverluste in % | 20 |
| EBF, m² | 7.760 |
| El. Energiebedarf WW, kWh/a | **24.389** |

### Wärmeverteilung:

| | |
|---|---|
| Leistungsaufnahme Pumpen Heizkreisläufe gesamt, kW | 0,2 |
| Jährliche Laufzeit Pumpen Heizkreisläufe , h/a | 800 |
| El. Energiebedarf Pumpen Heizkreisläufe , kWh/a | **160** |

### Beleuchtung

| Zonenbezeichnung | Klassenzimmer | Fachräume | Gruppenräume | Büro | Nebenräume | VF | WC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zonen-Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Teilfläche (NGF) m² | 2.263 | 968 | 325 | 132 | 932 | 2.891 | 249 |
| Meßwert vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe in kWh/a el.; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der sieben darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | | | | | | |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 | 1.680 |
| Spez. installierte Leistung Beleuchtung incl. Netzteil(e) bzw.Vorschaltgerät(e), W/m² | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 11,0 | 7,5 | 3,5 | 3,5 |
| Tageslichtautonomie der Zone, bezogen auf Betriebsstunden allg., % | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 30,0 | 0,0 |
| Nutzungsfaktor zur Berücksichtigung nur temporärer Nutzung, bezogen auf Betriebsstunden allg. für diese Zone | 1,00 | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 1,00 |
| Regelungsfaktor zur Berücksichtigung nicht optimaler Bedienung (1,0 ... 1,2) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Vollbetriebszeitfaktor, bez. auf Betriebsstunden allg.; berücksichtigt Tageslichtnutzung, Nutzungsfaktor und Regelung | 0,40 | 0,28 | 0,32 | 0,40 | 0,20 | 0,70 | 1,00 |
| Energieäquivalente Vollaststunden Beleuchtung, h/a | 672 | 470 | 538 | 672 | 336 | 1.176 | 1.680 |
| Bedarf el., kWh/a | **11.403** | **3.415** | **1.311** | **977** | **2.349** | **11.900** | **1.466** |

| Gesamtsumme Energiebedarf Beleuchtung, kWh/a |
|---|
| 32.820 |

# Luftförderung

**Anlagen mit Nennvolumenstrom < 5.000 m³/h und/oder Q_el < 4.500 kWh/a können auch unten pauschal berücksichtigt werden!**

| Anlagenbezeichnung (möglichst aussagekräftiger Text) | Klassenzimmer | NL |
|---|---|---|
| Lüftungsanlage Nr. | 1 | 2 |
| Jahresverbrauchs-Meßwert Luftförderung vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe Q_el in kWh/a; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der acht darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | |
| Betriebsstunden allg., h/a | 1.680 | 3.000 |
| Leistungsaufnahme Ventilator in kW, falls Wert bekannt und verlässlich (Angaben auf Typenschild sind i. d. R. zu ungenau!). Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der vier darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | | |
| Volumenstrom gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Nenn-Volumenstrom gemäß Planung/Typenschild, m³/h | 15.000 | 22.750 |
| Gesamt-Druckverlust gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Gesamt-Druckverlust gemäß Planung/Auslegung, Pa | 900 | 120 |
| Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung als Produkt aus am Betriebspunkt genommenen Teilwirkungsgraden für Ventilator, Motor, Transmission und ggf. FU-Regelung, % | 70 | 70 |
| Angenommene Leistungsaufnahme Ventilator(en), kW | 5,4 | 1,1 |
| Energieäquivalenter Nutzungsfaktor zur Berücksichtigung nur temporärer Nutzung und verringerten Volumenstroms, bezogen auf Betriebsstunden allg. für diese Zone | 0,70 | 1,00 |
| Energieäquivalente Volllaststunden pro Jahr (Bezogen auf Leistungsaufnahme der Ventilatoren; Teillast-Charakteristik der Lüftungsanlage berücksichtigen!); h/a | 1.176 | 3.000 |
| Jährlicher elektrischer Energiebedarf Zone, kWh/a | **6.300** | **3.250** |

| **Abgeschätzter elektrischer Energiebedarf Luftförderung für alle "kleinen" Lüftungsanlagen, die in der ausführlichen Erfassungstabelle nicht berücksichtigt werden, kWh/a** |
|---|
| |

| **Gesamtsumme elektrischer Energiebedarf Luftförderung, kWh/a** |
|---|
| **9.550** |

# Grobschätzung Luftkonditionierung

**Hier bitte nur den Außenluftvolumenstrom berücksichtigen (keine Umluftanteile), ggf. durch Verringerung der volumenstromäquivalenten Vollaststunden pro Jahr!**
**Abluftanlagen und Anlagen mit einer geförderten Luftmenge < 5.000.000 m³/a können auf diesem Blatt ignoriert werden!**

| Anlagenbezeichnung | Klassenzimmer | NL |
|---|---|---|
| **Lüftungsanlage Nr.** | **1** | **2** |
| Volumenstrom gemäß Messung; falls Messung nicht vorliegt: Nenn-Volumenstrom gemäß Planung/Typenschild, m³/h | 15.000 | 22.750 |
| Zur Orientierung: Energieäquivalente Volllaststunden pro Jahr aus Blatt "Luftförderung"; h/a | 1.176 | 3.000 |
| Volumenstromäquivalente Volllaststunden pro Jahr, bezogen auf Volumenstrom; h/a | 1.176 | 3.000 |
| Außenluftanteil am oben genannten Volumenstrom, % | 100 | |
| Grober jährlicher Energiebedarf für Luftkühlung/-entfeuchtung gemäß untenstehender Tabelle bzw. DIN V 18599-3; Anhang A; Wh/(m³ h a) thermisch | 2.500 | |
| Grober jährlicher Energiebedarf für Lufterwärmung/-befeuchtung gemäß untenstehender Tabelle bzw. DIN V 18599-3; Anhang A; Wh/(m³ h a) thermisch | 3.000 | |
| Grobabschätzung Energiebedarf Luftkühlung Zone, kWh/a thermisch | **10.068** | **0** |
| Grobabschätzung Energiebedarf Lufterwärmung Zone, kWh/a thermisch | **12.082** | **0** |

| **Wirkungsgrad Kälteverteilung, wie in Blatt "Raumkühlung" angegeben; %** |
|---|
| **95** |

| **Grobabschätzung Energiebedarf Luftkühlung gesamt, kWh/a thermisch:** |
|---|
| **10.598** |

| **Anlagenaufwandszahl Wärmeerzeugung, berechnet aus Angaben auf Blatt "Heizen-WW"** |
|---|
| **1,108** |

| **Grobabschätzung Energiebedarf Lufterwärmung gesamt, Endenergie kWh/a thermisch:** |
|---|
| **13.387** |

# Kühlung: Pumpen und Rückkühlwerke

Hier bitte nur Hilfsenergien zur Kühlung eintragen, nicht zur Heizung!

| | |
|---|---|
| Meßwert vorhanden? Wenn ja, bitte Angabe in kWh/a; Wenn Sie hier einen Wert eingeben, wird er verwendet und die Werte der sechs darunterliegenden Zeilen werden ignoriert! | |
| Gesamte Leistungsaufnahme Pumpen Kaltwasserkreise, W | |
| Energieäqivalente Vollaststunden Pumpen Kaltwasserkreise; h/a | |
| Gesamte Leistungsaufnahme Pumpen Rückkühlung, W | 500 |
| Energieäqivalente Vollaststunden Pumpen Rückkühlung, h/a | 3.000 |
| Gesamte Leistungsaufnahme Ventilatoren Rückkühlung, W | |
| Energieäqivalente Vollaststunden Ventilatoren Rückkühlung, h/a | |

| Gesamtsumme Energiebedarf Pumpen+Rückkühlwerke, kWh/a el.: |
|---|
| 1.500 |

# Diverse Technik ohne Trafoverluste

| |
|---|
| Hinweis: Die auch zur Diversen Technik gehörenden Trafoverluste (nur Anteil gemäß Bedarf der haustechnischen Anlagen) werden im Blatt "Gesamtbilanz" berechnet und dort zum Wert für Diverse Technik addiert. |
| Diverse Technik (bezogen auf die Haustechnik, nicht nutzerbezogen: z.B. Schaltkästen, Stand-By-Verbräuche LON-Komponenten, Aufzüge etc.; keine Pumpen!); W/m² NGF durchschnittlich (übliche Werte: 0,8 ... 1,5 W/m²) |
| 0,80 |

| Gesamtsumme elektrischer Energiebedarf diverse Technik, kWh/a el. |
|---|
| 54.383 |

## Gesamtbilanz

Nicht abgedeckte Fälle (Z. B. Heizen mit Wärmepumpe und Gas-Spitzenlastkessel) bitte auf Basis der ausgewiesenen Jahresbedarfe gesondert berechnen und dokumentieren!

Auflösung gemäß Systematik des Erfassungswerkzeugs - bitte Aufteilung Wärme in den Berechnungsblättern so wählen, dass Wert für Heizwärme in Spalte "Endenergie Wärme" nicht negativ wird!

| Sektor | Jahres-Endenergiebedarf, kWh/a | Energieart | Endenergie Strom, kWh/a | Endenergie Wärme, kWh/a | Primärenergie-faktor, ggf. kombiniert | Primärenergie-bedarf (PEB), kWh/a |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Luftförderung | 9.550 | Strom | 9.550 | 0 | 2,70 | 25.785 |
| Luftkühlung/-entfeuchtung | 10.598 | Kälte | 530 | 0 | 2,70 | 1.431 |
| Beleuchtung | 32.820 | Strom | 32.820 | 0 | 2,70 | 88.615 |
| Hilfsenergie Kühlung Umluft | 0 | Strom | 0 | 0 | 2,70 | 0 |
| Pumpen und Rückkühlwerke | 1.500 | Strom | 1.500 | 0 | 2,70 | 4.050 |
| Raumkühlung | 0 | Kälte | 0 | 0 | 2,70 | 0 |
| Nutzerbezogen | 3.343 | Strom | 3.343 | 0 | 2,70 | 9.026 |
| Lufterwärmung/-befeuchtung | 13.387 | Wärme | 0 | 13.387 | 0,70 | 9.371 |
| WW el. | 24.389 | Strom | 24.389 | 0 | 2,70 | 65.850 |
| WW nicht el. | 0 | Wärme | 0 | 0 | 0,70 | 0 |
| Heizwärme statisch, Endenergie; in Spalte "Jahresbedarf" noch incl. etwaiger Antriebswärme für AKM | 109.142 | Wärme | 0 | 109.142 | 0,70 | 76.399 |
| Wärmeverteilung | 160 | Strom | 160 | 0 | 2,70 | 432 |
| Diverse Technik incl. Trafoverluste für Anteil Bedarf Haustechnik | 56.872 | Strom | 56.872 | 0 | 2,70 | 153.555 |
| Summen | | | 129.164 | 122.529 | | 434.514 |

| | |
|---|---|
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Strom: | 20,0 |
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Wärme: | 0,6 |
| Anteil Kältearbeit aus Strom, % | 100 |
| Anteil Kältearbeit aus Wärme, % | 0 |

530

| | |
|---|---|
| Verluste Transformatoren, % (Der Anteil dieser Verluste, der auf den elektrischen Energiebedarf der Haustechnik zurückgeht, wird dem Sektor "Diverse Technik" zugeschlagen. Der Rest der Verluste wird in der obigen Tabelle zum Wert aus dem Arbeitsblatt "Nutzerbezogen" addiert.) | 2,0 |

## PEB nur Haustechnik:

| | PEB, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Beleuchtung | 88.615 | 11 |
| Heizung | 86.203 | 11 |
| Luftförderung | 25.785 | 3 |
| Kühlung | 5.481 | 1 |
| Diverse Technik | 153.555 | 20 |
| WW | 65.850 | 8 |
| Summe | 425.489 | 55 |
| EBF, m² | 7.760 | |
| Spez. PEB, kWh/(m² a) | 55 | |

## 4.4 Energieausweis gemäß EnEV 2007 / DIN V 18599

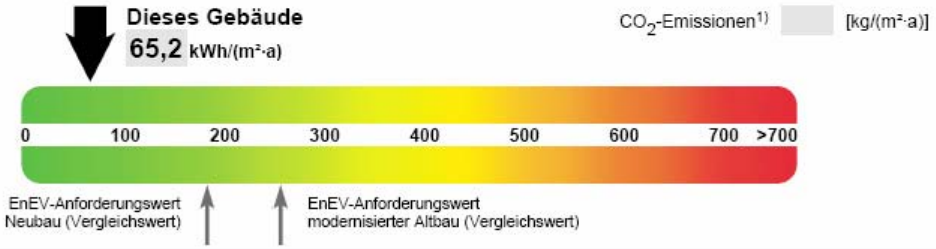
# ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

## Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

2

### Primärenergiebedarf „Gesamtenergieeffizienz“




### Nachweis der Einhaltung des § 4 oder § 9 Abs. 1 EnEV2)

| Primärenergiebedarf | | | Energetische Qualität der Gebäudehülle | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gebäude Ist-Wert | 65,2 | kWh/(m²·a) | Gebäude Ist-Wert $H_T'$ | 0,21 | W/(m²·K) |
| EnEV-Anforderungswert | 182,5 | kWh/(m²·a) | EnEV-Anforderungs-Wert $H_T'$ | 1,20 | W/(m²·K) |

### Energiebedarf

| Energieträger | Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m²·a) für Heizung | Warmwasser | Eingebaute Beleuchtung | Lüftung | Kühlung einschl. Befeuchtung | Gebäude insgesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Strom-Mix | 0,2 | 0,0 | 6,2 | 5,7 | 2,8 | **14,9** |
| KWK fossiler Brenn | 35,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **35,9** |
| | | | | | | |

### Aufteilung Energiebedarf

| [kWh/(m²·a)] | Heizung | Warmwasser | Eingebaute Beleuchtung | Lüftung | Kühlung einschl. Befeuchtung | Gebäude insgesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nutzenergie** | 20,5 | 0,0 | 6,2 | 0,0 | 7,8 | **34,5** |
| **Endenergie** | 36,0 | 0,0 | 6,2 | 5,7 | 2,8 | **50,7** |
| **Primärenergie** | 25,6 | 0,0 | 16,7 | 15,4 | 7,5 | **65,2** |

### Sonstige Angaben

**Einsetzbarkeit alternativer Energieversorgungssysteme:**

☒ nach § 5 EnEV vor Baubeginn geprüft

**Alternative Energieversorgungssysteme werden genutzt für:**

☐ Heizung ☐ Warmwasser ☐ Eingebaute Beleuchtung
☐ Lüftung ☐ Kühlung

**Lüftungskonzept**

Die Lüftung erfolgt durch:

☐ Fensterlüftung ☐ Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung
☐ Schachtlüftung ☒ Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

### Gebäudezonen

| Nr. | Zone | Fläche [m²] | Anteil [%] |
|---|---|---|---|
| 1 | Klassenzimmer | 3.319 | 42 |
| 2 | Verkehrsflächen | 2.963 | 37 |
| 3 | WCs | 297 | 4 |
| 4 | Lager,Technik,Archiv | 513 | 6 |
| 5 | Sonst.Aufenthaltsräume | 882 | 11 |
| | | | |

☐ Weitere Zonen in Anlage

Das Eingabeprotokoll für den Energieausweis ist sehr umfangreich und kann bei Bedarf in elektronischer Form bereitgestellt werden.

## 4.5 Kühllastberechnung nach VDI 2078

| | |
|---|---|
| Maximale Belegung des Gebäudes : | 750 Personen |
| Außenluftvolumenstrom : | 20 m³/h *Person<br>=> 15.000 m³/h |

**Innere Wärmelasten**
**Personen**

| **Aktivität** | **met** | **Gesamte Wärme W / Person** | **Sensible Wärme W / Person** |
|---|---|---|---|
| Sitzende Tätigkeit ( Büro / Schule ) | 1,2 | 125 | 75 |
| Stehende leichte Tätigkeit ( Küche ) | 1,6 | 170 | 85 |

**Beleuchtung**

| | **Spezifische installierte Leistung Kunstlicht W/m²** |
|---|---|
| Klassenraum | 5 bis 5,5 |
| Fachklassenraum | 8 bis 9,5 |
| Flur | 3 bis 3,5 |

**Maschinenlasten**
In den jeweiligen Räumen treten unterschiedlichste Maschinenlasten auf, die vom Bauherrn vorgegeben wurden und als Grundlage dienen.

**Lastzeitprofile Abgestimmt mit der künftigen Schulleitung**
**Lastzeitprofil 1 (Klassenzimmer, Informatikräume, etc.. )**

| | | |
|---|---|---|
| Zeit<br>von<br>bis | <br>08:00<br>13:00 | <br>14:00<br>16:00 |
| Lastanteil | 100% | 33,33% |

**Lastzeitprofil 2 (Lehrer, etc ...)**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zeit<br>von<br>bis | <br>07:00<br>08:00 | <br>08:00<br>13:00 | <br>13:00<br>14:00 | <br>14:00<br>17:00 |
| Lastanteil | 100% | 10% | 100% | 10% |

**Lastzeitprofil 3 (Verwaltung, Hausmeister)**

| | |
|---|---|
| Zeit<br>von<br>bis | <br>07:00<br>17:00 |
| Lastanteil | 100% |

**Lastzeitprofil 4 (Schülercafe, Bibliothek)**

| Zeit | | | | |
|---|---|---|---|---|
| von | 07:00 | 08:00 | 13:00 | 14:00 |
| bis | 08:00 | 13:00 | 14:00 | 17:00 |
| Lastanteil | 100% | 33,33% | 100% | 33,33% |

**Lastzeitprofil 5 (Elternsprechzimmer)**

| Zeit | |
|---|---|
| von | 07:00 |
| bis | 20:00 |
| Lastanteil | 100% |

**Lastzeitprofil 6 (Mittagsverpflegung)**

| Zeit | | |
|---|---|---|
| von | 06:00 | 11:00 |
| bis | 09:00 | 14:00 |
| Lastanteil | 100% | 100% |

**Lastzeitprofil 7 (Server)**

| Zeit | |
|---|---|
| von | 00:00 |
| bis | 24:00 |
| Lastanteil | 100% |

*Pausenhalle zum Zwecke von Veranstaltungen wie z.B. Prüfungen ohne Berücksichtigung!*

***Standardberechnung ohne Nachtkühlung/Frei Lüftung***

**Gebäudedaten**

**Geometrie**

| | |
|---|---|
| Gebäudelänge | 27,01 m |
| Gebäudebreite | 96,30 m |
| Gebäudehöhe | 13,72 m |
| Gebäudegrundfläche | 2601,41 m² |

**Bauart**

| | |
|---|---|
| Masse | mittel |

**Umgebung und Zeitpunkt der Berechnung**

| | |
|---|---|
| Standort | Erding |
| Kühllastzone | Binnenklima 2 |

**Gebäudelast**

| | |
|---|---|
| Maximale Kühllast | 199.596 W |

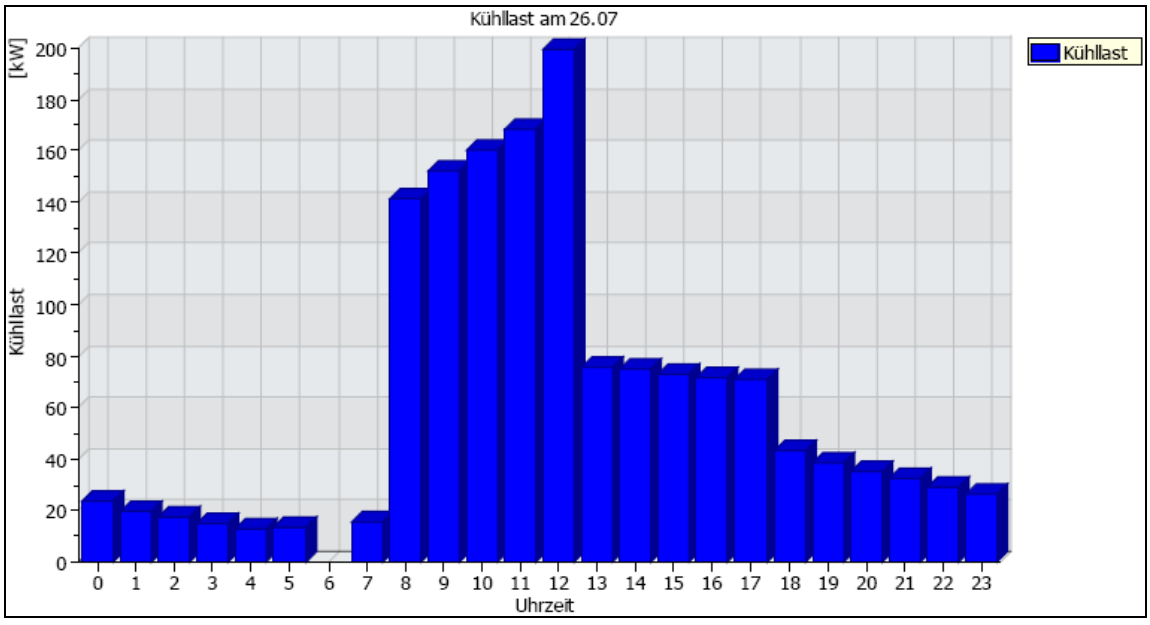



Abb. 183 Gebäudekühllast

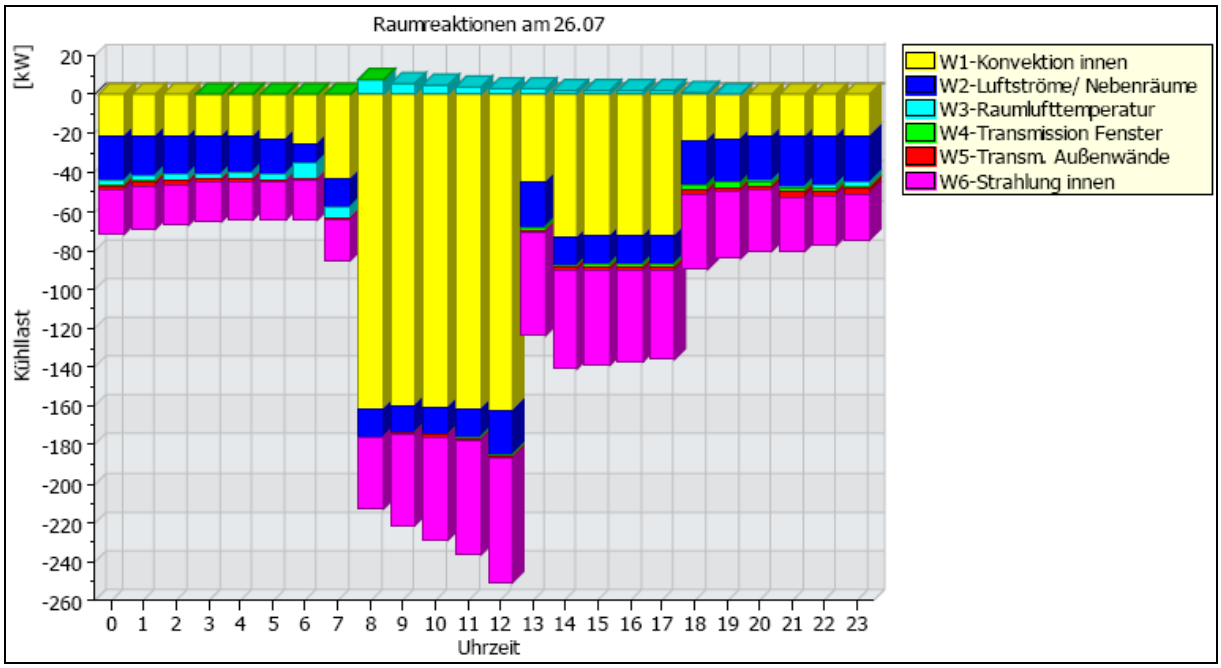



Abb. 184 Raumreaktion

Die Kühllastberechnung erfolgte mit der Software Plancal Nova. Die Eigenverschattung des Gebäudes, z.B. durch die Fluchttreppen die um das Gebäude herum führen wurden miteinbezogen. Die Fremdverschattung durch das Nachbargebäude wurde auch in die Rechnung mit auf genommen. Es wurde ein Schwellenwert von 80% angenommen.
Das Gebäude ist um 15,8° gedreht.

## Referenzraum 1, Klassenzimmer 2.32 – Südseite – 1.OG

### Geometrie

| | |
|---|---|
| Länge | 6,74 m |
| Breite | 11,50 m |
| Höhe | 3,13 m |
| Grundfläche | 78,0 m² |

### Raumlast

| | |
|---|---|
| Maximale Kühllast | 3821,22 W |

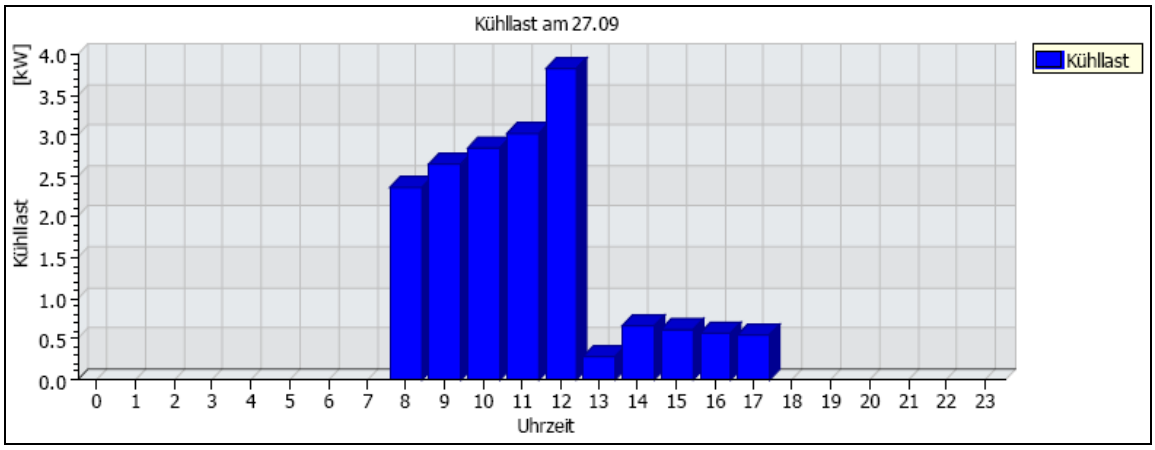



Abb. 185 Kühllast – Raum 2.32

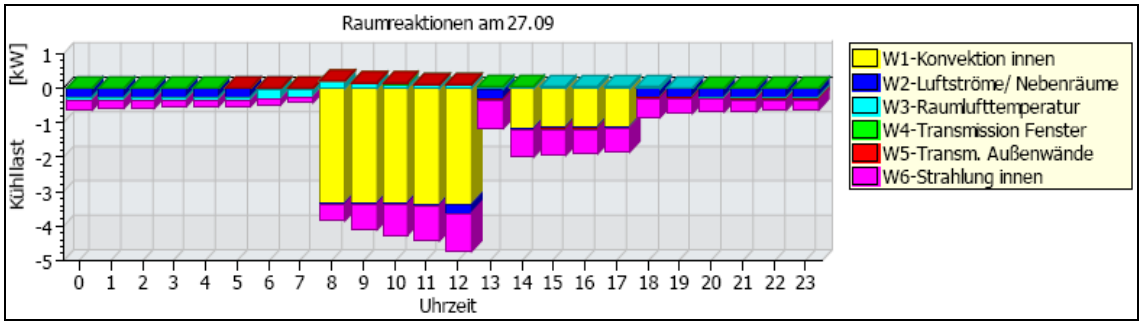



Abb. 186 Raumreaktion – Raum 2.32

## Referenzraum 2, Klassenzimmer 2.3 – Nordseite – 1.OG

### Geometrie

| | |
|---|---|
| Länge | 6,74 m |
| Breite | 11,44 m |
| Höhe | 3,13 m |
| Grundfläche | 77,0 m² |

### Raumlast

| | |
|---|---|
| Maximale Kühllast | 3590,73 W |

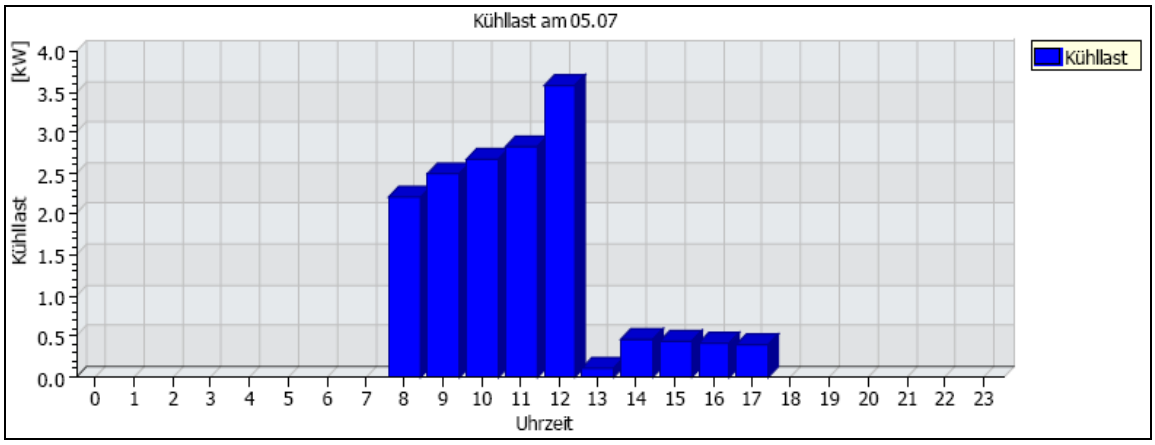



Abb. 187 Kühllast – Raum 2.3

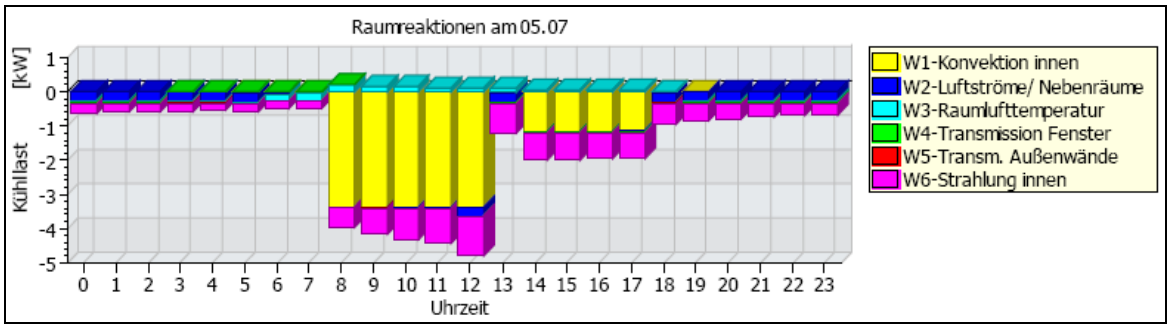



Abb. 188 Raumreaktion – Raum 2.3

## Referenzraum 3, Informatikraum 0.1 – Nordseite – 1.UG

### Geometrie

| | |
|---|---|
| Länge | 6,75 m |
| Breite | 11,50 m |
| Höhe | 3,13 m |
| Grundfläche | 78,0 m² |

### Raumlast

| | |
|---|---|
| Maximale Kühllast | 8323,15 W |

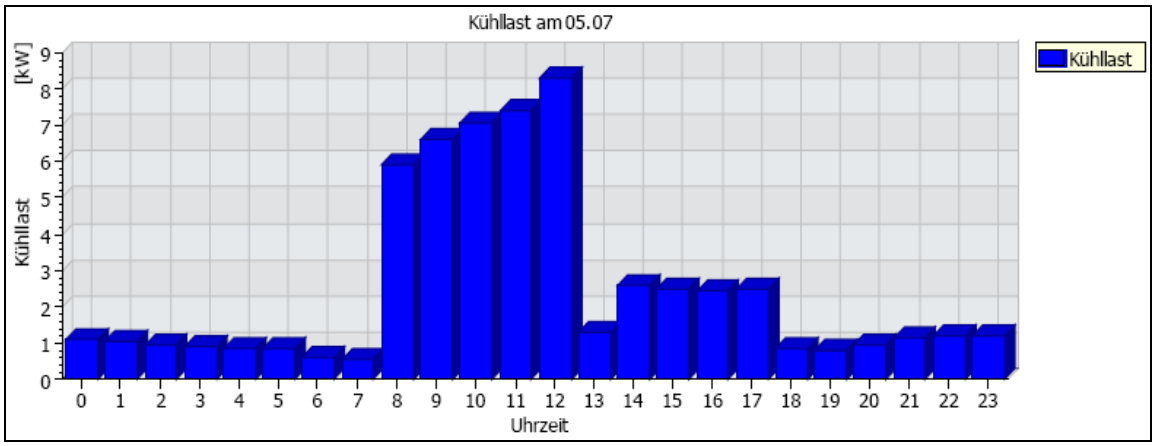



Abb. 189 Kühllast – Informatikraum 0.1

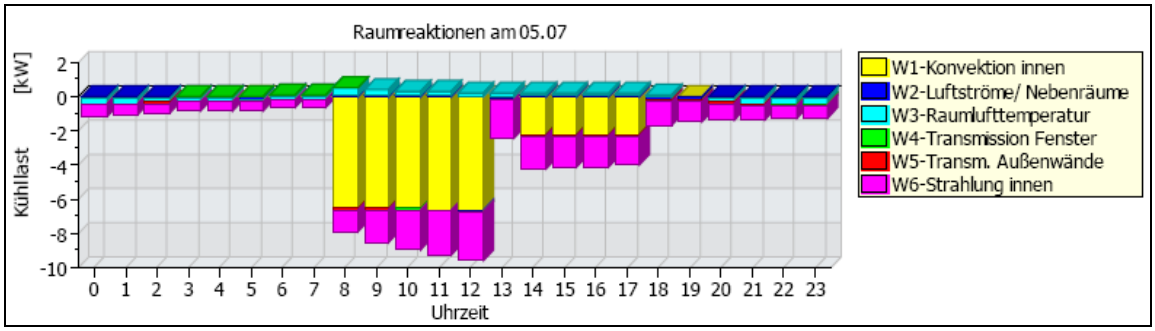



Abb. 190 Raumreaktion – Informatikraum 0.1

## 4.6 Heizlastberechnung nach DIN/EN 12831

### Gebäudedaten

### Kenngrößen

| | |
|---|---|
| Gebäudemassen / Speicherfähigkeit | mittel |
| wirksame Wärmespeicherfähigkeit | 35 Wh/(m³K) |
| Gebäudelage | gute Abschirmung |
| Luftdichtheit | sehr dicht |

### Umgebung und Temperaturen

| | |
|---|---|
| Außentemperatur | -16 °C |
| Jahresmittel der Außentemperatur | 7,9 °C |
| Innentemperatur gemäß Vereinbarung | 15 °C<br>( 20 °C ) siehe Konzept |

### Geometrie

| | |
|---|---|
| Gebäudelänge | 27,01 m |
| Gebäudebreite | 96,30 m |
| Gebäudehöhe | 13,72 m |
| Gebäudegrundfläche | 2601,41 m² |
| Geschossanzahl | 4 |
| Höhe | 15,18 m |

### Erdreich

| | |
|---|---|
| Tiefe der Bodenplatte | 3,35 m |
| Erdreich berührter Umfang | 246,5 m |
| Grundwassertiefe | 2,0 m |
| Faktor periodische Schwankung | 1,45 |
| Faktor Einfluss Grundwasser | 1,15 |

### Lüftung

| | |
|---|---|
| Luftdurchlässigkeitswert n50 | 0,4 1/h |
| Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil | 0,5 |

## Gebäudezusammenstellung

### Wärmeverlust-Koeffizienten

| | |
|---|---|
| Transmissionswärmeverlust-Koeffizient | 1.833,52 W/K |
| Lüftungswärmeverlust-Koeffizient | 3.913,61 W/K |
| Gebäude-Wärmeverlust-Koeffizient | 5.747,13 W/K |

### Wärmeverluste

| | |
|---|---|
| Transmissionswärmeverlust nach außen | **56.839 W** |
| Mindest-Luftwechsel | 121.321,86 W |
| natürliche Infiltration | 2.292,5 W |
| Lüftungswärmeverlust | 12.1322 W |

### Gebäudeheizlast

| | |
|---|---|
| Norm-Gebäudeheizlast | 17.8161 W |

### Spezifische Werte

| | |
|---|---|
| Beheizte Gebäudefläche | 7.936,6 m² |
| **Spez. Heizlast je beheizte Gebäudefläche** | **22,4 W/m²** |
| Beheiztes Gebäudevolumen | 24.841,7 m³ |
| Spez. Heizlast je beheizte Gebäudevolumen | 7,2 W/m³ |
| Wärmeübertragende Umfassungsfläche | 6.695,4 m² |
| Spez. Transmissionwärmeverlust | 0,27 W/m²K |

## 4.7 Elementliste

Sirados-LEGEP

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Eingabeformular für Gebäude | | | | | Typ: | Berufsoberschule |
| Stand 08-2008 | | | | | Ort. | Erding |
| **Bearbeiter:** | **Holger König** | | | | | |
| **unklare Mengen** | **unklare Ausführung** | **Kontrollsumme** | | | | |
| **Elementtyp** | **Beschreibung Elementtyp** | **U-Wert** | **TYP** | **Menge** | **Quelle** | **Orient. 0=N** |
| **KGR 1 Grundstück** | | | | | | |
| Vorbereitung Grundstück | | | | | | |
| **KGR 2 Erschließung** | | | | | | |
| Erschließungen | | | | | | |
| **KGR 3 Baukonstruktion** | | | | | | |
| **Aushub** | | | | **17800** | | |
| **Bauteile unter Niveau** | | | | | | |
| **Bodenplatte Nordriegel** | | **0,188** | **3** | **1449,2** | | |
| **Bodenplatte Südriegel** | | **0,188** | **3** | **914,4** | | |
| **Gesamt Schultrakt** | | | | **2363,6** | | |
| **Linoleum** | | | | **1351,6** | | |
| **Industrieestrich** | | | | **565,2** | | |
| **Fliesen** | | | | **61** | | |
| **Gitterrost (Technik** | | | | **165** | | |
| **Bodenplatte Atrium Magnesit** | **Estrich** | **0,188** | **3** | **220,8** | | |
| **Summe Bodenplatte** | | | | **7090,8** | | |
| **Kellerwand Atrium West** | | **0,123** | **5** | **22,7** | | |
| **Kellerwand Atrium Ost** | | **0,123** | **5** | **22,7** | | |
| **Außenwand Nordriegel cm** | **NORD 87** | **0,123** | **5** | **70,47** | Schnitt | |
| **Außenwand Nordriegel WEST** | | **0,123** | **5** | **73,6** | | |
| **Außenwand Nordriegel OST** | | **0,123** | **5** | **73,6** | | |
| **Außenwand Nordriegel SÜD** | | **0,123** | **5** | **170,6** | | |
| **Außenwand Südriegel NORD** | | **0,123** | **5** | **129,3** | | |
| **Außenwand Südriegel WEST** | | **0,123** | **5** | **53** | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Außenwand Südriegel OST** | | **0,12 3** | **5** | **53** | | |
| **Außenwand Südriegel SÜD 87 cm** | | **0,12 3** | **5** | **61,77** | Schnitt | |
| **Summe Kellerwand** | | | | **730,74** | | |
| **Innenwand Keller Stb 30 cm** | | | | **329,17** | | |
| **Innenwand Keller Stb 25 cm** | | | | **1012,44** | | |
| **Innenstützen Beton 30/30 lfm** | | | | **6,6** | | |
| **nichttragende Wände GK** | | | | **615** | | |
| **Vorwandinstallation 20 cm** | | | | **25** | | |
| **Vorwandinstallation 35 cm** | | | | **150** | | |
| **Elektrotrasse Koffer** | | | | **90** | **lfm Abmessung fehlt** | |
| **Überströmelement in Klassen** | | | | **100** | **siehe Detail** | |
| **Innentüren Schall-schutz** | | | | **18** | | |
| **Innentüren Schallschutz Sanitär** | | | | **3** | | |
| **Brandschutztüre T 30 1-flg.** | | | | **4** | | |
| **Brandschutztüre 2-flg.** | | | | **3** | | |
| **Brandschutz RS 2-flg.** | | | | **4** | | |
| **Brandabschnitt F 90 1.flg.** | | | | **2** | | |
| **Treppe im Atrium** | | | | **1** | einläufig mit Zwischenpodest, b=1,5, 10 x17,1x30, | |
| **Fluchttreppenhäuser** | | | | **4** | zweiläufig mit Zwischenpodest b=1,5, 10 Stg 17,1 x 30 | |
| **Bauteile über Niveau** | | | | | | |
| **Fassade Nordriegel Norden** | | **0,14** | **2** | **762,5** | | **0** |
| **Fassade Nordriegel Osten** | | **0,11 6** | **1** | **182** | | **90** |
| **Fassade Nordriegel Süden** | | **0,11 6** | **1** | **341,4** | | **180** |
| **Fassade Nordriegel Westen** | | **0,11 6** | **1** | **182** | | **270** |
| **Fassade Südriegel Norden** | | **0,11 6** | **1** | **208,4** | | **0** |
| **Fassade Südriegel Osten** | | **0,11 6** | **1** | **93,7** | | **90** |
| **Fassade Südriegel Süden** | | **0,14** | **2** | **474,9** | | **180** |
| **Fassade Südriegel Westen** | | **0,11 6** | **1** | **93,8** | | **270** |
| **Außenwand Atrium WEST** | | **0,11 6** | **1** | **0,1** | | **90** |
| **Außenwand Atrium OST** | | **0,11 6** | **1** | **0,1** | | **270** |
| **Außenwand Atrium SÜD** | | | **1** | **75** | **nach k-Plan** | |
| **Außenwand Atrium** | | | **1** | **28** | **Schnitt** | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **NORD** | | | | | |
| **Außenfassade opak gesamt** | | | **2338,9** | | |
| **Fenster Nordriegel Norden** | **0,87** | **6** | **482,9** | | **0** |
| **Fenster Südriegel Norden** | **0,87** | **6** | **30,3** | | |
| **Fenster Nordriegel Osten** | **0,864** | **6** | **15,3** | | **90** |
| **Fenster Südriegel Osten** | **0,864** | **6** | **5,8** | | |
| **Fenster Nordriegel Süden** | **0,85** | **6** | **116,6** | | **180** |
| **Fenster Südriegel Süden** | **0,85** | **6** | **372,9** | | |
| **Fenster Nordriegel Westen** | **0,864** | **6** | **17,4** | | **270** |
| **Fenster Südriegel Westen** | **0,864** | **6** | **5,8** | | |
| Treppenhausfenster | | | | | |
| **Fenster Osten Atriumwand** | **0,864** | **8** | **47,4** | | **90** |
| **Fenster Westen Atriumwand** | **0,864** | **8** | **47,4** | | **270** |
| **Fenster Atrium Norden Dachaufkantung** | | **8** | | **nach k-Plan 60** | |
| **Fenster Atrium Süden Dachaufkantung** | | **8** | | **nach k-Plan 75** | |
| **Fluchttüren Treppenhaus Süden** | **0,87** | **9** | **4,2** | **2x,2,1x1** | **0** |
| **Fluchttüren Treppenhaus Norden** | **0,87** | **9** | **4,2** | | |
| **Fluchttüren Treppenhaus Osten** | **0,87** | **9** | **2,1** | | |
| **Eingang 2 flg. Westen** | **0,87** | **9** | **4,2** | | |
| **Eingang 2-flg Osten** | **0,87** | **9** | **4,2** | | |
| **Fenster gesamt** | | | **1160,7** | | |
| **Decke über UG 30 cm Stb** | | | **2462,64** | | |
| **Decke über EG** | | | **2365,19** | | |
| **Decke 1. OG** | | | **1395,6** | | |
| **Summe Deckenfläche mit Bodenplatte** | | | **8807,83** | | |
| **Summe Deckenfläche** | | | **6223,43** | | |
| **Fußboden Linoleum** | | | **3500** | | |
| **Industrieestrich** | | | **2253** | | |
| **Fliesen** | | | **330,43** | | |
| **Nadelfilz** | | | **140** | | |
| **abgeh. Decke gelocht** | | | **3550** | | |
| **Akustikpaneele Decke Heraklith** | | | **500** | | |
| **Akustikpaneele Wand Heraklith** | | | **400** | | |
| **Treppe im Atrium** | | | **2** | einläufig mit Zwischenpodest, b=1,5, 10 x17,1x30, | |
| **Fluchttreppenhäuser** | | | **6** | zweiläufig mit Zwischenpodest b=1,5, 10 Stg 17,1 x 30 | |
| **Brüstungen Treppen Stb 20 cm** | | | **46** | | |
| **Zwischenwände tragend Stb 30 cm** | | | **668,32** | | |
| **Zwischenwände tragend Stb 25** | | | **2055,56** | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **cm** | | | | |
| **Zwischenwände nicht tragen (GK)** | | | **1425** | |
| **Vorwandinstallation 20 cm** | | | **85** | |
| **Vorwandinstallation 35 cm** | | | **380** | |
| **Elektrotrasse Verkof-ferung** | | | **337** | **lfm Abmessung fehlt** |
| **Überströmelement Klassen** | | | **250** | |
| **Brüstungswände Atrium 20 cm Stb** | | | **141** | |
| **Handlauf Edelstahl lfm** | | | **230** | |
| **Betonbank kragend 20 cm m²** | | | **45** | |
| **Stützen Beton 30/30 lfm** | | | **96,74** | |
| **Verglasung F 30** | | | **46,5** | |
| **Faltwand** | | | **40** | |
| **Innenstützen Holz Atrium** | | | | **welche Dimension, Länge** |
| **Innentüren Schall-schutz** | | | **40** | |
| **Innentüren Schallschutz Sanitär** | | | **11** | |
| **Brandschutztüre T 30 1-flg.** | | | **14** | |
| **Brandschutztüre 2-flg.** | | | **0** | |
| **Brandschutz RS 2-flg.** | | | **10** | |
| **Brandabschnitt T 90 1.flg.** | | | **4** | |
| **Brandabschnitt T 90 2.flg.** | | | **1** | |
| **Innentüren o.Anf.** | | | **4** | |
| **Windfangtüre 1 flg** | | | **1** | |
| **Windfangtüre 2-Flg.** | | | **2** | |
| **Dach gedämmt Nord-riegel** | **0,095** | **4** | **1449,2** | 0 Grad |
| **Dach gedämmt Süd-riegel** | **0,095** | **4** | **914,4** | |
| **Attika b=25 cm, h= 50 cm , Atrium 70 Nord** | | | **115** | Länge Nord 197,6, |
| **Attika H= 25 cm m²** | | | **90** | Länge Süd 168,16 |
| **Dach verglast horizon-tal** | **0,879** | **7** | **220** | |
| **Dachträger Atrium Holz** | | | | **welche Dimension, Länge** |
| Eingangspodest | | | | |
| **Vordach Stahl /Glas???** | | | **174** | |
| **Fluchtbalkon Stahl Norden** | | | **464,4** | **1,35 m Breite, 344 m Länge** |
| **Fluchtbalkon Stahl Süden** | | | **311,58** | **1,35 m Breite,231 m Länge** |
| **horizont. Stege Stahl** | | | **43** | **1,35 Breite, Länge 58 m** |
| **Stahltreppen Flucht-balkon** | | | **5** | **zweiläufig mit Zwischenpodest, Breite 2,05, 12 Stufen 17/26,6** |
| **Stahlstützen d= 200** | | | | **Höhe ??? 18 Stck** |

| | | |
|---|---|---|
| **mm, lfm** | | |
| **Außentreppen Beton** | **5** | **einläufig, vom UG nach EG Breite 1,5 20 Stufen** |
| **KGR 4 Technische Anlagen** | | |
| **Sanitärinstallation** | | |
| **Schülertoiletten Männer** | **4** | 5 WC, 5 Urinale, 3 Waschtische |
| **Schülertoiletten Frauen** | **4** | 10 WC, 3 Waschbecken |
| **Behindertentoilette** | **4** | 1 WC, 1 Waschbecken. |
| **WC Lehrer Männe** | **1** | 1 WC 1 Urinal, 1 Waschbecken |
| **WC Lehrer Frauen** | **1** | 2 WC, 1 Waschbecken |
| **Mittagsverpflegung** | **1** | Spüle |
| **Klassenräume bis 60** | **6** | 1 Waschbecken |
| **Klassenräume bis 75** | **38** | 1 Waschbecken |
| **Klassenräume bis 95** | **3** | 1 Waschbecken |
| **Chemievorber.** | **2** | 1 Waschbecken |
| **Putzraum** | **1** | 1 Ausgussbecken |
| **Hausanschlußschrank** | | |
| **Dachentlüftung** | | |
| **Elektroinstallation** | | |
| **Schülertoiletten Männer 27** | **4** | 5 WC, 5 Urinale, 3 Waschtische |
| **Schülertoiletten Frauen 27** | **4** | 10 WC, 3 Waschbecken |
| **Behindertentoilette 5** | **4** | 1 WC, 1 Waschbecken. |
| **WC Lehrer Männe 10** | **1** | 1 WC, 1 Urinal, 1 Waschbecken |
| **WC Lehrer Frauen 10** | **1** | 2 WC, 1 Waschbecken |
| **Mittagsverpflegung 10** | **1** | Spüle |
| **Archiv 70** | **1** | |
| **Stuhllager 40** | **1** | |
| **Getränke 10** | **1** | |
| **Serverraum 25** | **1** | |
| **Hausanschluss 17** | **1** | |
| **BMZ 3** | **1** | |
| **Technik 180** | **1** | |
| **Aufzug** | **1** | |
| **Treppe im Atrium 30** | **2** | |
| **Fluchttreppenhaus 25** | **10** | |
| **Flure 300** | **4** | |
| **Flure 170** | **3** | |
| **Eingang** | **200** | |
| **Pausenhalle** | **450** | |
| **Klassenräume bis 30** | **23** | |
| **Klassenräume bis 60** | **6** | |
| **Klassenräume bis 75** | **38** | |
| **Klassenräume bis 95** | **3** | |
| **Potentialausgleich** | | |
| **Heizungsinstallation** | | |
| **Schülertoiletten Männer 27** | **4** | 4 WC, 6 Urinale, 3 Waschtische |
| **Schülertoiletten Frauen 27** | **4** | 8 WC, 3 Waschbecken |
| **Behindertentoilette 5** | **4** | 1 WC, 1 Waschbecken |

| | | |
|---|---|---|
| **WC Lehrer Männe 10** | **1** | 1 WC 1 Urinal, 1 Waschbecken |
| **WC Lehrer Frauen 10** | **1** | 2 WC, 1 Waschbecken |
| **Mittagsverpflegung 10** | **1** | Spüle |
| **Archiv 70** | **1** | |
| **Stuhllager 40** | **1** | |
| **Getränke 10** | **1** | |
| **Serverraum 25** | **1** | |
| **Hausanschluss 17** | **1** | |
| **BMZ 3** | **1** | |
| **Technik 180** | **1** | |
| **Aufzug** | **1** | |
| **Treppe im Atrium 30** | **2** | |
| **Fluchttreppenhaus 25** | **10** | |
| **Flure 300** | **4** | |
| **Flure 170** | **3** | |
| **Eingang** | **200** | |
| **Pausenhalle** | **450** | |
| **Klassenräume bis 30** | **23** | |
| **Klassenräume bis 60** | **6** | |
| **Klassenräume bis 75** | **38** | |
| **Klassenräume bis 95** | **3** | |
| **Heizkessel** | **1** | |
| **Wärmepumpe** | **1** | |
| **Außenkamin** | **1** | |
| **Lüftungsinstallation** | | |
| **Schülertoiletten Männer 27** | **4** | 5 WC, 6 Urinale, 3 Waschtische |
| **Schülertoiletten Frauen 27** | **4** | 10 WC, 3 Waschbecken |
| **Behindertentoilette 5** | **4** | 1 WC, 1 Waschbecken |
| **WC Lehrer Männe 10** | **1** | 1 WC 1 Urinal, 1 Waschbecken |
| **WC Lehrer Frauen 10** | **1** | 2 WC, 1 Waschbecken |
| **Mittagsverpflegung 10** | **1** | Spüle |
| **Archiv 70** | **1** | |
| **Stuhllager 40** | **1** | |
| **Getränke 10** | **1** | |
| **Serverraum 25** | **1** | |
| **Hausanschluss 17** | **1** | |
| **BMZ 3** | **1** | |
| **Technik 180** | **1** | |
| **Aufzug** | **1** | |
| **Treppe im Atrium 30** | **2** | |
| **Fluchttreppenhaus 25** | **10** | |
| **Flure 300** | **4** | |
| **Flure 170** | **3** | |
| **Eingang** | **200** | |
| **Pausenhalle** | **450** | |
| **Chemievorbereitung** | **1** | |
| **Klassenräume bis 30** | **23** | |
| **Klassenräume bis 60** | **6** | |
| **Klassenräume bis 75** | **37** | |
| **Klassenräume bis 95** | **3** | |
| **Transport** | | |
| **Aufzug 4 Stat.** | **1 Stck** | |

| | |
|---|---|
| **KGR 5 Außenanlagen** | |
| **Eingang 3 Stck** | **150** |
| **Hoffläche** | **1250** |
| **Grünflächen** | **6000** |
| **Bepflanzung** | **845** |
| **Parkplätze 15 m², 150 Stck** | **2250** |
| **Straßen Parkplatz +Umfahrung** | **2000** |
| | |
| **Kubatur und Flächen** | |
| **Gebäude** | |
| **BRI** | **38724,5** |
| **BRI beheizt** | |
| **BGF** | **9083,29** |
| **KF** | **1401,37** |
| **NGF** | **7681,92** |
| **NGF beheizt** | **6657** |
| **VF** | **2174,28** |
| **FF** | **389,95** |
| **NF** | **5117,69** |
| **NNF** | **66,05** |
| **HNF** | **5051,64** |
| **Grundstück** | |
| **Grundfläche** | **15000** |
| **bebaute Fläche** | **2556,01** |
| | **12443,9** |
| **nicht bebaute Fläche** | **9** |
| **Parkfläche** | **2250** |
| **Strassen** | **2000** |
| **Hoffläche** | **1350** |
| **versiegelte Fläche** | **5600** |
| **Grünfläche** | **6843,99** |
| **Dachfläche projiziert** | **2556,01** |

Tabelle 25 Elementliste