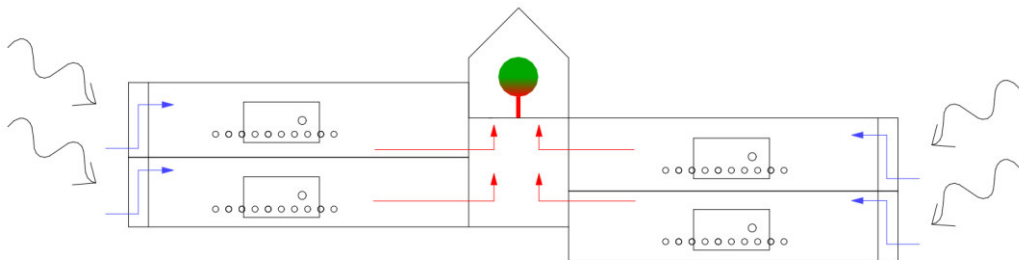


Bewilligungsempfänger:
Gemeinde Veitshöchheim
Erwin Vornberger Platz 1, 97209 Veitshöchheim



Abschlussbericht

Integrale Konzeptstudie zur energieeffizienten und nachhaltigen Modernisierung einer Sichtbetonschule mit alternativen Lüftungs- und Wärmedämmkonzepten

gefördert
unter dem AZ 32051
von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Verfasser:
H. Keß, Dipl. Ing. (FH) Architekt, Dipl. Biol.
Architekten Keß und König
Veitshöchheim, Juli 2016

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	32051	Referat	25	Fördersumme	125.000,00 €
Antragstitel	Integrale Konzeptstudie zur energieeffizienten und nachhaltigen Modernisierung einer Sichtbetonschule mit alternativen Lüftungs- und				
Stichworte	Sichtbetonschule, Gemeinde Veitshöchheim				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
26 Monate	08.04.2014	31.7.2016			
Abschlussbericht					
Bewilligungsempfänger	Gemeinde Veitshöchheim Erwin Vornberger Platz 1 97209 Veitshöchheim			Tel	0931-9802-732
				Fax	0931-9802-8532
				Projektleitung Hochbaureferat Gmd. Vhh.	
				Bearbeiter Frau Bechold	
Kooperationspartner	Architekturbüro K. Holger Keß Würzburger Straße 4 97209 Veitshöchheim Tel. 0931-32091752				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die in die Jahre gekommenen Gebäudeabschnitte der Eichendorffschule weisen deutliche Mängel im winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz auf und sollen saniert werden. Die Gemeinde Veitshöchheim hat zunächst geplant, die Schulsanierung in vielen Bauabschnitten entsprechend der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel anzugehen. Hierbei zeigte sich, dass bei Betrachtung eines Abschnittes viele übergreifende Fragestellungen wie Raumprogramm, schulische Organisation, Brandschutz usw. nicht gelöst werden können. Dies gelingt nur mit Überblick. Auch das energetische Ziel, möglichst 80 % CO₂-Reduktion zu erreichen, bedarf einer gesamtheitlichen Betrachtung. Hierbei kann der Blick auf das gesamte Schulzentrum gelenkt werden, so dass weitere Synergien erkannt werden können. Diese Synergien erstrecken sich von der räumlichen Organisation bis hin zu pädagogischen Ansätzen (Außerschulische Betreuung, Inklusion).

Die energetischen Maßnahmen zielen auf eine maximale CO₂-Reduktion mit möglichst einfachen haustechnischen Systemen. Dabei sollen die notwendigen baukonstruktiven Sowieso-Maßnahmen genutzt werden. Dies soll Wege für zusätzliche haustechnische Funktionen bei geringen zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten aufzeigen. Es wird angestrebt, die technischen Systeme einfach und dezentral steuerbar zu halten. Es werden passive Systeme gesucht, die die Gebäudespeichermassen aktivieren können. Dabei werden solare Energien mittels Zuluftfassaden eingebunden, die solaren Energiegewinne mit den Gebäudespeichermassen gekoppelt bzw. die Wärmeerträge über das Lüftungssystem an die dem solaren Ertrag abgewandten Fassaden bzw. Gebäudeteile transportiert. In diesem Zuge soll auch untersucht werden, inwieweit konventionelle Wärmedämmung durch alternative Materialien ergänzt oder ersetzt werden kann. Die Energieeffizienz der einzelnen Varianten wird in dynamischen Gebäudesimulationen erfasst und bewertet.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Maßliche, baukonstruktive, gebäudetechnische Dokumentation, Erarbeitung einer Sanierungsstrategie, einer mit den Nutzern abgestimmten Raumorganisation, eines vorbeugenden baulichen Brandschutzes, einer barrierefreien Erschließung, baukonstruktiver Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle einschließlich Zuluftfunktion, Betrachtung der Rentabilität; Prüfung d. dynamische Gebäudesimulation.

Ergebnisse und Diskussion

Die systematische Untersuchung des Gebäudes verschaffte einen Überblick über grundsätzliche Möglichkeiten, außerschulische pädagogische Angebote aufgrund der rückläufigen Schülerzahlen der Mittelschule zu integrieren. Dabei konnten auch die Defizite insbesondere des baulichen Brandschutzes und der Barrierefreiheit identifiziert, aber auch gelöst werden.

Für die Zuluftfassaden wurden in einem ersten Arbeitsschritt Materialien geprüft. Die kybernetischen Simulationen weisen bei der Verwendung von transparenten, dämmenden Fassadenkunststoffen positive Heizenergiebilanzen auf. Allerdings wurden in der weiteren Abstimmung Kunststoffe trotz ihrer energetischen Vorteile aufgrund ihrer Kurzlebigkeit und möglicher Ausdünstungen in die Zuluft vom Nutzer ausgeschlossen. Alternativ werden Glassysteme bewertet. Bei den kostengünstigen Einfachglassystemen kann keine ausreichende fassadenbezogene Einsparung von 80 % des Heizenergiebedarfs erreicht werden. Als nachhaltiger Baustoff mit einem regionalen Wertschöpfungspotential werden Massivholzelemente mit diesen Glasfassaden kombiniert. Mit diesem dämmenden und aktivierbaren Baustoff können 80 % fassadenbezogene Einsparung der Heizenergiebedarf dargestellt werden, wenn über die Fassaden solar vorerwärmte Zuluft den Innenräumen zugeführt wird. Im Gebäudemodell sollen die sowieso vorhandenen Strukturen der Flure und der Treppenträume durch Überströmung genutzt werden. Überströmelemente müssen insbesondere von den Klassenräumen zu den Fluren Schallschutz- und Brandschutzanforderungen erfüllen. Dies muss im vorbeugenden baulichen Brandschutz entsprechend verankert werden. Gleiches gilt für die Treppenträume, in denen auch die Anlage von definierten Kaminen möglich ist. Die Thermik wird durch neu erstellte ‚Lüftungszentralen‘ auf den bestehenden Treppenträumen geschaffen. Durch den Temperaturunterschied und die Steighöhe ergibt sich der Auftrieb für eine Schachtlüftung. Die überschlägige Betrachtung aufsummierter Strömungsbeiwerte belegt prinzipiell eine ausreichende Druckdifferenz bei vorhandenen Widerständen. Da die Massivholzelemente sich der Umgebungsfeuchte im Fassadenzwischenraum anpassen, muss die daraus resultierende Bauteilbewegung abgeschätzt werden, um die Fassadenkonstruktion für die Glasbauteile festlegen zu können. Hierbei erweist sich die Bauphase als problematisch, da hier bei ungünstigen Witterungsbedingungen eine starke Holzfeuchte resultieren kann, die in der Doppelfassade abnimmt, aber auch ein starkes Schwinden bewirkt.

Als weitere Fassadentyp wird eine hinterlüftete Putzfassade im Gebäudeteil 1 dynamisch simuliert. Selbst hier können die positiven Effekte einer Zuluftführung festgestellt werden.

Im Gebäudeteil 3 wird eine Strategie erarbeitet, wie das außenliegende Tragwerk in die thermische Hülle integriert werden kann. Die sich damit verschlechternde Tageslichtnutzung wird über eine Lichtlenkung kompensiert. Dabei wird folgende Abhängigkeit deutlich: Je geringer der Regelbereich bei der Kunstlichtregelung ist, desto höher entwickelt sich der Strombedarf für die Beleuchtung und der Einfluss der Tageslichtlamellen schwindet.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Über das Sanierungskonzept wird begleitend zu zukünftigen Baumaßnahmen in der Tagespresse sowie auf der homepage des Kilmaschutzmanagers berichtet.

Fazit

Das gesamtheitliche Sanierungskonzept demonstriert Nachhaltigkeit, indem die Liegenschaft durch gezielte Weiterverwendung der Bausubstanz, in Verbindung mit der Ergänzung von langlebigen und ökologischen Materialien und Systemen, energieeffizient und ästhetisch hochwertig saniert wird. Der Bestand wird im Wert gesichert. Die Bestandsuntersuchung der Liegenschaft zeigt die Nachhaltigkeit der verbauten Sichtbaustoffe wie Betondecken und -wände, Klinkerwände oder Natursteinbeläge. Noch heute weisen diese nach Jahrzehnten der Nutzung kaum Schäden auf. Die vorhandenen massiven Bauteile werden durch Aktivierung energetisch genutzt. Dies ist vorstellbar durch eine Zuluftstrategie über die Gebäudefassaden in Kombination mit einer Schachtlüftung. Die Innenräume können so von den solaren Wärmegegewinnen der Fassaden profitieren. Unter Ausnutzung der horizontalen und vertikalen Erschließung kann die Luft im Gebäude geführt werden. Wärmerückgewinnung kann durch Wärmetauscher erfolgen, die einen Wärmetransfer zu einem maschinellen Lüftungssystem solar benachteiligter Raumgruppen ermöglichen. Im Sommerfall wird ein gegenläufiger Lufttransport etabliert. Selbst mit nicht konventionell gedämmten Fassadensystemen mit Zuluftfunktion können mittels Gebäudesimulation Reduktionen des Heizenergiebedarfs von bis zu 80 % dargestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Objektbericht:

1. Gebäude- und Strukturanalyse
2. Konzept der solaren Zuluftnutzung
3. Kosten, Energie –Rentabilität, Unterhalt
4. Fazit

Literaturverzeichnis

Anhang

- A.1 Grundrisse Bestand
- A.2 Flächenvergleich Raumprogramm Bestand – Neuordnung

Abbildungsverzeichnis

- [Titelbild] Eichendorffsgarten, Architekten Keß und König
- [Abb. 1] Lageplan Schulzentrum Eichendorffschule in Veitshöchheim, Architekten Keß und König
- [Abb. 2] Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene -02, Architekten Keß und König
- [Abb. 3] Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene -01, Architekten Keß und König
- [Abb. 4] Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 00, Architekten Keß und König
- [Abb. 5] Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 01, Architekten Keß und König
- [Abb. 6] Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 02, Architekten Keß und König
- [Abb. 7] Aufschlüsse der Betondecken zur Feststellung der Feuerwiderstandsdauer, Architekten Keß und König
- [Abb. 8] Betonaufschlüsse zur Beurteilung der Betonsanierungsmaßnahmen, Mittnacht Beratende Ingenieure
- [Abb. 9] Exemplarischer Status Quo technische Gebäudeausrüstung, Architekten Keß und König
- [Abb. 10] Exemplarischer Status Quo der Baukonstruktion, Architekten Keß und König
- [Abb. 11] Nachhaltige, robuste Materialien, Architekten Keß und König
- [Abb. 12] Idee als Strichskizze und Gebäudequerschnitt, Architekten Keß und König
- [Abb. 13] Prüfstandwerte für Temperaturdifferenz zwischen Luftein- und Luftaustritt einer Makrosolar-PC-Platte (links) sowie daraus ermittelte Leistungen verschiedener Polycarbonat-Stegplatten, Hochschule für Technik Stuttgart, Thu11
- [Abb. 14] Jahressimulationen Heizenergiebedarf und Temperaturen in verschiedenen Zonen des Gebäudeteil II bei Bekleidung der Außenwände mit PC-Platten, Delzer Kybernetik
- [Abb. 15] Jahressimulationen Heizenergiebedarf und Einsparungen mit V1 = Bestand, V2 / V3 / V4 = statische PC-Fassade, V5 = allseitige Zuluffassade, V6 = kombinierte Zu- und nördliche Abluffassade (mit Ziegel), V7 = kombinierte Zu- und nördliche Abluffassade (überall PC Bekleidung), Delzer Kybernetik
- [Abb. 16] Sich aus der Jahressimulationen des Heizenergiebedarfs ergebende Einsparungen für das Bauteil Fassade; V1 = Bestand, V2 / V3 / V4 = statische PC-Fassade, V5 = allseitige Zuluffassade, V7 = Zuluffassaden mit Profilbauglas einfach, V8 = Zuluffassaden mit Profilbauglas zweischalig, V9 = Zuluffassaden mit Profilbauglas zweischalig mit transparenter Wärmedämmung, Delzer Kybernetik
- [Abb. 17] Sich aus der Jahressimulationen des Heizenergiebedarfs ergebende Einsparungen für das Bauteil Fassade; Zuluffassaden mit V7 = Profilbauglas einfach mit dahinterliegendem Lichttechnischen Gewebe, V8 = Profilbauglas mit 10 cm Massivholz auf der Stahlbetonaußenwand, V9 = Kombination der Varianten 7 und 8; V10 = Profilbauglas mit 5 cm Innendämmung der Stahlbetonaußenwand, Delzer Kybernetik
- [Abb. 18] Konzeptschnitt und Konzeptansichten Profilbauglas / Einfachverglasungen mit dahinterliegender Massivholzschale, Architekten Keß und König
- [Abb. 19] Temperaturverläufe der verschiedenen Schichten in der Zuluffassade, Delzer Kybernetik
- [Abb. 20] Feuchte- und Dampfverläufe in den verschiedenen Schichten der Fassade, Delzer Kybernetik
- [Abb. 21] Mediane Kohlendioxidgehalte, Minima und Maxima in den einzelnen Klassenräumen in der Wintermessperiode, aus: Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität, Fro06
- [Abb. 22] Exemplarische Datenloggeraufzeichnungen Kohlendioxid, Temperatur, Luftfeuchte, Speth, J., Klimaschutzmanagement Gemeinde Veitshöchheim

- [Abb. 23] In Demonstrations- und Praxisprojekten in Deutschland und Österreich umgesetzte Luftmengen bei Gebäuden mit mechanischen Lüftungsanlagen, Hac14
- [Abb. 24] Prinzipskizzen einer thermisch angetriebenen Luftströmung im Winter und Sommer, Architekten Keß und König
- [Abb. 25] Überschlägige Berechnung Druckdifferenzen und Luftgeschwindigkeiten, Delzer Kybernetik
- [Abb. 26] Details der Kastenfensterfassade, Gebäudeteil 2, Architekten Keß und König
- [Abb. 27] Prinzipskizzen der Luftströmung in der Fassade im Winter und Sommer über halbgeschlossenen Luftleitkanal, Architekten Keß und König
- [Abb. 28] Grundrisse Gebäudeteile 1 und 2, Vernetzung solar günstig orientierter mit ‚rückwärtigen‘ Raumfolgen, Architekten Keß und König
- [Abb. 29] Exemplarische Datenloggeraufzeichnungen der Raumtemperatur zur Darstellung der sommerlichen, Speth, J., Klimaschutzmanagement Gemeinde Veitshöchheim
- [Abb. 30] Kühlleistung in Abhängigkeit des Temperaturunterschieds der Umgebung (T_U) und des Klassenraums (T_R), Delzer Kybernetik
- [Abb. 31] Sommerlicher Wärmeschutz mit sich ergebende Temperaturen, Temperaturenstatistik, Übertemperaturgradstunden, Delzer Kybernetik
- [Abb. 32] Eichendorffsgarten (Lüftungszentrale mit Abwärmenutzung) auf dem Gebäudeteil 3, Architekten Keß und König
- [Abb. 33] Qualitative Darstellungen des Tageslichtquotienten; Rasterfarbgrafik für Seitenfensterbeleuchtung, Scho07; Charakteristik des Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des Abstands vom Fenster, Mev12
- [Abb. 34] Fassadenüberformung im Gebäudeteil 3, Architekten Keß und König
- [Abb. 35] Strombedarf künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit der eingesetzten Verschattungstechnik und des möglichen Regelbereiches des Kunstlichtes bei einer Beleuchtungsstärke von 500 lux, Delzer Kybernetik
- [Abb. 36] Zulufffassade im Gebäudeteil 1, Gebäudeteil 2 und Gebäudeteil 3, Architekten Keß und König
- [Abb. 37] Optimierungsvarianten Gebäudeteil 1, Variantenübersicht mit den entsprechenden Bauteilbilanzen; Heizenergiebedarf; Heizleistung, Delzer Kybernetik
- [Abb. 38] Optimierungsvarianten Gebäudeteil 3, Variantenübersicht mit den entsprechenden Bauteilbilanzen; Heizenergiebedarf; Heizleistung, Delzer Kybernetik
- [Abb. 39] Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 1, Architekten Keß und König
- [Abb. 40] Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 2, Architekten Keß und König
- [Abb. 41] Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 3, Architekten Keß und König
- [Abb. 42] Energetische Optimierung der drei untersuchten Gebäudeteile; Zusammenfassung der Simulationsergebnisse; Heizenergiebedarf, Heizleistung der verschiedenen Optimierungsvarianten, Delzer Kybernetik
- [Abb. 43] Überschlägige Investitionskosten, Architekten Keß und König
- [Abb. 44] Kosten für Gebäudeunterhalt pro Haushaltsjahr, Gemeinde Veitshöchheim, aufbereitet d. Architekten Keß und König
- [Abb. 45] Kumulierte Kosten für Heizenergie, Gebäudeunterhalt mit und ohne Gebäudeabschreibung, Zins und Tilgung bei verschiedenen Energiepreissteigerungen, Architekten Keß und König

1. Gebäude- und Strukturanalyse

Die materiellen Ressourcen des Bestandes spielen ebenso wie die strukturellen Beziehungen im Gebäudekomplex eine wesentliche Rolle. Die vorgegebene Materialität kann baukonstruktive Prinzipien bahnen. Die strukturellen Beziehungen im Gebäude als auch der Gebäude untereinander können Wechselwirkungen offenbaren, die einen kybernetischen Entwurf beeinflussen. Die Analyse der Stärken und Schwächen der einzelnen Gebäudeteile dient dem Ziel, baukonstruktive und gebäudetechnische Lösungsansätze zu entwickeln. Im Idealfall können auch hieraus interne, ggf. auch Gebäudeteil übergreifende Interdependenzen identifiziert werden.

Der Südwesthang im Maintal prägt die Physis des Ortes. Diese Hanglage bestimmt das Entwurfskonzept der ersten beiden Gebäudeteile: Die einzelnen Geschosse stapeln sich entsprechend der Topographie, beziehen sich auf und entwickeln sich in die Landschaft, der anschließende, wesentlich kompaktere 3. Gebäudeteil wiederholt intern als split level Entwurf dieses Prinzip. Erbaut wurden Gebäudeteil 1 bis 1965, Gebäudeteil 2 bis 1969 und Gebäudeteil 3 bis 1978. Dagegen wirkt der bis 2004 ergänzte Gebäudeteil 4 als fremdartiger Appendix, was zuletzt durch die rote Signalwand verstärkt wird.



Abbildung 1: Lageplan Schulzentrum - Eichendorffschule in Veitshöchheim [Architekten Keß und König]

Die Liegenschaft wird wie Schulsporthalle, Dreifachsporthalle mit Lehrschwimmbecken, Landkreisgymnasium und Rupert-Egenberger-Schule über einen Nahwärmeverbund (Erdgas, 3 Brennwertkessel mit 900 kW, Blockheizkraftwerk mit 50 kW_{elektrisch} und 81 kW_{thermisch}) mit Heizwärme versorgt. Der gesamte Wärmeverbrauch der zu sanierenden Gebäudeteile 1-3 der Eichendorffschule beträgt laut Klimaschutzkonzept (Teilbereich Liegenschaften) der Gemeinde Veitshöchheim ca. 776 MWh (ca. 144 kWh/m²_{NGF}*a, 36 kg CO₂/m²_{NGF}*a mit 0,252 kg / kWh). Für den Stromverbrauch können 67 MWh konstatiert werden (ca. 12 kWh/m²_{NGF}*a, 6 kg CO₂/m²_{NGF}*a mit 0,52 kg / kWh).

Die weitläufige, mehrgeschossige Liegenschaft eröffnet Qualitäten durch strukturierte Innenzonen und Außenräume auf verschiedenen Ebenen. So erhalten die einzelnen Schularten und Jahrgänge

klar abgegrenzte Bereiche und vor allem verschiedene Pausenhöfe. Dieses Prinzip wurde durch die Lehrerschaft positiv bewertet und soll bestehen bleiben. Hieran orientiert sich auch die Neuordnung von Mittagsbetreuung und Hort. Gerade letztgenannte pädagogische Angebote sind in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen und wurden gemäß Bedarf entsprechend der gerade vorhandenen Kapazitäten eingerichtet. Ergebnis ist in diesem Bereich eine verstreute Verteilung über die gesamte Liegenschaft. Aufgabe einer Neuordnung war damit eine Konzentration der unterschiedlichen Angebote – Einrichtungen, dabei nutzen die pädagogischen Angebote die freiwerdenden Raumkapazitäten infolge der sich nach Prognose vermindernenden Schülerzahlen der Mittelschule. Der Vergleich des durch die Regierung vorgegebenen Raumprogramms für Grund- und Mittelschule mit den Bestandsflächen ergibt einen erheblichen Flächenüberhang. Nachdem der schulische Bedarf in Abstimmung mit den Nutzern prinzipiell zugeordnet war (Grundschule in Gebäudeteil 3, Mittelschule in Gebäudeteile 1 und 4), kann der Gebäudeteil 2 weitgehend für schulbegleitende Betreuung konvertiert werden. Der enorme Flächenbedarf dieser schulbegleitenden Betreuung zeigt sich vor allem in der Notwendigkeit eines weiteren Anbaus für Hort und Mittagsbetreuung. *[Anlage 1: Bestandsgrundrisse; Anlage 2: Flächenvergleich Raumprogramm Bestand – Neuordnung; Architekten Keß und König].*

Als größtes Defizit resultiert aus der weitläufigen, versetzten und etagierten Struktur eine nicht gegebene Barrierefreiheit. Die folgenden Übersichtspläne zeigen auch die Möglichkeit einer Zugangszentralisierung, so dass vor allem auch die Verwaltungsbereiche übersichtlich erschlossen werden können. Ebenso werden die prinzipiellen Erweiterungsressourcen der Liegenschaft verdeutlicht.

Bauzeitbedingt müssen auch erhebliche sicherheitstechnische Defizite des vorbeugenden baulichen Brandschutzes konstatiert werden. Schulen benötigen im Allgemeinen zwei bauliche Rettungswege. Eine Fensterrettung oder Notleiterrettung ist weder zweckmäßig noch aktuell zulässig (ggf. ist Bestandsschutz zu prüfen). Beide bauliche Rettungswege können im Gebäude über notwendige Flure und notwendigen Treppenräume / notwendige Treppen hergestellt werden. Handlungsbedarf ist unmittelbar gegeben, wenn der erste Rettungsweg nicht ohne Gefahr begehbar ist. Dies muss insbesondere im Gebäudeteil 2 (ohne eigenen notwendigen Treppenraum, ohne abgetrennte notwendige Flure) sowie im Gebäudeteil 4 mit einem nicht klassifiziert abgetrennten, in die Aula mündende Treppenraum festgestellt werden. Im Gebäudeteil 3 muss eine geschossübergreifende Aula mit sehr tiefen Fluren durchquert werden (Rauchfreihaltung der Aula über Rauchableitungsöffnungen gegeben, die im Treppenhaus ausgelöst werden kann). Eine Alternative existiert nur über Dach, aber auch nur zum Teil über Bypass-Türen ermöglicht. Des Weiteren liegt selbst im jüngsten Gebäudeteil 4 kein zweiter baulicher Rettungsweg vor. Der zweite bauliche Rettungsweg wird über Fenster / Sammelpunkten auf Dachflächen mittels Rettung über Feuerwehrgeschäft oder im Falle des Gebäudeteils 4 auch über eine Feuerleiter geschaffen. Inwieweit die vorhandene Brandmeldeanlage mit Druckknopfmeldern und partiellem Überwachungsumfang diese Mängel kompensieren kann, bleibt fragwürdig.

Legende:

- Neuordnung Räume
- Erschließung
- Maßnahme zur Barrierefreiheit
- Fluchttreppenhaus
- Abbruch
- Neubau

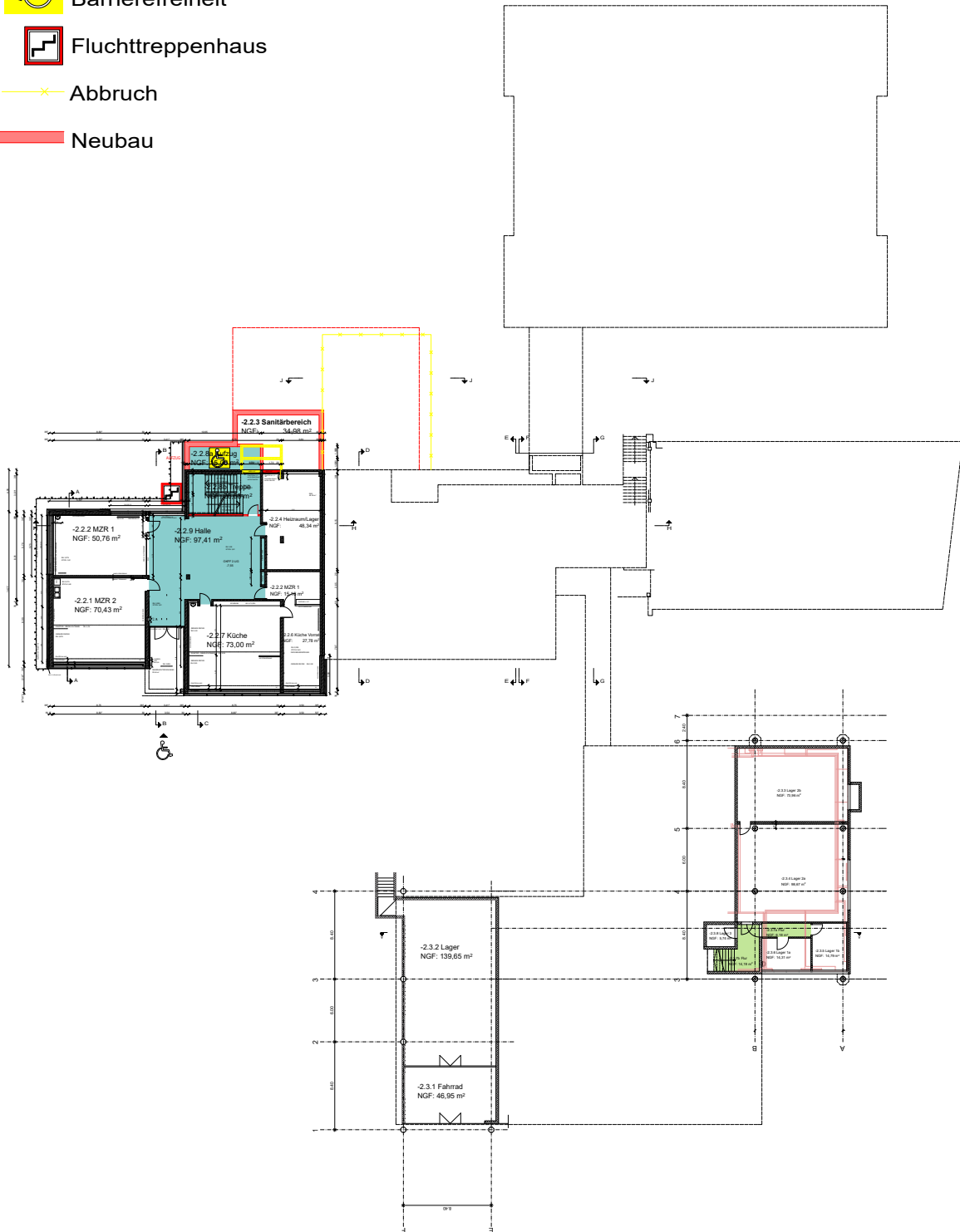


Abbildung 2: Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene -02 [Architekten Keß und König]

Legende:

- Neuordnung Räume
- Erschließung
- Maßnahme zur Barrierefreiheit
- Fluchttreppenhaus
- Abbruch
- Neubau

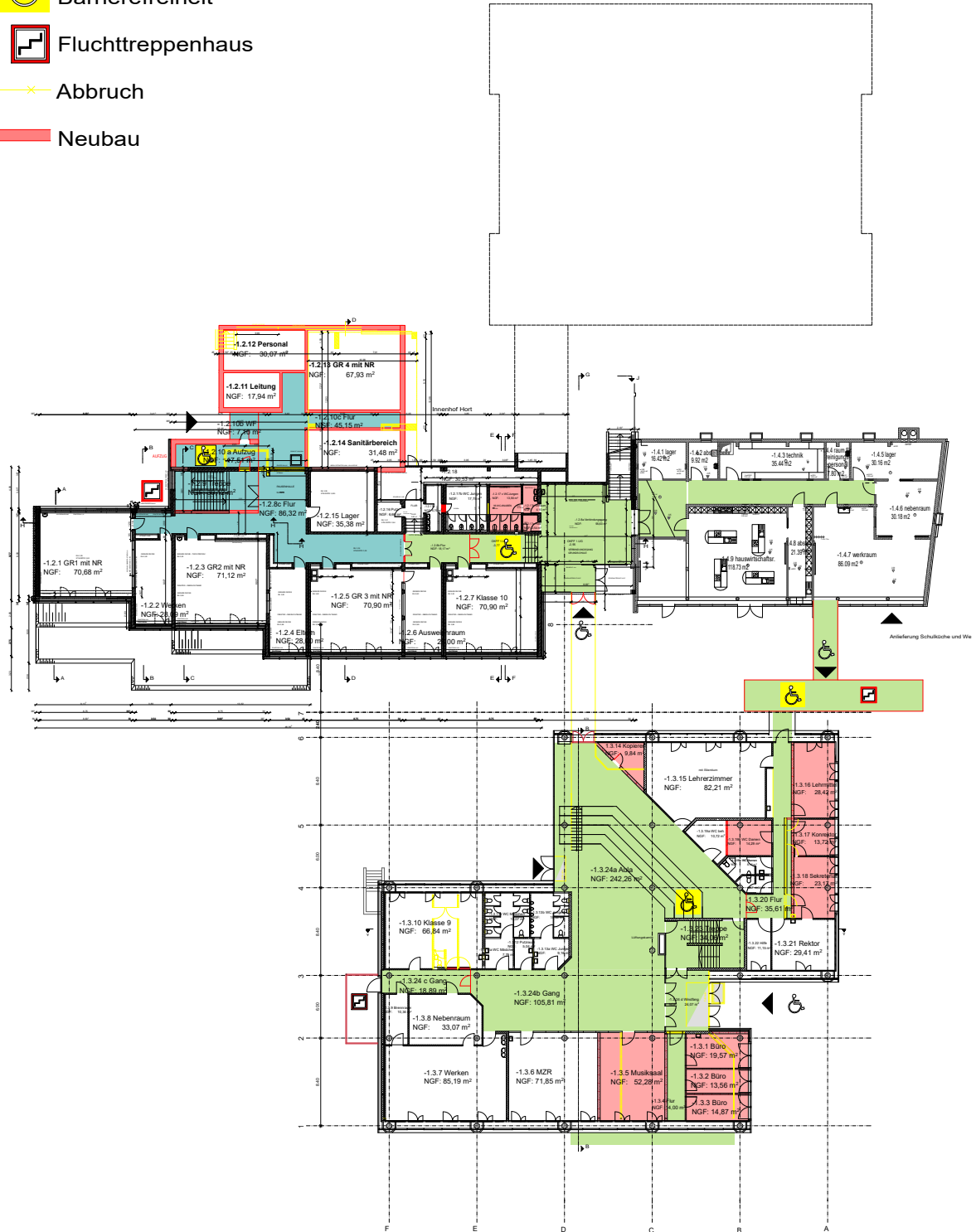


Abbildung 3: Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene -01 [Architekten Keß und König]

Legende:

- Neuordnung Räume
- Erschließung
- ♿ Maßnahme zur Barrierefreiheit
- Fluchttreppenhaus
- Abbruch
- Neubau

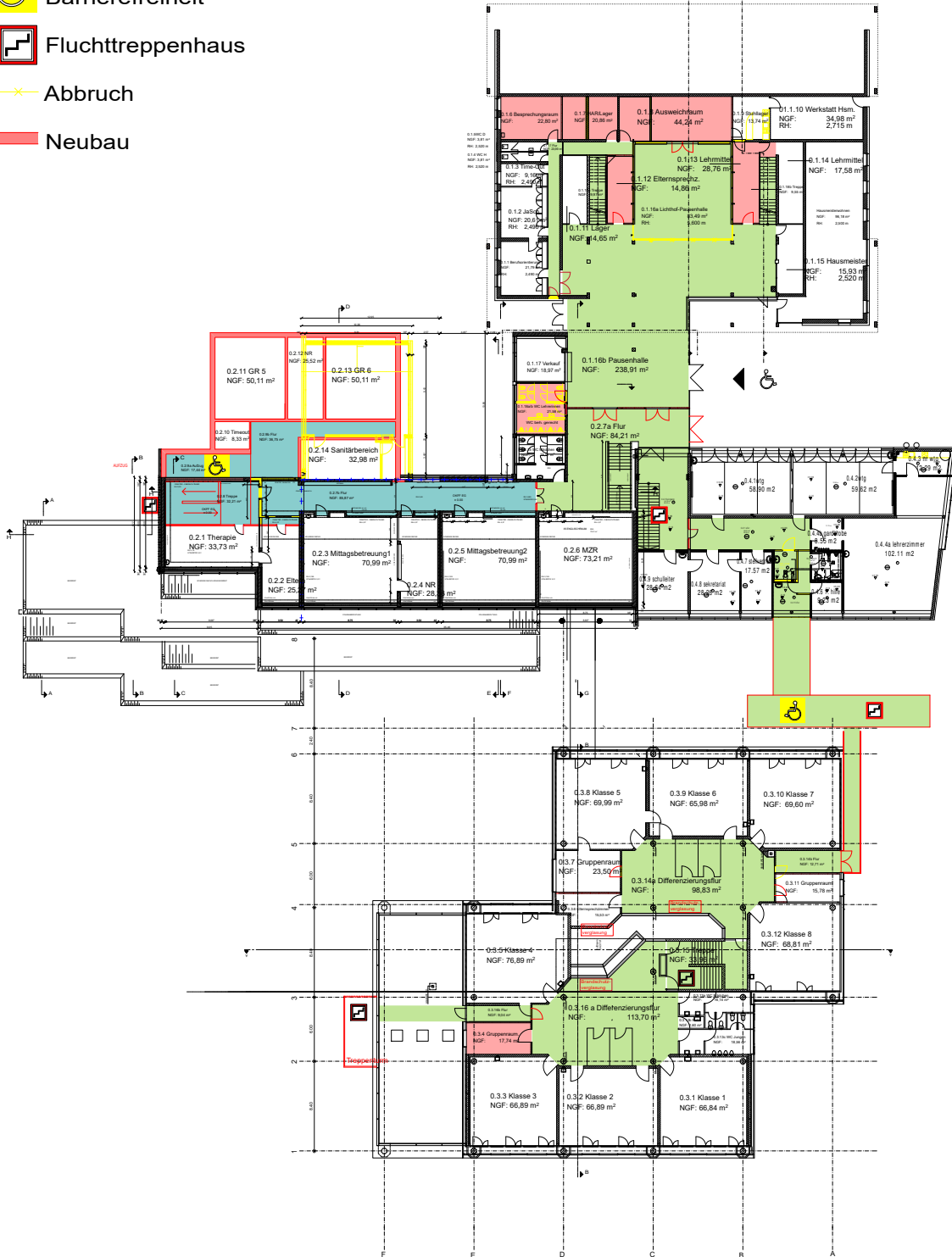


Abbildung 4: Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 00 [Architekten Keß und König]

Legende:

- Neuordnung Räume
- Erschließung
- Maßnahme zur Barrierefreiheit
- Fluchttreppenhaus
- Abbruch
- Neubau

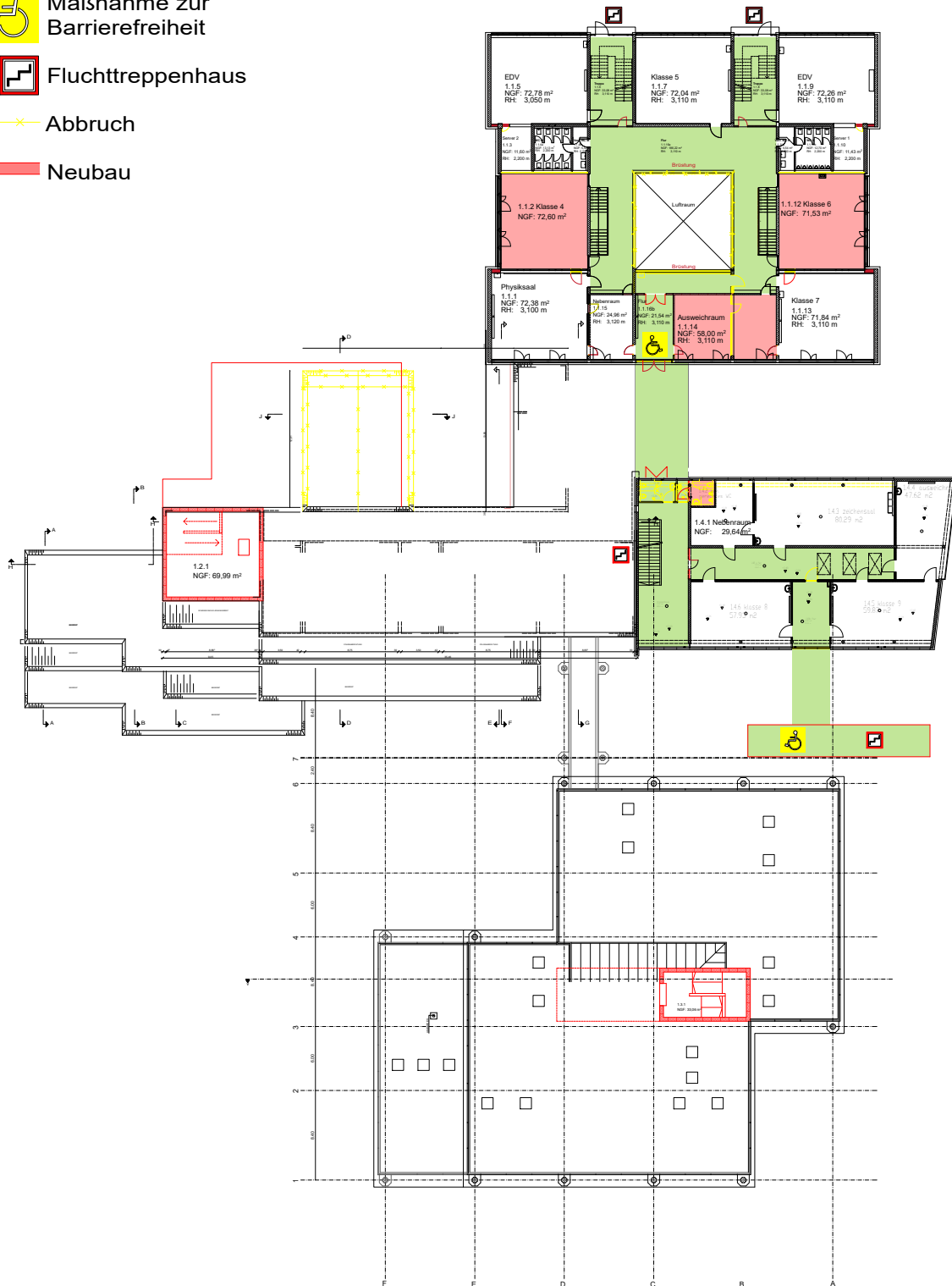


Abbildung 5: Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 01 [Architekten Keß und König]

Legende:

- Neuordnung Räume
- Erschließung
- Maßnahme zur Barrierefreiheit
- Fluchttreppenhaus
- Abbruch
- Neubau

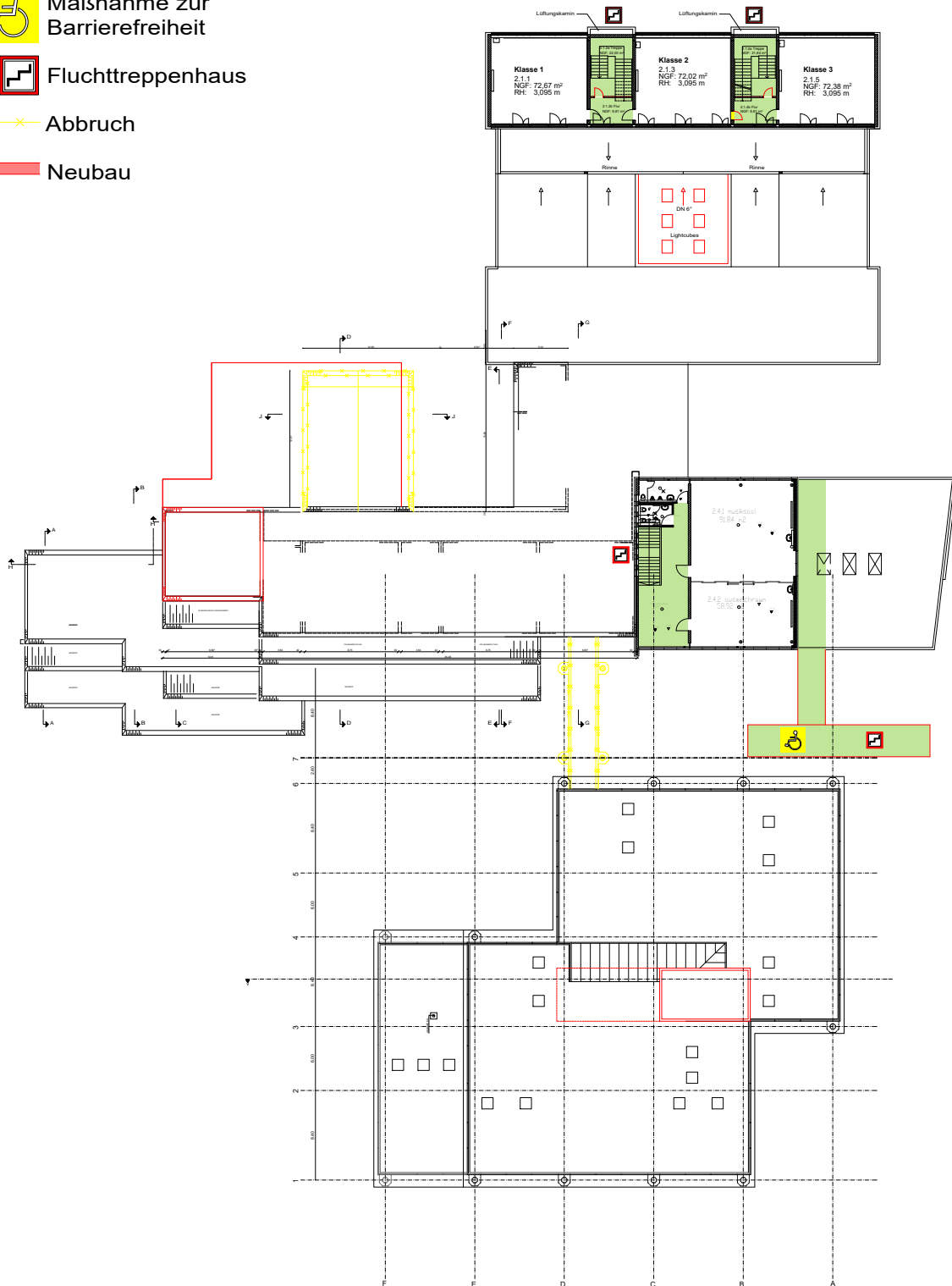


Abbildung 6: Neuordnung, Mängel, Barrieren, Erschließung Ebene 02 [Architekten Keß und König]

Während die massiven Wände der Gebäudeteile 1-3 in der Regel bis zu feuerbeständig klassifiziert werden können (sonstige Tragglieder wie Stahlstützen können ertüchtigt werden), erreichen die Decken annähernd eine feuerhemmende Klassifikation. Stichproben in den Gebäudeteilen 2 und 3 weisen untere Betondeckungen bei Stahlbetonplatten / Rippendecken von ca. 15 mm, bei Rippendecken seitliche Deckungen von ca. 25 mm auf. Im Gebäudeteil 1 wies eine Stichprobe einer Stahlbetonplatte lediglich eine Betondeckung von weniger als 10 mm auf.



Abbildung 7: Aufschlüsse der Betondecken zur Feststellung der Feuerwiderstandsdauer [Architekten Keß und König]

Damit können die Vorgaben einer Gebäudeklasse 3 gemäß gültiger Bauordnung für feuerhemmende Bestandsdecken mit geringfügigen Maßnahmen erreicht werden. Umfangreichere Ertüchtigungen wären in Kellergeschossen nötig. Damit können aber in allen oberirdischen Geschossen die Betondecken zur Bauteilaktivierung zur Verfügung stehen. Wesentlich wird sein, die Stichproben durch Untersuchungen mit ausreichender Signifikanz im Rahmen der weiteren Planung zu verifizieren und die Gebäudeteile eindeutig voneinander zu trennen (z.B. durch Brandwände), damit die Gebäudeteile 1-3 in die Gebäudeklasse 3 eingestuft werden können. Damit kann erreicht werden, dass keine Kompensationsmaßnahmen in Form einer aufzuschaltenden Brandmeldeanlage mit hohen jährlichen Betriebskosten nötig werden.

Aufgrund der Sichtbetonbauweise sind bauzeitliche Brandlasten in der Regel im Beton durch Leerrohre geführt, neuzeitliche Installationen wurden dagegen entgegen des Prinzips der Brandlastfreiheit der Rettungswege oft in Fluren verlegt. Generell sind die zahlreichen Brandlasten in den notwendigen Fluren (z.B. Garderoben) umfassend zu beseitigen bzw. abzuschotten sowie klassifizierte Abtrennungen (entsprechende Klassenraumtüren, Rauchschutztüren, Brandschutztüren) zu schaffen.

Die frei bewitterten Stahlbetonbauteile weisen in allen Bereichen Betonabplatzungen, Betonrisse und zum Teil auch bereits eine Korrosion der Betonstähle auf. Diese Schäden sind auf eine zu geringe Betonüberdeckung in Verbindung mit einer dauerhaften Durchfeuchtung der Konstruktion zurückzuführen. Oftmals reicht die Karbonatisierungstiefe bereits tiefer als die Bewehrungslage, somit stellt der Beton keine ausreichende alkalische Schutzschicht für den Bewehrungsstahl mehr dar.



Abbildung 8: Betonaufschlüsse zur Beurteilung der Betonsanierungsmaßnahmen; Durch Besprühen der Bauteilöffnungen mit einer Phenolphthaleinlösung konnte der Karbonatisierungsgrad des Betons festgestellt werden. Violett verfärbte Bereiche stellen hierbei eine für den Stahl ausreichend alkalische Betonumgebung dar. Farblose Bereiche weisen auf einen vollständig karbonatisierten Beton hin [MBI]

Sichtbare Schäden der Betonfassaden müssen vor der weiteren Fassadensanierung lokal instandgesetzt werden. Insgesamt kann mit der neuen Wetterschutzschale der Status quo der Betonbauteile gesichert werden.

Aufgrund des Erbauungszeitraums ist von schadstoffhaltigen Baumaterialien auszugehen. Die orientierende Schadstoffuntersuchung verschafft einen Überblick über entsorgungsrelevante Materialien, aber auch über gesundheitsgefährdenden Substanzen im Zuge des Ausbaus bzw. im laufenden Betrieb der Schule. In den untersuchten Materialproben wurden folgende Schadstoffe nachgewiesen:

- künstliche Mineralfaser mit Kanzerogenitätsindex ≤ 30 (K2-Stoffe, werden als krebserzeugend beim Menschen angesehen); Dämmungen im Bodenaufbau, Wänden, Rohrleitungen, Fensterfugen
- Asbest (Chrysotilasbest) in Flanschdichtungen der Heizungsanlage und Pflanztrögen
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Abdichtungen und Klebern (Parkett)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Fugenmaterialien (Bauteilfugen im Betonbau, Fenster)
- Formaldehyd in Deckenbekleidung aus Holzwerkstoffen

Für PAK und PCB wurden aufgrund der Möglichkeit der Ausdünstungen Raumlufthproben vorgenommen. Im Falle der PAK-Raumlufthkonzentration wird der Innenraumrichtwert I (entspricht dem Sanierungszielwert einer PAK-Sanierung) eingehalten. Bei den Formaldehyd Raumlufthkonzentrationen werden ebenfalls die empfohlenen Grenzwerte (WHO) eingehalten. Die Raumlufthmessungen auf PCB ergeben Handlungsbedarf, mindestens durch erhöhte Raumlüftung und Raumreinigung, besser durch sofortigen, fachgerechten Rückbau der kontaminierten Materialien. Durch wiederholte Raumlufthmessungen ist das Sanierungsziel (Vorsorgewert) zu belegen.

Die gebäudetechnischen Anlagen befinden sich im allgemeinen in einem heterogenen Zustand, es sind bauzeitliche Anlagenteile neben Anlagenteilen, die bei entsprechend auftretenden Schäden Reparaturen erfordern, sowie Neuinstallationen anzutreffen. Im Falle der WC-Anlagen wurden sukzessive Sanierungen vorgenommen, so dass die Mehrzahl bereits saniert wurde. Allerdings sind die Haupt-Versorgungsstränge (Wasser, Heizung) nicht erneuert worden. Neben offensichtlichen schadstoffhaltigen Dämmmaterialien, müssen vor allem fortschreitende Korrosionserscheinungen bewertet werden, im Falle der Wasserleitung sollten verzinkte Stahlrohre ersetzt werden. Während im Gebäudeteil 2 die Raumheizflächen einen noch akzeptablen Zustand aufweisen, zeigen diese in den Gebäudeteilen 1 und 3 Schäden oder mehrfache Reparaturen an. Bei der Sanierung der Wasseranlage sollten Konzepte mit Satellitenwaschtischen geprüft werden, da ja vermehrt digitale Medien genutzt werden (in der Mittelschule zahlreich vorhanden) und Ringleitungen (zur Legionellenprophylaxe kostengünstiger realisiert werden können).



Abbildung 9: Exemplarischer Status Quo technische Gebäudeausrüstung [Architekten Keß und König]

Die Raumbelichtungen wurden in den Jahren sukzessive saniert, so dass neben bauzeitlichen Anlagen auch neuwertige Raumausstattungen anzutreffen sind. Generell sollte hier ein einheitlicher Standard realisiert werden, der vor allem die Normbeleuchtungsstärken von 300 / 500 Lux einheitlich je nach Raumnutzung gewährleistet, dabei aber über LED-Technik oder tageslichtabhängiger Kunstlichtsteuerung den Stromverbrauch deutlich reduziert. Die Schwachstromanlage muss überarbeitet werden, zum einen sind Unterverteilungen an eher ungeeigneten Orten (z.B. Knaben-

WC), in eher handwerklichen Verteilerschränken untergebracht, zum anderen genügen Leitungsquerschnitte und Absicherungen (FI mit 30 mA) heutigen Standards nicht. Die Hauptstromversorgungen der einzelnen Gebäudeteile müssen ebenfalls auf Leistungsfähigkeit geprüft und ggf. verstärkt werden. Datentechnik wurde sukzessive nachgerüstet, allerdings sollte im Falle einer Generalsanierung hier auch eine strukturierte Verkabelung aller Gebäudeteile geschaffen werden.

Im allgemeinen ist für die Elektroanlage einschließlich EDV festzustellen, dass klassifizierte Bauteildurchdringungen (Brandschutz Decken- und Wanddurchdringungen bei den gebäudetechnischen Anlagen) sowie die Brandlastfreiheit der Rettungswege (insbesondere Nachrüstungen der Elektroanlage) nicht gegeben sind und nachgerüstet bzw. im Zuge der Neuinstallationen geschaffen werden müssen.

Die Baukonstruktion in den Gebäudeteilen 1-3 ist ebenso heterogen wie die Gebäudetechnik. Die größten Probleme bestehen im Bereich der Flachdächer aufgrund immer wieder auftretender Undichtigkeiten (generell sind hier auch Notabläufe bei einer Sanierung nachzurüsten) und bei den Fenstern. Selbst jüngere Fenster (1999) weisen bereits wieder Schäden auf, Bestandsfenster werden blind.



Abbildung 10: Exemplarischer Status Quo der Baukonstruktion [Architekten Keß und König]

Bodenbeläge sind zum Teil erneuert, zum Teil bauzeitlich. Akustikmaßnahmen sind kaum anzutreffen, hier müssen erhebliche Verbesserungen erzielt werden.

Gebäudeteilen 1-3 wurden bauzeitlich im Innenbereich mit nachhaltigen, massiven Materialien auf Sicht ausgestattet. Für die weiteren Konzepte gilt es gerade diese hochwertigen Materialien zu erhalten und die möglichen internen Potentiale der Wärmespeicherung zu aktivieren. Natürlich muss insbesondere für die Decken eine definierte Feuerwiderstandsdauer gegeben sein. Raumakustische Maßnahmen müssen ebenfalls ihren Platz finden.



Abbildung 11: Nachhaltige, robuste Materialien [Architekten Keß und König]

Zusammenfassend kann ein unmittelbarer Sanierungsbedarf festgestellt werden, da bauzeitliche Konstruktionen bzw. Installationen ein anwachsendes Schadenspotential zeigen oder schlicht auch veraltet sind. Zahlreiche bestehende Ausführungen im Zusammenhang mit dem vorbeugenden baulichen Brandschutz müssen als akute Gefahr für eine Nutzung bewertet werden und erfordern unmittelbaren Handlungsbedarf.

2. Konzept der solaren Zuluftnutzung

Gebäudeteil 2 wurde als abgestufter Einspanner mit einer Südwest Ausrichtung angelegt. Die endständigen Klassenräume erhalten eine zweiseitige natürliche Beleuchtung aus dem Südwesten und Nordosten. Trotz des im Nordosten vorgelagerten Flures wurde auch für die anderen Räume eine natürliche Beleuchtung in die Raamtiefe durch Sheds und Oberlichter realisiert. Die wirkungsvolle Lösung der natürlichen Beleuchtung für die Raamtiefe wird allerdings bei den auch nach Südwest orientierten Sheds durch mangelhaften Sonnenschutz (innenliegende Vorhänge) konterkariert, so dass im Sommer deutliche Übertemperaturen zu verzeichnen sind. Dagegen können natürlich im Winter vor allem auf der Südwestseite solare Gewinne generiert werden.

Gebäudeteil 1 weist diese optimierte Tageslichtversorgung zum Teil auf. Freiunterrichtsräume ermöglichen eine zweiseitige Belichtung, eine natürliche Belichtung der Flure und der Pausenhalle auf der untersten Ebene wird über einen Lichthof erreicht. Die geringe Wärmedämmung der hierdurch vergrößerten Gebäudeoberfläche wirkt sich allerdings negativ aus.

Im Gebäudeteil 3 sind die Räume nur noch einseitig orientiert. Die zentrale Aula verbindet die um ein halbes Geschoss versetzten Ebenen und versorgt diesen innenliegenden Bereich mit Tageslicht. Die nach außen gekehrte Tragstruktur sowie die geringe energetische Qualität führen zu einem hohen Heizwärmebedarf und extremen sommerlichen Übertemperaturen.

Für den Gebäudeteil 2 wurden aus der Gebäudestruktur heraus Ansatzpunkte einer Verwertung der solaren Gewinne untersucht.

a. Solare Wärmegewinne der südorientierten Fassaden könnten auf die abgewandten Seiten transportiert werden. Frischluft wird solar erwärmt in die Klassenräume transportiert und als Abluft / Fortluft ‚auf der Schattenseite‘ in einen geschlossenen Fassadenzwischenraum (Abluftfassade) zur Aktivierungen der Betonaußenwand geführt.

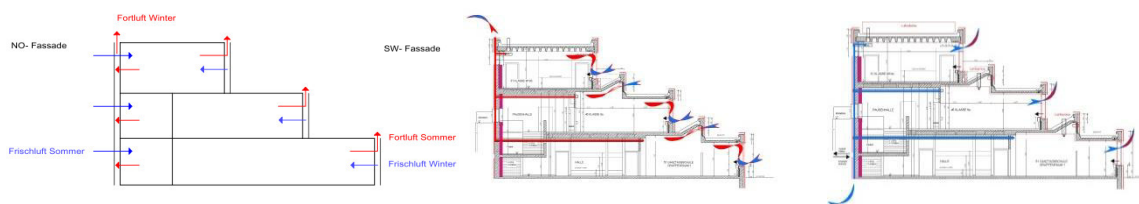


Abbildung 12: Idee als Strichskizze und Gebäudequerschnitt [Architekten Keß und König]

Voraussetzung hierfür ist eine Fassadenbekleidung, die aufgrund Ihrer Transparenz – Transluzenz solare Gewinne ermöglicht, aber auch eine ausreichende Dämmung darstellt. Fassadenplatten aus Polycarbonat erfüllen diese Voraussetzungen:

- Die mit Nut- und Feder einfach verbindbaren, mehrschichtigen Elemente erreichen mit wachsender Kammer- / Schalenanzahl standardmäßig U-Werte als Außenwand bis $0,83 \text{ W/K m}^2$ (Dicke 60 mm, 12 Schalen)
- Die lichttechnische Eigenschaften können von Farbgebung angefangen bis zu selektiven Reflexionsgraden und Lichtdurchlässigkeit modifiziert werden; Lichtreflexions- und Lichttransmissionswerte (0% - 83%), der Gesamtenergiedurchlassgrad (0,12–0,86) der Paneele

- Verarbeitungsvorteile bzgl. Transport, Handhabung auf der Baustelle, Filigranität der Unterkonstruktion aufgrund des niedrigen Gewichtes ($1,2 \text{ g/cm}^3$) im Vergleich zu Glas ($2,5 \text{ g/cm}^3$)

Das Potential einer direkten Durchströmung der Stegplatten zur Vorkonditionierung der Außenluft wurde durch HFT Stuttgart mit unterschiedlichen Polycarbonat-Stegplatten (gleicher geometrischer Aufbau mit vier Stegen und drei Luftkammern) und Luftvolumenströmen untersucht. Bei der Makrosolar-Polycarbonat-Stegplatte ergibt sich hierbei eine Temperaturdifferenz von ca. 10 Kelvin. Die unter Einbezug der Temperaturdifferenz ermittelte Stegplattenwärmeleistung variiert bei unterschiedlicher Absorption aufgrund der Einfärbungen, höchste Erträge bei den Varianten mit schwarzen Absorptionsflächen.

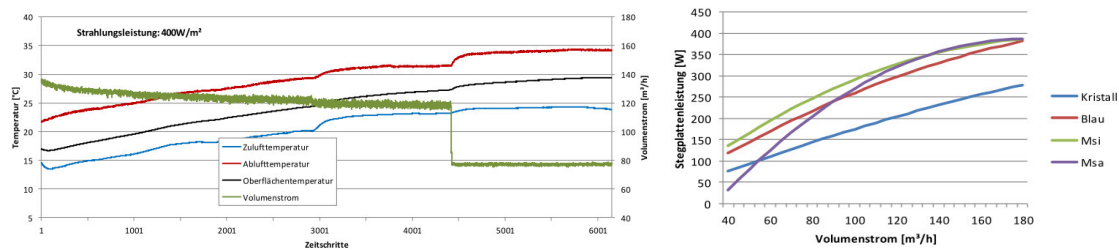


Abbildung 13: Prüfstandwerte für Temperaturdifferenz zwischen Luften- und Luftaustritt einer Makrosolar-PC-Platte (links) sowie daraus ermittelte Leistungen verschiedener Polycarbonat-Stegplatten (rechts) bei einer konstanten, horizontal auftreffenden Strahlungsleistung von 400 W/m^2 (Kristallklar: transluzente Standardvariante, Absorptionsgrad einer Schicht: $\alpha=0,05$, Blau: äußerste Stegplattenschicht ist blau ($\alpha=0,6$), MSI (Makrosolar innen): innere Schicht schwarz beschichtet ($\alpha=0,9$), Msa (Makrosolar außen): äußerste Schicht schwarz beschichtet); [Thu11]

Die Bekleidung mit PC-Platten wird für das Gebäudemodell des Gebäudeteils II anhand des Bauelementes der Außenwand überprüft. Als Varianten wird bei den Polycarbonat-Bekleidungen der Einfluss des Absorptionsgrades auf die Betonaktivierung, der Effekt einer Zuluftfassade sowie einer kombinierten Zu- und Abluftfassade untersucht.

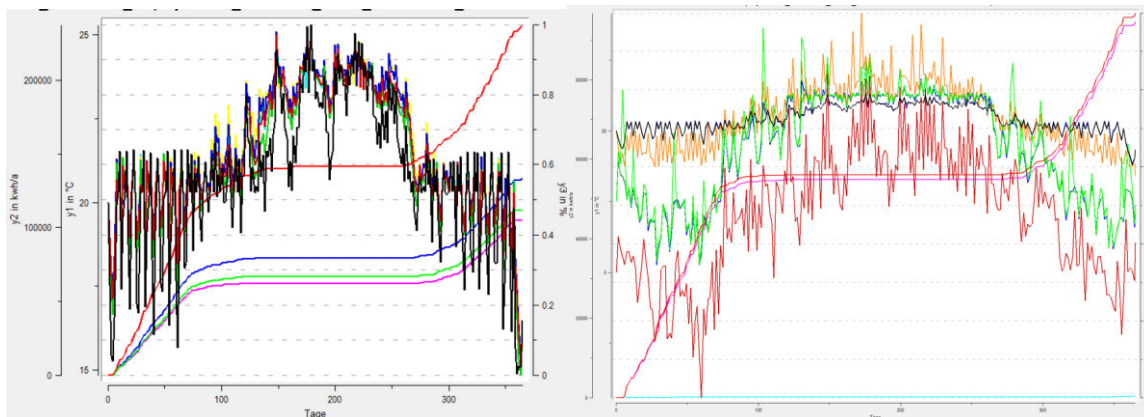


Abbildung 14: Jahressimulationen Heizenergiebedarf und Temperaturen in verschiedenen Zonen des Gebäudeteil II bei Bekleidung der Außenwände mit PC-Platten opal (U-Wert $=0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$, g-Wert $=0,41$, T-Wert $=0,7$); links zeigen die Kennlinien des Heizenergiebedarfes den Bestand (rot mit Absorption der Sichtbetonwände $\alpha = 0,4$) und jeweils den Einfluss des höheren Absorptionsgrades der PC-Platten (blau: $\alpha = 0,4$, grün: $\alpha = 0,5$, magenta: $\alpha = 0,6$); rechts zeigen die Kennlinien des Heizenergiebedarfes die ‚allseitige‘ Zuluftfassade (rot) und die Kombination einer Zuluftfassade mit einer Abluftfassade (magenta) [Delzer Kybernetik]

Die Varianten zeigen zunächst schon bei den statischen Modellen eine deutliche Reduktion des Heizenergiebedarfes durch die verbesserte Wärmedämmung und die Nutzung der solaren Gewinne. Der Einfluss der Solareinstrahlung auf den Beton steigert sich mit zunehmenden Absorptionsgrad: Pro 10 % höherer Absorption können ca. 2,5 % des Gesamtenergiebedarfes eingespart werden. Eine weitere Reduktion kann durch die Nutzung des Luftzwischenraumes erzielt werden, wenn

vorerwärmte Frischluft den Innenräumen zugeführt wird. Eine Entwärmung mit Betonaktivierung an einer nördlich orientierten Fassade ergibt nochmalige Einsparungen.

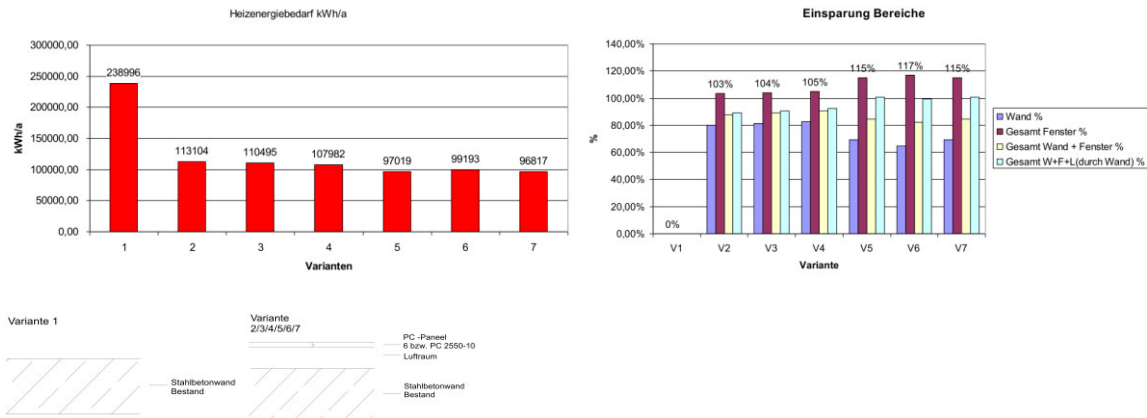


Abbildung 15: Jahressimulationen Heizenergiebedarf und Einsparungen mit V1 = Bestand, V2 / V3 / V4 = statische PC-Fassade mit Absorptionsgraden 0,4 / 0,5 / 0,6, V5 = allseitige Zuluftfassade (Absorptionsgrad 0,5), V6 = kombinierte Zu- und nördliche Abluftfassade (mit Ziegel), V7 = kombinierte Zu- und nördliche Abluftfassade (überall PC Bekleidung) [Delzer Kybernetik];

Der Vergleich der Einsparungen für das Bauteil Außenwand zeigt, dass mit der Verwendung von Polycarbonat-Platten mind. 80 % des Heizenergiebedarfes eingespart werden können. Dabei variiert der Einspareffekt bei den Wänden, die im Falle der Zuluftnutzung höhere Energieverluste aufweisen, die aber durch die Zulufterwärmung und Abluftentwärmung deutlich ausgeglichen werden. Im Falle der Abluftentwärmung muss für die weitere Betrachtung eine gewollte Kondensation durch entsprechende Aluminium Ableitprofile der nördlichen PC-Fassade entwickelt werden. Die solaren Gewinne können über die vorerwärmte Frischluft in die Klassenräume eingebracht werden und letztendlich aber auch aus der Abluft zurückgewonnen werden. Somit entfällt die Problematik der geplanten Kondensation z.B. mit einhergehenden Pflanzenwachstum auf Bauteiloberflächen oder Feuchte- und ggf. Korrosionsbelastung des Bestandsbetons, der damit aufwändiger saniert werden müsste. Die weitere Prüfung der Alterungsbeständigkeit (10 jährige Herstellergarantie gegen Bruch infolge von Bewitterung oder Hagelschlag sowie ‚übermäßigen‘ Verlust der Lichtdurchlässigkeit) sowie das Vorhandensein von Bisphenol A im Polycarbonat und dessen öffentliche Diskussion haben den Gebäudeeigentümer weitere Material- und Konzept-Alternativen betrachten lassen. Neben einem weiteren Kunststoffprodukt, dem auch als Stegplatten verfügbaren Acrylglas (Polymethylmethacrylat, „Plexiglas“) mit im Vergleich zum Polycarbonat deutlich verbesserter UV-Stabilität (Herstellergarantie bis 30 Jahre), stehen Profilbaugläser in Verbindung mit Einfachverglasungen als Materialien für eine Zuluftfassade zur Verfügung. Standardmäßig können Profilbaugläser transparent / transluzent als Einfachglas (U-Werte ca. 5,7 W/K m²) als zwei- oder mehrschalige Elemente (U-Werte ca. 2,8 W/K m² bis 1,1 W/K m²) sowie als zweischalige Elemente mit Einlagen aus transparenten Wärmedämmungen (U-Werte ca. 1,5 W/K m² bis 0,7 W/K m²) verbaut werden. Die folgende erste Abschätzung zeigt das Potential dieser Anwendung für die untersuchte Systemfassade.

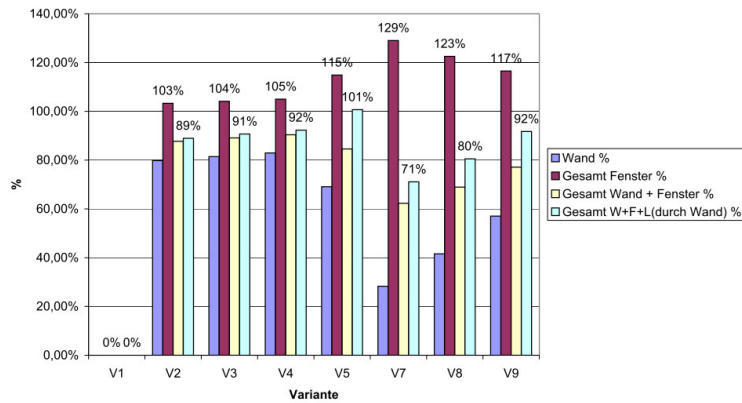


Abbildung 16: Sich aus der Jahressimulationen des Heizenergiebedarfs ergebende Einsparungen für das Bauteil Fassade; V1 = Bestand, V2 / V3 / V4 = statische PC-Fassade mit Absorptionsgraden 0,4 / 0,5 / 0,6, V5 = allseitige Zuluftfassade (Absorptionsgrad 0,5); V7 = Zuluftfassaden mit Profilbauglas einfach (U-Wert 5,7 W/m²K), V8 = Zuluftfassaden mit Profilbauglas zweischalig (U-Wert 2,8 W/m²K), V9 = Zuluftfassaden mit Profilbauglas zweischalig mit transparenter Wärmedämmung (U-Wert 1,2 W/m²K); [Delzer Kybernetik]

Es zeigt sich, dass ein angestrebter Zielwert des eingesparten Heizenergiebedarfes von mind. 80 % für die gesamte Fassade erst mit einer doppelschaligen Profilbauglasfassade (80 %) bzw. mit einer doppelschaligen Profilbauglasfassade mit integrierte transparenter Wärmedämmung erreicht werden kann. Weitere Möglichkeiten bestehen in der Applikation weiterer Schichten wie z.B. der Einsatz eines lichttechnischen Gewebes, mit dem eine weitere isolierende Luftschicht erzeugt werden kann. Um die solare Bauteilaktivierung aufrecht zu erhalten, können noch die Eigenschaften des Beton durch Applikation einer Innendämmung oder aber die Applikation einer weiteren, aktivierbaren Schicht als Massivholzplatte vorgenommen werden.

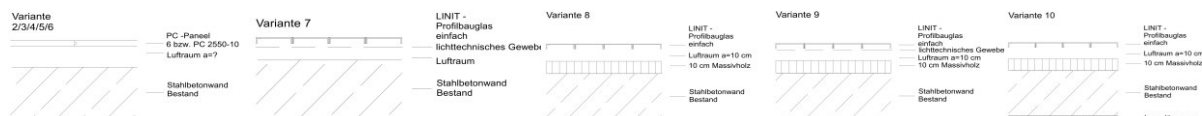
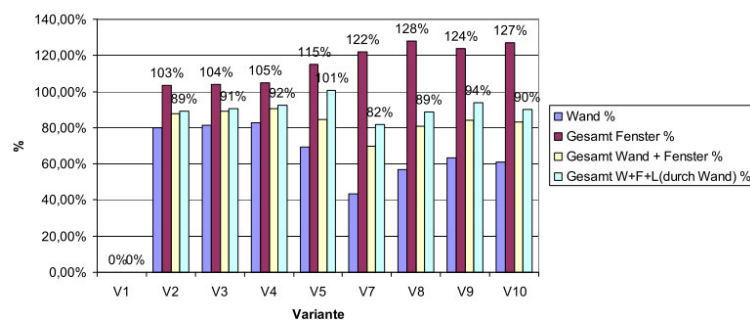


Abbildung 17 –Sich aus der Jahressimulationen des Heizenergiebedarfs ergebende Einsparungen für das Bauteil Fassade; Zuluftfassaden mit V7 = Profilbauglas einfach mit dahinterliegendem Lichttechnisches Gewebe, V8 = Profilbauglas mit 10 cm Massivholz auf der Stahlbetonaußenwand, V9 = Kombination der Varianten 7 und 8; V10 = Profilbauglas mit 5 cm Innendämmung der Stahlbetonaußenwand; [Delzer Kybernetik]

Eine Konstruktion mit im Vergleich geringem Aufwand stellt die Applikation der Massivholzplatte dar. Mit dieser wird über die Möglichkeit der solaren Bauteilaktivierung hinaus auch eine Schutzschicht auf die Betonoberflächen aufgebracht. Ästhetisch wird eine reizvolle Farbnuancierung erreicht.

Dabei müssen ab Werk garantierte Holzfeuchten (10-12 % +/- 2 %) sowie die Baustellenlogistik beachtet werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein späteres Trocknen der Massivholzelemente in der Zuluftfassade nur aufgrund der ab Werk vorhandenen Holzfeuchte ein deutliches Schwinden induziert (insbesondere Längenänderung senkrecht zur Plattenebene bis 0,24 % je % Holzfeuchteänderung). Um die Baukonstruktion / Unterkonstruktion der Zuluftfassade mit Glaselementen definieren zu können (Montage direkt auf die Holzelemente bzw. auf die darunterliegenden Betonwände), müssen hygrothermische Erkenntnisse gewonnen werden, um Formänderungen des Holzes abschätzen zu können. Weiterhin kann auf dieser Basis das Wechselspiel zwischen Kondensation und Austrocknung simuliert werden.

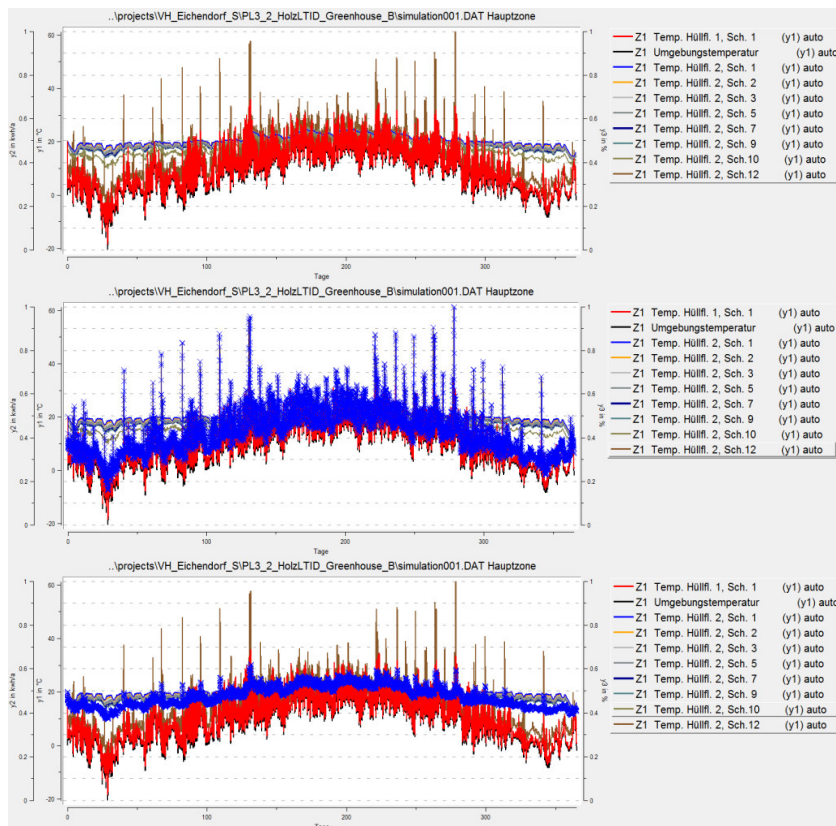


Abbildung 19: Temperaturverläufe der verschiedenen Schichten in der Zuluftfassade; **Oben:** rote Kurve = Temperaturen der Einfachverglasung; **Mitte:** blaue Kurve = Außenschicht Holz (äußeres 1/3); **Unten:** blaue Kurve = Innenschicht Holz (inneres 1/3) [Delzer Kybernetik]

Über die zu verzeichnenden maximalen Lufttemperaturspitzen von max. 60 °C legen die Temperaturverläufe der einzelnen Schichten geeignete Randbedingungen für eine Holz Trocknung nahe. Im Regelbetrieb gelangt nur Außenluft in den Fassadenraum zwischen Einfachverglasung und Holz. Da die Holztemperatur höher ist als die der Umgebungsflächen, wird eine Holz Trocknung stattfinden. Aufgrund der im Vergleich zum Holz niedrigeren Temperaturen der Einfachverglasung kann bei Systemstörungen davon ausgegangen werden, dass Kondensation an der Einfachverglasung stattfindet. Mögliche Systemstörungen wären unkontrollierte Undichtigkeiten der inneren Gebäudehülle – durch Fenstererneuerung mit luftdichter Montage ist dies zu vernachlässigen – oder aber Fehlbedienungen der inneren Fenster bzw. der Lüftungsklappen bei geschlossener Außenhülle Lüftung in den kalten Luftzwischenraum hinein. Mögliches Kondensat wird in der Regel an der Außenverglasung anfallen, so dass eine Fehlbedienung schnell erkannt wird und ebenso schnell korrigiert werden kann. Eine Gebrauchsanleitung der neuen Gebäudehülle soll hier den Nutzer unterstützen, dass solche Zusammenhänge verstanden werden. Die weiteren Simulationen zur

Darstellung der Feuchteverläufe umfassen die Vorgänge der Kapillarkondensation. Die ebenfalls stattfindenden Prozesse Dampfsorption und chemische Sorption können über die Kapillarkondensation hinaus abgeschätzt werden.

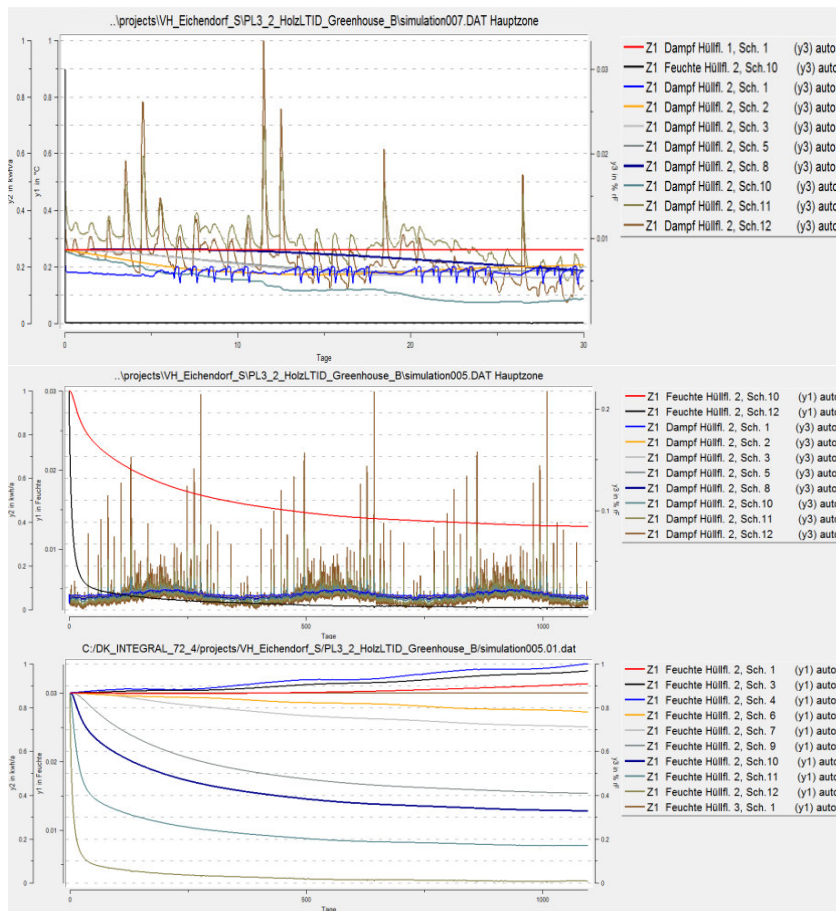


Abbildung 20: Feuchte- und Dampfverläufe in den verschiedenen Schichten der Fassade (Hüllfläche 2, Schichten 1-4 entspricht der bestehenden Betonwand; ab Hüllfläche 2, Schicht 5 wird die Massivholzplatte abgebildet); oben: Relative Feuchte während eines typischen Wintermonats; Mitte und Unten: Relative Feuchte (rechte Hochachse, 1 = 100 %) sowie Bauteilfeuchte (linke Hochachse; Wasseranteil im Porenvolumen, das maximal vom Material aufgenommen werden kann) [Delzer Kybernetik]

Die Darstellungen verdeutlichen die Austrocknung der Holzkonstruktion über die Jahre. Die Dampfspitzen der Holzkonstruktion resultieren aus der durch Sonneneinstrahlung und Temperaturerhöhung ausgelösten Verdampfung von im Holz angelagertem Wasser. Das Holz trocknet kontinuierlich. Die sich nach dieser Austrocknungsphase einstellenden Feuchteschwankungen im Holz sind gering. Dies bedingt auch die Bestandwand, da im dichten Betongefüge Feuchte nur langsam nach außen transportiert wird. Somit bestimmen eher die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf Längenänderungen des Holzes. Die Bauteilfeuchte der inneren Betonschichten nimmt zunächst bis zum Gleichgewichtszustand zu (zusätzliches Dampfdruckgefälle vom Holz nach innen in den kühleren Beton), bevor auch eine langsame Austrocknung der Betonwand infolge der Holz Trocknung erfolgen kann. Insgesamt wird die Feuchtebelastung der Betonwand deutlich geringer als bei Schlagregenexposition sein.

Direkte Feuchteeinwirkungen aus Witterungseinflüssen können während Transport und Montage nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Montagen sind auf die Witterungsbedingungen abzustellen, so dass sich nur eine kurzfristige Befeuchtung ergeben kann. Bei trockenen Hölzern führt dies nur zu unerheblich höheren Holzfeuchten, weil die Wasseraufnahme nur langsam erfolgt und auf die Bauteiloberfläche begrenzt bleibt. Weiterhin müssen aufgrund der gewünschten Sichtoberflächen

und der zeitlich aufwändigen Herstellung der Glasfassaden temporäre Feuchteschutzmaßnahmen ergriffen und sorgfältig geplant werden. Falls nicht ohnehin ein Schutzdach zur Ausführung kommt, sind reversible, zu unterhaltende und zu vergütende Folienabdeckungen vorzusehen. Falls doch lokal begrenzte Feuchteinträge auftreten, können diese vor Schließen der Glasfassaden ggf. aus optischen Gründen nochmals verschliffen werden.

b. Idealerweise werden während der Unterrichtszeiten thermischer Komfort und Raumlufthygiene Vorrang vor möglichen Energieeinsparungen haben. Besondere Aufmerksamkeit sollte der CO₂-Raumlufth-Konzentration gelten: Insbesondere während der Unterrichtszeiten, da mit immer längeren Aufenthaltszeiten in Gebäuden Raumlufthygiene und Gesundheit, aber auch Lern- und Sozialverhalten in einen Zusammenhang gesetzt werden muss. Hygienisch bedenkliche Raumlufth-Zusammensetzungen bedingen zunehmende Ermüdungserscheinungen, deren Symptome von Aufmerksamkeits-, Wahrnehmungsstörungen, Störungen der Koordination zwischen Auge und Hand bis hin zu veränderten sozialen Verhalten reichen [Unf08]. In einer Studie des Instituts für interdisziplinäre Schulforschung (ISF) konnten Korrelationen zwischen CO₂-Konzentration der Raumlufth und Herzfrequenz als Ausdruck der physischen Beanspruchung festgestellt werden. Mit verbesserter Raumlufthqualität konnte bei ca. zwei Drittel der Probanden eine Reduzierung der mittleren Herzfrequenz verzeichnet werden [Tie08]. In der Fülle der möglichen Luftschadstoffe von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) über mikrobiologisch erzeugte organische Verbindungen (MVOC) bis Feinstaub kann der CO₂-Gehalt der Raumlufth als Indikator der Raumlufthqualität dienen. Besonders bei kleinen Raumvolumina mit ungenügender Frischluftzufuhr und großer Anzahl an aktiven Menschen verschlechtert sich die Raumlufthqualität in kurzer Zeit signifikant. Im Allgemeinen gelten seit Pettenkofer Belastungen der Innenraumlufth unter 1000 ppm CO₂ als hygienisch unbedenklich (*DIN EN 15251 2007; DIN 1946-6 2009, Berufsgenossenschaften*), zwischen 1000 und 2000 ppm CO₂ als hygienisch auffällig, über 2000 ppm CO₂ als hygienisch inakzeptabel.

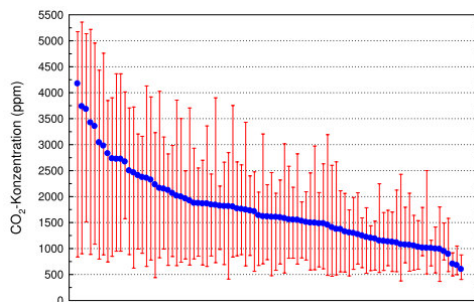


Abbildung 21: Mediane Kohlendioxidgehalte, Minima und Maxima in den einzelnen Klassenräumen in der Wintermessperiode, aus: Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität [Fro06]

Die Untersuchung ‚Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität‘ an Münchner und Dachauer Schulen offenbarte drastische Belege für bedenkliche Raumlufthqualitäten: „Die medianen CO₂-Innenraumlufthgehalte der Klassenräume bewegten sich in einem Bereich von 598 bis 4172 ppm (Winter) bzw. von 480 bis 1875 ppm (Sommer). Insgesamt ergab sich in der Sommermessperiode ein erheblich niedrigeres Belastungsniveau. Während in der Wintermessperiode die Tagesmediane in 92 % der Klassenräume 1.000 ppm überschritten, waren es im Sommer lediglich 28 %. Noch deutlicher ist die Reduktion bei den Werten über 1500 ppm. Im Winter lagen noch 60% der Tagesmediane über diesem Wert, im Sommer aber nur noch 9%.“ [Fromme et al., 2006]

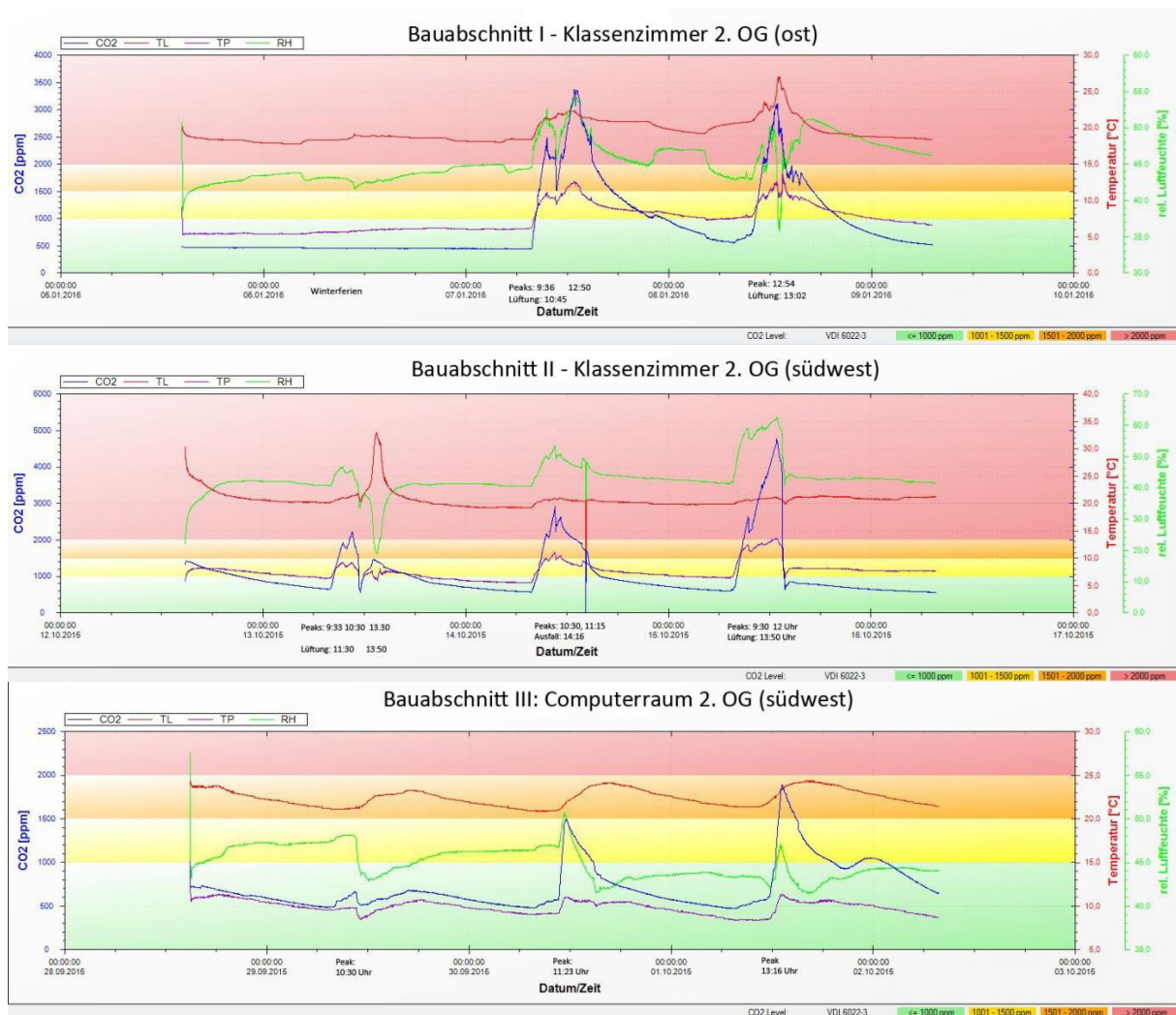


Abbildung 22: Exemplarische Datenloggeraufzeichnungen Kohlendioxid, Temperatur, Luftfeuchte [Speth, J., Klimaschutzmanagement Gemeinde Veitshöchheim]

Ein ähnliches Wertespektrum belegen exemplarisch die Messungen in den einzelnen Gebäudeteilen der Eichendorffschule. Selbst ein Spitzenwert von fast 5.000 ppm CO₂ konnte verzeichnet werden. Es wird deutlich, dass bei manueller, vom Nutzer abhängiger, natürlicher Lüftung eine gute Raumluftqualität in den Schulräumen oft nicht erzielt wird. Hinzu kommt die sich schnell einstellende Unbehaglichkeit von Fensterlüftungen bei kalten Außentemperaturen. Daher soll ein teilautomatisierter Luftwechsel etabliert werden, in den Klassenräumen müssen lediglich die Oberlichter zur Zuluffassade bedient werden. Die einzelnen Elemente Fassade bis Überströmung werden auf einen personenbezogenen Luftwechsel von ca. 25 m³/h x Person (ca. 500 m³/h x Klassenraum) ausgelegt. Dies entspricht einem mittlerem Luftwechsel, der in mehreren Praxisprojekten mit maschinellen Lüftungsanlagen umgesetzt wurde.

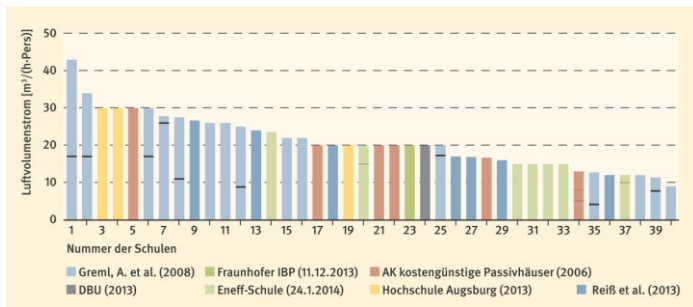


Abbildung 23: In Demonstrations- und Praxisprojekten in Deutschland und Österreich umgesetzte Luftmengen bei Gebäuden mit mechanischen Lüftungsanlagen [Hac14]

Die folgenden Darstellungen verdeutlichen den Weg der solar vorerwärmten Frisch- / Zuluft exemplarisch durch das Gebäude, wenn nun keine Aktivierung der rückwärtigen Außenwände mit den oben diskutierten Problemen erfolgt, sondern eine möglichst thermisch angetriebene Luftströmung geschaffen wird. Im Idealfall kann das System ebenso eine Nachtauskühlung, aber auch eine sommerliche Lüftung mit Luft aus den kühleren Gebäudebereichen leisten.

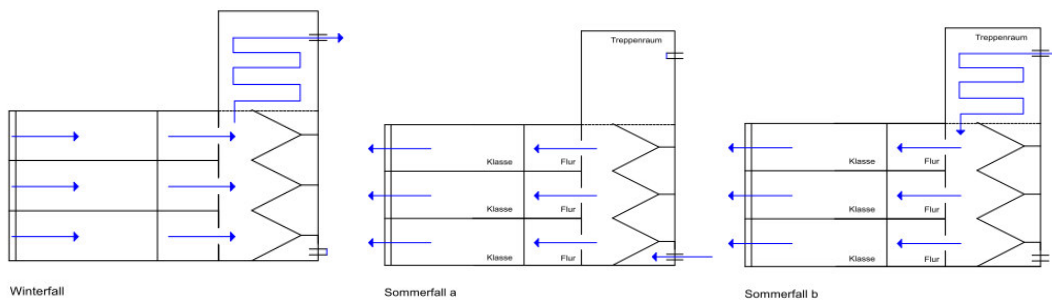


Abbildung 24: Prinzipskizzen einer thermisch angetriebenen Luftströmung im Winter und Sommer [Architekten Keß und König]

Im Gebäudemodell werden die sowieso vorhandenen Strukturen der Flure und der Treppenträume durch Überströmung genutzt. Überströmelemente müssen insbesondere von den Klassenräumen zu den Fluren Schallschutz- und Brandschutzanforderungen erfüllen. Gleiches gilt für die Treppenträume, in denen auch die Anlage von definierten Kaminen möglich ist. Die Thermik wird durch neu aufzusetzende Dachreiter auf den bestehenden Treppenträumen geschaffen. Durch den Temperaturunterschied und die Steighöhe ergibt sich der Auftrieb für eine freie Lüftung.

Bereich	Kurzbeschreibung	T-Raum	T-Umg	Höhen- unter- schied m	Dichte bei 300Kev n kg/m³	Dichte TR	Dichte TU	dRoh in kg/m³	dp in Pascal	Strö- mungs- beiwert Spalte 1 bis 5	Geschwindig- keit m/s
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	15	5	1,25	1,2794	1,3016	-0,022205	-1,089134	6	0,54
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	10	5	1,25	1,2794	1,3246	-0,045193	-2,216739	6	0,77
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	5	5	1,25	1,2794	1,3484	-0,069009	-3,384891	6	0,95
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	0	5	1,25	1,2794	1,3731	-0,093697	-4,595817	6	1,11
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	-5	5	1,25	1,2794	1,3987	-0,119305	-5,85191	6	1,25
III2.e	Wirksame Höhe Winter	20	-10	5	1,25	1,2794	1,4253	-0,145887	-7,155745	6	1,38

Abbildung 25: Überschlägige Berechnung Druckdifferenzen und Luftgeschwindigkeiten [Delzer Kybernetik]

Die überschlägige Betrachtung belegt prinzipiell eine ausreichende Druckdifferenz bei vorhandenen Widerständen (siehe summierter Strömungsbeiwert). Um im Fassadenbereich Winter- und Sommerfall abbilden zu können, müssen eindeutige Durchströmungen der Fassade vorgezeichnet werden. Die Klassenräume erhalten im Prinzip eine Kastenfenster-Fassade.

Die inneren Fenster werden konventionell gebaut. Je Klassenraum werden 2 Stulpfenster mit einem Kippflügel-Oberlicht ausgestattet. Insgesamt wird eine einfach verglaste Pfosten-Riegel-Fassade vorgesetzt, die ihre Zuluft am Fußpunkt erhält. Im Bereich der offenen inneren Fenster werden ebenfalls offene Lamellenfenster angeordnet, um den Bezug nach außen weiterhin wahren zu können. Die Kippoberlichter werden mit den Lamellenfenstern über einen nach oben offenen Blechkanal verbunden.

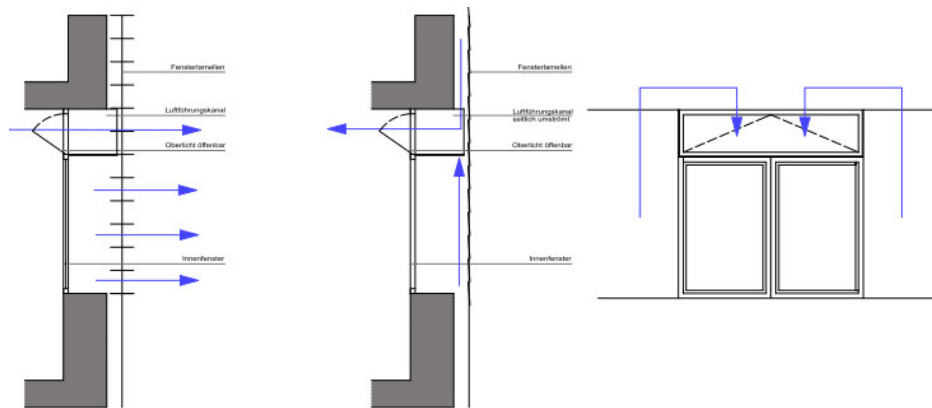


Abbildung 27: Prinzipskizzen der Luftströmung in der Fassade im Winter und Sommer über halbgeschlossenen Luftleitkanal; links: Sommerfall; Mitte und rechts: Winterfall in Schnitt und Ansicht [Architekten Keß und König]

Im Winter steigt solar erwärmte Luft im Luftraum der Fassade nach oben und wird möglichst an der höchsten Stelle via Luftleitkanal und Oberlicht dem Klassenraum zugeführt. Wesentlich sind hierbei geschlossene äußere Lamellen. Eine Nacherwärmung erfolgt über die Bestands-Heizkörper im Fensterbereich. Im Sommer muss die Fassade sowohl entwärmt werden als auch eine geometrisch kontrollierte Luftabfuhr aus den Klassenräumen gewährleisten. Durch die Lamellenöffnung wird der untere Ringspalt zwischen Luftkanal und Zuluftfassade möglichst weit geschlossen, so dass die Bypass-Luftströmung ab Kippoberlicht im Prinzip auf die Bautoleranzen beschränkt wird. Die Fortluftströmung via Kippoberlicht wird geometrisch gefasst und optimiert. Die Wärme der Abluft wird in den ‚Lüftungszentralen‘ der Dachreiter auf den Treppenräumen zurückgewonnen. Prinzipiell können somit Bereiche, die keine optimal ausgerichteten Fassaden für solare Frischluftherwärmung aufweisen, vernetzt werden. Die geplante Erweiterung des Gebäudeteils 2 mit einem Neubau für die außerschulische Hortbetreuung oder rückwärtige Raumfolgen im Gebäudeteil 1 verwerten gewissermaßen diese Wärmegewinne nochmals. Als Modell wird ein direkter Wärmetransfer in einem unsymmetrischen Kanalwärmetauscher oder ggf. in der Vorwärmestrecke einer nun kontrollierten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verfolgt.

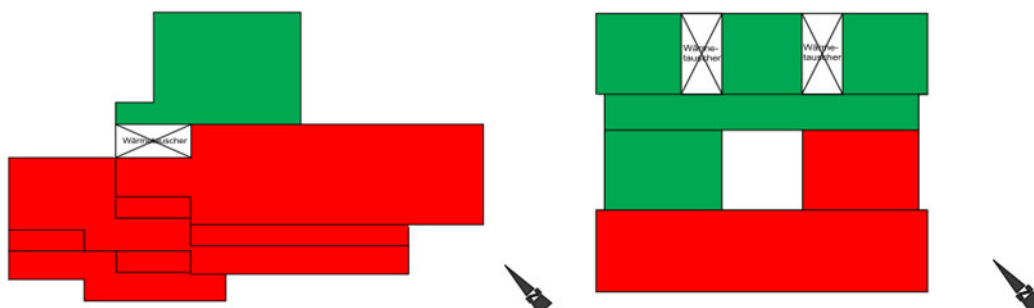


Abbildung 28: Grundrisse Gebäudeteile 1 und 2, Vernetzung solar günstig orientierter mit ‚rückwärtigen‘ Raumfolgen [Architekten Keß und König]

Im Sommerfall kann die Luftführung in den Treppenräumen umgedreht werden. Hier dient der Treppenraum als Sammel- und Verteilzone für die Frischluft aus kühleren Gebäudeabschnitten, Kombinationen mit einem Luftbrunnen oder mit einer vorgeschalteten adiabaten Kühlung sind möglich.

c. Die sommerliche Überhitzung stellt bereits heute einen erheblichen Mangel in allen Gebäudeteilen dar. Raumtemperaturmessungen bei sommerlichen Außentemperaturen belegen dies.

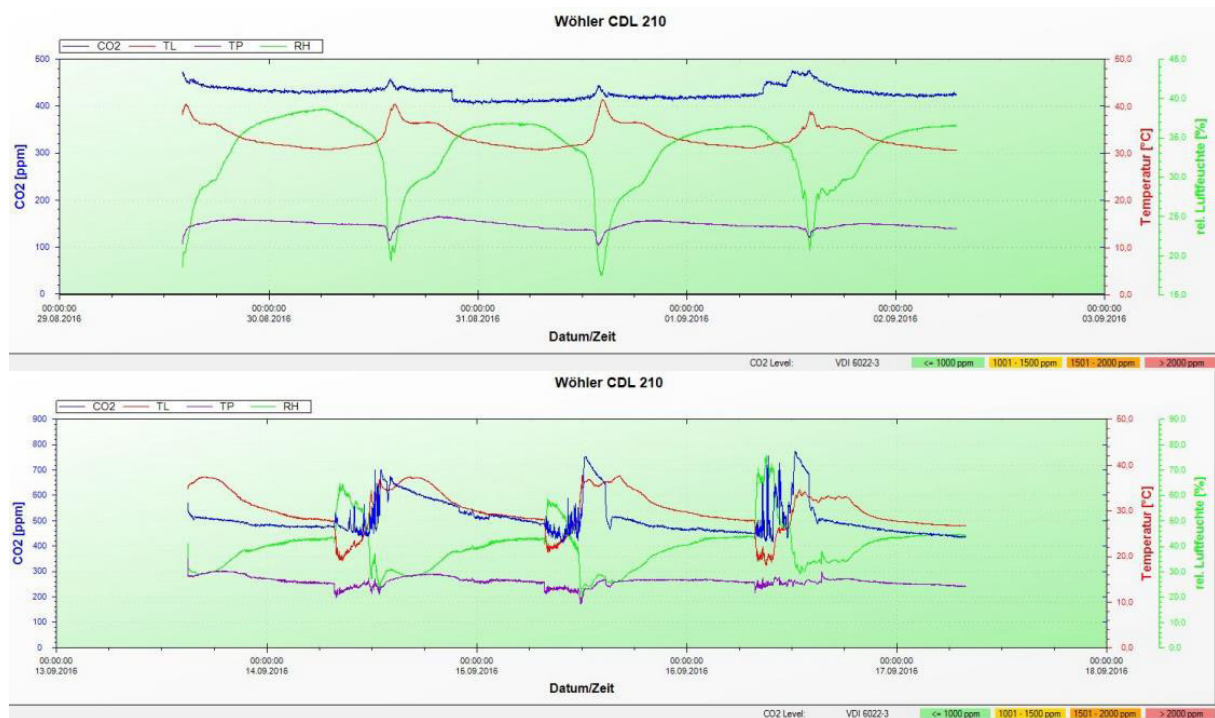


Abbildung 29: Exemplarische Datenloggeraufzeichnungen der Raumtemperatur zur Darstellung der sommerlichen Überhitzung z.B. für einen südwestorientierten Klassenraum im Gebäudeteil 3 bei sommerlichen Außentemperaturen um die 30 °C; oben: Messung in den Ferien ohne Schüler; unten: Messung zu Schuljahresbeginn [Speth, J., Klimaschutzmanagement Gemeinde Veitshöchheim]

Das vorgestellte System kann eine effiziente Nachauskühlung leisten. Unter Berücksichtigung des thermischen Auftriebes (ohne Winddruck, gleiches System wie im Winterfall) wird folgende Kühlleistung pro Klassenraum überschlägig ermittelt.

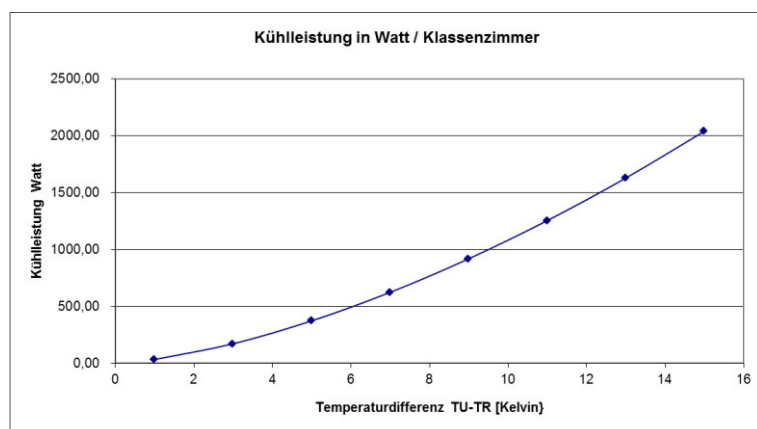


Abbildung 30: Kühlleistung in Abhängigkeit des Temperaturunterschieds der Umgebung (T_u) und des Klassenraums (T_r) [Delzer Kybernetik]

Der sommerliche Wärmeschutz wurde exemplarisch anhand der extrem orientierten Klassenräume für Gebäudeteil 2 untersucht. Hierbei wird eine Querlüftungsmöglichkeit entweder über die Südwest-Nordost Richtung bzw. Südwestfassade-Südwest Sheds berücksichtigt. Die Integration in das oben dargestellte Schacht-Lüftungssystem dient der weiteren Verbesserung der Behaglichkeit. Grundlagen zur Ermittlung der Übertemperaturgradstunden eines Nichtwohngebäude in der Klimazone B mit Behaglichkeitsgrenze 26 °C sind: Die im Zwischenraum der Fassade befindlichen Raffstoren gewährleisten durch ihre Wetterunabhängigkeit immer einen Sonnenschutz. Bei Raumnutzung wird eine optimale Einstellung zwischen Blendfreiheit und maximalen Tageslichttransport gefunden (z.B. über die Steuerungsautomatik), bei nicht belegten Räumen können die Raffstoren komplett geschlossen sein. Tagsüber kann eine Querlüftung über Öffnung der Lamellenfenster und der gegenüberliegenden Shedfenster erzielt werden. Nachts wird nur über die Lamellenfenster der Fassade gelüftet. In der dynamische Simulation wurden die angrenzenden Bauteile eines Klassenraum variiert: Bodenplatte, Dach und Decke als Raumabschluss.

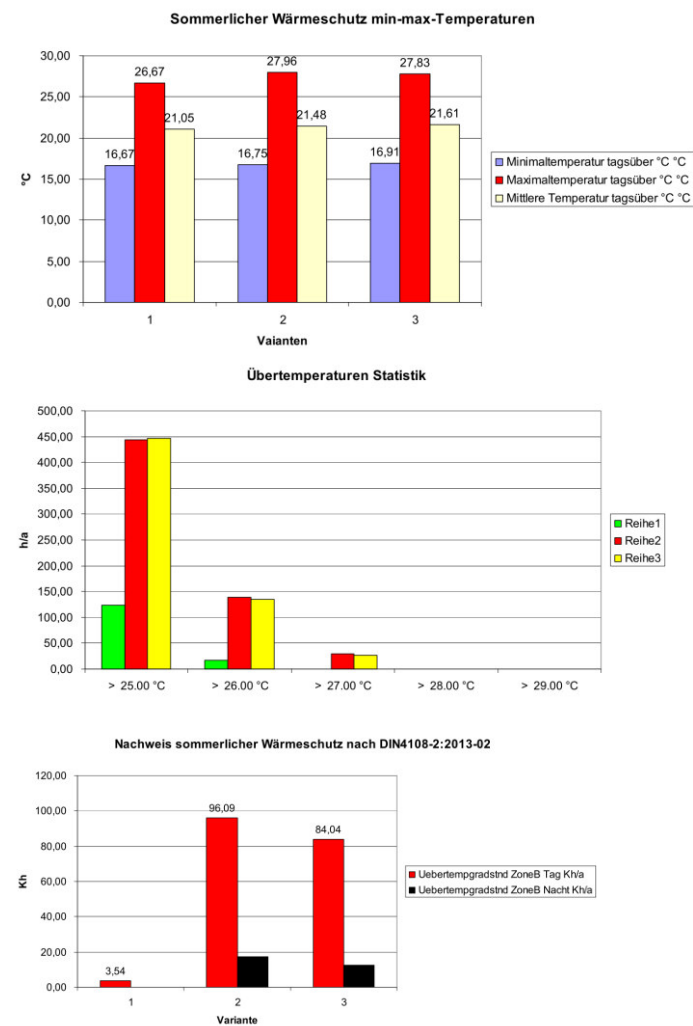


Abbildung 31: Sommerlicher Wärmeschutz mit Variante 1 (Klassenzimmer grenzt an Bodenplatte und Dachfläche), Variante 2 (Klassenzimmer grenzt an unteres Geschoss und Dach), Variante 3 (Klassenzimmer liegt mit zwei Decken zwischen zwei Geschossen); oben: Sich ergebende Temperaturen, Mitte: Temperaturenstatistik; unten: Übertemperaturgradstunden [Delzer Kybernetik]

Der Vorteil des untersten Geschosses wird in der statistischen Auswertung deutlich. Klassenräume in Mittelgeschossen oder mit direktem Dachabschluss gleichen sich. Die normgemäß zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh werden bei allen Varianten unterschritten.

d. Der Gebäudeteil 3 eignet sich, die vorgenannten Prinzipien für die Schüler zu illustrieren und bauliche Synergien transparent darzustellen. Als Lüftungszentrale wird ein Gewächshaus geplant, in dem der Gedanke des Schulgartens als roof top gardening im Unterricht anschaulich vertieft werden kann. In den Übergangszeiten und ggf. im Winter können durch die direkte Abwärmenutzung weiterhin Erträge generiert werden, während im Sommer die Pflanzen bzw. die nötige Bewässerung für eine adiabate Kühlung genutzt werden können. Eine Kombination aus konventionellen und vertikalen Pflanzenanbau wird nötig sein, um die erforderliche Pflanzenzahl zu erhalten, ebenso müssen automatisierte geschlossene Wasserkreisläufe eingerichtet werden.

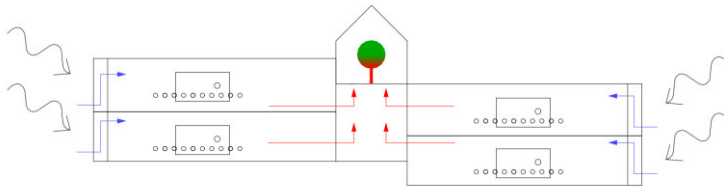


Abbildung 32: Eichendorffsgarten (Lüftungszentrale mit Abwärmenutzung) auf dem Gebäudeteil 3 [Architekten Keß und König]

In den solaren Zuluftfassaden wird die Verschattung der inneren Fenster durch Raffstoreanlagen gewährleistet. Diese werden im Automatikbetrieb dem Sonnenstand entsprechend nachgeführt, so dass die natürliche Belichtung bzw. die Verschattung optimiert wird. Im Gebäudeteil 3 sollten die massiven Außenstützen mit den Unterzügen in die Gebäudehülle integriert werden. Dadurch wird die Fassade in diesen Bereich ca. 1 m nach außen erweitert und die Tageslichtnutzung verschlechtert. Daher wurde die Tageslichtstrategie intensiver betrachtet. Die Lichtverhältnisse, also eine ausreichende Helligkeit in Innenräumen kann über den Tageslichtquotienten (Verhältnis der Beleuchtungsstärke in einem Punkt einer gegebenen Ebene im Raum, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichteverteilung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei unverbaute Himmelskugel) beschrieben werden.

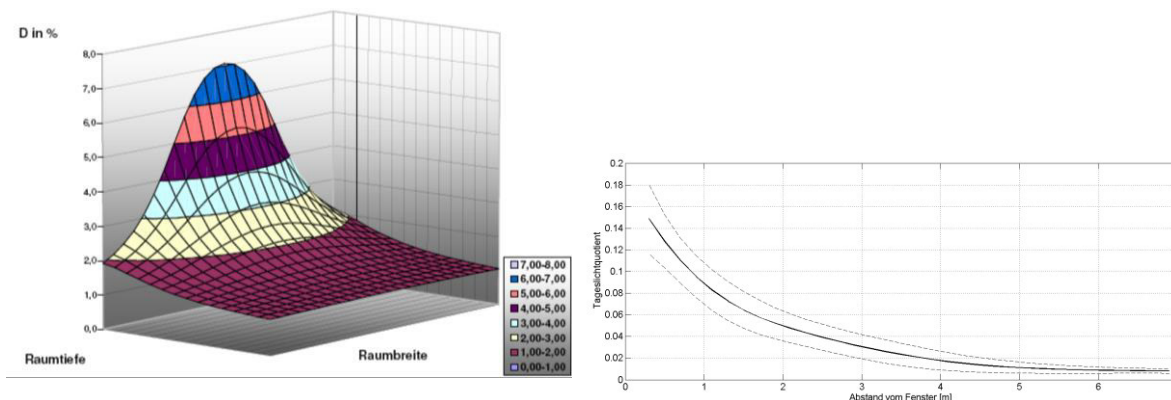
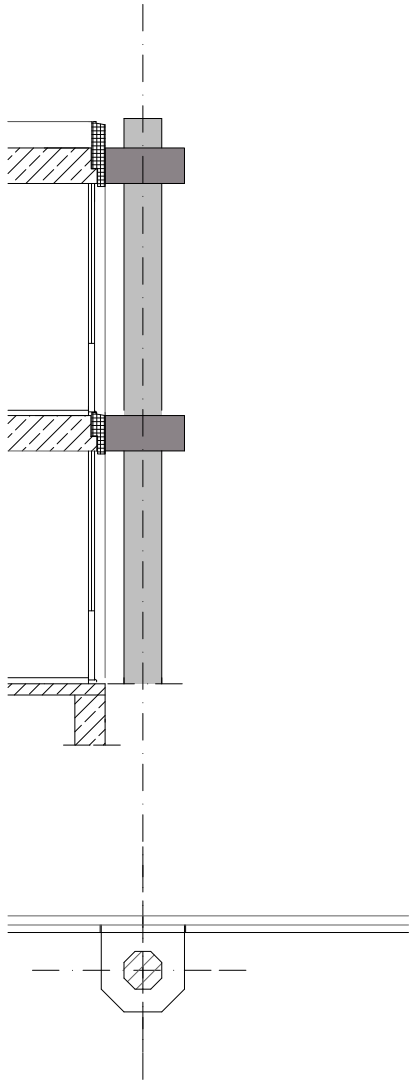


Abbildung 33: Qualitative Darstellungen des Tageslichtquotienten links: Rasterfarbgrafik für Seitenfensterbeleuchtung [Scho07]; rechts: Charakteristik des Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des Abstands vom Fenster [Mev12]

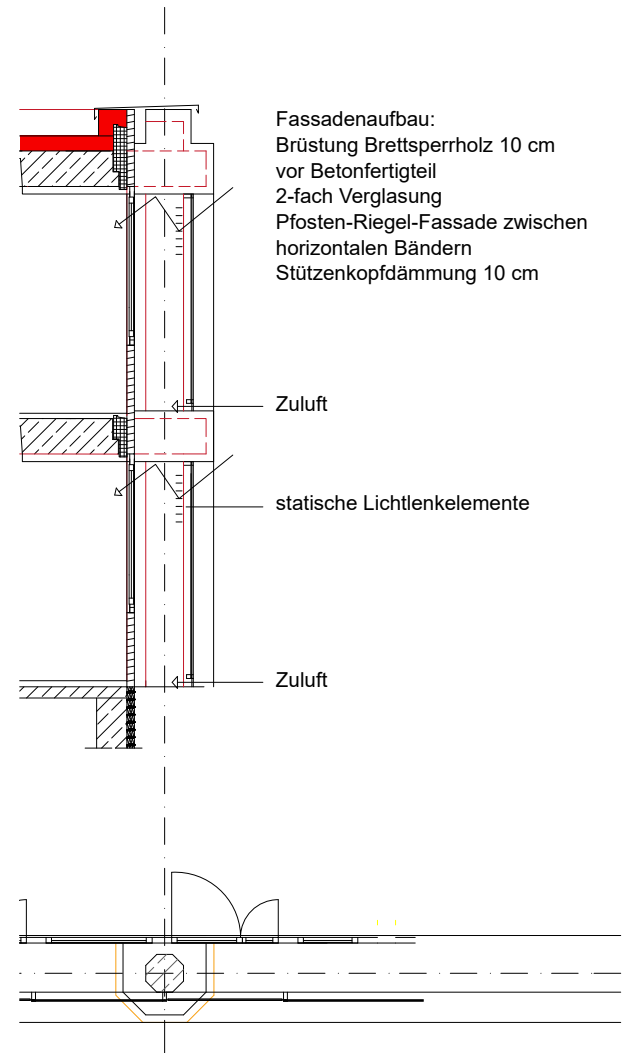
Es ist ersichtlich, dass der ausreichend mit Tageslicht versorgte Arbeitsbereich exponentiell in die Raumtiefe bei Seitenfenstern abnimmt. Daher werden im Gebäudeteil 3 im Fassadenzwischenraum feststehende Lichtlenklamellen eingesetzt, die optimiert nach Himmelsrichtung eine Lichtlenkung in die Raumtiefe erlauben. Die vorhandene Decke wird außenwandseitig entsprechend mit reflektierendem Material überformt, damit eine gleichmäßige Raumausleuchtung erzeugt wird.

Fassadenschnitt Bestand



Grundriss Bestand

Fassadenschnitt Neu



Grundriss Neu

In einer weiteren dynamischen Simulation wurde das Optimierung-Potential bei der Tageslichtnutzung untersucht. Entscheidend ist bei Schulräumen mit Seitenfenstern und parallel dazu angeordneten Leuchtenbändern eine tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung. Dabei werden je nach verfügbarem Tageslicht die Leuchtenreihen zur Fensterfront entsprechend gedimmt, um die Einsparung elektrischer Energie zu maximieren. Variiert wurde der Regelbereich des Kunstlichtes sowie Konstruktion und Verschattungs- bzw. Lichtlenklamellen.

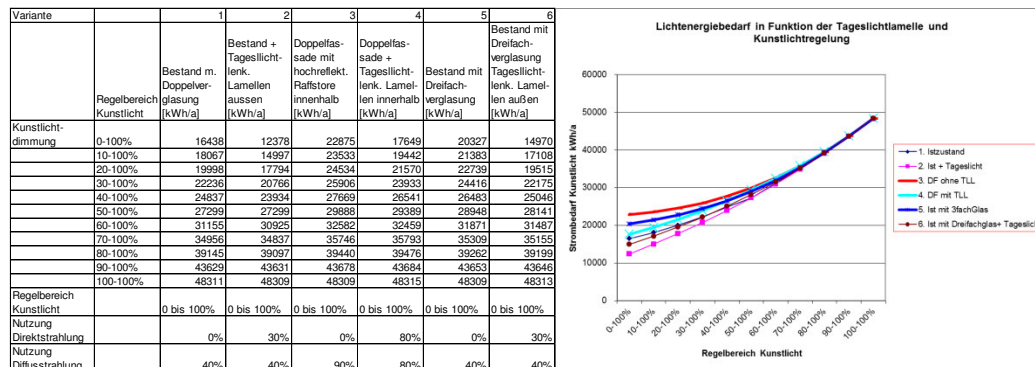


Abbildung 35: Strombedarf künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit der eingesetzten Verschattungstechnik und des möglichen Regelbereiches des Kunstlichtes bei einer Beleuchtungsstärke von 500 lux [Delzer Kybernetik]

Entscheidend für die Wirksamkeit der Tageslichtlamellen ist die Regelbarkeit des Kunstlichtes. Je geringer der Regelbereich bei der Kunstlichtregelung ist, desto höher entwickelt sich der Strombedarf für die Beleuchtung und der Einfluss der Tageslichtlamellen schwindet. Die Sanierungsvariante Doppelfassade mit Lichtlenklamellen reicht unter den oben genannten Voraussetzungen an die ungestörte Bestandsvariante im elektrischen Energiebedarf heran. Hierbei wurde die Abschattung durch die außenliegenden Stützen nicht berücksichtigt. Konstruktiv können im Falle der Doppelfassade die Tageslichtlamellen sogar direkt innerhalb der äußeren Verglasung ausgebildet werden, so dass die Abschattung durch das Außenskelett vermieden werden kann. Die Ausleuchtung des Raumes wird gleichmäßiger. Die Varianten mit außenliegenden, frei bewitterten Lichtlenklamellen sind konstruktiv kritisch zu bewerten, da diese Systeme verschmutzen und durch Wind belastet werden, so dass erhöhte Wartungs- und Sanierungskosten anfallen können.

3. Kosten, Energie –Rentabilität, Unterhalt

a. Für die beiden Gebäudeteile 1 und 3 wurden weitere Varianten simuliert und auf Basis der Grundannahmen Optimierungen vorgenommen, um den nötigen Sanierungsumfang mit Zielrichtung einer mindestens 80 prozentige Heizenergieeinsparung definieren zu können. Während im Gebäudeteile 2 und 3 im Prinzip die oben erläuterte Fassadenkonstruktion aus Massivholz vor Betonbauteilen mit einem transparenten Wetterschutz aus Einfachglas bzw. Profilbauglas verfolgt wird, wird in Gebäudeteil 1 in den geschlossenen Wandabschnitten aufgrund der Gebäudestruktur eine Putzfassade als Zuluftfassade mit einer Gebäudedämmung eingesetzt.

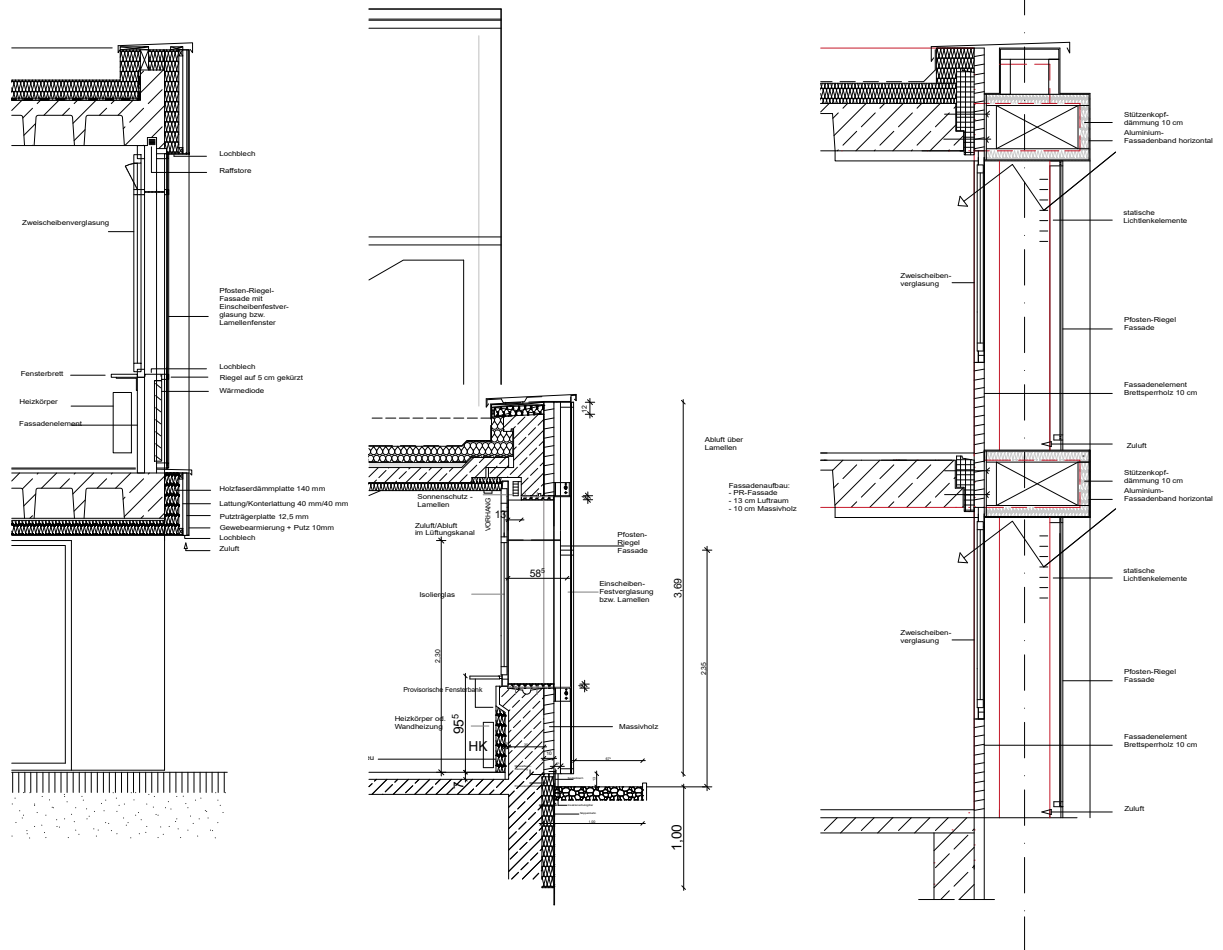


Abbildung 36: Zuluffassade im Gebäudeteil 1 (links), Gebäudeteil 2 (Mitte) und Gebäudeteil 3 (rechts) [Architekten Keß und König]

Bei beiden Gebäudeteilen wurden sukzessive Bauteilaufbauten sowie Lüftungsparameter variiert, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8
	Istzustand / Dach 100mm Iso	V1 +Wände200mm Porenbeton WLG13+ Fenster 0,6 W/m²K# kontrollierte Lüftung	V2+ (wie Variante 2 plus) Dachisolierung auf 300mm	V3+WRG85 %	V4+ Wand Mineralschau- m-stein WLG045 (Lambda 0,045W/mK)	V5+ in F+W- Wandflächen	V6+Wand 140mm MSS+Vorhan- g-Putzfassade	V8=V7+ Wand 140mm MSS+Vorhang- Putzfassade mit Zuluft über Vorhang Putzfassade
Einheit								
kWh/a	55102,34	44163,60	43471,49	18467,62	18584,73	18585,05	18571,56	13806,75
kWh/a	40720,32	15969,12	16046,61	16123,72	7619,17	7620,22	10977,86	11007,94
kWh/a	35384,46	38550,47	12175,2	12077,8	12148,38	12149,95	12084,53	12112,38
kWh/a	39245,12	39916,29	38980,66	38890,2	38566,09	38572,71	39115,05	39354,57
kWh/a	169080,24	37424,31	37140,83	37317,3	37185,94	37188,75	37453,71	37590,63
kWh/a	87197,91	49630,40	45182,8	43131,15	41566,95	41565,94	42860,22	42839,85
kWh/a	40072,57	36870,07	35301,67	34312,05	33622,52	33621,13	34117,35	34104,51
kWh/a	205408,79	85662,53	63681,79	41444,98	35052,31	35068,53	37175,66	32846,24

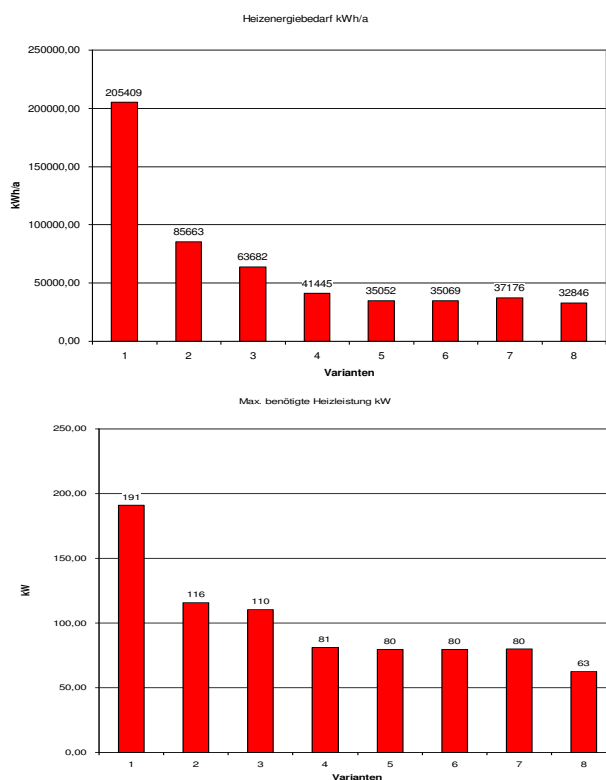


Abbildung 37: Optimierungsvarianten Gebäudeteil 1, oben: Variantenübersicht mit den entsprechenden Bauteilbilanzen; Mitte: Heizenergiebedarf; Unten: Heizleistung [Delzer Kybernetik]

Die Ergebnisse verdeutlichen den positiven Einfluss einer im Fassadenbereich solar erwärmten Zuluft. Selbst eine nicht transparente, hinterlüftete Putzfassade kann signifikante Einsparungen im Heizenergiebedarf generieren.

	Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bezeichnung	Einheit	HZ1 = Istzustand , 200 Personen	HZ2 = HZ1 aber 300 Personen	V3 = V2 Dach + 20cm Isolierung WLG04, Wände 100 mm Holz, Fenster glas 1,1W/m²K, unkontrollierte Luftwechsel halbiert 0,1 / 0,05	V4 = V3 mit Linit über die Gesamtfassade	V5 = V4 mit Zuluft über die Doppelfassade	V6 = V5 ohne Dachisolierung aber mit Erdreich	V7 = V6 mit Dachgarten Aufbau Gesamt Hostaf- lonfolie 3 fach	V8 = V7 mit Zuluft über hinterlüfteter Fassade WRG50	V9 = V8 DG ohne 20cm Iso.	V10 = V9 dafür 500mm Erdreich+W RG50	V11=V10 + Fenster Dreifachglas 0,8Wh/mmm²K, WRG85%, Bodenplatten- Isolierung 5 cm WLG035
Lüftungs-verluste	kWh/a	62301,09	73017,33	65503,80	64717,41	42621,37	41935,24	42929,51	28266,15	33515,18	31103,71	15025,65
Wand-verluste	kWh/a	67478,97	67601,01	31975,72	22745,69	24214,65	23730,51	24238,57	24468,53	24526,12	24060,03	25602,96
Dach-verluste	kWh/a	42228,23	42282,07	15135,37	15354,16	15440,75	46927,77	21961,01	24117,39	19368,13	13805,49	16971,36
Erdreich-verluste	kWh/a	58305,94	57679,41	61246,47	55975,91	55710,62	55467,43	55750,36	56294,19	55697,71	53546,49	26832,04
Fenster-verluste	kWh/a	151221,78	151293,63	72433,34	48115,99	50303,08	49638,31	46695,19	47332,91	46748,69	44731,32	33430,18
Solare Gewinne	kWh/a	36169,85	35175,21	29110,33	32711,28	31524,30	32809,88	20000,26	19834,72	19424,49	17862,43	12512,61
Interne Gewinne	kWh/a	58731,56	69680,94	67855,29	60856,47	59880,51	61039,24	61273,07	61021,82	60573,16	58856,57	52963,42
Heiz-energie- bedarf	kWh/a	284230,50	284308,88	147183,50	110201,99	93630,32	120515,05	106761,60	96043,36	96735,46	87419,55	50008,75

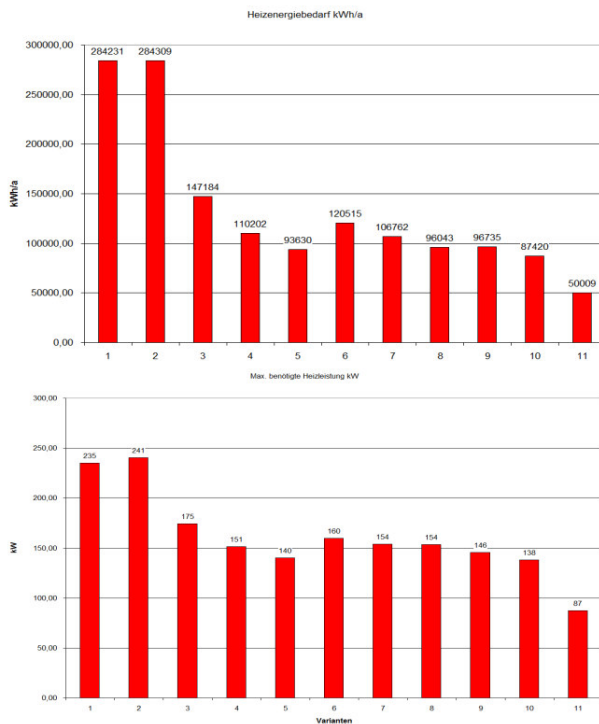
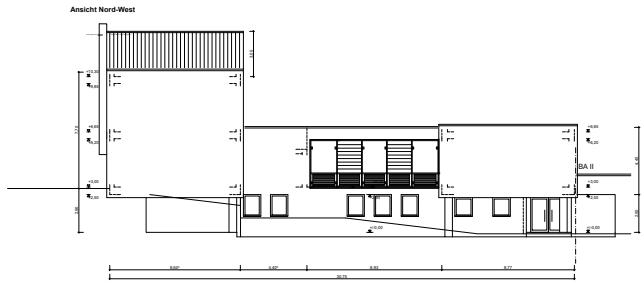


Abbildung 38: Optimierungsvarianten Gebäudeteil 3, oben: Variantenübersicht mit den entsprechenden Bauteilbilanzen; mitte: Heizenergiebedarf; unten: Heizleistung [Delzer Kybernetik]

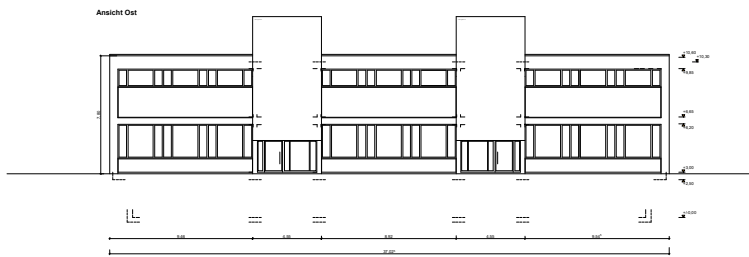
Die folgenden Zeichnungen illustrieren in Ansichten und Schnitten die geplante energetische Überarbeitung der Gebäudehülle. Gebäudeteil 1 erhält eine hinterlüftete Putzfassade, beim Gebäudeteil 3 wird eine Doppelfassade im Bereich der Außenstützen sowie eine hinterlüftete Profilbauglasfassade im Bereich der undurchsichtigen Wandabschnitte realisiert. Anbauten aus Gründen des vorbeugenden, baulichen Brandschutzes sowie einer neuen, barrierefreien Erschließung sind hinterlegt.



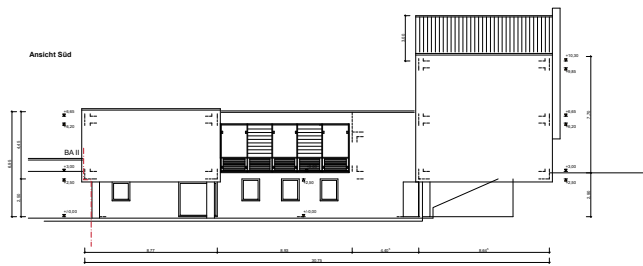
Gebäudeteil I - Ansicht Süd- West



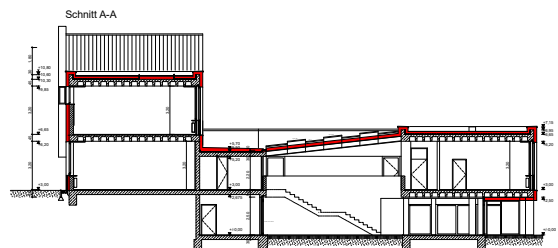
Gebäudeteil I - Ansicht Nord- West



Gebäudeteil I - Ansicht Nord - Ost

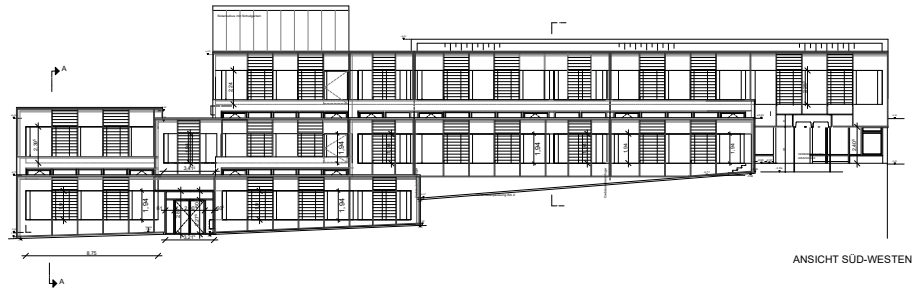


Gebäudeteil I - Ansicht Süd- Ost

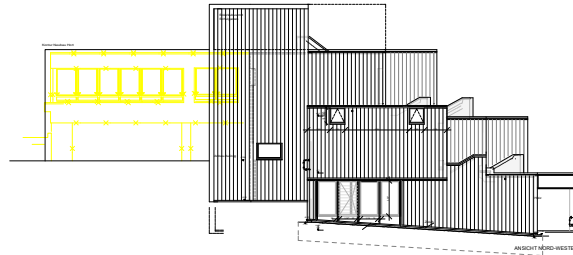


Gebäudeteil I - Schnitt A-A

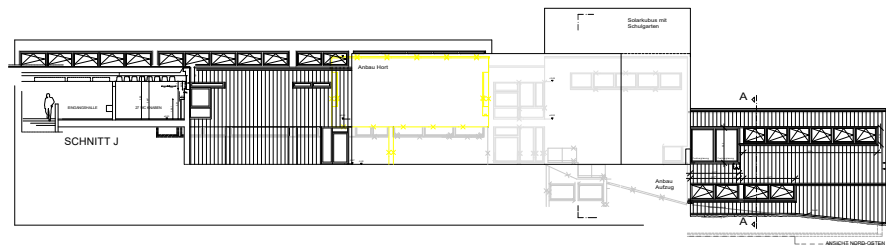
Abbildung 39: Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 1 [Architekten Keß und König]



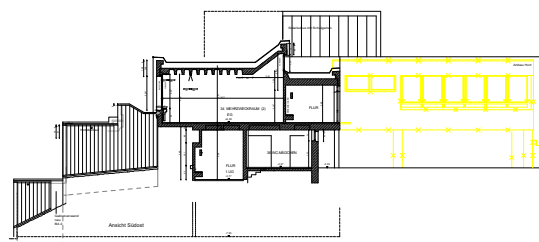
Gebäudeteil II - Ansicht Süd- West



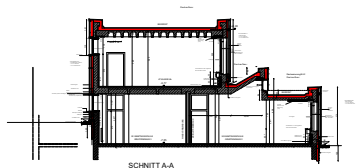
Gebäudeteil II - Ansicht Nord- West



Gebäudeteil II - Ansicht Nord - Ost

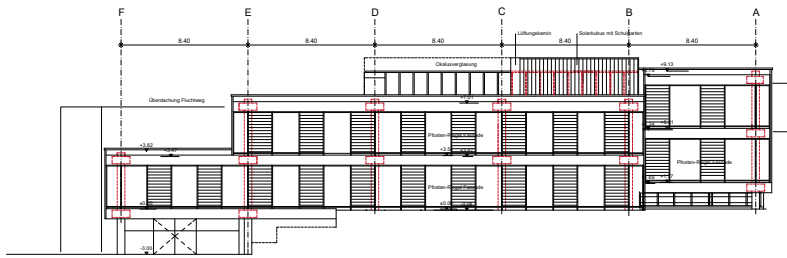


Gebäudeteil II - Ansicht Süd- Ost

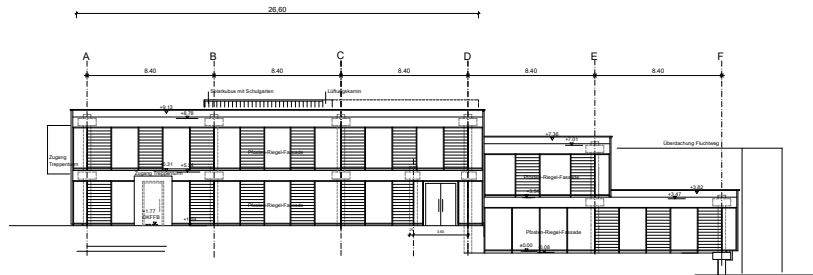


Gebäudeteil II - Schnitt A-A

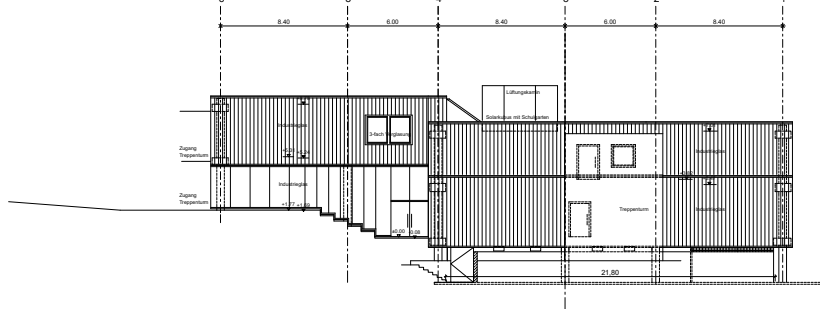
Abbildung 40: Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 2 [Architekten Keß und König]



Gebäudeteil III - Ansicht Süd- West

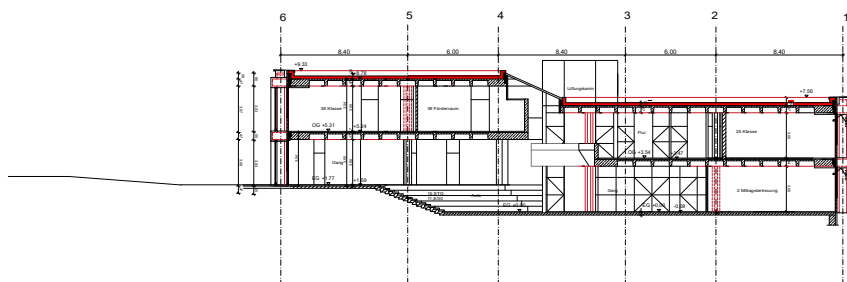


Gebäudeteil III - Ansicht Nord- West



Gebäudeteil III - Ansicht Nord - Ost

Gebäudeteil III - Ansicht Süd- Ost



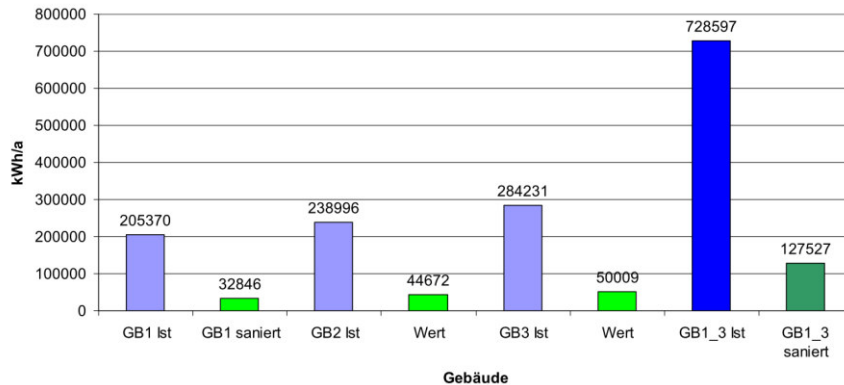
Gebäudeteil III - Schnitt A-A

Abbildung 41: Ansichten und Schnitt des Gebäudeteils 3 [Architekten Keß und König]

b. Die Simulationen des Heizenergiebedarfes sowie der CO₂-Reduktionen für die gesamte Liegenschaft zeigen das große Potential der energetischen Maßnahmen.

Simulation Phase 3 Gebäudehülle		GB1		GB2		GB3		29.06.2016	
Istzustand mit Sanierung der Fassade		GB1 Ist	GB1 saniert	GB2 Ist	GB2 saniert	GB3 Ist	GB3 saniert	GB1_3 Ist	GB1_3 saniert
			Dach plus 200mm WLG04, Fenster Passivhausniveau u. Fassade Sanierung 140mm+VHF WRG85%		Dach 200mmWLG04 V8= 2, Linit + 100 mm Holz + Beton, Sockelsolierung WRG85		Dachgarten 3fach-Folie, Fassade Linit+100mm Holz, Fenster dreifachglas 0,8Wh/mm ² K, WRG85%		
Simulation Phase 3 Gebäudehülle		Istzustand	V8	Istzustand		Istzustand	V10	Gesamt Ist	Gesamt saniert
Bezeichnung	Einheit	GB1 Ist	GB1 saniert	GB2 Ist	Wert	GB3 Ist	Wert	GB1_3 Ist	GB1_3 saniert
Lüftungs-verluste	kWh/a	55101,88	13806,75	76918,12	21673,44	62301,09	15025,65	194321,09	50505,84
Wand-verluste	kWh/a	40716,86	11007,94	98994,09	36081,64	67478,97	25602,96	207190,52	72692,54
Dach-verluste	kWh/a	35383,78	12112,38	29903,56	11606,14	42228,23	16971,36	107515,57	40689,88
Erdreich-verluste	kWh/a	39242,90	39354,57	31662,56	16636,95	58305,94	28832,04	129211,40	82623,56
Fenster-verluste	kWh/a	169063,75	37590,63	121268,09	25576,19	151221,78	33430,18	441553,62	96597,00
Solare Gewinne	kWh/a	87219,06	42839,85	70785,09	31486,28	36169,85	12512,61	194174,00	86838,74
Interne Gewinne	kWh/a	40076,06	34104,51	41985,91	32906,03	58731,56	52963,42	140794,13	119973,96
Heiz-energie-bedarf	kWh/a	205370,21	32846,24	238995,87	44672,30	284230,50	50008,76	728596,58	127527,29
Einsparung in %	kWh/a	0,00%	84,01%	0,00%	81,31%	0,00%	82,41%	0,00%	82,50%
Realer Heizenergiebedarf	kWh/a	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	776421,00	0,00
Anlagewirkungsgrad	%							93,84%	
Brennstoffbedarf kWh/a	kWh/a	218850,52	35002,24	254683,34	47604,55	302887,13	53291,28	776421,00	135898,07
CO ₂ - Emissionen GEMIS 4.81	kg/kWh	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246
CO ₂ - Emissionen kg/a	kg/a	53837,23	8610,55	62652,10	11710,72	74510,23	13109,65	190999,57	33430,92
Reduktion CO₂ - Emissionen	kg/a		45226,68		50941,38		61400,58		157568,64
Reduktion CO₂ - Emissionen t/a	t/a		45,23		60,94		61,40		157,67

Heizenergiebedarf kWh/a



Heizleistung in kW

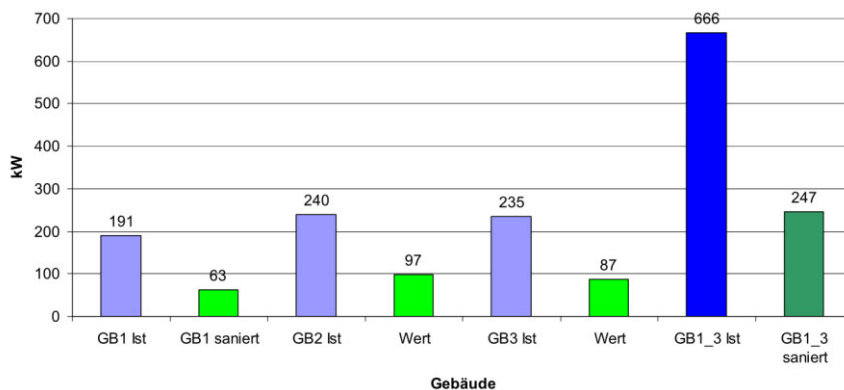


Abbildung 42: Energetische Optimierung der drei untersuchten Gebäudeteile; Oben: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse; Mitte: Heizenergiebedarf; Unten: Heizleistung der verschiedenen Optimierungsvarianten [Delzer Kybernetik]

Durch die energetischen Verbesserungen wird erreicht, dass der Heizenergiebedarf von ca. 730.000 kWh (bei NGF von ca. 5404 m²: ca. 135 kWh/m²*a, ca. 35 kg CO₂/m²*a) auf ca. 130.000 kWh (bei NGF von ca. 5404 m²: ca. 24 kWh/m²*a, ca. 6 kg CO₂/m²*a), die maximal nötige Heizleistung für die Gebäudeteile 1-3 von 666 auf 247 kW gesenkt werden kann. Die nächsten Optimierungsschritte bestehen darin, bei der zentralen Energieerzeugung z.B. weitere Kraft-Wärme-Kopplung zu prüfen, so dass der Grundwärmebedarf der angeschlossenen Liegenschaften über diese Haupterzeuger abgebildet werden kann. Darüber hinaus können die Dachflächen der Gebäudeteile für eine

Photovoltaiknutzung erschlossen werden. Während die energetischen Verbesserungen der Gebäudeteile bereits eine CO₂-Einsparung von 157 t/a bewirken, kann als realistisches Ziel mit Photovoltaik-Einsatz und Kraft-Wärme Kopplung eine ausgeglichene CO₂-Bilanz der Bestandsschulgebäude anvisiert werden.

c. Die Investitionskosten wurden je Gebäudeteil ermittelt. Für Gebäudeteil 4 sind lediglich Investitionen für Umbauten im Rahmen der barrierefreien Erschließung sowie weitere Anpassungen des baulichen Brandschutzes erfasst. Die Investitionskosten werden entsprechend Ihrer Verwendung aufgeteilt: allgemeine energetischen Kosten, die im Rahmen einer konventionellen Sanierung ebenso anfallen würden, Zusatzkosten der Zuluftfassaden und sonstige, sowieso anfallender Investitionskosten wie allgemeine Modernisierungen, Maßnahmen zur Barrierefreiheit bzw. im Rahmen des vorbeugenden baulichen Brandschutz. Maßnahmen der gemeinsamen Heizzentrale mit dem Nahwärmeverbund sind nicht erfasst, da diese separat als Versorgungszentrale aller öffentlichen Gebäude des Schulzentrums angesehen wird. Für die folgende Rentabilitätsbetrachtung können damit die energetischen Investitionen mit den Energieeinsparungen korreliert werden und werden durch die anderen, nicht mit energetischen Maßnahmen im Zusammenhang stehenden, sowieso anfallenden Kosten nicht verfälscht.

	Allgemein- kosten: BE usw., netto	Anteil Zuluftfassade, netto	Anteil Energie allgem., netto	Brandschutz, netto	Barriere- freiheit, netto	Allgemein: Sanierung/Um- bau/Neubau, netto	Gesamtkosten, netto	Gesamtkosten einschl. Neben- kosten und Mwst.
Sanierung Gebäudeteil 1	77.548,00 €	124.120,00 €	818.480,00 €	233.420,00 €	31.570,00 €	1.250.424,00 €	2.535.562,00 €	3.771.648,48 €
Sanierung Gebäudeteil 4				75.000,00 €	25.000,00 €		100.000,00 €	148.750,00 €
Neubau Treppenturm / Aufzug					440.450,00 €		440.450,00 €	628.962,60 €
Sanierung Gebäudeteil 3	86.974,00 €	347.000,00 €	943.580,00 €	327.985,00 €	10.000,00 €	1.202.680,00 €	2.918.219,00 €	4.340.850,76 €
Sanierung Gebäudeteil 2 (zum Hort)	65.530,00 €	223.900,00 €	645.901,00 €	219.260,00 €	40.000,00 €	937.052,00 €	2.131.643,00 €	3.170.818,96 €
Neubau Hort / Abbruch PCB	38.811,25 €		388.112,50 €			349.301,25 €	776.225,00 €	1.108.449,30 €
Außenanlagen					150.000,00 €		150.000,00 €	214.200,00 €
Ausstattungen							250.000,00 €	297.500,00 €
Container als Ausweichräume (36 Monate)							250.000,00 €	297.500,00 €
Investitionsbedarf							9.552.099,00 €	13.978.680,10 €
								Kostenstand I/2016

Abbildung 43: Überschlägige Investitionskosten [Architekten Keß und König]

Nach der Erweiterung des Gebäudeteils 2 können sukzessive die restlichen Gebäudeteile saniert werden. Die vorgezogene Erweiterung schafft zusätzliche Räume für Klassenauslagerungen während der Sanierung. Allerdings kann damit nicht erreicht werden, dass ein Raumüberhang entsteht, der einen kompletten Gebäudeteil fassen kann. Somit sind Ausweichgebäude oder Containerstellungen nötig.

Die Rentabilitätsbetrachtungen sollten auch Unterhalts- und Betriebskosten angemessen berücksichtigen. Eine Zusammenstellung der Unterhaltskosten zeigt die nachfolgende Tabelle.

Haushaltsjahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	D
Unterhalt eigener Gebäude	22.613,01 €	22.297,67 €	26.460,88 €	41.386,32 €	57.028,44 €	34.894,66 €	28.385,69 €	45.290,76 €	60.831,91 €	56.752,97 €	60.874,45 €	
Unterhalt TGA / ab 2012 auch Unterhalt Geräte, Ausstattung ...	2.107,41 €	1.634,90 €	4.481,18 €	3.385,16 €	790,35 €	5.510,78 €	2.740,63 €	14.424,87 €	20.891,20 €	21.537,44 €	22.119,02 €	50.585,43 €
												ab 2012 ca. 2/3 EDS

Abbildung 44: Kosten für Gebäudeunterhalt pro Haushaltsjahr [Gemeinde Veitshöchheim, aufbereitet d. Architekten Keß und König]

Der Vergleich des tatsächlichen Gebäudezustands mit den jährlichen laufenden Unterhaltskosten zeigt eine eher zurückhaltende Unterhaltsstrategie (siehe Ausführung zu Beginn dieses

Abschlussberichtes. Beim Gebäudeunterhalt muss mit einer Steigerung aufgrund von Sondermaßnahmen (Reparatur Dachabdichtung, Reparaturen Leitungssystem, Heizkörper usw.) gerechnet werden, um die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes zu erhalten, wenn keine umfassendere Sanierung umgesetzt wird.

Für die weiteren Investitionsentscheidungen ist es bedeutend, welche Betrachtungshorizonte die Gebäudeeigentümer haben. Bei Gebäuden der öffentlichen Infrastruktur ist eine Zeiterwartung von 50 (Gesamtnutzungsdauer bei ordnungsgemäßer Instandhaltung) bis 100 Jahren anzusetzen. Da die untersuchten Gebäudeteile nach aktuellem Kenntnisstand keine Beeinträchtigungen ihrer grundlegenden Bausubstanz aufweisen, kann auch die Zeiterwartung von 100 Jahren angenommen werden. Bei einer heutigen, ordnungsgemäßen Modernisierung kann die höhere Zeiterwartung erreicht werden. Betrachtet werden im Folgenden die energetischen Investitionen für verschiedene, vereinfachte Szenarien, die den Substanzverzehr für Alterung und Abnutzung als Abschreibungen berücksichtigen. Zukünftige Belastungen werden erfasst und die zugrunde liegenden Finanzierungsmodelle können verglichen werden. Die Investitionsentscheidungen werden vor dem Hintergrund des gesamten Lebenszyklus und nicht nur für den eigentlichen Investitionszeitpunkt bedeutsam.

1. Es werden Energiepreissteigerung und kontinuierlicher Bauunterhalt variiert.

a. Der Bestand bleibt unverändert, das Gebäude wird abgenutzt und in 20 Jahren ersetzt. Der Bauunterhalt wird verdoppelt (100.000 €/a).

b. Der Bestand erhält eine Sanierung im aktuellen EneV-Standard mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Investitionskosten ca. 10 % günstiger als Variante 1.c). Der Bauunterhalt bleibt konstant (50.000 €/a).

c. Das Gebäude wird im oben beschriebenen kybernetischen System ertüchtigt. Der Bauunterhalt bleibt konstant (50.000 €/a).

2. Es werden Energiepreissteigerung und kontinuierlicher Bauunterhalt variiert und eine Investitionsabhängige lineare Abschreibung eingeführt.

a. Der Bestand bleibt unverändert, das Gebäude wird abgenutzt und in 20 Jahren ersetzt. Rückstellungen werden überschlägig für einen Ersatzneubau (5 %) getätigt. Hierbei wird nur der energetische Anteil zur Vergleichbarkeit mit dem Szenario 2 bewertet, natürlich müssen Baukonstruktion, Ausbau usw. ersetzt werden. Der laufende Bauunterhalt wird in der jetzigen Höhe eingestellt.

b. Der Bestand erhält eine Sanierung im aktuellen EneV-Standard mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Für die Lüftungsanlage wird eine Abschreibung von 15 Jahren eingepflegt, für eine weitere Sanierungsphase in 25 Jahren werden entsprechende Rücklagen gebildet (AFA 4 %). Der Bauunterhalt verringert sich um 50 %.

c. Das Gebäude wird als kybernetisches System ertüchtigt. Die Abschreibungsdauer beträgt zwischen 25 und 50 Jahre (AFA 3 %). Der Bauunterhalt verringert sich um 50 %.

Die jeweiligen Investitionen verringern sich bei den Varianten b. und c. um den Anteil der bayerischen FAG-Förderung sowie um einen Tilgungszuschuss im Rahmen möglicher Förderkredite (17,5 % bei Erreichen eines KfW Effizienzhaus 70 Standards bzw. 10 % bei Erreichen eines KfW Effizienzhaus 100 Standards). Für Varianten a sind keine FAG-Förderungen möglich, unter Umständen können Einzelmaßnahmen über Förderkredite abgebildet werden.

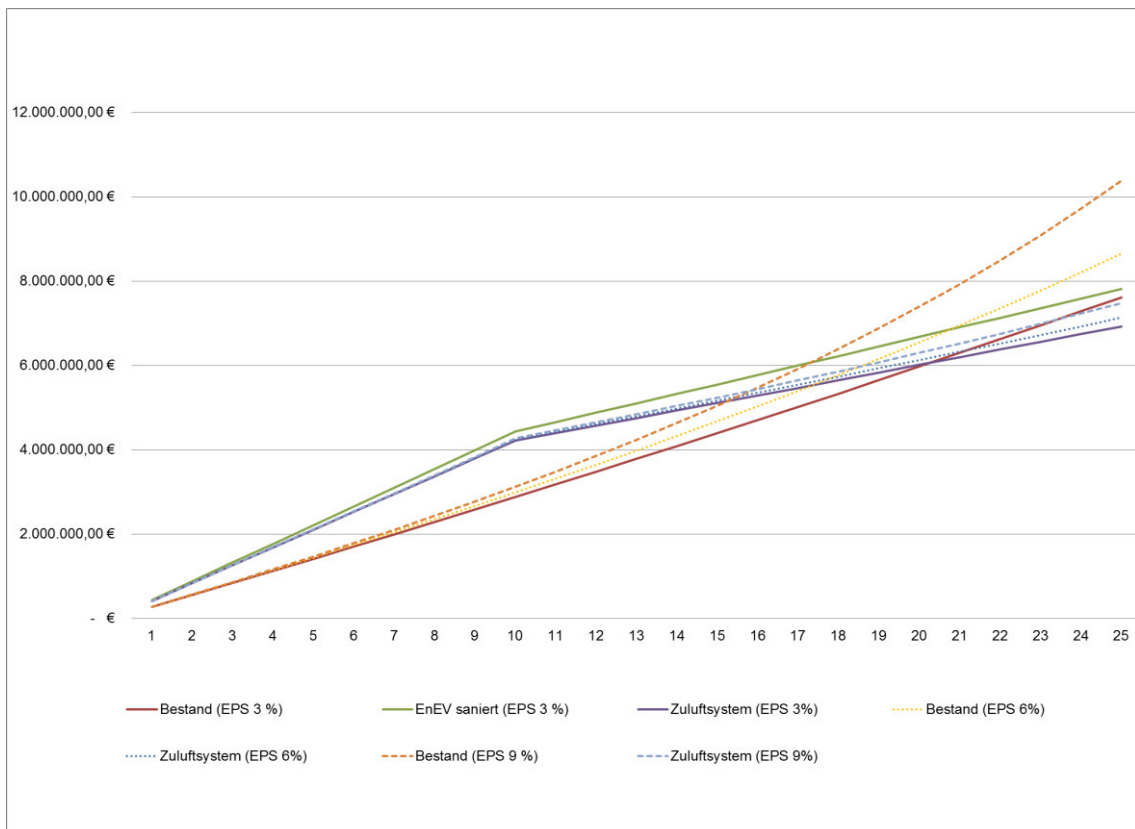
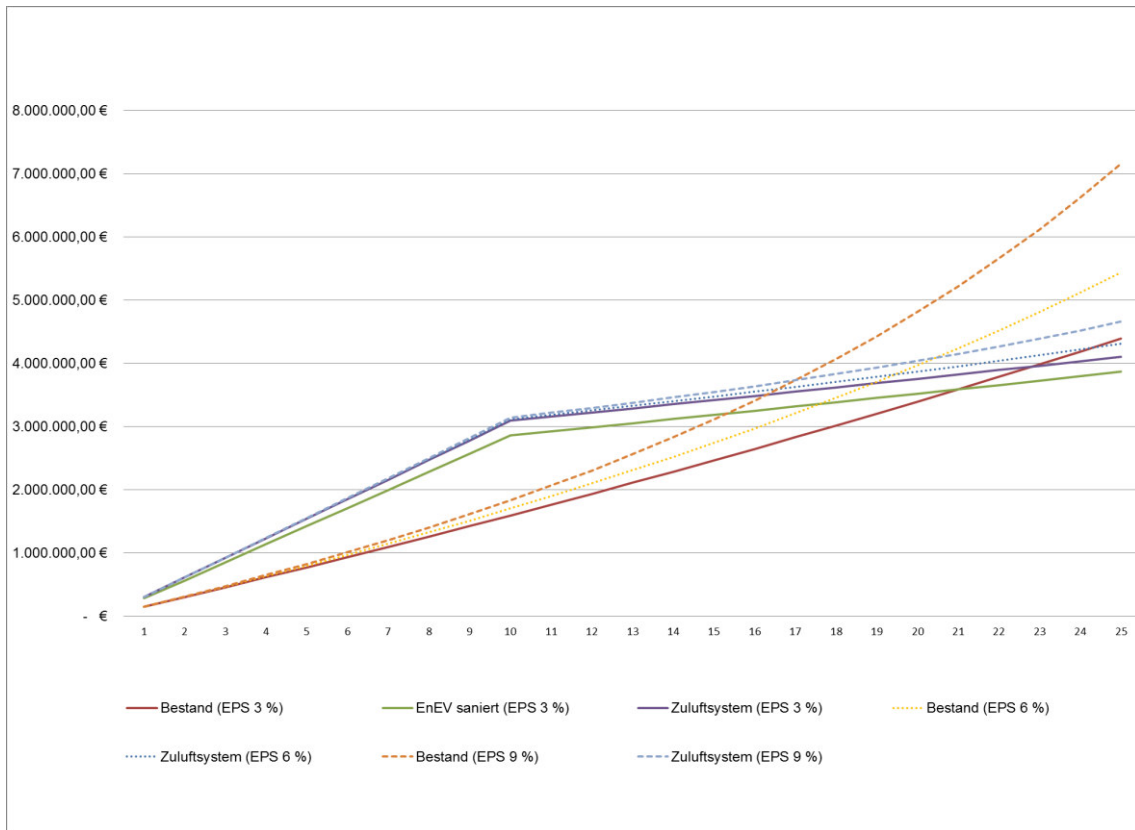


Abbildung 45: Kumulierte Kosten für Heizenergie, Gebäudeunterhalt mit (unten) und ohne Gebäudeabschreibung (oben), Zins und Tilgung (0 % Zinsen bei der Labo-Bayern) bei verschiedenen Energiepreissteigerungen (EPS 3%, 6 %, 9 %); Investition unter Berücksichtigung der Landesförderung und des Förderkredites für EneV-Variante: ca. 2,24 Mio. €, für die kybernetische Variante 2,475 Mio €; Afa Bestand geht von einem energetischer Anteil eines Ersatzneubaus von 3,58 Mio. € aus; Afa und Bauunterhalt werden ohne Preissteigerung angesetzt [Architekten Keß und König]

Sowohl die Darstellungen unter Berücksichtigung des kontinuierlichen Bauunterhalts als auch der linearen Abschreibung zeigen selbst bei einer moderaten Energiepreissteigerung überschaubare Zeiterwartungen für die energetischen Sanierungen im Bereich von 20 Jahren. Dies liegt im Bereich der Wirtschaftlichkeit, die z.B. auch in den Begleitgutachten zu den Novellierungen der Energieeinsparverordnung (BMVBS, 2012) angegeben wird. Somit kann eine Entscheidung für eine energetische Sanierung aus Wirtschaftlichkeitsgründen vertreten werden, dabei wird ein angemessenes Lehr- und Lernumfeld geschaffen, das weitere Jahre einen zufriedenstellenden Schulbetrieb für alle Beteiligten ermöglicht und die weltgesellschaftliche Verpflichtung zur Emissionsreduktion erfüllt. Bei Berücksichtigung einer Abschreibung werden zudem die Lösungen vorteilhafter abschneiden, die die Energieeffizienz weniger über technische Anlagen, vielmehr über baukonstruktive Systeme erreichen.

4. Fazit

Die Bestandsuntersuchung der Liegenschaft zeigt die Nachhaltigkeit der verbauten Sichtbaustoffe wie Betondecken und -wände, Klinkerwände oder Natursteinbeläge. Noch heute weisen diese nach Jahrzehnten der Nutzung kaum Schäden auf. Problematischer fällt die Betrachtung der bauphysikalischen Qualitäten aus. Hier müssen vor allem raumakustische und energetische Maßnahmen ergriffen werden. Für die energetische Sanierung sollte ein System gewählt werden, dass die vorhandenen Materialqualitäten durch Aktivierung nutzen kann. Dies ist vorstellbar durch eine Zuluftstrategie in Kombination mit einer Schachtentlüftung. Solare Wärmegewinne aller Fassaden können in das Gebäude bei gleichzeitiger Verbesserung der Luftqualität verlagert werden. Unter Ausnutzung der horizontalen und vertikalen Erschließung kann die Luft im Gebäude geführt werden. Wärmerückgewinnung kann durch Wärmetauscher erfolgen, die einen Wärmetransfer zu einem maschinellen Lüftungssystem solar benachteiligter Raumgruppen ermöglichen. Im Sommerfall soll ein gegenläufiger Lufttransport etabliert werden.

Der vorbeugende bauliche Brandschutz muss als systematischer Mangel unmittelbar ertüchtigt werden, da zum Teil nicht einmal der erste bauliche Rettungsweg ohne Gefährdung passierbar ist. Dabei können die energetischen Maßnahmen entsprechend durch Überströmungen berücksichtigt werden.

Besonderes Augenmerk gilt der Zuluftfassade, die ohne konventionelle Dämmung sowohl Aktivierung als auch Luftströmung im Sommer- und Winterfall gewährleisten muss. Der Materialvergleich ergab, dass eine Ertüchtigung der Stahlbetonfassade mit Massivholzelementen mit vorgesetzter Pressglas- bzw. Einfachglasfassade auch eine nachhaltige Lösung (mit hoher Zeiterwartung) darstellt. Die dynamischen Simulationen der Gebäudemodelle ergaben Reduktionen des Heizenergiebedarfs von bis zu 80 %. Unter Ausnutzung der aktuellen Förderbedingungen können sich Rentabilitäten im Bereich von 20 Jahren ergeben. Somit können die Sanierungen beitragen, dass die kommunal sinnvollen, hohen Zeiterwartung an das Bestehen dieser Gebäude erfüllt werden, die Gebäuderessourcen nicht verlorengehen bzw. im Wert noch über Jahrzehnte erhalten bleiben und ausgenutzt werden können.

Literaturverzeichnis

- [Geb14] Geburtig, G.: Baulicher Brandschutz im Bestand, Berlin, 2014
- [Fro06] Fromme, H., Dietrich, S., Kiranoglu, M., Twardella, D., Schierl, R., Nowak, D., Heitmann, D., Körner, W.: Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität, September 2006
- [Hac14] Hackl, M., Hellwig, R.T.: Energetic retrofitting and indoor climate improvement of schools in the administrative district Swabia in Bavaria, Germany. In: Ziemann, O.; Mottock, J.; Pforr, J. (Eds.): Applied Research conference – ARC 2014, Ingolstadt, 5th July 2014. Aachen: Shaker Verl., 2014., p 190-195
- [Mev12] Mevenkamp, M., Modellgestützte tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung, in: 9. Fachkonferenz Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung, AALE 2012, Tagungsband, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2012
- [Scho07] H. Schottke Landesamt für Gesundheit und Soziales, Mecklenburg Vorpommern, Tageslicht in Innenräumen, Anforderungen und Berechnungsmöglichkeiten, Schwerin 2007
- [Thu11] Felix Thumm, Antoine Dalibard, Davor Kristic, Michael Bossert, Prof. Dr. Ursula Eicker, Stegplatten aus Polycarbonat – Potentiale und Anwendungen, Ernst & Sohn Special, Innovative Fassadentechnik, Berlin 2011
- [Tie08] Tiesler, G.; Schönwälder, H.-G.; Ströver, F., Gesundheitsfördernde Einflüsse auf das Leistungsvermögen im schulischen Unterricht, ein Beitrag zur Ergonomie der Schule, 2008
- [Unf08] Unfallkasse Hessen, Frische Luft für frisches Denken – Neue Unterrichtsqualität in unseren Klassenräumen, 2008