

Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes für den Neubau des Gymnasiums Diedorf bei Umsetzung des Plusenergiestandards in Holzbauweise und Entwicklung neuer Lösungen für offene Lernlandschaften mit umfassendem Monitoring und Dokumentation

Abschlussbericht der 2. Förderphase

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem Aktenzeichen Az 29892-25

von

Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
Univ.-Prof. DI Hermann Kaufmann
Dipl. Arch. (FH) Claudia Greußing

Florian Nagler Architekten GmbH
Prof. Dipl.-Ing. Florian Nagler
Dipl.-Ing. Stefan Lambertz

Wimmer Ingenieure GmbH
Dipl.-Ing. Jörg Böhler

Ingenieurbüro Herbert Mayr
Dipl. Ing. (FH) Herbert Mayr

Lumen³ GbR
Dipl.-Ing. Robert Busch-Maass

LernLandSchaft
Karin Doberer
Dipl.-Ing. (FH) Korbinian Meitinger

ip5 GmbH
Dipl.-Phys. Klaus Rohlfes

Merz Kley Partner ZT GmbH
Dipl.-Ing. Konrad Merz

Müller-BBM GmbH
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Grözinger

Bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Dr.-Ing. Mandy Peter

Ver.de Landschaftsarchitektur GbR
Dipl.-Ing. (FH) Anke Raupach

Ascona GbR
Dipl.-Ing. Holger König

Kplan AG
RA Hanns-Peter Kirchmann
Dipl.-Kffr. Andrea Kreil

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.
Dipl.-Ing. Andreas Robrecht
M. Sc. Lisa Meyering

Augsburg, im August 2016

Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes für den Neubau des Gymnasiums Diedorf bei Umsetzung des Plusenergiestandards in Holzbauweise und Entwicklung neuer Lösungen für offene Lernlandschaften mit umfassendem Monitoring und Dokumentation

Abschlussbericht der 2. Förderphase

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

unter dem Aktenzeichen Az 29892-25



Fotos von Stefan Müller-Naumann

| | | | | |
|--|-------------------|---|--|---|
| 06/02 | | Projektkennblatt | |  |
| | | der | | |
| Deutschen Bundesstiftung Umwelt | | | | |
| Az | 29892/02 | Referat | 25 | Fördersumme 640.000 € |
| Antragstitel | | Integrale Planung und Umsetzung eines zukunftsweisenden Neubaus des Gymnasium Diedorf im Plusenergiestandard und Holzbauweise | | |
| Stichworte | | Plusenergiestandard, vorgefertigter Holzbau, offene Lernlandschaften, Schule, Neubau, integrale Planung, Monitoring | | |
| Laufzeit | Projektbeginn | Projektende | Projektphase | |
| 3,5 Jahre | 04.12.2012 | 04.06.2016 | 2 | |
| Zwischenberichte | | | | |
| Haupttitel | | Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes für den Neubau des Gymnasiums Diedorf bei Umsetzung des Plusenergiestandards in Holzbauweise und Entwicklung neuer Lösungen für offene Lernlandschaften mit umfassendem Monitoring und Dokumentation | | |
| Untertitel | | 1. Zwischenbericht zum Projektstand am 28. Februar 2013, Dokumentation Planungsphase 2. Zwischenbericht zum Projektstand am 31. August 2013, Dokumentation Planungsphase 3. Zwischenbericht zum Projektstand am 28. Februar 2014, Dokumentation der Planungs- und Bauphase 4. Zwischenbericht zum Projektstand am 31. August 2014, Dokumentation der Planungs- und Bauphase 5. Zwischenbericht zum Projektstand am 28. Februar 2015, Dokumentation der Planungs- und Bauphase | | |
| Bewilligungsempfänger | | Landkreis Augsburg Prinzregentenplatz 4 86150 Augsburg | Tel 0821/3102-2452 Fax 0821/3102-1452 | Projektleitung Hr. Schwindling Bearbeiter Fr. Lautenbacher-Dammer |
| Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de | | | | |

Kooperationspartner

| | |
|--------------------------------------|---|
| ARGE Objektplanung: | Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH, Sportplatzweg 5, A-6858 Schwarzach Florian Nagler Architekten GmbH, Theodor-Storm-Straße 16, 81245 München |
| Planung HLS: | Wimmer Ingenieure GmbH, Wahlfeldstraße 2a, 86356 Neusäß |
| Planung Elektrotechnik: | Ingenieurbüro Herbert Mayr, Deubacher Str. 24, 86500 Rommelsried |
| Lichtplanung: | Lumen ³ GbR, Entenbachstr. 25, 81541 München |
| Pädagogisches Konzept: | LernLandSchaft Karin Doberer, Röthhof 1, 91740 Röckingen |
| Energiekonzept: | ip5 GmbH, am Rüppurrer Schloß 5, 76199 Karlsruhe |
| Tragwerksplanung: | Merz Kley Partner ZT GmbH, Sägerstraße 4, A-6850 Dornbirn |
| Schallschutz und Akustik: | Müller-BBM GmbH, Robert-Koch-Straße 11, 82152 Planegg |
| Brandschutz: | Bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Destouchesstraße 65, 80796 München |
| Freianlagen: | Ver.de Landschaftsarchitektur GbR, Rindermarkt 2, 85354 Freising |
| Lebenszyklusanalyse, Ökobilanz: | Ascona GbR, Eschenrieder Straße 65, 82194 Gröbenzell |
| Wirtschaftlichkeit: | Kplan AG, Bahnhofstraße 13, 93326 Abensberg |
| Qualitätssicherung, Moni- toring: | Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching |

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Im Großraum Augsburg zeichnete sich durch das Erreichen der Kapazitätsgrenzen ein Bedarf für ein neues Gymnasium ab, wobei als Standort Markt Diedorf gewählt wurde. Der Landkreis Augsburg strebte als Träger des zukünftigen Gymnasiums – trotz enger Terminalschiene – den Neubau eines zukunftsweisenden Schulgebäudes an. Auch Schüler, Eltern und Lehrkräfte setzten sich für dieses Ziel ein und entwickelten ein ganzheitliches neues pädagogisches Profil für ihre Schule. Um die damit verbundenen modernen Unterrichtsformen und den veränderten Schulalltag verwirklichen zu können, war ein neues Herangehen an die Planung und ein Umdenken hinsichtlich baulicher und technischer Anforderungen nötig.

Ziel des Raumkonzeptes war, aus offenen Klassenzimmern mit integrierten klassischen Fluren „offene LernLandschaften“ für vielfältigen und selbstgesteuerten Unterricht zu bilden. Dadurch soll den Schülern zu einer hohen Selbstständigkeit verholfen, die Umsetzung schüleraktivierender Unterrichtsformen vereinfacht und der Teamgedanke zwischen Lehrern und Schülern gefördert werden.

Einen weiteren Schwerpunkt des Projektes bildete die Realisierung des Plusenergiestandards für das Gebäude. Dabei sollte der gesamte nichtregenerative Primärenergiebedarf des Gebäudes (Haustechnik und nutzerinduzierte Bedarfe) in der Jahresbilanz geringer ausfallen, als der durch Eigenerzeugung auf dem Schulgelände substituierte Primärenergieeinsatz. Gleiches galt für die CO₂-Emissionen.

Im Bereich Holzbau war das Ziel, die Leistungsfähigkeit von Holz in tragender und ausstattender Funktion nachzuweisen und neuartige Konstruktionen anzufertigen. Zur Sicherung des thermischen Komforts im Sommer sollte die Frage der thermischen Massen gelöst und hierzu eine innovative Holzbetonverbunddecke entwickelt werden.

Damit sich die späteren Nutzer der Schule wohlfühlen, ist ein gesundes Innenraumklima entscheidend. Deshalb war ein weiterer wichtiger Punkt, die Risikostoffe für die lokale Umwelt und die Innerraumlufthygiene zu identifizieren und in den Baustoffen zu begrenzen. Zur Sicherstellung der Projektziele und zur abschließenden Bewertung ist ein mehrjähriges Gebäudemonitoring vorgesehen. Dabei sind die Themen Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Behaglichkeit und Gesundheit von besonderer Bedeutung.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Folgend ist eine Zusammenfassung aller wesentlichen Themenschwerpunkte gegeben:

1. Holzbetonverbunddecke (HBV-Decke)
Die statische Berechnung der HBV-Decke wurde mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch durchgeführt. Für die Variantenuntersuchungen wurde speziell ein Programm erarbeitet, das mit Hilfe des γ -Verfahrens ein einfaches Gegenüberstellen von unterschiedlichen Querschnittsaufbauten und unterschiedlichen Beton- und Holzqualitäten erlaubt. Besondere Herausforderung war die Untersuchung des Anschlusses der Rippen an die Querträger, da er aufgrund der großen Anzahl sowie hohen Einzelkosten besonders Kosten relevant ist. Der Vergleich der Wirtschaftlichkeit erfolgte anhand eines speziellen Leistungsverzeichnisses unter Einbezug eines Holzbauunternehmers. Die Resultate sind in Form eines Stärke-/ Schwächeprofils zusammengefasst.
2. Vorgefertigter Holzbau
Im Rahmen der Planungsphase wurde zunächst die Größe der vorgefertigten Elemente basierend auf dem größtmöglichen Transportmaß und dem Bauablauf (3 vertikale Bauabschnitte pro Haus) festgelegt. Anschließend erfolgte die Ausführungs- und Werkplanung. Schwierigkeit dabei war, dass die Fachplaner die gesamten Leitungsführungen in den einzelnen Elementen zu einem sehr frühen Zeitpunkt exakt definieren mussten, um einen hohen Vorfertigungsgrad zu ermöglichen. Ebenso musste ein geeignetes Vergabeverfahren gefunden werden, um den geplanten Vorfertigungsgrad in der Realität auch umzusetzen.

3. Integration der offenen Lernlandschaften im weiteren Planungs- und Bauprozess

In der sog. Leistungsphase 0 wurde in partizipativ gestalteten Workshops ein pädagogisches Raumkonzept entwickelt, das moderne gymnasiale Bildung und Teamarbeit optimal unterstützen soll. Durch die Dokumentation / Visualisierung von Funktionszusammenhängen und Nutzungsszenarien wurde die Umsetzung offener Lernlandschaften in den folgenden HOAI-Leistungsphasen gewährleistet, ohne gestalterische Details oder technische Aspekte vorwegzunehmen.

4. Brandschutz

Offene Lernlandschaften sind in den geltenden Vorschriften sowohl in den Bauordnungen der Länder als auch den Schulbaurichtlinien bislang nicht geregelt und stellen somit einen Sonderfall dar. Somit galt es nachzuweisen, dass eine Gleichwertigkeit zu den bauordnungsrechtlich vorgeschriebenen Schutzziele durch zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann.

5. Schallschutz/Akustik

Auf Basis von Recherchen und Untersuchungen an einem Musterklassenzimmer sind die raumakustisch einzuhaltenden Anforderungen abgeleitet worden. Zur Feststellung der Schallabsorption der Holzbetonverbunddecke mit Filzbaffeln wurde Messungen im Labor durchgeführt. Ebenso wurden die verschiedenen Trennwandaufbauten im Labor schallschutztechnisch untersucht. Damit sollte die Dicke und die Anzahl der Schichten minimiert werden, um Platz und Kosten zu sparen. Dabei musste berücksichtigt werden, dass die Wände statisch wirksam sind, im Werk vorgefertigt werden und gleichzeitig die Anforderungen an Brandschutz, Schallschutz, Raumakustik und nicht zuletzt an die Optik eingehalten werden.

6. Integrative Freiraumgestaltung

Zielsetzung des Freiraumkonzepts ist es, neben der naturräumlichen Einbindung in die Landschaft, die innovative pädagogische Architektur des Innenraums in den Außenraum zu übertragen und ein differenziertes Angebot an offenen Lernstätten zu schaffen. Diese Aspekte sind nur durch eine enge Zusammenarbeit mit den anderen Projektbeteiligten im Rahmen einer integralen Planung möglich. Dazu sind regelmäßige Treffen, gute Kommunikation und klare Schnittstellen und Zeitpläne zwischen Bauherrn, Planern der unterschiedlichen Fachsparten, Schule, Gemeinde und betroffenen Nachbarn notwendig.

7. Energieplanung/Thermischer Komfort/Plusenergiestandard

Ziel ist den gesamten nichtregenerative Primärenergiebedarf des Gebäudes (Haustechnik und nutzerinduzierte Bedarfe) in einer Jahresbetrachtung geringer zu bilanzieren als der durch Eigenerzeugung substituierte Primärenergieeinsatz. Gleiche Anforderung ergibt sich an die CO₂-Emissionen. Dazu wurde ein Energetisches Pflichtenheft aufgestellt, in dem Mindestanforderungen definiert wurden. Wesentliche Inhalte waren: Druckverluste und Strömungsgeschwindigkeiten in Lüftungsanlagen, Wirkungsgrade von Pumpen und Ventilatoren, Dämmstärken, Bauteil-U-Werte und maximale Anschlussleistungen. Auf dieser Basis ließ sich eine Primärenergiebilanz des Gebäudes ableiten, die die Bedarfe für die Versorgungsfunktionen Beleuchtung, Heizen, Kühlen, Warmwasser, Luftförderung, diverse Technik und die nutzerinduzierten Bedarfe wie z. B. die Küche einbezieht. Daraus ergibt sich die erforderliche Größe der PV-Anlage zur Erreichung des Plusenergiestandards. Zur Sicherstellung des Raumluftkomforts ist eine detaillierte thermisch-dynamische Simulationsrechnung durchgeführt worden, um die Sensitivität des sommerlich thermischen Komforts auf unterschiedliche baulich-technische Maßnahmen zu untersuchen. Ziel ist einen Wert von 27 °C während nicht mehr als 5 % der Nutzungszeit zu überschreiten.

8. Heizungstechnik

Die Wahl des Wärmeerzeugungssystems erfolgte mittels einer Entscheidungsmatrix, in der insgesamt 9 Varianten miteinander verglichen wurden. Eine Variante beinhaltete sowohl einen Kälte- als auch einen Wärmeerzeuger. Demnach wurden genauer gesagt 9 Heiz-/Kühl-Kombinationen miteinander verglichen. Als Entscheidungskriterien dienen die Aspekte Primärenergiebedarf, CO₂-Emissionen und Jahreskosten.

das Gesamtergebnis hat. Die Variante 1 (Pelletkessel, Pufferspeicher, adiabate Kältemaschine) schnitt immer am besten ab. Im Planungsverlauf sind die einzelnen Komponenten des Systems detailliert ausgelegt, spezifiziert und optimiert worden.

9. Kältetechnik

Die Wahl der Kühltechnik erfolgte ebenfalls auf Grundlage der Entscheidungsmatrix. Die anschließende Detaillierung der Planung erfolgte mit dem Ziel einer hohen Energieeffizienz bei wirtschaftlichen Gesamtkosten.

10. Lüftungstechnik

Als Versorgungssysteme wurden grundsätzlich vier Varianten energetisch und wirtschaftlich beleuchtet (Dezentrale Be- und Entlüftung jedes Raumes, Semidezentrale Be- und Entlüftung zusammengefasster Raumgruppen, Zentrale Be- und Entlüftung der einzelnen Häuser, Zentrale Be- und Entlüftung der gesamten Schule). Die Gegenüberstellung erfolgte anhand von energetischen und wirtschaftlichen Aspekten und wurde durch baulich, technische Vor- und Nachteile der jeweiligen Variante ergänzt. Anschließend erfolgte die Dimensionierung des Kanalnetzes und der Zentralanlage unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren. Aufgrund der raumweisen Regelung nach CO₂-Konzentration konnte das Zentralgerät deutlich kleiner als die Summe der vier Gebäudebedarfe ausgelegt werden. Die Rückwärmezahl der Anlage wurde ebenfalls durch eine energetische und wirtschaftliche Betrachtung ermittelt.

11. Gebäudeleittechnik/MSR

Der hohe Automatisierungsgrad des Gebäudes in Kombination mit den Anforderungen an ein Monitoring in der Betriebsphase mit zusätzlicher Sensorik macht ein leistungsfähiges Gebäudeautomatonsystem notwendig. Dazu wurden graphische und tabellarische Regel- und Sensorübersichten erstellt, optimiert und mit allen Planungsbeteiligten abgestimmt.

12. Elektrische Energie

Der moderne vorgefertigte Holzbau mit hoher Wärme- und Luftdichtheit stellte an die Haustechnikplanung hohe Anforderungen, vor allem hinsichtlich Materialwahl, Situierung der Installationen und Leitungsführung. Somit war eine sehr detaillierte Planung der Leitungsführung schon während der Vorplanungsphase gefordert, was auch neue Konzepte und Lösungen nötig machte.

Auch die Umsetzung der brandschutztechnischen Anforderungen der Leitungsanlagenrichtlinie (LAR) war eine besondere Herausforderung. Für die durchdringungslose Befestigung der PV-Anlagen auf den begrünten Foliendächern wurde ein neuartiger selbsttragender Schienensatz für PV-Anlagen mit partieller Ballastierung entwickelt. Zum Testen der KNX/DALI-Komponenten wurde in einem Container ein Musterraum konzipiert, in dem die entsprechenden Sonnenschutzanlagen und Leuchten überprüft werden konnten.

13. Tages- und Kunstlichtplanung

Für das Gymnasium Diedorf wurde eine möglichst hohe Versorgung an Tageslicht angestrebt. Dazu wurden zunächst in Zusammenarbeit mit den Architekten die Maueröffnungen in der Gebäudekubatur festgelegt. Anschließend erfolgten umfassende Untersuchungen, welche Tageslichtsysteme für diese Gebäudeöffnungen, Seitenfenster und Oberlichter, eine optimale Tageslichtversorgung herstellen könnten. Die quantitative Auswertung wurde mit Hilfe von 3-D-Simulationen des Tageslichtquotienten vorgenommen und bildete die Grundlage für alle planungsrelevanten Entscheidungen.

Das Kunstlichtsystem beruht auf einer flächendeckenden Anordnung von Langfeldleuchten, welche durch eine raumspezifisch regelbare Steuerung betrieben werden. Die Steuerung ist anwesenheits- und tageslichtabhängig, sodass jeweils nur die der Nutzung angepasste Lichtmenge verbraucht wird. Dieses System wurde zusammen mit dem Architekten bereits am Anfang der Planung festgelegt und in Beleuchtungsstärkesimulationen fortlaufend für alle Räume und Situationen überprüft.

14. Bau- und Lebenszykluskosten

Im Rahmen der vollständigen Lebenszyklusanalyse wurden drei Varianten des Projektes planungs- und ausführungsbegleitend erfasst, vollständig modelliert, berechnet und bewertet, wie folgt:
Standard: Schule nach EnEV2009 in mineralischer Bauweise
Passiv: Schule in Passivhausstandard (mechanische Lüftung, PV-Anlage, geringe U-Werte) in mineralischer Bauweise
Diedorf: Schule in Passivhausstandard (mechanische Lüftung, PV-Anlage, geringe U-Werte) in Holzbauweise (umgesetzte Variante)
Dabei sind in erster Linie die Lebenszykluskosten über 50 a unter Berücksichtigung von Herstellungs- oder Baukosten, Ver- und Entsorgung, Reinigung, Wartung und Instandsetzung ermittelt worden. Ein absoluter Vergleich gegenüber vergleichbaren Gebäuden erfolgte über den BKI-Kostenindex.

15. Ökobilanz

Für die Ökobilanz der diskutierten Planungsalternativen wird die Berechnung entsprechend der Angaben in den Steckbriefen des Bewertungssystems nachhaltiges Bauen (BNB) für Bildungsbauten des Bundesministeriums für Umwelt, Bauen und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführt. Basis für die Berechnung sind die drei beschriebenen Gebäudemodelle. Dabei wurden verschiedene Wirkkriterien (z.B. Stoffmasse, CO₂-Äquivalent oder abiotischer Ressourcenverbrauch) in einer Lebenszyklusanalyse untersucht.

16. Reduktion Risikostoffe

Ziel der Bauproduktbewertung ist einerseits die Sicherstellung der Luftqualität im Innenraum unter hygienischen Gesichtspunkten und andererseits sollen Risikostoffe für die lokale Umwelt so weit möglich reduziert werden. Für die Reduktion der Risikostoffe erfolgte die Erstellung einer Tabelle, welche eindeutige Qualitätsanforderungen an Baustoffe festlegte und die Grundlage für alle weiteren Arbeiten bildete. Die Leistungsverzeichnisse wurden bezüglich der korrekten Anforderungen ergänzt. Die Architekten entwickelten ein Formular, um den ausführenden Firmen die Dokumentbereitstellung der verwendeten Bauprodukte zu erleichtern. Diese Unterlagen umfassten z.B. Zulassungen, Prüfzeugnisse, technische Datenblätter oder Leistungserklärungen. Insgesamt wurden ca. 600 Bauprodukte und ca. 2000-2500 Dokumente geprüft und bewertet. Auf Basis der vorgelegten Dokumente wurden ca. 440 Produkte zur Anwendung freigegeben.

17. Monitoring der Innenraumlufthygiene

Um den Erfolg der durchgeführten Maßnahmen in Bezug auf die Qualität der Innenraumluft nachzuweisen, ist vier Wochen nach Fertigstellung des Gebäudes die Innenraumluft in ausgewählten Räumen gemessen worden. Es erfolgte eine Bestimmung der relevanten Indikatoren Formaldehyd (Zielwert 500 µg/m³) und TVOC (Zielwert 60 µg/m³).

18. Aufbau der Messdatenerfassung/Vorbereitung zum Monitoring

Die für das Monitoring in der Betriebsphase nötige Sensorik würde in den Planungsprozess eingebunden. Dazu zählt die Erstellung eines Konzepts, die Positionierung und Spezifikation der Fühler sowie die Begleitung der Umsetzung angefangen bei der Integration in die Gewerke LV's, die Abnahme und die Inbetriebnahme. Schwerpunkte waren die detaillierte Vermessung von fünf Referenzräumen, die redundante Vermessung von zentralen technischen Anlagen, das separate Monitoring von Sondernutzungen, die ergänzende Erfassung von Stromflüssen getrennt nach Nutzungsarten sowie eine verbesserte Wetterdatenaufzeichnung. Alle Messwerte werden über die Bus-Systeme der Gewerke Elektro und HLS erfasst und auf einem Server gesammelt. Per csv-Datei erfolgt der Datenexport zu einem unabhängigen Server des ZAE Bayern.

19. Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung konzentrierte sich auf anlagentechnische Fragestellungen der Versorgungsfunktionen Heizen, Kühlen und Belüften. Nach Ermittlung der maximalen Nennleistung für die Wärme- und Kälteerzeugung erfolgte die Bewertung verschiedener Erzeugungsvarianten mittels einer Vergleichsmatrix unter energetischen und wirtschaftlichen Kriterien.

In diesem Zusammenhang wurde auch auf eine Optimierung der Regelstrategien geachtet. Zudem wurde das Funktionsschema für Heizen und Kühlen angepasst. Des Weiteren erfolgte eine Revision der Planunterlagen zur Gebäudehülle. Mit Blick auf eine Verbesserung der Wärmeverluste/-gewinne achtete man besonders auf eine luftdichte Ausführung und eine angepasste automatische Verschattung. Hierbei wurde auch der Blower-Door-Test wissenschaftlich begleitet. Außerdem wurden die haustechnischen LV-Unterlagen stichpunktartig überprüft. Weiterhin erfolgte eine detaillierte Betrachtung des Lüftungssystems incl. Wärmerückgewinnung.

20. Erarbeitung und Darstellung eines Integralen Planungsprozesses im Einklang mit den öffentlichen Vergaberichtlinien

Das Projekt Schule Diedorf zeigt auf exemplarische Weise, wie zeitgemäße Bauaufgaben eine geänderte Planungskultur erfordern. Vor diesem Hintergrund wurde das Planungsteam schon zu Beginn der Planung installiert, sowie Aufgabenstellung und Zieldefinition vervollständigt. Vorbildlich war die frühzeitige Einbindung der Nutzer, denen die einzelnen Forderungsthemen mitgeteilt und deren Anregungen in die Forschung weitgehend mit eingebracht wurden. Bei der Implementierung des Forschungsteams, das aus Architekten und Ingenieuren bestand, wurde besonders darauf geachtet, dass es aufgrund seiner Erfahrungen und seiner Kenntnisse in der Lage war, die wissenschaftlichen Forschungsziele umzusetzen. Das war nur möglich, weil auf das grundsätzlich notwendige Ausschreibungsverfahren nach VOF (Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen) verzichtet werden konnte. Die dafür erforderlichen notwendigen gesetzlichen Vorschriften (§ 100, Abs. 4, Ziff 2 GWB) waren gegeben, was ausdrücklich mit den Genehmigungsbehörden nochmals abgestimmt wurde. Damit konnte die Entwicklung des Projektes auf eine ganz auf das Forschungsziel abgestimmte Planergruppe übertragen werden konnte.

21. DBU Verfahrensbetreuung

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) ging es in erster Linie beim vorliegenden Projekt darum, Forschungsziele / Förderziele zu erreichen bzw. nicht aus den Augen zu verlieren. Um Forschungsziele aber im Zusammenspiel mit einer Vielzahl von Disziplinen in den zugehörigen Fachbüros mit ihren Mitarbeitern reibungslos durchzusetzen, müssen alle Projektbeteiligten technisch, wirtschaftlich, logistisch und im Kooperationswillen auf einem Niveau sein. Bereits die Aufzählung der verschiedenen Qualitäten zeigt, dass es sich hier um eine schwierige Aufgabe handelte. Auch in Diedorf war die Qualität der eingesetzten Planer und Ingenieure nicht in jedem Fall auf gleichem Niveau. Daraus ergaben sich Zeitverzögerungen, Nacharbeiten bei den schnellen und qualifizierten Büros einerseits und Unterstützung des weniger qualifizierten oder etwas langsameren Büros auf der anderen Seite. In Zukunft muss deshalb noch mehr darauf geachtet werden, dass nicht nur bei der Auswahl der technischen Teams, sondern auch bei der Bearbeitung der technischen Fragestellung im Hinblick auf die Forschungsziele in einzelnen Schritten Fragenstellung und Probleme frühzeitig thematisiert werden, um genügend Pufferzeiten zu haben. Nur so kann auf Probleme, die sich aus der unterschiedlichen Qualifikation der einzelnen Teams ergeben, reagiert werden. Aufgrund der Spartenverantwortung – das gilt für alle Gewerke – sollen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, die Grundlagen der jeweils gewählten Lösung sind, nicht zu früh durchgeführt werden. Das hängt von unterschiedlichen Berechnungsannahmen und deren Abgleich zusammen ab. In einer Reihe von Fällen stellte bei konkretem Hinterfragen einerseits und der Zusammenführung der Ergebnisse zu einer Gesamtschau andererseits heraus, dass diese fehlerhaft oder unzutreffend angesetzt waren.

Folgend ist eine Zusammenfassung aller wesentlichen Themenschwerpunkte gegeben:

1. Holzbetonverbunddecke (HBV-Decke)

Formale und funktionale Randbedingungen (Führen von Installationen, Anordnung von akustisch wirksamen Absorbern) führten zur Wahl einer Rippendecke. Sie besteht aus Brettschichtholzrippen und einer Platte aus Ortbeton. Der statisch wirksame Verbund zwischen Holz und Beton wird über Formschluss mit Nocken im Beton und Taschen in den Holzbalken hergestellt. Zwischen den Rippen wurde eine Holzwerkstoffplatte (OSB) als „verlorene“ Schalung ausgeführt. Der Aufbeton besteht aus einer Grundarmierung aus Stahlfasern, die mit lokalen Zulagen aus Betonstahlmatten verstärkt wird.

In der Bauphase ergab sich das Problem, dass der ausgeschriebene Beton nicht ohne Weiteres zu bekommen war. Daraufhin musste von Tragwerksplaner und Betonwerken ein passender Beton nach Eigenschaften bestimmt und zur Verwendung vorgegeben werden, womit keine Mehrkosten bzw. keine großen Verzögerungen im Bauablauf entstanden. Auch während der Einbringung des Betons gab es Schwierigkeiten, die hauptsächlich auf eine schlechte Arbeitsvorbereitung der Firma zurückzuführen war. Für das Klassenhaus 2 und die Aula wurde dann die Firma gewechselt, was zu einem fast reibungslosen Ablauf führte. Auch konnte hier anstelle der konventionellen Bewehrung der Faserbeton eingesetzt werden.

2. Vorgefertigter Holzbau

Das größte Problem des vorgefertigten Holzbaus ergab sich in der Planung. Die Ausführungsplanung war bei der Übergabe der Pläne an das Holzbauunternehmen noch nicht mit den Gewerken der Haustechnik fertig abgestimmt. Das führte zu aufwendigen Planungsänderungen und Adaptierungen, die parallel zur laufenden Werksplanung erfolgen mussten. Ebenso fehlte eine funktionsfähige Schnittstelle ohne Datenverluste von der Ausführungsplanung der Architekten und Fachingenieuren zur Werksplanung. Somit wurde das gesamte Projekt circa zwei Mal neu gezeichnet. Im Ergebnis wird ein erheblich größeres Zeitfenster für die Planung benötigt, welches jedoch durch die raschere Bauzeit kompensiert werden konnte. Die Errichtung der 4 Gebäude inklusive Aufbeton, Notdach und eingebauten Fenstern konnte in einer beachtlich kurzen Zeit von nur 25,5 Wochen umgesetzt werden. Das gewählte 2-stufige Vergabeverfahren aus Auswahlverfahren und Teil-GU-Ausschreibung hat sich als sinnvoll herausgestellt, die komplizierte Werksplanung und Arbeitsvorbereitung bei einem hohen Vorfertigungsgrad sicher zu stellen.

3. Integration der offenen Lernlandschaften im weiteren Planungs- und Bauprozess

In Diedorf wurde mithilfe von Clustern als Alternative zur konventionellen Gangschule ein neues Konzept von Lernen architektonisch und pädagogisch realisiert. Die offenen Lernlandschaften zeichnen sich durch eine variable Raumnutzung mit adaptiver Möblierung, gute Akustik und Transparenz aus. Im Bauprozess wurden zudem die Vorteile eines integralen Planungsansatzes mit Architekten, Behörden, Geldgebern, Fachplanern und Nutzern deutlich (z.B. vereinfachte Fördermittelakquisition, Synthese von technischen Vorgaben und Praktikabilität im Schulalltag).

4. Brandschutz

Die gesamte Schule ist mit einer automatischen Brandmeldeanlage ausgestattet. Der erste und zweite Rettungsweg aus den Klassenräumen der Obergeschosse führt über Flure, die als Verkehrs-zonen jedoch nicht als notwendige Flure ausgebildet sind und mit den Marktplätzen in offener Verbindung stehen. Von den Lernlandschaften können endständig jeweils zwei notwendige Treppenträume erreicht werden. Für die Lüftungs- und Leitungsführung der technischen Gebäude-ausrüstung wurde ein alternatives Konzept entwickelt, bei dem die Lüftungsleitungen getrennt in feuerhemmenden Schächten bis in den zu versorgenden Raum geführt werden. Einzig beim Austritt aus der Lüftungszentrale im Untergeschoss ist die Anordnung zugelassener Brandschutzklappen erforderlich. Die Rauchableitung wird über Fenster oder über zusätzliche Öffnungen zur Rauchableitung gewährleistet.

Somit konnten für den Sonderfall „offene Lernlandschaften im einem Holzbau“ Lösungen entwickelt werden, die ein gleichwertiges Sicherheitsniveau aufweisen wie Schulgebäude in Stahlbeton- oder Mauerwerksbauweise.

5. Schallschutz/Akustik

Die raumakustischen Laboruntersuchungen und Optimierungsberechnungen ergaben, dass die aus akustischer Sicht zuerst angedachten Filzbaffeln nicht geeignet sind, die hohen Anforderungen zu erfüllen. Weitaus bessere Ergebnisse lieferten Holzwolle-Akustikplatten mit entsprechender Unterkonstruktion an den Stirnwänden und zwischen den Deckenbalken. Der Planungsvorgang zeigte, dass zum Erreichen der ehrgeizigen akustischen Ziele eine sehr enge und frühzeitige Zusammenarbeit aller Planungspartner, insbesondere zwischen Architekt und Akustiker, notwendig ist. Die Vermessung von Wandkonstruktionen im Akustiklabor erwies sich als sehr hilfreich. Die Werte des Schallschutzes und der Nachhallzeiten sind abschließend in den Unterrichtsräumen wiederholt worden und zeigten gute Übereinstimmung mit den Laborwerten.

6. Integrative Freiraumgestaltung

Das Entrée des Gymnasiums umfasst eine öffentliche Erschließungszone, die den Vorplatz mit dem Ortsrand von Diedorf verbindet und Parkplätze, Fahrradständer und die Verbindung zum Bahnhof beinhaltet. Die Pausenbereiche sind so gestaltet, dass durch unterschiedlich befestigte Flächen und verschiedenartige Sitzelemente Orte zur Kommunikation, Aktivität und Erholung entstehen. Zusätzlich sind Freisportanlagen (z.B. Allwetterplatz, Rasenspielfeld) und eine Werkstattherasse mit Freiraumlabor geschaffen worden. Außerdem erfolgte die Umsetzung der naturräumlichen Zone und der technischen Aspekte Brandschutz (z.B. Feuerwehzufahrt), Beleuchtung und Entwässerung. Als Ergebnis ist ein sehr hoher Standard, der hinsichtlich gestalterischer und ökologischer Fragestellungen weit über den herkömmlichen Qualitäten der Freianlagen eines vergleichbaren Schulbaus liegt, erreicht worden.

7. Energieplanung/Thermischer Komfort/Plusenergiestandard

Der spezifische Primärenergiebedarf ergibt sich zu 55,3 kWh/m²NGF_{ex} inklusive aller nutzungsspezifischen Energien. Damit ist unter Ausnutzung aller Dachflächen ein Plusenergiestandard realisierbar (erforderliche Erzeugung aus PV=346.000 kWh/a, mögliche Erzeugung aus PV=431.000 kWh/a). Mit den thermischen Simulationen konnte wichtige Hinweise auf die Auswirkung von unterschiedlichen Konstruktionsvarianten gewonnen werden. So ist die Verwendung einer OSB-Platte unter der Betondecke möglich, eine Verlegung eines Teppichs (statt einem mineralischem Fußbodenbelag) hingegen nicht. Aufgrund der Eigenheiten des Holzbaus mussten allerdings in Teilbereichen Kompromisse hingenommen werden. So wurden aufgrund der prinzipbedingten im Schnitt relativ geringen wirksamen thermischen Masse des Gebäudes und aufgrund der außerordentlich hohen Anforderungen an die Raumakustik die Zielwerte für den sommerlichen thermischen Komfort zum Teil nur knapp erfüllt.

8. Heizungstechnik

Die Wärmeerzeugung erfolgt durch zwei Pelletskessel mit je 100 kW Leistung. Zwei Pufferspeicher mit je 7500 l Inhalt helfen das Takten der Kessel zu minimieren, Leistungsspitzen zu reduzieren sowie als Überbrückung von Kesselausfallzeiten. Die Verteilung der Wärme erfolgt über einen kombinierten Heizungs- und Kälteverteiler für die Fußbodenheizung sowie ein Verteiler für Brauchwarmwasser und die Luftherhitzer. Warmwasser für die Küche und die Duschen der Sporthalle wird über 4 Frischwasserstationen zur Verfügung gestellt. Ansonsten erfolgt die Warmwassererzeugung dezentral elektrisch (z. B. in den Teeküchen). Die Wärmeübergabe in die Räume erfolgt durch eine Fußbodenheizung geregelt nach Raumluftsensoren als Einzelraumregelung.

9. Kältetechnik

Hauptkälteerzeuger ist ein Kompaktkaltwassersatz mit einer Leistung von 136 kW bei 12 °C Vorlauftemperatur und Normbedingungen. Dabei wird je nach Außenklima der energieeffizienteste Betriebsmodi gewählt, angefangen von einer freien Kühlung bei kalten Außenluftbedingungen über eine adiabate Verdunstungskühlung bei höheren Temperaturen.

Im Extremfall (hohe Außenluftfeuchten und –temperaturen) arbeitet der Kaltwassersatz als reine Kompressionskältemaschine. Ein Betrieb soll möglichst nur nachts bei kalten Temperaturen erfolgen, um den Wirkungsgrad zu steigern. Die Speicherung erfolgt in einem, im Kapitel Heizungstechnik beschriebenen, Pufferspeicher, der im Sommer als Kältespeicher genutzt wird. Der zweite Speicher übernimmt weiterhin die Versorgung der Schule mit Warmwasser als Brauchwasser und Vorwärmung der Zuluft. Für die Kälteübergabe wird das System der Fußbodenheizung genutzt. Die Estrichmassen werden in der Nacht gekühlt und können sich über Tag wieder mit Wärme aufladen. Der Serverraum wird aufgrund seines ganzjährigen Bedarfs mit einer dezentralen Split-Kältemaschine versorgt. In den Lüftungsanlagen übernimmt eine adiabate Verdunstungskühlung im Abluftstrom in Kombination mit der Kälterückgewinnung eine Vorkühlung der Außenluft. Eine Be- und Entfeuchtung wurde nicht umgesetzt.

10. Lüftungstechnik

Die Frischluftversorgung wird über eine zentrale Zu- und Abluftanlage zur Verfügung gestellt. Dabei kommen zwei Anlagen mit einem max. Luftvolumenstrom von jeweils 22.500 m³/h zum Einsatz. Die Verteilung der Luft erfolgt über Lüftungskanäle im Kellergeschoss, die auf eine max. Luftgeschwindigkeit von 3 m/s ausgelegt sind. Grundlage ist ein max. Frischluftbedarf von 28,5 m³/Pers*h, der bedarfsgerecht nach CO₂-Konzentration im Raum gesteuert wird. Die Lufteinbringung erfolgt über brüstungsseitige Quellauslässe mit einer Überströmung in die Marktplätze und abschließender Absaugung. Als Wärmerückgewinnung kommt ein Kreislaufverbundsystem mit einer Rückwärmehzahl von 73% zum Einsatz.

11. Gebäudeleittechnik/MSR

Beim Gymnasium Diedorf kommt ein Direct-Digital-Controller-System (DDC) in den Technikscherpunkten / Informationsschwerpunkt (ISP), ein Einzelraumsystem in den Raum- und Zonenbereichen sowie ein übergeordnetes Gebäudeleittechniksystem zur Anwendung. Alle in diesem Projekt eingesetzten Systembestandteile werden über ein Standard Ethernet TCP / IP Netzwerk miteinander verbunden und tauschen somit direkt Daten aus. Als Datenprotokoll wird BACnet over TCP / IP verwendet. Die Visualisierung der GLT sowie die separate Darstellung der Monitoringdaten gewährleistet eine gute Überwachung, Steuerung, Analyse und Optimierung der haustechnischen Anlagen-technik.

12. Elektrische Energie

Zur externen Stromversorgung wurde eine kundeneigene 630 kVA Trafostation umgesetzt. Intern sorgt eine Dach integrierte 430 kWp-PV-Anlage für die Erreichung des Plusenergiestandards. Die Verkabelung erfolgte dezentral, auf Etagenverteiler wurde bewusst verzichtet. Dafür wurde jeder Unterrichtsraum mit einer eigenen kleinen Unterverteilung ausgestattet, welche die Leitungen auf kurzem Wege zusammenfasst und zugleich die senkrechten Hauptleitungswege zwischen den Etagen ermöglichten. Als übergreifendes Bus-System für die komplette Elektroanlage kam der KNX-Bus zum Einsatz. Untergeordnete Anlagen wie Beleuchtung kommunizieren über den DALI-, Verschattungsanlagen über den SMI-Bus. Alle untergeordneten Bussysteme kommunizieren über erst kürzlich auf den Markt gekommene Gateways mit dem übergeordneten KNX-Bus. Durch die Randbedingungen des vorgefertigten Holzbaus ergaben sich deutlich längere Kabelwege als in vergleichbaren Massivgebäuden. Des Weiteren ist der Planungs- und Abstimmungsaufwand deutlich höher und erfordert mehr Zeit.

13. Tages- und Kunstlichtplanung

Die Funktionstüchtigkeit der Tageslichtsysteme an Ober- und Seitenlichtern hat sich wie erwartet als positiv herausgestellt. Ausführliche Diskussionen wurden im Rahmen der Zielkonflikte über die Punkte Oberlichtgröße/Kosten und Oberlichtgröße/PV-Anlage geführt. Auch die Steuerung und Bedienung des Lamellenraffstores sorgte für detaillierte Diskussionen. Die Kunstlichtanlage funktioniert ebenfalls wie erwartet gut. Die größten Diskussionspunkte diesbezüglich lagen in der Steuerung und Bedienung für die entsprechenden Raumteile.

Die Nutzung von Beamern mit einer guten Sichtbarkeit der Projektionen führt zu einem Zielkonflikt mit hoher Tageslichtversorgung. Dieses Problem muss im Laufe der Monitoringdauer noch genauer spezifiziert und analysiert werden.

14. Bau- und Lebenszykluskosten

Ein Vergleich der Baukosten (Stand 08.03.2016) mit dem BKI (Stand 1.Quartal 2014 und Stand 1. Quartal 2015) zeigt, dass die Kosten pro m³ BRI für den Neubau des Gymnasiums Diedorf (382 €/m³) im Bereich des Mittelwerts des BKI (370 bzw. 365 €/m³) liegen. Es wird ersichtlich, dass das gesamte Forschungsprojekt im Rahmen der ausgewiesenen BKI-Kosten realisiert werden konnte und nicht relevant über dem Durchschnitt liegt.

Bezüglich der Lebenszykluskosten sind die Unterschiede zwischen den Gebäudevarianten sehr gering und bei der langen Betrachtungszeitraumweise zu vernachlässigen (Standard: 2228 €/m²BGF, Passiv: 2111 €/m²BGF, Diedorf: 2233 €/m²BGF). Dies bedeutet, dass sich das qualitativ hochwertige und nachhaltige Gebäude im Lebenszyklus rechnet bzw. keine monetären Nachteile gegenüber einer Standardschule aufweist.

15. Ökobilanz

Die Vergleiche zwischen Gebäuden in konventioneller Bauweise, die zahlreiche Bauprodukte aus endlichen Ressourcen enthalten, und Gebäuden mit einem hohen Anteil an Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen haben die erheblichen Entlastungspotenziale aufgezeigt, die letztere Bauweise für das Ökosystem bietet. So lässt sich durch den umgesetzten Holzbau im Gegensatz zu einem Standardgebäude das CO₂-Äquivalent um 95% reduzieren. Ein Großteil der heute üblichen Bauaufgaben vom Wohn- bis zum Gewerbebau lässt sich mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen umsetzen.

16. Reduktion Risikostoffe

Es stellte sich bei der Projektbearbeitung heraus, dass die Unternehmer auf die Dokumentation der Baustoffe nicht vorbereitet sind. Die Herstellerfirmen stellten den Unternehmern die gewünschten Dokumente erst nach mehreren Anfragen zur Verfügung. Einigen Unternehmen sind Anfragen nach Risikostoffen und Emissionsklassen entsprechend DGNB- oder BNB-Zertifizierung bekannt und sie versuchen diese zu erfüllen oder bemühen sich aktiv um eine Emissionsminderung. In jedem Bauvorhaben sollten die verwendeten Bauprodukte dokumentiert, die Risikostoffe begrenzt und die hygienische Innenraumluft sichergestellt werden.

17. Monitoring der Innenraumlufthygiene

Als Ergebnis der Messung ist das Gebäude nach DIN EN 15251 als „sehr schadstoffarmes Gebäude“ zu bewerten. Da die BNB-Zielwerte für die Raumluftqualität deutlich unterschritten wurden, wird die Höchstpunktzahl des Steckbriefs erreicht. In den Räumen mit RLT-Anlagen sind bei Bauübergabe keine Überschreitungen der Richt- und Leitwerte des „Ausschuss für Innenraumrichtwerte“ zu erwarten. Auch nach ausreichender Ablüftungs- und Abtrocknungszeit der Baustoffe werden diese mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten.

18. Aufbau der Messdatenerfassung/Vorbereitung zum Monitoring

Die Monitoringsensoren wurden erfolgreich im Gebäude verbaut und in Betrieb genommen. Allerdings sind die zusätzliche Sensoren und der gesamte Datentransfer für den normalen Gebäudebetrieb nicht notwendig und besaßen daher für Planer und ausführende Firmen eine untergeordnete Priorität. Somit wurden Leistungen zu spät, mangelhaft oder gar nicht ausgeführt. Inhalte, Ziele und Arbeitspunkte des Monitorings sollten noch früher besprochen werden sowie Fristen für die Erledigungen bestimmter Arbeiten fixiert werden.

19. Qualitätssicherung

Aufgrund fehlender Erfahrung einiger Beteiligten mit innovativen Systemen in Pilotvorhaben, war die Qualitätssicherung notwendig, um effiziente Anlagentechnik mit hohen Raumluftkomfortbedingungen zu erreichen. Durch das Aufstellen einer Entscheidungsmatrix ist eine energieeffiziente Anlagentechnik bei gleichzeitig minimalen Kosten ausgewählt worden.

Durch Vermeidung von Überdimensionierung oder unnötigen Komponenten ließen sich die Investitionskosten um mindestens 40.000€ reduzieren. Des Weiteren wurde durch die Vereinfachung von Systemen ein fehlerhafter, ineffizienter und störanfälliger Betrieb vermieden.

20. Erarbeitung und Darstellung eines Integralen Planungsprozesses im Einklang mit den öffentlichen Vergaberichtlinien

Bei der Umsetzung der Planungsergebnisse in der öffentlichen Ausschreibung konnten technische Spezifikationen und Anforderungen in den Ausschreibungstext mit aufgenommen werden. Die dazu notwendigen Voraussetzungen waren bereits in der bisherigen VOB/A EU geregelt. Die Spezifikationen wurden bei der Ausschreibung sehr umfangreich festgelegt, da Erfahrungen gezeigt haben, dass eine nachträgliche Einführung von Forderungen im Rahmen der Auftragsgespräche praktisch gegenüber dem Bieter nicht durchzusetzen war. Besonders augenfällig war die Notwendigkeit der genauen technischen Spezifikation im Bereich Produkte „mit sauberen Inhaltsstoffen“. Auch diese Forderung konnte aufgrund einer sehr detaillierten und akribischen Spezifikation im Einklang mit den VOB-Richtlinien ohne Beschwerden der Bieter in der Ausschreibung umgesetzt, in die Verträge eingeführt und auf der Baustelle verarbeitet werden.

21. DBU Verfahrensbetreuung

Im Bereich der Projektdurchführung umfasste die DBU-Verfahrensbetreuung nicht nur die rein schematische zentrale Projektbegleitung, die versucht, Ziele im Hinblick auf den Modellcharakter vor dem Hintergrund der Fähigkeit und Qualität der Baudurchführenden sicher zu stellen, sondern auch während der Bauzeit auftretende, neue Kenntnisse auf die Integration in das Projekt unter ablauf-technischen und finanziellen Aspekten zu prüfen. Im vorliegenden Fall war eines der Beispiele die Reduzierung des Gebäude-Standby-Verbrauchs durch den Einsatz neuartiger KNX/DALI-Gateways oder der Einsatz der LED-Technik. Diese hatte sich im Projektverlauf sprunghaft technisch verbessert und finanziell rentabler dargestellt und wurde deshalb noch im Projekt umgesetzt. Die Verfahrensbetreuung des Projektes war von der Aufgabenstellung her umfangreich und effizient auf die Planungsphase ausgerichtet. Wegen des starken Termindrucks konnte die Betreuung in der Ausführungsphase weniger stringent umgesetzt werden. Bei zukünftigen Projekten sollte der Forschungsverfahrensbetreuung in der Baudurchführungsphase mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Wesentliche Ziele der Öffentlichkeitsarbeit waren die Verbreitung der Forschungsergebnisse, um einen möglichst großen Multiplikationseffekt zu erreichen. Bereits während der Planungsphase ist das Projekt Diedorf auch auf internationaler Ebene auf großes Interesse gestoßen. In der Bauphase hat die Resonanz des Fachpublikums nochmals deutlich zugenommen. Insgesamt gab es zum Projekt Schmuttertal-Gymnasium 62 Beiträge in Presseartikeln und 4 Artikel in Fachzeitschriften. Besonders hervorzuheben sind Fernsehbeiträge von ZDF Tivi und dem Bayerischen Rundfunk. Zudem wurde auf 3 Fachveranstaltungen über das Projekt informiert und insgesamt 32 Besucherführungen durchgeführt. Interessierte können sich auf der Homepage des Landkreises Augsburg und des Schmuttertal-Gymnasiums oder über die Broschüre „Schmuttertal-Gymnasium Diedorf – Lernen in pädagogischer Architektur“ erkundigen. Das Projekt wird sowohl auf der Woche der Umwelt 2016 in Berlin vorgestellt als auch im Rahmen eines Fachbuchs zusammengefasst.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung | 19 |
| 1 Einleitung | 23 |
| 1.1 Ausgangssituation | 23 |
| 1.2 Wesentliche Zielsetzungen und Herausforderungen des Projektes | 23 |
| 2 Planungsphase | 25 |
| 2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion | 25 |
| 2.1.1 Holzbetonverbunddecke | 25 |
| 2.1.1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 25 |
| 2.1.1.2 Planungsphase..... | 25 |
| 2.1.2 Vorgefertigter Holzbau | 28 |
| 2.1.2.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 28 |
| 2.1.2.2 Ausführungsplanung für den vorgefertigten Holzbau | 28 |
| 2.1.2.3 2-Stufiges-Vergabeverfahren | 32 |
| 2.1.2.4 Werkplanung..... | 33 |
| 2.1.2.5 Fazit..... | 34 |
| 2.1.3 Integration der offenen Lernlandschaften im weiteren Planungs- und Bauprozess | 35 |
| 2.1.3.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 35 |
| 2.1.3.2 Potential offener Lernlandschaften im Vergleich zur konventionellen Gangschule | 35 |
| 2.1.3.3 Umsetzung der offenen Lernlandschaft | 36 |
| 2.1.3.4 Fazit und Ausblick | 41 |
| 2.1.4 Entwicklung von Maßnahmen zur Sommertauglichkeit | 42 |
| 2.1.5 Brandschutz | 43 |
| 2.1.5.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 43 |
| 2.1.5.2 Rettungswegführung | 43 |
| 2.1.5.3 Lüftungs- und Leitungsführung in der technischen Gebäudeausrüstung..... | 46 |
| 2.1.5.4 Rauchableitung..... | 46 |
| 2.1.5.5 Fazit und Ausblick | 46 |
| 2.1.6 Schallschutz / Akustik | 47 |
| 2.1.6.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 47 |
| 2.1.6.2 Arbeitsschritte und Ergebnisse zur Raumakustik | 47 |
| 2.1.6.3 Arbeitsschritte und Ergebnisse zum Schallschutz | 52 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1.6.4 | Fazit und Ausblick | 56 |
| 2.1.7 | Integrative Freiraumgestaltung | 57 |
| 2.1.7.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 57 |
| 2.1.7.2 | Umsetzung der pädagogischen Zonen..... | 58 |
| 2.1.7.3 | Umsetzung der naturräumlichen Zone..... | 60 |
| 2.1.7.4 | Umsetzung der technischen Aspekte | 60 |
| 2.1.7.5 | Fazit und Ausblick | 61 |
| 2.2 | Technische Ausstattung und Plusenergiestandard..... | 63 |
| 2.2.1 | Energieplanung / Thermischer Komfort / Plusenergiestandard | 63 |
| 2.2.1.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 63 |
| 2.2.1.2 | Erzielbare Primärenergiebilanz | 63 |
| 2.2.1.3 | Energetisches Pflichtenheft | 67 |
| 2.2.1.4 | Thermisch-dynamische Simulationsrechnung | 70 |
| 2.2.1.5 | Fazit und Ausblick | 81 |
| 2.2.2 | Heizungstechnik | 82 |
| 2.2.2.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 82 |
| 2.2.2.2 | Wärmeerzeugung und -speicherung | 82 |
| 2.2.2.3 | Wärmeverteilung..... | 83 |
| 2.2.2.4 | Brauchwarmwasserbereitung | 83 |
| 2.2.2.5 | Fazit und Ausblick | 84 |
| 2.2.3 | Kältetechnik | 85 |
| 2.2.3.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 85 |
| 2.2.3.2 | Kälteerzeugung..... | 85 |
| 2.2.3.3 | Kälteübergabe in die Klassenräume | 85 |
| 2.2.3.4 | Kühlung Wechselrichter- und Serverräume..... | 85 |
| 2.2.3.5 | Fazit und Ausblick | 86 |
| 2.2.4 | Lüftungstechnik..... | 87 |
| 2.2.4.1 | Randbedingungen der Lüftungsanlage | 87 |
| 2.2.4.2 | Variantenuntersuchung zu Versorgungssystemen für Be- und Entlüftung | 87 |
| 2.2.4.3 | Wirtschaftlichkeitsvergleich | 92 |
| 2.2.4.4 | Funktionsweise der Lüftungsanlage | 93 |
| 2.2.4.5 | Optimierung des zentralen Lüftungsgeräts..... | 93 |
| 2.2.4.6 | Brandschutz..... | 93 |
| 2.2.4.7 | Fazit und Ausblick | 94 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.2.5 | Gebäudeleittechnik / MSR..... | 95 |
| 2.2.5.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 95 |
| 2.2.5.2 | Automationssysteme..... | 96 |
| 2.2.5.3 | Gebäudeautomation..... | 96 |
| 2.2.5.4 | Gekürzte Regelungsbeschreibung zum Gymnasium Diedorf..... | 96 |
| 2.2.5.5 | Fazit und Ausblick..... | 102 |
| 2.2.6 | Elektrische Energie | 103 |
| 2.2.6.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 103 |
| 2.2.6.2 | Fremdversorgung | 103 |
| 2.2.6.3 | Energieerzeugung..... | 103 |
| 2.2.6.4 | Energieverbrauch/ -einsparung..... | 104 |
| 2.2.6.5 | Kabelwege im Holzbau..... | 104 |
| 2.2.6.6 | Fazit und Ausblick | 105 |
| 2.2.7 | Tages- und Kunstlichtplanung..... | 106 |
| 2.2.7.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 106 |
| 2.2.7.2 | Ausführungsplanung und -umsetzung..... | 108 |
| 2.2.7.3 | Tageslichteintrag durch horizontale Flächen | 113 |
| 2.2.7.4 | Sonnenschutz der Fassade | 121 |
| 2.2.7.5 | Blendschutz | 123 |
| 2.2.7.6 | Kunstlicht | 126 |
| 2.2.7.7 | Außenanlagen | 126 |
| 2.2.7.8 | Fazit und Ausblick..... | 127 |
| 2.3 | Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung | 130 |
| 2.3.1 | Lebenszyklusanalyse | 130 |
| 2.3.1.1 | Besonderheiten Forschungsprojekt..... | 130 |
| 2.3.1.2 | Flächenbedarf..... | 131 |
| 2.3.2 | Lebenszykluskosten und Barwert | 132 |
| 2.3.2.1 | Baukosten | 132 |
| 2.3.2.2 | Nutzungskosten..... | 134 |
| 2.3.2.3 | Nutzungskosten dynamisiert und Barwertermittlung..... | 137 |
| 2.3.2.4 | Fazit..... | 139 |
| 2.3.3 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | 140 |
| 2.3.3.1 | Wirtschaftlichkeit Baukosten | 140 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----|
| 2.3.3.2 | Wirtschaftlichkeit Plusenergiestandard..... | 141 |
| 2.3.3.3 | Wirtschaftlichkeit Holzbauweise | 144 |
| 2.3.3.4 | Wirtschaftlichkeit offene Lernlandschaften..... | 146 |
| 2.3.4 | Ökobilanz | 147 |
| 2.3.4.1 | Gebäudegewicht, Stoffmasse..... | 147 |
| 2.3.4.2 | Primärenergiebedarf und CO ₂ -Äquiv. für Gebäude und Versorgung | 148 |
| 2.3.5 | Reduktion Risikostoffe..... | 154 |
| 2.3.5.1 | Arbeitskonzept | 154 |
| 2.3.5.2 | Probleme bei der Durchführung..... | 155 |
| 2.3.5.3 | Fazit..... | 156 |
| 2.3.6 | Monitoring Innenraumlufthygiene | 158 |
| 2.3.6.1 | Probleme..... | 159 |
| 2.3.6.2 | Fazit..... | 159 |
| 2.3.7 | Aufbau der Messdatenerfassung / Vorbereitung zum Monitoring | 160 |
| 2.3.7.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 160 |
| 2.3.7.2 | Schwerpunkte des Monitorings | 161 |
| 2.3.7.3 | Monitoring der Referenzräume | 161 |
| 2.3.7.4 | Monitoring der zentralen haustechnischen Anlagen | 164 |
| 2.3.7.5 | Monitoring der Klimabedingungen am Standort | 167 |
| 2.3.7.6 | Monitoring der elektrischen Energieverbräuche | 168 |
| 2.3.7.7 | Spezifikation der Monitoringsensorik..... | 169 |
| 2.3.7.8 | Detailplanung, Bauausführung, Abnahme und Mängelbeseitigung..... | 172 |
| 2.3.7.9 | Datenbankerstellung, Messdatentransfer und Onlinevisualisierung | 173 |
| 2.3.7.10 | Fazit und Ausblick..... | 174 |
| 2.3.8 | Qualitätssicherung | 176 |
| 2.3.8.1 | Ausgangssituation, Motivation, Zielsetzung | 176 |
| 2.3.8.2 | Revision und Optimierung der Anlagentechnik | 177 |
| 2.3.8.3 | Revision der Planunterlagen zur Gebäudehülle | 180 |
| 2.3.8.4 | Stichpunktartige Revision der haustechnischen Ausschreibungsunterlagen | 182 |
| 2.3.8.5 | Detailbetrachtung von Systemkomponenten | 183 |
| 2.3.8.6 | Wissenschaftliche Begleitung der Blower-Door-Tests..... | 186 |
| 2.3.8.7 | Revision und Optimierung der Regelstrategien für die HLSK-Anlagentechnik | 188 |
| 2.3.8.8 | Fazit..... | 189 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.4 | Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit | 191 |
| 2.4.1 | Erarbeitung und Darstellung eines Integralen Planungsprozesses im Einklang mit den öffentlichen Vergaberichtlinien | 191 |
| 2.4.1.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 191 |
| 2.4.1.2 | Arbeitsschritte, Methoden und Ergebnisse | 191 |
| 2.4.1.3 | Die Umsetzung des integralen Planungsprozesses in der Bauphase..... | 194 |
| 2.4.1.4 | Fazit und Ausblick | 195 |
| 2.4.2 | DBU Verfahrensbetreuung | 196 |
| 2.4.2.1 | Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung | 196 |
| 2.4.2.2 | Die einzelnen Arbeitsschritte | 196 |
| 2.4.2.3 | Fazit und Ausblick | 199 |
| 2.4.3 | Öffentlichkeitsarbeit und Dokumentation der Forschungsergebnisse als Fachbuch 200 | |
| 3 | Bauphase | 205 |
| 3.1 | Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion | 205 |
| 3.1.1 | Umsetzung Gewerk Architektur | 205 |
| 3.1.1.1 | Planungsverlauf..... | 205 |
| 3.1.1.2 | Vergaben..... | 207 |
| 3.1.1.3 | Firmenkündigungen..... | 207 |
| 3.1.1.4 | Beschleunigungsmaßnahmen | 208 |
| 3.1.1.5 | Fazit..... | 208 |
| 3.1.2 | Umsetzung Holzbetonverbunddecke | 212 |
| 3.1.2.1 | Aufbetonqualität | 212 |
| 3.1.2.2 | Ausführung der Holz-Beton-Verbunddecke..... | 213 |
| 3.1.3 | Umsetzung Vorgefertigter Holzbau | 214 |
| 3.1.3.1 | Umsetzung der Elementierung laut Ausführungsplanung..... | 214 |
| 3.1.3.2 | Witterungsschutz und dadurch erhöhte Ausführungsqualität | 217 |
| 3.1.3.3 | Verkürzte Bauzeit | 219 |
| 3.1.4 | Umsetzung Gewerk integrative Freiraumgestaltung..... | 219 |
| 3.2 | Umsetzung Technische Ausstattung und Plusenergiestandard | 220 |
| 3.2.1 | Umsetzung Gewerk HLS | 220 |
| 3.2.1.1 | Heizungs- und Kältetechnik..... | 220 |
| 3.2.1.2 | Lüftungstechnik | 221 |
| 3.2.2 | Umsetzung Gebäudeleittechnik..... | 222 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.2.3 | Umsetzung Gewerk Elektro | 223 |
| 3.2.3.1 | Fremdversorgung | 223 |
| 3.2.3.2 | Energieerzeugung durch PV-Anlagen | 223 |
| 3.2.3.3 | Installation | 225 |
| 3.3 | Baukosten | 227 |
| 4 | Fazit und Ausblick | 228 |
| 5 | Abbildungsverzeichnis..... | 230 |
| 6 | Tabellenverzeichnis..... | 235 |
| 7 | Literaturverzeichnis..... | 236 |
| Anhang | | 239 |

Zusammenfassung

Im Großraum Augsburg ergab sich aufgrund von Kapazitätsengpässen der Bedarf für ein neues Gymnasium für ca. 1000 Schüler. Als Standort wurde der Markt Diedorf ausgewählt. Der Landkreis Augsburg hat sich dazu entschieden, dort ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Pilotprojekt mit Leuchtturmcharakter umzusetzen. Das neue Schmuttertal-Gymnasium Diedorf (SGD) besteht aus einem Vier-Häuser-Cluster mit einer Gesamtfläche von ca. 16.100 m²_{BGF}. In zwei Gebäudeteilen sind offene Lernlandschaften sowie Fachklassen untergebracht. Die anderen beiden Gebäudeteile umfassen eine Sporthalle und einen Verwaltungsbau mit Aula.

Bereits im Vorfeld wurde in Zusammenarbeit mit Schülern, Eltern und Lehrern ein individuelles pädagogisches Profil ausgearbeitet, das gymnasiale Bildung und Teamarbeit optimal unterstützt. Die Umsetzung erfolgte durch offene Lernlandschaften, die sich durch eine variable Raumnutzung mit adaptiver Möblierung und hoher Transparenz auszeichnen. Diese Zielstellung erforderte nicht nur eine stark vernetzte Zusammenarbeit aller Fachbereiche im Rahmen einer Integralen Planung, sondern auch neue technische und bauliche Lösungen. Dazu gehörte vor allem eine gute Innenraumakustik. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Baustoffe und Konstruktionen in akustischen Laboruntersuchungen und Simulationsrechnungen verglichen. Zum Einsatz kam dann eine spezielle Konstruktion auf Basis von Holzwolle-Akustikplatten an Decken und Wänden. Auch das Brandschutzkonzept musste auf die veränderten Randbedingungen angepasst werden und die Gleichwertigkeit zu den bauordnungsrechtlich vorgeschriebenen Schutzziele durch zusätzliche Maßnahmen nachweisen.

Das Gebäude wurde als Holzbau umgesetzt. Im Vergleich zum konventionellen Massivbau ließ sich durch einen hohen Vorfertigungsgrad der Bauelemente die Bauzeit des Rohbaus auf 26 Wochen reduzieren. Eine Erhöhung der Speichermassen konnte durch die Umsetzung einer neuartigen Holz-Beton-Verbunddecke mit einer Stahlfaserarmierung und einem vergrößerten Estrichaufbau und einer thermischen Aktivierung dieses Bauteils erreicht werden.

Zusätzlich ist die Schule als Plusenergiegebäude geplant und ausgeführt worden. Im Fokus stand dabei auf der einen Seite die Minimierung der Energiebedarfe für Kälte und Wärme durch eine lückenlose und hoch dämmende Gebäudehülle mit geringer Infiltration und einer effizienten Verschattungsanlage sowie die Realisierung eines nachhaltigen Versorgungskonzeptes für die Bereiche Heizen, Lüften und Kühlen auf Basis einer Holzpelletsfeuerung, einer hocheffizienten zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und vorwiegender Kälteerzeugung durch freie und adiabate Kühlung in der Nacht. Die Speicherung von Wärme und Kälte erfolgt in den aktivierbaren Gebäudemassen und in zwei Pufferspeichern. Auf der anderen Seite ist der Bedarf von primärenergetisch ungünstigem Strom zu minimieren. Dies betrifft vor allem den Bedarf an Kunstlicht, der durch eine Maximierung der Tageslichtausbeute mit Hilfe von Oberlichtern und einer tageslichtgesteuerten Verschattungsanlage sowie durch den Einsatz von LED-Technik optimiert werden konnte. Insgesamt ergibt sich so ein spezifischer Primärenergiebedarf von 55,3 kWh/m²_{NGFxA} inklusive aller nutzungsspezifischen Energien (Laptops, Whiteboards etc.) und Großverbrauchern wie Schulserver und Mensa. Zur Erreichung des Plusenergiestandards kommt eine 430 kWp PV-Anlage, die in allen vier Gebäudedächern in Südausrichtung integriert ist, zum Einsatz. Auch in der Ökobilanz auf Basis einer Lebenszyklusanalyse konnte die besondere Nachhaltigkeit des Gebäudes nachgewiesen werden. Gegenüber einem Standardschulgebäude in Massivbauweise konnte das CO₂-Äquivalent der Emissionen um 95% reduziert werden.

Damit sich die späteren Nutzer in der Schule wohlfühlen, ist ein gesundes Innenraumklima wichtig. Deshalb sind entsprechende Kriterienkataloge in die Ausschreibungen integriert worden, um die Risikostoffe für die lokale Umwelt und die Innerraumlufthygiene zu minimieren. Vor Inbetriebnahme der Schule im Herbst 2015 konnte auf Basis von Raumluftmessungen ein „sehr schadstoffarmes Gebäude“ nach DIN EN 15251 attestiert werden.

Zusammenfassung

Zur Sicherstellung der Projektziele und zur abschließenden Bewertung wird nach Inbetriebnahme ein mindestens 3-jähriges Gebäudemonitoring unter den Aspekten Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Behaglichkeit und Gesundheit realisiert. Dazu wurde die bestehende für den Betrieb ohnehin notwendige Sensorik und Datenverarbeitung ergänzt und modifiziert, um alle zur Optimierung und Bilanzierung relevanten Messdaten generieren und später auswerten zu können.

Die Bruttoerrichtungskosten betragen 41,8 Mio. €, bezogen auf den Bruttorauminhalt ergibt sich ein Wert von 382 €/m³. Damit liegt das Gebäude im Bereich des Mittelwerts des BKI-Kostenindex von 2015 für vergleichbare Bauten. Somit konnte gezeigt werden, dass ein Schulneubau mit vielfältigen neuartigen und innovativen Ansätzen und Techniken ohne nennenswerte Mehrkosten umgesetzt werden kann.

Die Vielzahl an anspruchsvollen Aufgaben lässt sich nur bewältigen, wenn insbesondere im Planungs- und Bauablauf besonderes Augenmerk auf eine enge Kommunikation im Projektteam gelegt wird. Nur im Rahmen einer Integralen Planung aller Akteure, wozu neben den Architekten und Fachplanern auch der Bauherr und die Nutzer gehören, lassen sich solch komplexe Aufgabenstellungen bewältigen. Erschwerend kam hier hinzu, dass durch die Vorfertigung des Holzbaus sehr früh ein hoher Detaillierungsgrad der haustechnischen Planung erreicht werden musste, weil spätere Anpassungen auf der Baustelle kaum möglich sind. Somit hat man sich entschlossen in besonders sensiblen Bereichen der anlagentechnischen Gewerke eine externe Qualitätssicherung umzusetzen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Bereits am Ende der 90er Jahre zeichnete sich im Großraum Augsburg der Bedarf für ein neues Gymnasium ab. Der Zuzug junger Familien, steigende Übertrittsquoten an die Schulart Gymnasium und sinkende Abbrecherquoten hatten dazu geführt, dass die Gymnasien im Großraum Augsburg alle ihre Kapazitätsgrenzen erreichten. Insbesondere Kinder aus dem westlichen Landkreis pendelten in immer größerer Zahl in die Gymnasien im Stadtgebiet Augsburg, so dass der Freistaat Bayern und der Landkreis Augsburg die Errichtung eines Gymnasiums in dieser Region ins Auge fassten. Ein Standortgutachten im Jahr 2009 ergab, dass mit dem Standort Diedorf die voraussichtlich größte Entlastungswirkung für die Gymnasien in Augsburg und das Gymnasium in Neusäß erreicht werden könne.

Mit drei 5. Klassen startete das Schmuttertal-Gymnasium 2010 in den leerstehenden Räumen einer Mittelschule in Diedorf zunächst als Außenstelle des Paul-Klee-Gymnasiums Gersthofen. Die räumlichen Kapazitätsgrenzen wurden schnell erreicht, es folgte Unterricht in Containern. 2011 gab der Landkreis Augsburg als Träger des Gymnasiums grünes Licht für den Bau einer eigenen Schule, die ca. 900-1.000 Schüler aufnehmen sollte. Das Grundstück dafür wurde von der Marktgemeinde Diedorf in der Nähe des Diedorfer Bahnhofs zur Verfügung gestellt.

Mit Beginn des Schuljahres 2012/13 wurde das Gymnasium Diedorf selbständig. Schulleiter wurde StD Günter Manhardt, der bereits in den beiden vergangenen Jahren den Aufbau als Stellvertretender Schulleiter des Paul-Klee-Gymnasiums Gersthofen leitete und hierbei von 29 Lehrkräften unterstützt wird.

Für den weiteren Aufbau des Gymnasiums war eine wesentliche Voraussetzung, dass der beschlossene und geplante Neubau der Schule bis zum Schuljahresbeginn 2015 bezogen werden konnte, da spätestens zu diesem Zeitpunkt die verfügbaren Räumlichkeiten nicht mehr ausreichen würden, um den Anforderungen der wachsenden Schule gerecht zu werden. Die Vollausbaustufe des Gymnasiums wird schließlich im September 2017 nach Bezug des Neubaus erreicht werden.

Trotz dieser engen Termschiene strebte der Landkreis Augsburg als Träger des Gymnasiums Diedorf ein zukunftsweisendes Schulgebäude an, das auch den neuen bildungspolitischen Anforderungen gerecht wird und Schule als Lebensraum begreift. Hierfür haben sich auch Schüler, Eltern und Lehrer am Gymnasium Diedorf stark gemacht und ein ganzheitliches neues pädagogisches Profil für ihre Schule entwickelt.

Neue Unterrichtsformen und ein veränderter Schullalltag benötigen allerdings andere Schulen als das bislang umgesetzte Standard-Schulgebäude. Dies erfordert nicht nur ein neues Herangehen an den Planungsprozess sondern auch ein Umdenken hinsichtlich der baulichen und technischen Anforderungen an die zu schaffenden Gebäudestrukturen. Hier wollte der Landkreis Augsburg Schüler und Lehrer unterstützen und gleichzeitig eine Vorreiterrolle einnehmen und den Prototyp einer neuen Schule schaffen. Diese Entscheidung sollte der Startschuss für die Entwicklung einer innovativen und zukunftsweisenden Modellschule im Raum Augsburg werden.

1.2 Wesentliche Zielsetzungen und Herausforderungen des Projektes

Zielsetzung von Bauherr und Nutzer war es, für das Gymnasium Diedorf ein zukunftsweisendes pädagogisches Konzept zur Erfüllung der Ansprüche an moderne gymnasiale Bildung umzusetzen. Gerade die Erkenntnis, dass neue Lernformen auch neue bauliche Grundrisse erfordern, um die Gestaltung der Abläufe sicherzustellen, war und ist für viele Kommunen noch Neuland.

Mit dem neuen Raumkonzept sollte daher der Nachweis gelingen, dass offene (Klassen-) Räume mit integrierten klassischen Erschließungsflächen (Flure) zu „offenen LernLandschaften“ umfunktioniert

1 Einleitung

werden können, die methodisch vielfältigen und selbstgesteuerten Unterricht ermöglichen, ohne dass Mehrflächen gegenüber dem Standardraumprogramm geschaffen werden müssen.

Ziel war, dass die offenen LernLandSchaften eine hohe Selbstständigkeit der Schüler ermöglichen und schüleraktivierende Unterrichtsformen leichter eingesetzt werden können als in herkömmlicher Architektur. Gleichzeitig soll der Teamgedanke unter Schülern und Lehrkräften – und damit die Bildung sozialer und personaler Kompetenzen – in den Jahrgangsstufenbereichen täglich umgesetzt werden. Durch eine flexible und nachhaltige Außenraumgestaltung sollte das offene Lernkonzept zudem von innen nach außen weitergeführt und unterstützt werden.

Eine wesentliche Herausforderung bestand darin den Neubau im Hinblick auf vorbildlichen aktiven Umweltschutz als nachhaltigen Holzbau mit hoher Gestaltungsqualität im Plusenergiestandard zu konzipieren.

Ein wichtiges übergeordnetes Ziel bestand somit in der Realisierung eines gebäudeangepassten Plusenergiekonzepts mit wegweisendem Charakter. Unter Beachtung der speziellen Gegebenheiten durch den angedachten Holzbau und das pädagogische Konzept mit offenen LernLandSchaften sollte ein Gebäude entstehen, welches in der Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen die Umwelt entlastet statt belastet. Ein extrem geringer Primärenergiebedarf der haustechnik- und nutzerbezogenen Verbraucher war hierfür unabdingbar.

Ein weiteres Ziel war die Demonstration der Leistungsfähigkeit des Baustoffes Holz in tragender wie auch ausstattender Funktion sowie die Suche nach Konstruktionen bzw. Baulösungen, die sich vom üblichen Standard innovativ absetzen. Im Holzbau war zudem insbesondere die Frage der thermischen Massen zur Sicherung des thermischen Komforts im Sommerfall zu lösen. Hierzu sollte eine innovative Holzbetonverbund-Deckenlösung entwickelt werden.

Die wirkliche Herausforderung gerade bei Schulbauprojekten besteht jedoch darin, dass sich die späteren Nutzer, Lehrer wie Schüler, in dem Gebäude wohlfühlen. Für ein gesundes Innenraumklima sind vor allem die Bauweise des Gebäudes und die verwendeten Baustoffe entscheidend. Daher war ein entscheidendes Ziel des Projektes, die ökologische Optimierung durch den Einsatz von Holz durch gesundheitsrelevante Betrachtungen zu ergänzen. Hierzu sollten Risikostoffe für die lokale Umwelt und für die Innenraumlufthygiene identifiziert und in der baulichen Umsetzung begrenzt werden. Ein wesentliches Ziel war die Bauproduktauswahl so zu gestalten, dass die Grenzwerte für TVOC und Formaldehyd mit Sicherheit unterschritten werden.

Die Erreichung dieser ambitionierten Zielstellungen bedeutete einen kontinuierlichen Dialog als integraler Planungsansatz zwischen Planer, Bauherr und Schule im gesamten Planungs- und Umsetzungsprozess. Integrale Planung äußert sich hierbei in simultaner und interdisziplinärer Arbeitsweise aller Beteiligten eines Planungsprozesses. Die vergabekonforme Umsetzung dieses Prozesses und das Aufzeigen und Belegen des Mehrwertes eines integral geplanten Projektes gegenüber einem konventionell Geplanten sollte hierzu ebenfalls dokumentiert werden.

Zur Sicherstellung und Bewertung der ambitionierten Projektziele wurde ein mehrjähriges umfangreiches Gebäudemonitoring vorgesehen. Dazu gehören vor allem Aspekte der Nachhaltigkeit, der Energieeffizienz und Behaglichkeit sowie Gesundheitsaspekte. Anhand der in der Monitoringphase gewonnen Messdaten wird eine Interpretation des Gebäudes bezüglich Energie- und Ressourceneffizienz, Klimabelastung und Erfüllung des Raumkomforts ermöglicht. Daraus sollen Empfehlungen und Maßnahmen zur Betriebsoptimierung abgeleitet werden, welche nach deren Durchführung hinsichtlich deren Effizienz und Effektivität bewertet und evaluiert werden können.

2 Planungsphase

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

2.1.1 Holzbetonverbunddecke

2.1.1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Aufgrund der Ergebnisse der ersten Forschungsphase wurde entschieden die Geschossdecken der Klassenhäuser und der Aula als Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken) zu planen. Dabei sollte ein Deckensystem entwickelt werden, welches den Bauablauf des vorgefertigten Holzbaus nicht zu stark verzögert. Die Decke sollte mit handelsüblichen Komponenten hergestellt und auf der Grundlage von Berechnungsverfahren, die sich auf eingeführte Normen abstützen, berechnet werden können.

2.1.1.2 Planungsphase

Formale und funktionale Randbedingungen (Führen von Installationen, Anordnung von akustisch wirksamen Absorbern) führten zur Wahl einer Rippendecke. Sie besteht aus Brettschichtholzrippen und einer Platte aus Ortbeton. Der statisch wirksame Verbund zwischen Holz und Beton wird über Formschluss mit Nocken im Beton und Taschen in den Holzbalken hergestellt. Diese Form der Verbindung stellt die kostengünstigste Variante der Verbindung dar und kann mit normgemäßen Nachweisverfahren berechnet werden. Zwischen den Rippen wurde eine Holzwerkstoffplatte (OSB) als „verlorene“ Schalung ausgeführt.

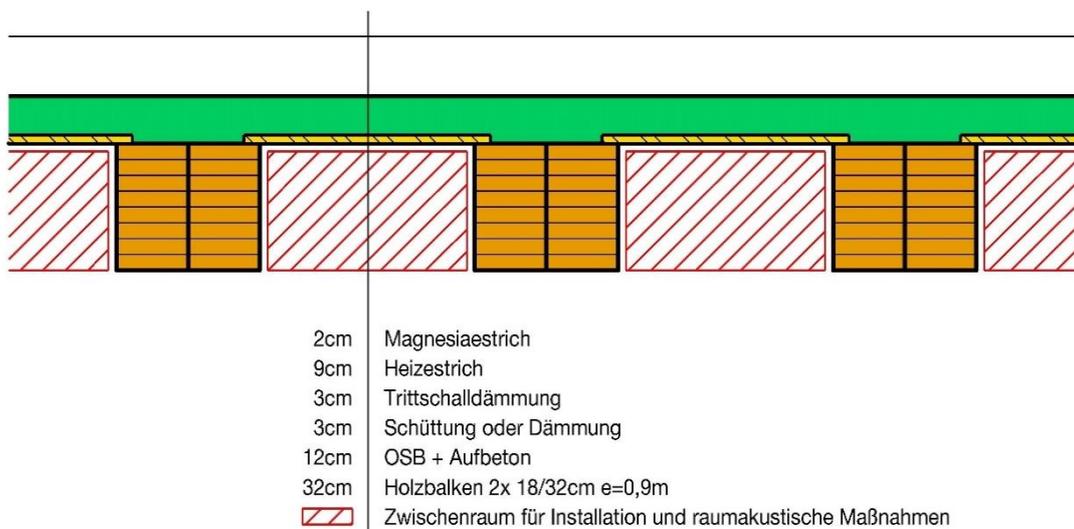


Abbildung 2.1-1: Schematischer Schnitt durch die Decke

Für die Berechnung von HBV-Decken gibt es unterschiedlichste Rechenverfahren. Für das Projekt Diedorf wurde aufgrund von bisherigen Erfahrungen eine Berechnung mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch gewählt. Das Modell nach Rautenstrauch eignet sich gut für die Nachweisführung. Für Variantenuntersuchungen ist es aber relativ aufwändig. Darum wurde im Rahmen einer Masterarbeit [Dob14] an der Technischen Universität Wien ein Programm erarbeitet, das mit Hilfe des γ -Verfahrens ein einfaches Gegenüberstellen von unterschiedlichen Querschnittsaufbauten und unterschiedlichen Beton- und Holzqualitäten erlaubt.

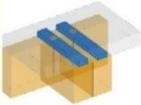
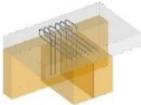
Besonders untersucht wurde zudem der Anschluss der Rippen an die Querträger, da dieser Anschluss aufgrund der großen Anzahl sowie hohen Einzelkosten besonders kostenrelevant ist. Unterstützt wurden diese Untersuchungen durch eine Masterarbeit [Vog13] an der Hochschule Konstanz. Die untersuchten Varianten wurden in Bezug auf die statisch konstruktiven Randbedingungen verglichen. Der

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Vergleich der Wirtschaftlichkeit erfolgte anhand eines speziellen Leistungsverzeichnisses unter Einbezug eines Holzbauunternehmers. Die Resultate in Form eines Stärke-/ Schwächeprofils (siehe Tabelle 2.1-1) wurde bei der Planung berücksichtigt. Die Verbindung mit dem besten Profil, in diesem Falle die Verbindung mit SFS Schrauben, wurde in der Ausschreibung als auszuführende Variante vorgegeben.

Tabelle 2.1-1: Auszug aus der Auswertung Anschluss Rippe / Querträger

+ gut o mittelmäßig - schlecht

| | RHP + Gewindestangen  | Bewehrungs- eisen  | Sherpa L50  | SFS Schrauben  | Gewichtung |
|---|--|---|--|---|-----------------|
| Preis | o | o | o | + | stark |
| Montage- geschwindigkeit | + | o Bewehrung zulegen | o Querträger- verbindung erforderlich | o Querträger- verbindung erforderlich | schwach |
| Flexibilität | o Platz über Querträger | o Platz über Querträger | + | + | schwach |
| Vorfertigung | o Leimgeneh- migung | o Leimgeneh- migung | + | + | sehr schwach |
| Platzverbrauch Lagerung / Transport | o | - hohe Abstandshalter erforderlich | + | + | sehr schwach |
| Brandschutz F30 | + | + | + | + | sehr schwach |
| Resultat | - | - | o | + | |

Bisher wurden HBV-Decken ausschließlich mit Mattenstahl bewehrt. Bei der Verwendung von Stahlfaserbeton müssen einige Besonderheiten beachtet werden. Dies wurde ebenfalls im Rahmen einer Masterthesis [Vog13] an der Hochschule Konstanz untersucht. Die Berechnung hat gezeigt, dass es nicht möglich ist, die Decke ausschließlich in Stahlfaserbeton herzustellen. Grund dafür ist eine hohe Beanspruchung des Betons im Bereich der ersten Schubnocke. In diesem Bereich sind lokal Zulagen aus

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Betonstahlmatten erforderlich. Alle anderen Nachweise können ohne zusätzliche Stabstahlbewehrung erbracht werden. Wirtschaftlich ergeben sich bei Ausführung des Aufbeton mit Stahlfaserbeton vor allem Vorteile im Bauablauf. Es wird weniger Lagerfläche für Bewehrung benötigt und die Dauer der Bewehrungsarbeiten verkürzt sich deutlich. Aus diesem Grund ist der Aufbeton für das Gymnasium Diedorf mit einer Grundarmierung aus Stahlfasern (C30/37 L1,8/1,5) ausgeschrieben worden.

Das Schwinden des Betons hat einen signifikanten Einfluss auf das Verformungsverhalten von HBV-Decken. Aus diesem Grund wurde in der Ausschreibung ein Endschwindmaß von 0,3 mm/m verlangt.

2.1.2 Vorgefertigter Holzbau

2.1.2.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Im Forschungsantrag Neubau Gymnasium Diedorf wurde davon ausgegangen, dass es bei einem Leuchtturmprojekt notwendig ist, die Potentiale des modernen Holzbaus auszuschöpfen. Dazu gehört im besonderen Maße die Vorfertigung und damit im Zusammenhang ein anderer Bauprozess. Als Gründe für einen optimierten Vorfertigungsgrad wurden folgende Vorteile erwartet:

- Verkürzung der Bauzeit
- Minimierung von Schäden infolge Witterungseinflüsse während der Bauzeit
- geordneter und störungsfreier Bauprozess
- Qualitätssteigerung des gesamten Bauwerks
- verbesserte Umweltbilanz

Untersuchungsgegenstand war auch, wie und ob es bei einem öffentlichen Ausschreibungsverfahren möglich ist, den geplanten Vorfertigungsgrad in der Realität umzusetzen. Erfahrungen aus bereits ausgeführten Bauten zeigten, dass teilweise mangelnde Innovationsbereitschaft und Vorfertigungsmöglichkeiten mancher Holzbauunternehmen und eine unklare Ausschreibungs- und Vergabesituation aufgrund mangelnder Vorausplanung einem hohen Vorfertigungsgrad im Wege stehen. Aufgrund dieser Erfahrungen wurde eine spezielle Vorgangsweise sowohl in der Planung als auch in der Vergabe gemeinsam mit dem Bauherrn und der Vergabestelle beschlossen. Dabei wurden folgende grundsätzliche Festlegungen getroffen:

- Die Detailtiefe der Ausführungsplanung sollte vor der Ausschreibungsphase soweit entwickelt werden, dass der Unternehmer genaue Festlegungen in Bezug auf den Vorfertigungsgrad erhält. Um diese Festlegungen möglichst realitätsnah zu treffen, wurde ein Holzbauunternehmen in der Planungsphase beigezogen, das sich an der Ausschreibung nicht beteiligte.
- Es wurde beschlossen, die Holzkonstruktion sowie die gesamte Gebäudehülle inkl. Notdach als Teil-GU auszuschreiben.
- Zur Auswahl der geeigneten Holzbauunternehmer wurde ein 2-stufiges Vergabeverfahren angewendet.

Die bei dieser Vorgangsweise gemachten Erfahrungen werden im folgenden Bericht beschrieben und analysiert.

2.1.2.2 Ausführungsplanung für den vorgefertigten Holzbau

Kriterien für die Elementgrößen

In einem intensiven Planungsprozess, bei dem wir Herrn Thomas Sohm (Holzbaufachmann und Inhaber der Zimmerei Sohm) für ca. 4 Stunden zur Beratung hinzugezogen haben, wurde das Maß der Vorfertigung festgelegt. Ausschlaggebend für die Elementgröße war das größtmögliche Transportmaß. Das Gewicht-Fahrzeug (ca. 24-28 Tonnen) inkl. Ladung darf 48 Tonnen nicht überschreiten- spielt beim Holzbau eine untergeordnete Rolle.

- Lademaß beim Normaltransport (LxBxH): 13,5m x 2,5m x 2,8m
- Lademaß bei einem Transport mit niedrigerer Ladenflächenhöhe: 13,5m x 2,5m x 4,0m Gesamthöhe (Tiefbettlader ca. 30 cm Ladehöhe)

Alle größeren Ladungen brauchen Sondergenehmigungen, wobei Transportfirmen oft Dauergenehmigungen für Ladungen bis 3,0 m Breite und ca. 18,0 m Länge haben und somit nicht bei jedem Transport neu ansuchen müssen. Dies variiert von Unternehmen zu Unternehmen. Auch ab wann Begleitfahrzeuge notwendig sind, ist von Land zu Land unterschiedlich.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Ein weiteres Kriterium für die Planung der Elementgröße war der Bauablauf. Aufgrund des Witterungsschutzes wurde mit Hilfe vom Tragwerksplaner entschieden, die zwei Klassenhäuser und die Aula in 3 Bauabschnitte zu unterteilen. Diese Abschnitte wurden nicht geschossweise eingeteilt, sondern die Häuser von Ost nach West in 3 Teile geteilt (vgl. Abbildung 2.1-2). Dadurch wurde die bewetterte Fläche während der Bauphase minimiert. Die Sporthalle hat vertikale Elemente, die über die komplette Höhe reichen, die mittels Folie geschützt werden.

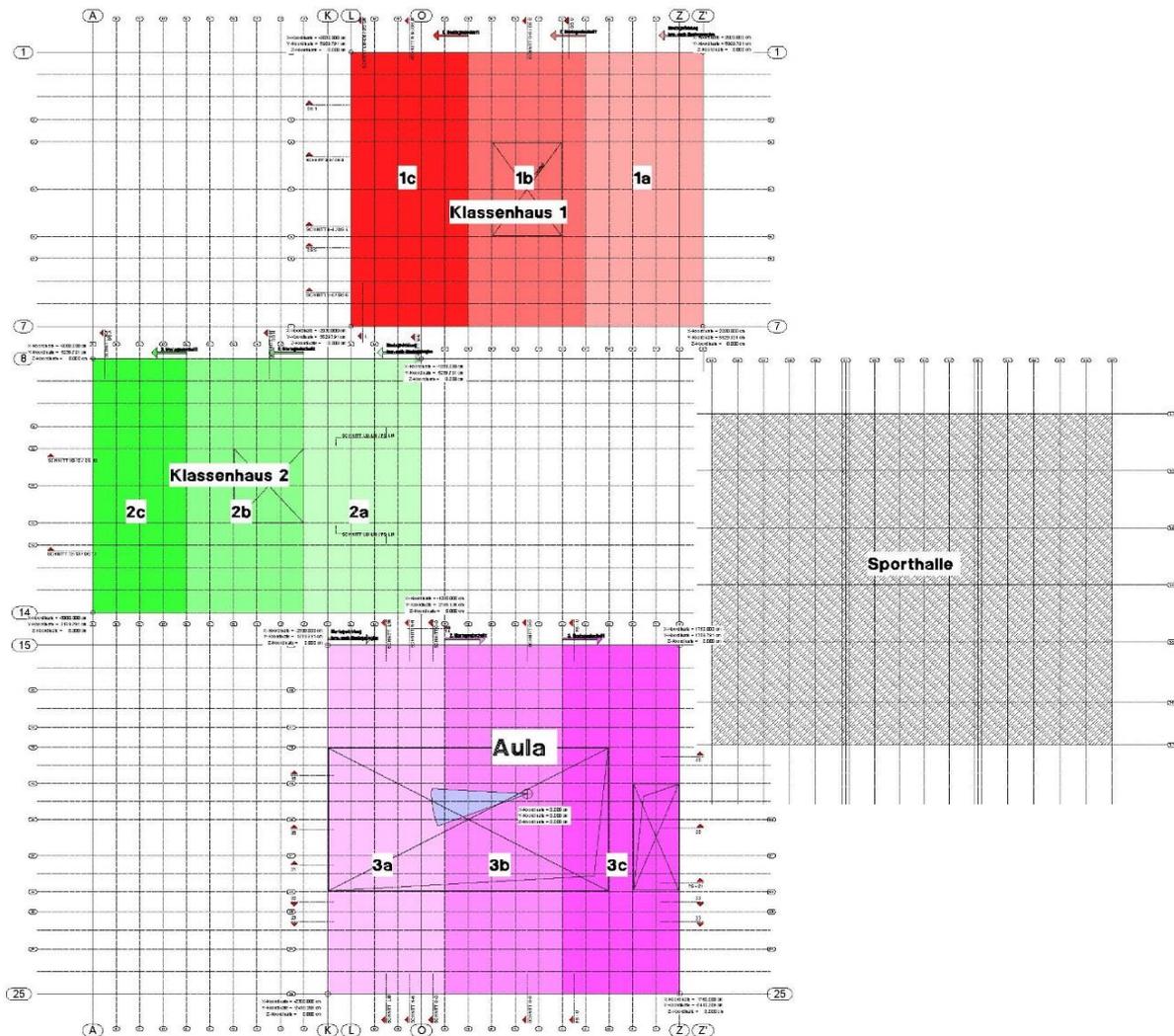


Abbildung 2.1-2: Bauablauf der Klassenhäuser und Aula, Plan Kaufmann Bausysteme

Planung der Elementgrößen

Es wurden alle wichtigen Elementstöße sowohl horizontal als auch vertikal überlegt und detailliert sowie auf den Montageablauf der einzelnen Gewerke abgestimmt. Diese Planung war Grundlage der Ausschreibung.

- Außenwandelemente der Klassenhäuser und Aula: Mit Hilfe der erarbeiteten Kriterien waren die Längen der Elemente bald bestimmt. Schwieriger war der horizontale Elementstoß. Die Wände inklusive Fassade hätten die maximal mögliche Transporthöhe überschritten, daher wurde entschieden, diese als eigene Elemente zu fertigen.
- Außenwandelemente der Sporthalle: die Elemententeilung erfolgte hier im Bereich der Halle vertikal. Im südlichen Teil der Sportnebenräume wurden die Elemente wie in den restlichen Häusern horizontal mit eingebauten Fenstern vorgesehen.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

- Fassadenelemente: diese bestehen aus der Fassadenschalung und der Querlattung. Die geplante Länge orientiert sich an den Teilungen der Außenwandelemente. Die Höhe ist durch die geschossweisen Fassadensprünge vorgegeben. Die Fassadenelemente wurden in einem 2. Montageschritt an die bereits aufgerichteten Außenwandelemente „angehängt“.
- Deckenelemente: Diese wurden auf das Achsraster 2,70 m, welches sich von Ost nach West durch alle Häuser zieht, eingeteilt. In die andere Richtung variiert die Breite je nach Nutzung, diese konnte allerdings auf 3 unterschiedliche Längen pro Haus – Klassenräume, Flure und Mittelzone – limitiert werden. Die Elemente bestehen aus einer Balkenlage und der aufgeschraubten OSB-Platte, welche als verlorene Schalung für den Aufbeton vor Ort benötigt wird.
- Innenwandelemente: Die Vorfertigung reichte hier soweit, dass die aussteifenden Holzbauwände mit den für den Schallschutz notwendigen Fermacellplatten im Werk montiert wurden.
- Dachelemente: bestehend aus BSH-Sparren, Heraklith-Platten und dem Notdach entsprachen die Maße denen der Deckenelemente.

Im Folgenden sind beispielhaft Darstellungen der Elementeteilungen aufgeführt:



Abbildung 2.1-3: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung in Ansichten, Grundriss und Querschnitt des KH I

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

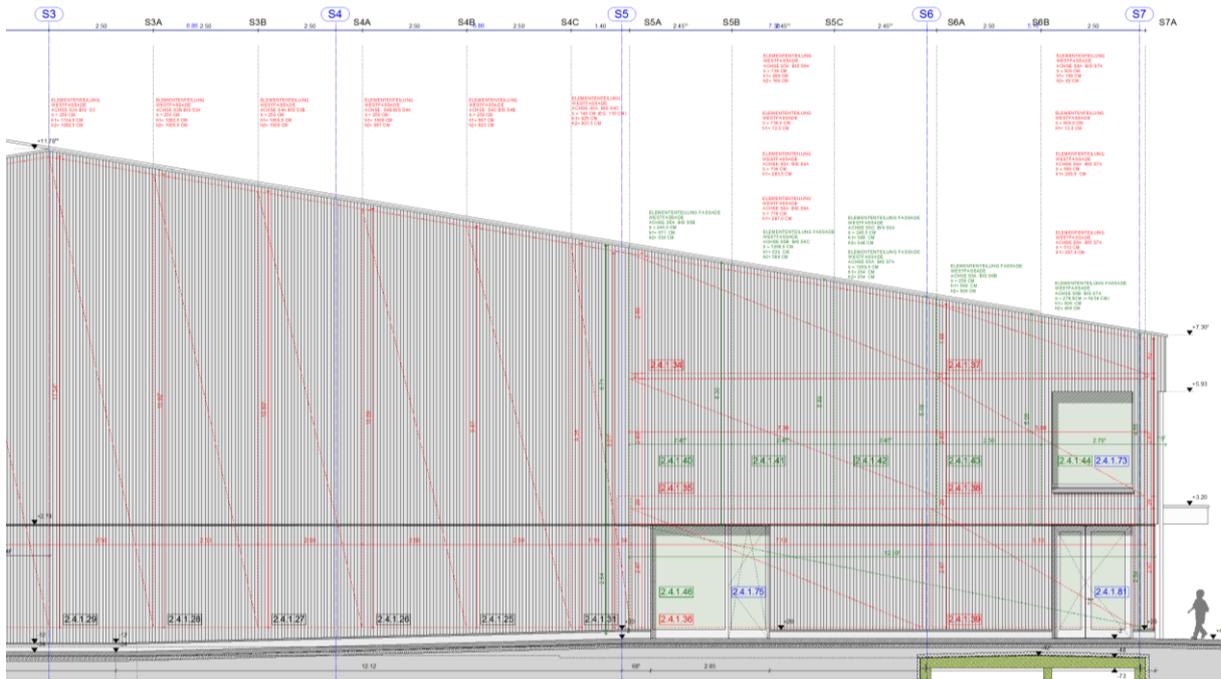


Abbildung 2.1-4: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung in Ansicht West der Sporthalle

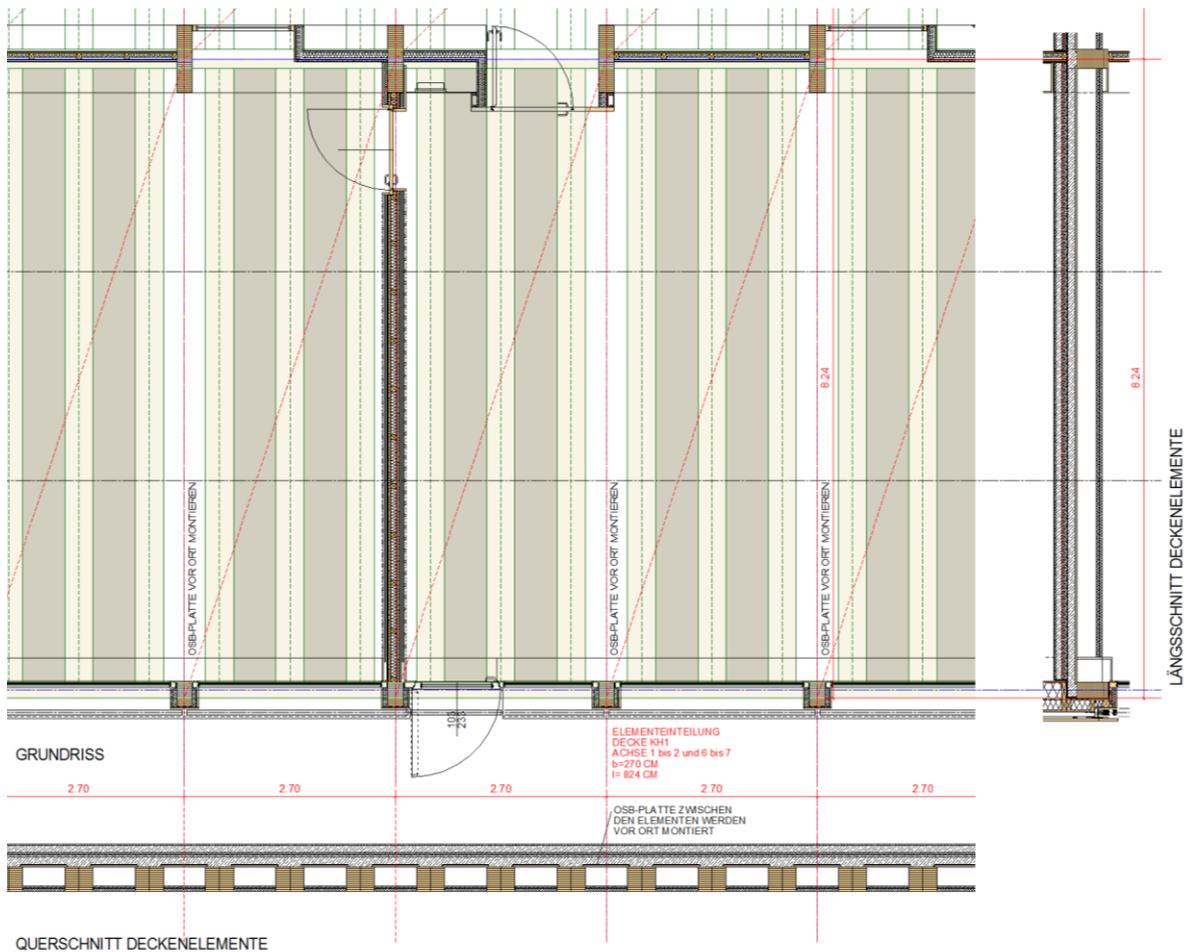


Abbildung 2.1-5: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung der Decken des KH I im Grundriss, Quer- und Längsschnitt

Koordination mit den Fachplanern

Für eine funktionierende Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachplaner sind Vorkenntnisse über einen Holzbau wichtig, wenn nicht sogar Grundvoraussetzung. Entscheidend für einen guten Projekt- ablauf ist es, dass gerade bei einem hohen Vorfertigungsgrad die gesamten Leitungsführungen in den einzelnen Elementen exakt definiert sind, sodass Bohrungen und Durchbrüche sowie notwendige Lei- tungsverlegungen im Werk vorbereitet werden können. Eine Holzkonstruktion kann im Nachhinein nicht beliebig durchbohrt werden. Es hat sich gezeigt, dass diese Tiefe der Detailplanung gerade in den Gewerken Sanitär, Heizung und Elektro unüblich sind. Eine derart genaue Planung ist in konventionel- len Bauweisen nicht notwendig, da vieles erst auf der Baustelle geklärt wird.

Diese Abstimmungen waren sehr zeitaufwendig und konnten im Wesentlichen nur nacheinander ge- macht werden.

2.1.2.3 2-Stufiges-Vergabeverfahren

Die erarbeiteten Ausführungspläne dienten als Grundlage des „Nichtoffenen 2-stufigen Ausschrei- bungsverfahrens nach VOB/A“, für welches man sich gemeinsam mit dem Landratsamt nach Begrün- dungen für die Gewerkezusammenlegung entschied. Dass die Gewerke Holzbau (Holzkonstruktion, vorgefertigte Gebäudehülle in Holz, Dach und Wand), Holzfenster, Notdach und die vorgefertigten Treppenläufe aus Beton aus einer Hand kommen sollten, war Grundvoraussetzung für die maximale Vorfertigung.

Stufe 1: Auswahlverfahren

In der ersten Stufe wurde ein Auswahlverfahren anhand vordefinierter Bewertungskriterien gemacht, die in folgende Gruppen gesplittet wurden:

- | | |
|---|------|
| - Fachliche Eignung sowie finanzielle und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit nach § 6 Abs. 3 VOB/A bzw. § 6 EG Abs. 3 Nr. 2 VOB/A | 5 % |
| - §§ 6 Abs. 3 Nr. 2 b VOB/A bzw. EG-VOB/A: Ausführung von Leistungen in den letz- ten drei abgeschlossenen Geschäftsjahren, die mit der zu vergebenden Leistung vergleichbar sind | 5 % |
| - § 6 Abs. 3 Nr. 2 c VOB/A bzw. EG-VOB/A: Zahl der in den letzten drei abgeschlosse- nen Geschäftsjahren jahresdurchschnittlich beschäftigten Arbeitskräfte, gegliedert nach Lohngruppen mit gesondert ausgewiesenem technischen Personal | 15 % |
| - Weitere Kriterien nach § 6 Abs. 3 Nr. 3 VOB/A bzw. EG-VOB/A Allgemeine Fachkunde in Holzbau und Vorfertigung, Holzfenster in Passivhaus- qualität und Notdachabdichtung | 75 % |

Durch diese Vorfilterung wurden Firmen gefunden, die die personellen Anforderungen, qualifiziertes Führungs- und Fachpersonal, betriebliche Anforderung, geeignete Produktionsstätten, Maschinen und Geräte sowie organisatorische Voraussetzungen, Vorhalten der erforderlichen Planungsunterlagen und Grundlagendokumente und Optimierung der betrieblichen Abläufe erfüllten.

Stufe 2: Teil-GU-Ausschreibung

Die auserwählten Firmen wurden in zweiter Stufe eingeladen, die „Teil-GU-Ausschreibung“ auszufül- len. Die Art und Weise der Ausschreibung ließ den Firmen so gut wie keinen Spielraum in Bezug auf den Vorfertigungsgrad. Dies führte auch zu einer geringen Angebots-Spannweite von unter 10 % in- nerhalb der ersten 5 Bieter von gesamt 6 Bietern bei einem Gesamtauftrag von knapp € 6,8 Mio brutto.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Im Anhang sind folgende Punkte als Auszüge aus dem Leistungsverzeichnis aufgeführt:

| | |
|-------------------------|----------------|
| AW03 (Außenwandelement) | siehe Anhang 1 |
| IW (Innenwandelement) | siehe Anhang 2 |
| DE (Deckenelement) | siehe Anhang 3 |
| Dachelement | siehe Anhang 4 |

Lt. Gesprächen mit den Zimmermannsfirmen war das Ausfüllen der Ausschreibung ziemlich aufwendig. Jedes Element musste separat gerechnet werden im Gegensatz zu einer Ausschreibung mit m² Angaben für Platten oder m³ Angaben für verbautes Holz.

Vorteile ergaben sich bei der Abrechnung. Die exakten Beschreibungen und Angaben der jeweiligen Elemente konnten so eins zu eins abgerechnet werden. Es waren keine aufwendigen Massenermittlungen notwendig.

2.1.2.4 Werkplanung

Mit der Werkplanung konnte im März 2014 begonnen werden. Der Montagebeginn Holzbau war im Juni 2014. Die Ausführungsplanung war bei der Übergabe der Pläne an das Holzbauunternehmen noch nicht mit den Gewerken der Haustechnik fertig abgestimmt. Das führte zu aufwendigen Planungsänderungen und Adaptierungen, die parallel zur laufenden Werksplanung erfolgen mussten. Die notwendigen Ergänzungen und Änderungen bewirkten für die Firma einen großen Mehraufwand. Der damit entstehende Zeitdruck bedingte ein paralleles Arbeiten von Architekten, Fachplanern und Holzbauunternehmer, was wiederum die Effektivität einer solchen Parallelplanung mindert.

Während der Werkplanung tauchten zusätzlich noch ungelöste Probleme auf, die dann zusammen mit der ausführenden Firma und der jeweiligen Fachplanung gelöst werden mussten. So zum Beispiel das große Bühnentor. Das als Drehtor ausgeschriebene und geplante Tor wurde nach den Bedenken der Zimmerei zu einem Schiebetor umgeplant. So erhöhten sich die kalkulierten Planungsaufwände der Firma Kaufmann Bausysteme um ca. 2/3 auf 13% ihres Gesamtaufwandes. Dies wird anhand folgender Grafik deutlich:

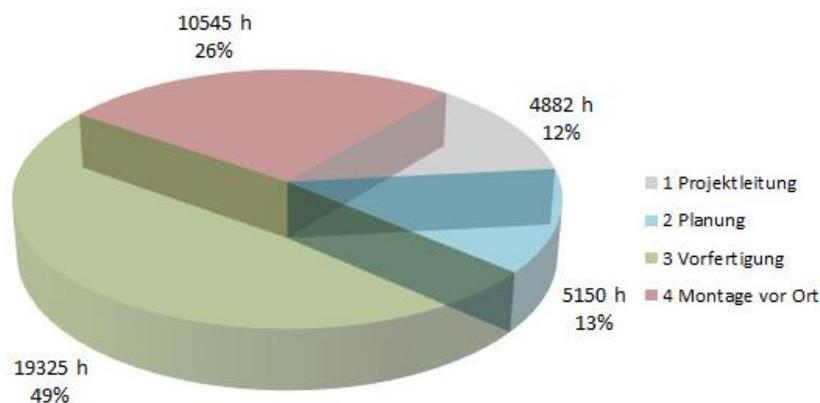


Abbildung 2.1-6: Zeitaufwand der ausführenden Zimmermannsbetriebe in Stunden und Prozent, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann

Der Holzbau nutzt eine durchgehende digitale Datenkette von der Werkplanung über die Fertigung bis zur Montage auf der Baustelle. Eine funktionsfähige Schnittstelle ohne Datenverluste von der Ausführungsplanung der Architekten und Fachingenieuren zur Werksplanung ist hier noch nicht gegeben. Somit wird das gesamte Projekt circa zwei Mal neu gezeichnet. Der hohe Planungsaufwand ergibt sich auch aus dem Vergabeprozedere. Idealerweise sollte die ausführende Firma schon während der Ausführungsplanung mit im Team sein, was bei öffentlicher Vergabe derzeit nicht möglich ist. Durch eine

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

frühzeitige Abstimmung und Kooperation von Ausführungsplanung des Planungsteams und der Werkplanung des Holzbauunternehmers könnte Planungszeit durch Arbeitsteilung eingespart werden. Bis in welche Detailtiefe der Architekt die Ausführungsplanung treiben muss und was er der Holzbauplanung überlassen kann, hängt stark vom Vergabeprozess ab. In der rechtzeitigen Einbindung des Holzbauunternehmens liegt ein wesentliches Einsparungspotential in der Planung.

2.1.2.5 Fazit

- Die Ausführungsplanung eines vorgefertigten Holzbaus braucht mehr Zeit. Diese notwendige Vorlaufzeit kann jedoch durch die raschere Bauzeit kompensiert werden.
- Durch die Festlegung der Elementgrößen während der Ausführungsplanung kann nach Elementen ausgeschrieben werden. Dies erhöht zwar den Aufwand für die Angebotsabgabe der Firmen, jedoch ist es bei der Abrechnung vorteilhaft.
- Das 2-stufige Vergabeverfahren ist auf jeden Fall sinnvoll. Durch das Vorselektieren werden geeignete Holzbauunternehmen gefunden, die auch eine Werksplanung und Arbeitsvorbereitung im Griff haben.
- Eine gute Werksplanung und Arbeitsvorbereitung der Holzbaufirma gewährleistet einen störungsarmen und geordneten Bauprozess.
- Die konsequente Vorfertigung von größtmöglichen Elementen minimiert die notwendigen Transporte zur Baustelle, was sich positiv auf die Umweltbilanz auswirkt.
- Die Vorfertigung im Werk unter optimalen Bedingungen ermöglicht eine hohe Ausführungsqualität und Detailgenauigkeit. Das Gesamt-Erscheinungsbild des fertigen Gebäudes kann dadurch gesteigert werden.
- Eine Teilgeneralunternehmervergabe im Bereich Holzbau ist vorteilhaft. Konstruktion und Gebäudehülle sollten in einem Verantwortungsbereich liegen. Eine der Hauptherausforderung bei großen Holzbaustellen ist der Witterungsschutz während der Konstruktionsphase, wobei es darum geht, die Konstruktion möglichst schnell durch die Gebäudehülle zu schützen.

2.1.3 Integration der offenen Lernlandschaften im weiteren Planungs- und Bauprozess

2.1.3.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

In den Schuljahren 2011-2015 entwickelte sich in Diedorf eine eigenständige Schulgemeinschaft, die mit knapp 60 festen Lehrkräften, sehr guten Anmeldezahlen und einem breitgefächerten Angebot an Wahlfächern und Veranstaltungen zu einem „typischen“ Gymnasium geworden ist – nur eben noch in einem Behelfsbau aus Containern. Parallel dazu wurde mit den Lehrkräften, Planern und Geldgebern intensiv am Konzept der „offenen LernLandSchaften“ für den Schulneubau gearbeitet.

Worin liegt die Chance einer Schulgründung ohne ein bereits fertiggestelltes Gebäude?

Während sich die Schulgemeinschaft bildet und zusammenwächst, besteht die Möglichkeit, in einem temporär genutzten Umfeld Methoden im „kleinen Rahmen“ auszuprobieren und ein eigenes pädagogisches Profil mit fachlichen Schwerpunkten zu entwickeln. Dieses wird sich kontinuierlich an gesellschaftlichen Entwicklungen anpassen und durch wechselnde Akteure verändert werden. Im Gegensatz dazu verlangt der (Um)Bau eines Schulgebäudes exakte und verbindliche Festlegungen, welche eine systematische Planung und eine solide Kostenkalkulation voraussetzen. Raumfunktionsbeziehungen, Transparenz, eine hohe akustische Qualität und flexibel verwendbare Möbel beeinflussen maßgeblich, wie gerne und wie häufig man mit SchülerInnen etwas Neues ausprobiert, wie erfüllend und zielgerichtet man im Alltag arbeiten kann und letztlich wie sehr die Nutzer ihr Gebäude wertschätzen.

Wer auf die Gestaltung seiner zukünftigen Arbeitsumgebung Einfluss nehmen möchte, muss gemeinsam herausfinden, wie man bei aller Individualität mit den SchülerInnen und den Kollegen zusammenarbeiten möchte und welche räumlichen Qualitäten positiv dazu beitragen. Mit Hilfe von externer Beratung können die Ideen sortiert, eigene Arbeitsmethoden hinterfragt und erweitert werden. Die „Leistungsphase 0“ wird mit „Pädagogisches Raumfunktionsbuch“ abgeschlossen, in dem typische Nutzungsszenarien beschrieben, Funktionen erfasst und miteinander in Bezug gesetzt werden. Das Buch orientiert sich dabei an den realen Bedingungen (d.h. förderfähige Flächen) und bietet z.B. mögliche Lösungen zur Doppelnutzung an, ohne dass gestalterische oder technische Aspekte vorweggenommen würden.

Der Leitfaden für das Schmuttertal-Gymnasium wurde zusammen mit Lehrern und Elternvertretern im Oktober und November 2011 verfasst und allen an der weiteren Planung Beteiligten zu Verfügung gestellt.

Wenn sich die Schulgemeinschaft „selbst erfindet“ ist ein guter Zeitpunkt gekommen, um zusammen mit den künftigen Nutzern die eigentlichen Planungen des Schulgebäudes zu beginnen. Im Vergleich zum „schlüsselfertigen Bauen“ gelingt es so wesentlich leichter, ein möglichst passgenaues, innovatives und im positiven Sinne anstiftendes Umfeld zu entwickeln und dabei finanziell und ökologisch verantwortungsvoll zu handeln.

2.1.3.2 Potential offener Lernlandschaften im Vergleich zur konventionellen Gangschule

Welches Potential offene LernLandSchaften im Vergleich zur konventionellen Gangschule mit ihren voneinander getrennten Klassenzimmern bieten, lässt sich grafisch einfach erklären:

In einer „ganz normalen“ Unterrichtsstunde steht die Lehrkraft die meiste Zeit im Mittelpunkt und sendet Informationen durch Sprache oder visuelle Medien an die Schülerinnen und Schüler. Vielfach werden Fragen an die Schüler nur sehr punktuell gestellt oder nur als Mittel eingesetzt, um die Aufmerksamkeit wieder zu gewinnen. Frontale Unterrichtsphasen haben weiterhin ihren Sinn als effiziente Einweisungsphase, wenn man sie bewusst einsetzt und die Lehrenden nicht nur inhaltlich, sondern auch rhetorisch ihr Handwerk verstehen. Dauert die Instruktionsphase zu lange, driftet die Aufmerksamkeit vieler Schüler ab, bei den einen aus Langeweile, bei den anderen aus Überforderung und Resignation (vgl. Abbildung 2.1-7).

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 2.1-7: Idealbild „Jeder folgt aufmerksam dem Lehrer“ (links) und Realität „Viele sind entweder unterfordert oder resignieren aus Überforderung“ (rechts) im Frontalunterricht

Diversität wandelt die Lehrerrolle weg von der "One Man Show" hin zum Moderator und Begleiter. Das Tempo und die Art der Aneignung von Inhalten und Systematiken – kurz die Lernstile – unterscheiden sich bei vielen Schülerinnen und Schülern grundlegend. Selbstständiges und selbstorganisiertes Arbeiten oder auch Peer-to-Peer-Learning stoßen Zeitfenster auf, in denen die Lehrkräfte individuelle Betreuung leisten können (vgl. Abbildung 2.1-8). Wer individuelle Lernstile fördert, erlebt Abwechslung, Engagement und bei den (allermeisten) Schülern einen Lernfortschritt.



Abbildung 2.1-8: Der Lehrer kann in seiner Rolle als Moderator und Begleiter punktgenau und effizient agieren. Währenddessen beschäftigen sich die anderen Schüler selbstständig und in ihrem Tempo – mit Umwegen inklusive.

2.1.3.3 Umsetzung der offenen Lernlandschaft

Der Schlüssel liegt in wechselnden Unterrichtsphasen, jedoch brauchen vor allem Gruppenarbeitsformen häufig mehr Raum und Flexibilität, als starr eingerichtete Klassenräume bieten können. Ein erster Schritt ist es, die Möblierung innerhalb des Klassenraumes zu flexibilisieren (vgl. Abbildung 2.1-9). Der Dreieckstisch mit seinen unterschiedlichen Stellmöglichkeiten und seiner Stapelfähigkeit konnte bereits im Containerbau im Unterrichtsbetrieb getestet und jetzt in den Neubau übernommen werden.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 2.1-9: Flexibilisierung innerhalb der Klassenräume als Schlüssel zu mehr Abwechslung in den Unterrichtsformen. Dreieckstische können von den Schülern leicht und leise in neue Formationen gebracht werden und lassen sie sich wie rechts zu sehen leicht aufstapeln, um eine Reflexionsrunde zu ermöglichen.

Während der Unterrichtsstunden liegen die Flurflächen in einer „typischen Schule“ brach, obwohl sie für Arbeitsgruppen, Begegnung oder Individualisierung zusätzlichen Raum bieten könnten (vgl. Abbildung 2.1-10). Einschränkende Brandschutzkonzepte, fehlende akustische Maßnahmen und mangelnde Transparenz zu den Räumen führen dazu, dass auch in vielen Neubauten die Klassen hinter ihren Tür bleiben und wenig gewinnbringender Austausch stattfinden kann. Neben allen funktionalen oder gestalterischen Überlegungen ist es auch unter energetischen Gesichtspunkten fragwürdig, monofunktionale Verkehrsflächen und zu viele, einem kleinen Nutzerkreis vorbehaltene Räume zu schaffen.

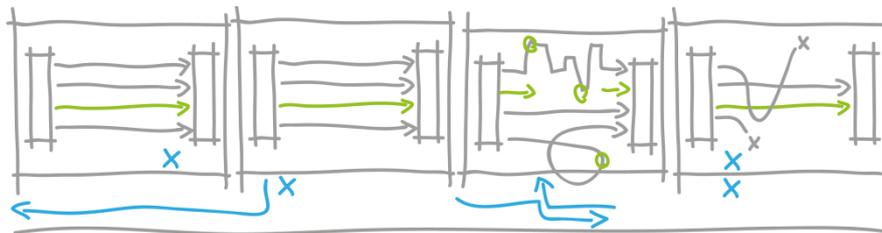


Abbildung 2.1-10: Innen zu wenig Spielraum, ein leer Gang, kaum Gelegenheit für Begegnung und Austausch – eine typische Flurschule.

Üblicherweise arbeitet jeder in seiner „Box“. Mit kleinen Änderungen in der Planung können jedoch jeweils vier Klassen mit „ihrem Flur“ räumlich verknüpft werden und ihn aktiv bespielen, wie in der folgenden Abbildung dargestellt:

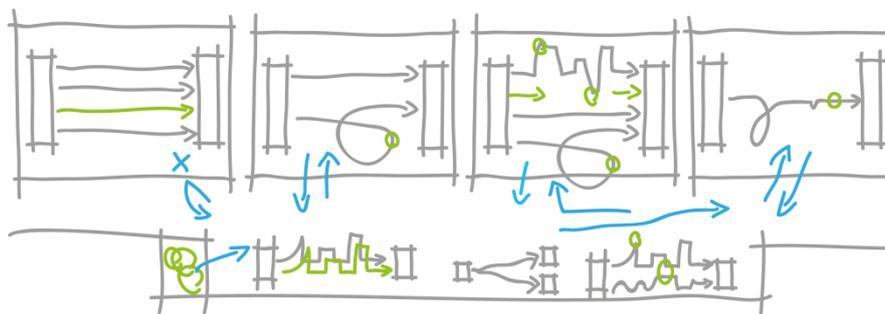


Abbildung 2.1-11: Kleine Änderungen erlauben es, aus einem Flur eine vielseitig nutzbare Begegnungs- und Arbeitsfläche zu machen, die den Alltag von Schülern UND Lehrern verbessert.

Gelingt es wie in Diedorf Nutzungseinheiten von unter 400 m² mit zwei voneinander unabhängigen Fluchtwegen zu bilden, kann aus dem „notwendigen Flur“ ein „Marktplatz“ gemacht werden. Dieser

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Schachzug erlaubt es, die Fläche vielseitig zu bespielen und über Verglasungen eine räumliche Beziehung zu den Klassen aufzubauen, so dass man als Lehrkraft den Überblick behalten kann.

Gerade im Neubau muss man sich die zusätzliche Fläche für den Marktplatz über Kompensation, also z.B. durch die Einsparung von Abstellräumen oder Differenzierungsräumen „beschaffen“. Dieses „Wegnehmen von Quadratmetern“ ist für viele Lehrerinnen und Lehrer ein sehr heikler Punkt, der unbedingt innerhalb der Leistungsphase 0 mit einer gemeinsamen Definition von Prioritäten und Funktionen entschärft werden muss. In Diedorf konnten auf diese Weise die Computersäle „aufgelöst“ und deren Flächen und deren Funktion den Marktplätzen zugeschlagen werden.

Schüler innerhalb einer LernLandSchaft begreifen sich mehr als Jahrgangs-Einheit und weniger als Klasse. Sind zudem die Räume frei zugänglich und findet – wie im Gymnasium üblich – der Fachunterricht in den Sälen statt, wird es bei guter Planung möglich, fünf Klassen mit vier Unterrichtsräumen zu versorgen.

So können noch weitere Flächen für gemeinsame Aktivitäten verfügbar gemacht werden, bzw. eignen sich die offenen Plätze durch ihre Akustik und Möblierung bestens auch für kleine Arbeitsgruppen.

In den „autarken“ LernLandSchaften gibt es je einen zentral gelegenen „Lehrerteamraum“ mit Büroarbeitsplätzen, Stauraum und einem Besprechungsbereich. Dieser ersetzt nicht das „große Lehrerzimmer“, sondern bietet den LehrerInnen eine Basis vor Ort und minimiert lange Wege mit vollgepackten Trolleys und Taschen. Abbildung 2.1-12 zeigt die gespiegelte Anordnung von Marktplätzen.

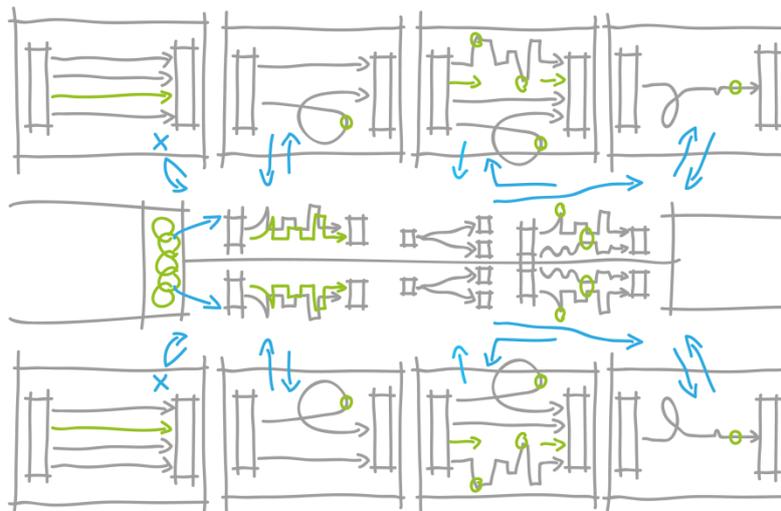


Abbildung 2.1-12: Eine doppelte, gespiegelte Anordnung von LernLandSchaften aus Überlegungen zur Effizienz stehen der Funktion nicht entgegen. Vielmehr kann z.B. der Lehrerstützpunkt (grün markiert) gemeinsam genutzt werden und damit die Kommunikation im Kollegium weiter verbessert werden.

In folgender Abbildung ist die oben beschriebene Umsetzung der LernLandSchaft als Grundriss dargestellt.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

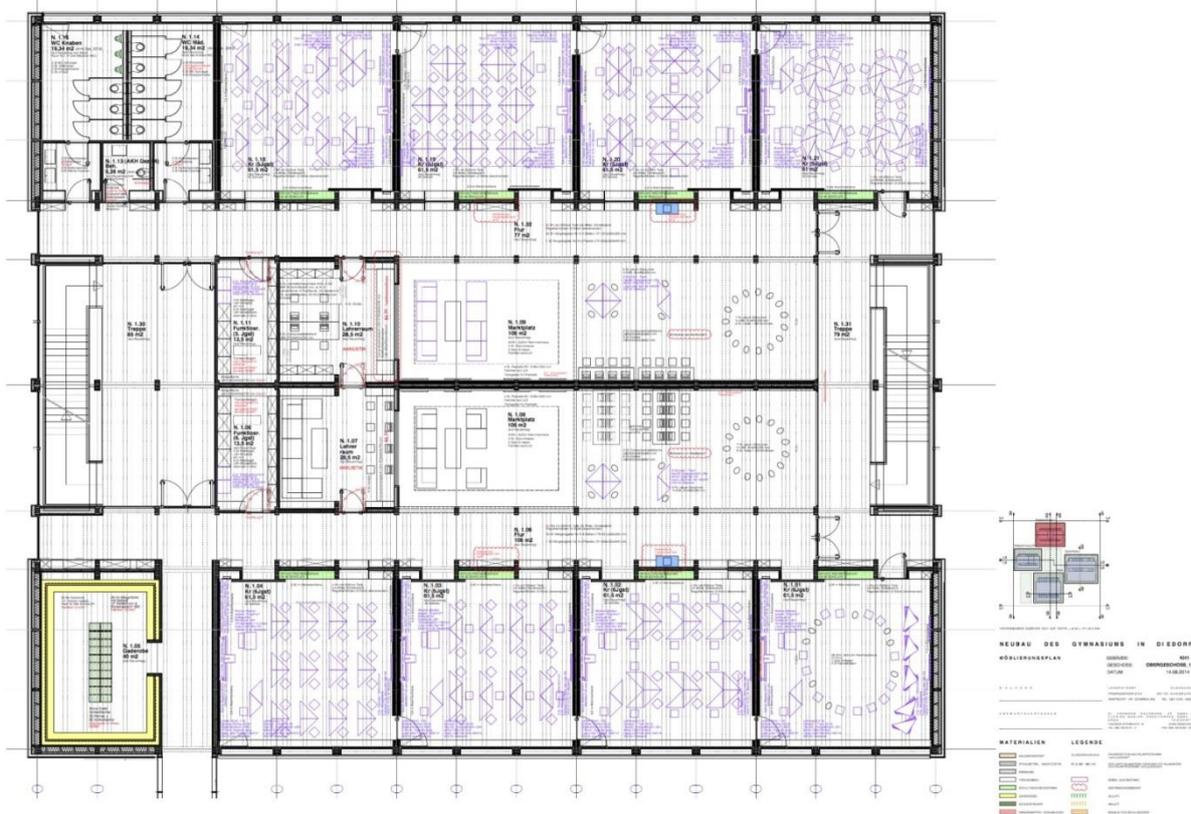


Abbildung 2.1-13 Umsetzung im Grundriss

Möglichst wenig Fassadenfläche und weniger Fläche ohne Funktionsverlust waren Argumente, jeweils zwei LernLandSchaften „Marktplatz an Marktplatz“ anzuordnen, so dass Lehrerteamräume gemeinsam genutzt und alle Klassenräume gut mit Tageslicht versorgt werden können. Die innenliegenden Plätze bekommen ihr Tageslicht über Atrien und Oberlichter. Die sichtbare Holzkonstruktion trägt dazu bei, dass dieser Lichteinfall inszeniert wird und ein angenehmer, sehr klar strukturierter Raumeindruck entsteht (vgl. Abbildung 2.1-14).

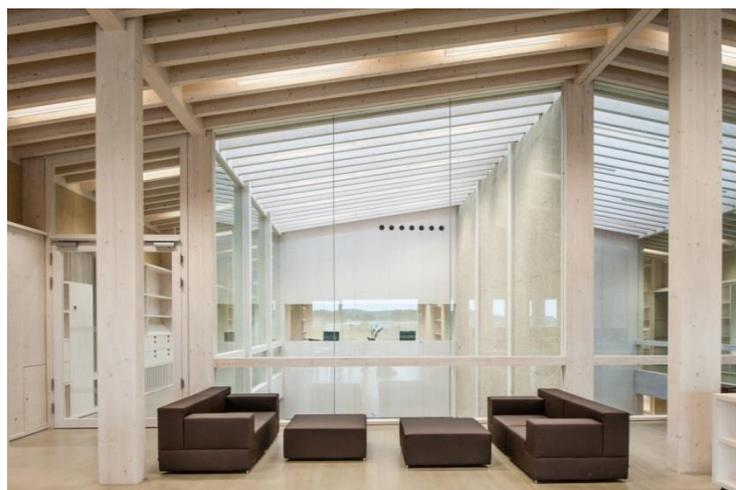


Abbildung 2.1-14: Innenliegender Marktplatzbereich als klar strukturierter Arbeits- und Kommunikationsort, bestens mit Tageslicht versorgt. (Bild von Fotografin Frau Carolin Hirschfeld)

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Mit ihrem Stützenraster definiert sie nicht nur den freizuhaltenden Flurbereich als Arkade, es spannen sich auch „Felder“ auf, denen temporär eine klare Funktion wie „Lümmelecke“ oder „Computerplatz“ zugeordnet werden können.

Für alle leicht erreichbarer Stauraum entstand zwischen den Klassen und dem Marktplatz quasi als Nebenprodukt, da in enger Zusammenarbeit mit der Haustechnikplanung und den Architekten jeder Bereich in den Funktionswänden (vgl. Abbildung 2.1-15) zwischen den senkrecht verlaufenden Lüftungsrohren als Einbauregal gestaltet werden konnte.



Abbildung 2.1-15: Mit der Integration von Transparenz, Stauraum und Haustechnik sind die Wände zwischen Klasse und Marktplätzen ein Beispiel für gelungene integrale Planung. (Bild von Fotografin Frau Carolin Hirschfeld)

Durch die pädagogisch gewollte, offene räumliche Verbindung zwischen Marktplatz und den Unterrichtsräumen konnte die Lüftungsanlage vereinfacht werden, da ein kontrollierter Luftaustausch zwischen den Bereichen über die Rahmenkonstruktion der „Türen“ kontinuierlich gegeben sein wird (vgl. Abbildung 2.1-16).



Abbildung 2.1-16: Türportal mit umlaufender Schattenfuge als dauerhafte Öffnung für den Luftwechsel. Sie erlaubt eine Vereinfachung der Lüftungstechnik, ohne dass man bei der Akustik Probleme befürchten müsste. (Bild von LernLandSchaften)

Beides zusammen ergibt ein gutes Beispiel für integrale Planung, bei der technische Anforderungen mit guter Gestaltung und ökonomisch darstellbar, mit den Nutzerbedürfnissen in Einklang gebracht werden konnten.

2.1.3.4 Fazit und Ausblick

Die oben beschriebenen Raumfolgen und Funktionszusammenhänge verändern nicht nur den Planungsprozess, sondern auch den Alltag der Lehrerinnen auf sehr nachhaltige Weise. Feingefühl und Geduld sind gefragt, wenn manche sich schwer damit tun, dass man ihnen in „ihren“ Klassenraum schauen kann. In Diedorf konnten sie in Workshops in der Leistungsphase 0 und auch während der Planungsphase detailliert an der Gestaltung der LernLandSchaften mitarbeiten, so dass die meisten Bedenken ausgeräumt werden konnten und sich jeder auf bestimmte Details im neuen Haus freut.

LernLandSchaften sind erklärungsintensive und nur gemeinsam realisierbare Projekte, deren Grundkonzept aber unabhängig von der Schulform oder Altersgruppe funktioniert. Innerhalb des politisch und ökonomisch gesetzten Rahmens schaffen sie für die Schulgemeinschaft eine vielseitige und anregende Umgebung, in der es sich dauerhaft möglichst angenehm arbeiten und leben lässt.

Die Diederfer Umsetzung kann nicht 1:1 für einen anderen Standort oder Schultyp kopiert werden. Sie ist eine Blaupause und zeigt, was in einem integralen Planungsprozess mit Architekten, Geldgebern, Technikern und Nutzern entstehen kann. Die Aneignung und der Betrieb werden weiterhin durch die Beratungsfirma LernLandSchaft begleitet werden, um eventuelle Probleme zu lösen und Kenntnisse für neue Projekte gewinnen zu können.

Für die Übertragung auf andere Projekte ist eine Exkursion ans Schmuttertalgymnasium oder eine anderweitige Auseinandersetzung mit offenen Lernumgebungen ein guter Anfang. Auch wenn die eigene Ausgangslage z.B. durch Bestandsbauten schwieriger ist, werden sich passende Lösungen im eigenen, gemeinsam betriebenen Planungs- und Bauprozess ergeben.

2.1.4 Entwicklung von Maßnahmen zur Sommertauglichkeit

Zur Erzielung einer guten Sommertauglichkeit des Gebäudes wurden im Zuge der Planung mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung die Auswirkungen verschiedener baulicher und technischer Ausführungen auf den sommerlichen thermischen Komfort überprüft. Dabei wurde selbstverständlich ein effizienter variabler Sonnenschutz vorgesehen. Ebenfalls geprüft wurde der Einsatz von PCM. Allerdings waren die Flächen, die für einen Einsatz von phase-change materials schlussendlich in den Räumen noch zur Verfügung standen, so stark reduziert, dass der Einsatz nicht sinnvoll möglich war. Die Wand- und Deckenoberflächen sind nämlich vorrangig aufgrund der hohen Anforderungen an die Akustik im Gebäude mit absorbierenden, bzw. mit Absorbieren hinterlegten Materialien belegt. Zudem standen aufgrund des Konstruktionsrasters der sichtbaren Holzkonstruktion zusammenhängende, und dadurch wirksame, aber auch wirtschaftlich herstellbare Flächen, nicht zur Verfügung.

Zwar wurde vermutet, die Holzbauweise führe – insbesondere in Kombination mit den umfangreichen Akustikmaßnahmen - zu einer zu geringen wirksamen thermischen Masse, um das sommerliche Komfortziel (max. 5 % der Nutzungszeit über $T_{op}=27\text{ °C}$) ohne umfangreiche aktive Klimatisierungsmaßnahmen zu erreichen. Dies hat sich nicht bewahrheitet, wie die Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung zeigen. Demnach können die Klassenräume gemäß den zuletzt durchgeführten Untersuchungen mit einer Kombination aus

- einer durch indirekte adiabate Kühlung unterstützten aktiven Zuluftankühlung, die für ein sauberes Strömungsbild und damit eine gute Lüftungseffektivität ohnehin erforderlich ist, und
- einer Fußbodenkühlung im Free-Cooling-Modus (Entwärmung über Hybrid-Kühltürme) in einem komfortablen Bereich gemäß dem vereinbarten Komfortziel (max. 5 % der Nutzungszeit über $T_{op}=27\text{ °C}$) gehalten werden.

Offensichtlich stellt die 9 cm starke, von innen her mittels Rohrschlangen entwärmte Estrichschicht eine ausreichende thermische Masse zur Verfügung, um zu große Schwankungen der Empfindungstemperatur und damit zu häufige Überschreitungen der Temperaturgrenze von 27 °C zu verhindern. Auch bei anderen Bauvorhaben konnte gezeigt werden, dass das Vorhandensein bereits einer hinreichend großen, thermisch massiven Raumbofläche, die an den Raum thermisch gut angekoppelt ist, oft schon einen zufriedenstellenden sommerlichen thermischen Komfort ermöglicht. Das Gebäude dient damit als Kältesenke – darüber hinausgehende, evtl. aktive thermische Kältespeicher erzielen kaum weitergehende Vorteile und wurden daher nicht vorgesehen.

2.1.5 Brandschutz

2.1.5.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Da die Schulbaurichtlinie im Bundesland Bayern nicht eingeführt ist, werden Schulgebäude zunächst nach der Bayerischen Bauordnung beurteilt. Für das Gymnasium Diedorf wurde dabei die Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (Muster-Schulbau-Richtlinie- MSchulbauR) orientierend mit herangezogen.

Offene LernLandSchaften sind in den geltenden Vorschriften sowohl in den Bauordnungen der Länder als auch den Schulbaurichtlinien bislang nicht geregelt. Sie stellen somit einen Sonderfall dar, für den es gilt, gleichwertige Lösungen zur Erfüllung der Schutzziele des Bauordnungsrechtes im Hinblick auf den Brandschutz zu erzielen. Der Artikel 63 der Bayerischen Bauordnung bietet hierfür das Instrument einer Abweichung von den bauordnungsrechtlichen Vorschriften, die gegenüber der genehmigenden Behörde zu beantragen sind. Der Artikel 63 definiert, dass die Bauaufsichtsbehörde Abweichungen von den Anforderungen der Bayerischen Bauordnung und auf Grund dieses Gesetzes erlassener Vorschriften zulassen kann, wenn sie unter Berücksichtigung des Zwecks der jeweiligen Anforderung und unter Würdigung der öffentlich-rechtlich geschützten nachbarlichen Belange mit den öffentlichen Belangen, insbesondere der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, Leben und Gesundheit vereinbar sind und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. Für das Schulgebäude mit den offenen LernLandSchaften galt es somit nachzuweisen, dass eine Gleichwertigkeit zu den bauordnungsrechtlich vorgeschriebenen Schutzziele durch zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann. Die Schutzziele des Brandschutzes sind in der Bayerischen Bauordnung wie folgt festgeschrieben:

- Vorbeugung der Entstehung eines Brandes
- Behinderung der Ausbreitung von Feuer und Rauch
- Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren und
- Ermöglichung wirksamer Löschmaßnahmen

Für Schulgebäude stellt demnach insbesondere eine schnelle und sichere Evakuierung der im Gebäude befindlichen Personen einen wesentlichen Aspekt des Brandschutzes dar.

2.1.5.2 Rettungswegführung

Durch die Ausbildung der offenen LernLandSchaften führen die Rettungswege aus den Klassenräumen nicht wie klassisch in Schulgebäuden über einen notwendigen Flur zu den notwendigen Treppen. Es handelt sich hierbei, wie bereits beschrieben, um eine Abweichung von den bauordnungsrechtlichen Vorschriften. Als Kompensation hierfür wurden im Rahmen der Untersuchungen verschiedene Möglichkeiten betrachtet, für die sich eine brandschutztechnische Gleichwertigkeit zu den konventionellen Lösungen basierend auf dem geltenden Bauordnungsrecht nachweisen lässt.

Unter anderem wurde ein Konzept mit außenliegenden Fluchtwegen untersucht, die brandschutztechnisch gleichwertig möglich sind, jedoch zu einer Erhöhung der Baukosten führen und architektonisch nicht gewünscht sind.

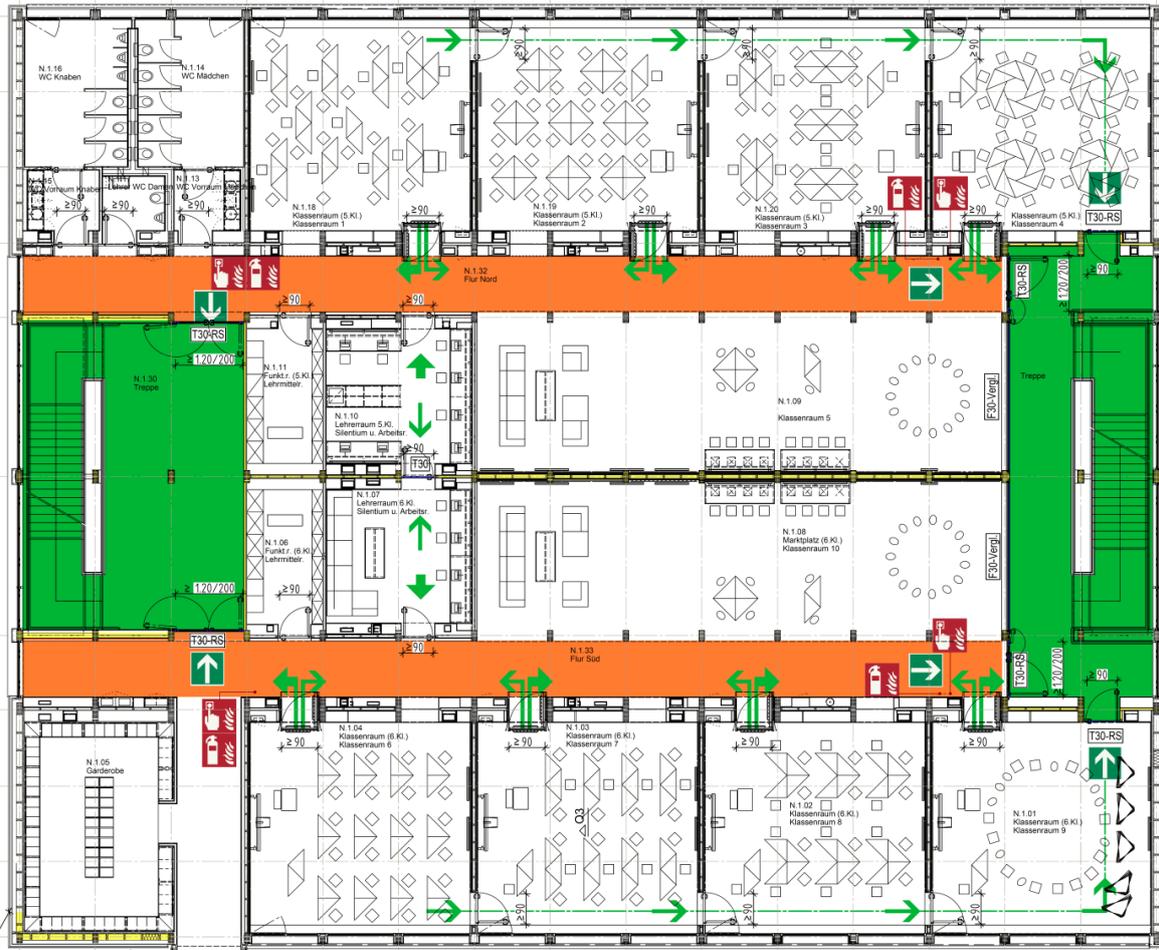
Als Ergebnis der Variantenstudien führen der erste und zweite Rettungsweg aus den Klassenräumen der Obergeschosse über Flure, die als Verkehrszonen jedoch nicht als notwendige Flure ausgebildet sind und mit den Marktplätzen in offener Verbindung stehen. Von den LernLandSchaften können endständig jeweils zwei notwendige Treppenräume erreicht werden (siehe Abbildung 2.1-17). Die notwendigen Treppenräume werden entsprechend den Anforderungen der Bayerischen Bauordnung ausgebildet.

Als wesentliche Maßnahme hinsichtlich der Zulässigkeit der Rettungswegführung über die LernLandSchaften ist auch hier die automatische Brandmeldung zu sehen. Sie gewährleistet, dass bei einem Brandereignis das Alarmsignal an jeder Stelle im betreffenden Gebäudeteil umgehend und deutlich

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

gehört werden kann. Somit kann eine sofortige Evakuierung durch das Lehrpersonal eingeleitet werden. Dies geschieht zu einem Zeitpunkt, bei dem davon auszugehen ist, dass sich das Brandereignis in einem Anfangsstadium mit einer geringen Brandausbreitung sowie geringen Brandtemperaturen befindet. Diese Phase des Brandes wird als Entstehungsbrand bezeichnet. Zur Erzielung einer Gleichwertigkeit des geplanten Konzeptes im Vergleich zu einer Rettungswegführung über brandlastfreie notwendige Flure wurde für die geplanten Klassenhäuser in den Obergeschossen jeweils ein zusätzlicher dritter Rettungsweg bereitgestellt, der über Verbindungstüren zwischen den Unterrichtsräumen unabhängig vom offenen Bereich zu einer notwendigen Treppe direkt in den jeweiligen notwendigen Treppenraum führt.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion



Legende:

- | | |
|--|---|
| feuerbeständig F90-AB | Gebäudezugang |
| feuerhemmend F30-B | Erster Rettungsweg |
| Tür T30-RS feuerhemmend, rauchdicht und selbstschließend | Zweiter o. weiterer Rettungsweg |
| Tür T30 feuerhemmend, dicht- und selbstschließend | zusätzlicher Rettungsweg |
| Tür RS rauchdicht und selbstschließend | Feuerweh - Informations- und Bediensystem |
| vdTs - vollwandig, dicht und selbstschließend | Feuerweh-Schlüsseldepot |
| F30-Vergl. F30 Verglasung mit Feuerwiderstand | Blitzleuchte |
| VSG-Verglasung (Verbund Sicherheitsglas) | Druckknopfmelder |
| notwendiger Treppenraum | Notausgang mit Panikbeschlag |
| notwendige Treppe ohne notw. Treppenraum | |
| notwendiger Flur | |
| Verkehrszone (frei zu haltender Rettungsweg) | |
| Aufzugsschacht | |

Abbildung 2.1-17: Rettungswegführung für das 1. Obergeschoss im Klassenhaus I

Im Rahmen der Planungen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Rettungswegführung im Turnhallengebäude durchgeführt. Als Ergebnis konnten Bereiche festgelegt werden, die brandschutztechnisch hinsichtlich ihres Raumabschlusses über mehrere Geschosse zu einer Einheit zusammengefasst werden können. Durch diese Art der Planung konnten die erforderlichen Absperrvorrichtungen auf ein für die Erreichung der Schutzziele des Brandschutzes erforderliches Minimum reduziert werden.

2.1.5.3 Lüftungs- und Leitungsführung in der technischen Gebäudeausrüstung

Im Zusammenhang mit der technischen Gebäudeausrüstung stellten insbesondere Fragen der Lüftungs- und Leitungsführungen einen besonderen Schwerpunkt dar, den es unter Berücksichtigung der offenen LernLandSchaften zu lösen galt. Bei einer Führung der Leitungen durch die Decken muss sichergestellt werden, dass die erforderliche Feuerwiderstandsdauer des Bauteils auch mit dieser Öffnung erhalten bleibt und somit innerhalb der geforderten Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten kein Feuer und Rauch in andere Geschosse dringen darf. Dies ist besonders wichtig, um die Brandausbreitung zu verhindern, die Rettung der Kinder und weiteren Personen sowie wirksame Löschmaßnahmen zu ermöglichen. Hinsichtlich der Führung der Lüftungsleitungen wird üblicherweise ein Konzept verfolgt, das in Ebene der Geschossdecken den Einbau zugelassener Absperrvorrichtungen (Brand-schutzklappen) vorsieht. Für das Gymnasium Diedorf wurde ein alternatives Konzept entwickelt, bei dem die Lüftungsleitungen getrennt in feuerhemmenden Schächten bis in den zu versorgenden Raum geführt werden. Beim Austritt aus der Lüftungszentrale im Untergeschoss ist für dieses Konzept die Anordnung zugelassener Brandschutzklappen erforderlich. In der Höhe der Geschossdecken der Normalgeschosse sind durch die Trennung der Leitungsführungen in den feuerhemmenden Schächten somit keine weiteren Absperrvorrichtungen notwendig. Die geplanten Schächte lassen sich aufgrund der Deckenausbildung in die Zwischenbereiche der Holzquerschnitte der Holz-Beton-Verbunddecken integrieren, sodass diese Art der Ausführung eine sehr gute Lösung für die Integration von Tragstruktur und Haustechnik darstellt.

2.1.5.4 Rauchableitung

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die offenen LernLandSchaften im Hinblick auf die Durchführung wirksamer Löschmaßnahmen, die einen wesentlichen Einfluss auf den Sachschutz und den Umweltschutz haben, ist eine wirksame Rauchableitung aus diesen offenen Bereichen. Als Ergebnis der Untersuchungen für die Rauchabführung der offenen LernLandSchaften in den Klassenhäusern I und II konnte festgestellt werden, dass für diese Bereiche eine Rauchableitung über die Fenster möglich ist. Zusätzlich wird jeweils im oberen Geschoss an höchster Stelle im Dach eine Öffnung zur Rauchableitung mit einem freien Öffnungsquerschnitt von mindestens 1 m² vorgesehen.

Für die Untergeschosse wurden Rauchableitungsöffnungen mit einer lichten Öffnungsgröße von 0,25 % der Grundfläche des Kellergeschosses bereitgestellt. Es wurden jeweils zwei entgegengesetzt liegende Öffnungen vorgesehen, um ein Abströmen des Brandrauches zu ermöglichen. Diese Rauchableitungsöffnungen können, in den Fällen, in denen sie als Kellerlichtschächte ausgebildet sind, gleichzeitig als Rettungsweg aus dem Untergeschoss genutzt werden.

Das Untergeschoss wurde zur Erhöhung der Brandsicherheit ebenfalls vollständig mit in die Überwachung einbezogen. Alle Brandschutzklappen werden motorisch ausgebildet, um eine Kaltrauchverteilung im Untergeschoss zu vermindern. Diese wäre bei einer Ausführung der Brandschutzklappen mit Schmelzlot möglich, da ein Auslösen der Klappen erst ab Temperaturen von mehr als 72 °C erfolgt.

2.1.5.5 Fazit und Ausblick

Anhand von Variantenstudien sowohl für den baulichen als auch den anlagentechnischen und organisatorischen Brandschutz konnten für das Gymnasium in Diedorf Lösungen für die Ausführung der Gebäude in Holzbauweise entwickelt werden, mit denen ein gleichwertiges Sicherheitsniveau zu Schulgebäude in Stahlbeton- oder Mauerwerksbauweise nachgewiesen werden konnte. Somit konnte ein anspruchsvolles ökologisches Schulgebäude mit Mustercharakter für vergleichbare Gebäude bei einem gleichzeitig sehr hohen Sicherheitsstandard hinsichtlich des Brandschutzes erstellt werden.

2.1.6 Schallschutz / Akustik

2.1.6.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Für die Themen Schallschutz / Akustik waren beim vorliegenden Bauvorhaben hinsichtlich der besonderen pädagogischen Architektur und der Holzkonstruktion Forschungen und Untersuchungen zu den folgenden beiden Themen erforderlich.

Raumakustik

In der vorliegenden Schule findet der Unterricht nicht mehr in der üblichen Form statt, sondern es werden neue Unterrichtsformen in sogenannten offenen LernLandSchaften praktiziert. D. h. insbesondere, dass es nicht nur den Frontalunterricht vor einer feststehenden Wandtafel gibt, sondern dass ergänzend Unterricht und Gruppenarbeiten an jeder Stelle im Raum verteilt und auch in unterschiedlichen Gruppenstärken stattfinden. Die raumakustische Gestaltung der Raumbegrenzungsflächen, insbesondere der Decken und Wände, musste deshalb anders ausgeführt werden als in herkömmlichen Klassenzimmern. Die raumakustischen Anforderungen wurden unter dieser Prämisse unter Berücksichtigung von Erfahrungen in Skandinavien und Versuchsräumen in München angepasst.

Schallschutz (Bauakustik)

Da der Holzbau in bauakustischer Sicht keine geregelte Baukonstruktion ist, waren besondere Untersuchungen und teilweise Entwicklungen hinsichtlich der komplexen Luft- und Körperschallübertragungen im Holzbau zu betrachten. Das betraf den Schallschutz der Holzbeton-Verbunddecke und insbesondere auch der Klassenraumtrennwände, welche aus statisch wirksamen Holzständerkonstruktionen bestehen. Übliche Trockenbaukonstruktionen, von denen durch langjährige Erfahrung die akustischen Eigenschaften bekannt sind, konnten aus fertigungstechnischen Gründen nicht verwendet werden. Unter Berücksichtigung sämtlicher Anforderungen (Statik, Brandschutz, Architektur und Akustik) wurde deshalb eine entsprechende Konstruktion im Prüfstand untersucht, variiert und entwickelt.

Aufgrund der visuellen und kommunikativen Verbindung der einzelnen Unterrichtsbereiche, z. B. durch Einbau von Fenstern in die Flurwände und durch offene Klassenraumtüren bzw. der ursprünglich geplanten Schiebetüren konnte die in herkömmlichen Schulen geltende Anforderung an den Schallschutz der Klassenraumtrennwände nicht herangezogen werden. Es mussten deshalb die üblichen, in Schulen geltenden Anforderungen entsprechend angepasst werden.

2.1.6.2 Arbeitsschritte und Ergebnisse zur Raumakustik

Raumakustische Anforderungen

In den eigentlichen Klassenzimmern sollen moderne Unterrichtsmethoden in sog. offenen LernLandSchaften praktiziert werden (siehe Abbildung 2.1-18). Es wird Unterricht und Gruppenarbeit in unterschiedlichen Gruppenstärken stattfinden. In diesen Klassenzimmern gibt es keinen festen Bestuhlungsplan mehr. Es sind Wandschienen für Schiebeelemente oder Whiteboards angebracht, an denen diese flexibel eingehängt werden können, wodurch eine beliebige Unterrichtsform ermöglicht wird.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

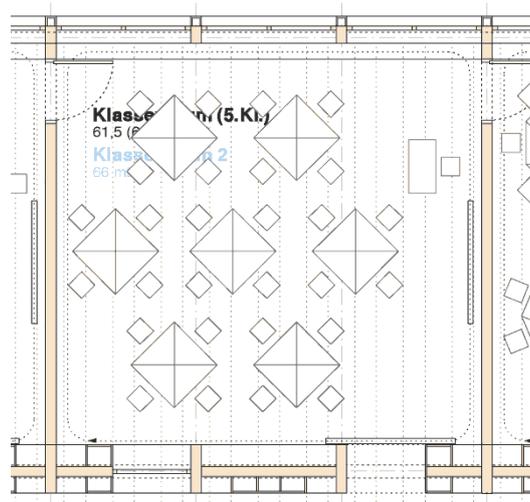


Abbildung 2.1-18: Klassenzimmer, 1. OG, Grundriss (ohne Maßstab)

Die Raumakustik in den Klassenzimmern mit offenen LernLandSchaften gestaltet sich als sehr komplex. Die Kommunikation muss auf kurze und auf lange Distanzen funktionieren.

Im Gegensatz zur raumakustischen Planung von Klassenzimmern mit Frontalunterricht und in sich geschlossenen Räumen waren bei den Klassenzimmern im Gymnasium Diedorf akustische Maßnahmen zu entwickeln, damit Unterricht und selbstaktives Arbeiten wie Gruppenarbeiten an jeder Stelle im Raum und auch in unterschiedlichen Gruppenstärken stattfinden können. Hierfür waren die bisher bekannten raumakustischen Anforderungen anzupassen.

Es muss eine gute Sprachverständlichkeit vorliegen, was eine kurze Nachhallzeit und einen geringen Störpegel erfordert. Wichtig sind einheitlich akustisch gute Bedingungen.

In einigen europäischen Ländern gibt es bereits Vorgaben bezüglich der Anforderungen an die Nachhallzeit für sogenannte offene LernLandSchaften, die als Maßgabe mit herangezogen wurden:

- Dänemark: $T \leq 0,3...0,4$ s (jeweils bei 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, unbesetzt)
- Schweden: $T = 0,4$ s (jeweils 500 Hz, 1 kHz, unbesetzt)

Aufgrund der positiven Erfahrungen in den skandinavischen Ländern mit diesen erhöhten Anforderungen an die Nachhallzeit sowie einem eingerichteten „UNI-Klassenzimmer“ in einer Münchner Schule ($T = 0,4$ s) wurde für die Unterrichtsräume zunächst eine anzustrebende Nachhallzeit von $T_{\text{soil, Klassenzimmer}} \leq 0,40...0,45$ s bei mittleren Frequenzen im besetzten Zustand festgelegt. Diese Zielwerte wurden im Verlauf der weiteren Planung in Abhängigkeit von der Frequenz entsprechend folgendem Diagramm konkretisiert:

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 2.1-19: Angestrebte Nachhallzeit T in den Unterrichtsräumen im besetzten Zustand

Geplantes Akustikkonzept

Das Planungskonzept für die Einrichtung der Unterrichtsräume sah raumakustische Maßnahmen an den Decken- und Wandflächen wie folgt vor:

Decke:

senkrecht abgehängte schallabsorbierende Filzbauffeln zwischen den Trägern der Holzbeton-Verbunddecke:

- 4 cm breite und 12 cm hohe Filzstreifen, jeweils 10 cm Abstand (siehe Abbildung 2.1-20)
- 7 Deckenstreifen à 0,5 m Breite, 7,6 m Länge (siehe Abbildung 2.1-21, rot markierte Streifen)
- ca. $S = 26 \text{ m}^2$ (ca. $\alpha_w = 0,9$)

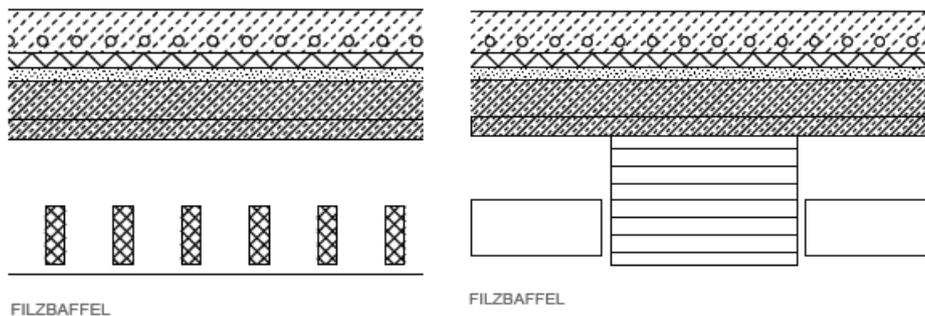


Abbildung 2.1-20: Schematische Darstellung der Deckenabsorber

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

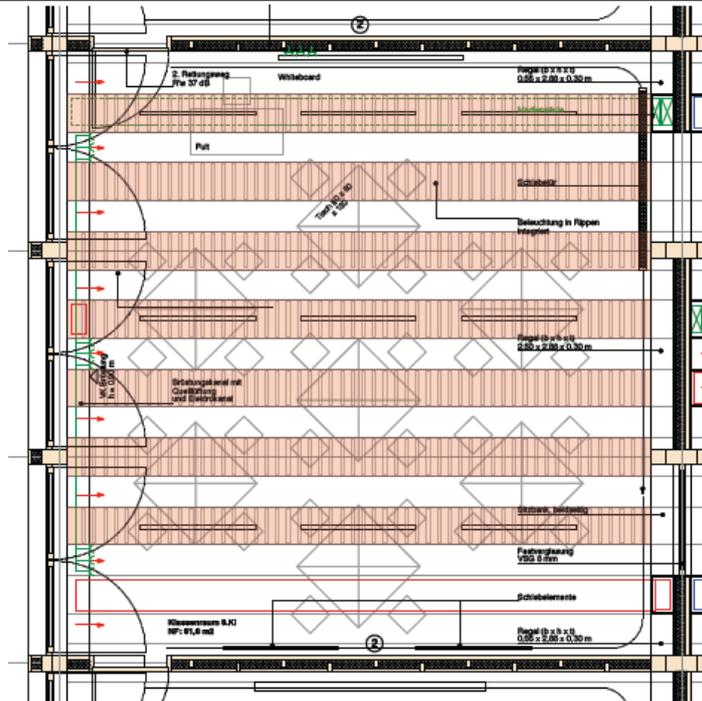


Abbildung 2.1-21: Grundriss Klassenzimmer, Deckenabsorber (rot markiert)

Wände:

- schallabsorbierende Wandverkleidungen an der Wandfläche hinter dem Pult sowie an der gegenüberliegenden Wandfläche
 ca. $S = 2 \times 11 \text{ m}^2$ (ca. $\alpha_w = 0,7$)
- Regale an der Seitenwand mit schallabsorbierender Rückwand
 ca. $S = 10,4 \text{ m}^2$ (ca. $\alpha_w = 0,7$)
- Schiebetür mit zusätzlicher Aufdopplung einer schallabsorbierenden Verkleidung
 ca. $S = 4 \text{ m}^2$ (ca. $\alpha_w = 0,6$)

Untersuchung der Filzbauffeln:

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Akustikkonzeptes wurde davon ausgegangen, dass mit akustisch hochwertigen Bauffeln die angestrebte Nachhallzeit von $T_{\text{Soll}} \leq 0,45 \text{ s}$ im besetzten Zustand eingehalten werden kann. Zur Konkretisierung der Schallabsorptionsgrade wurden im Labor akustische Messungen zur Optimierung der abgehängten Schallschluckbauffeln an der Decke durchgeführt (siehe Anhang 5). Diese Messungen ergaben, dass sehr hohe Schallabsorptionsgrade nur bei hohen Frequenzen (oberhalb ca. 1.000 Hz bis 4.000 Hz) und bei mindestens 40 mm dicken Bauffeln erreicht werden. Bei tiefen Frequenzen (125 Hz bis 1.000 Hz) fällt der Schallabsorptionsgrad jedoch bis zu ca. $\alpha_p = 0,2$ ab.

Da die Deckenabsorber die wichtigste schallabsorbierende Maßnahme sind, bedeutet dies, dass sich die Nachhallzeit im Vergleich zur Berechnung im Entwurf ändert, d. h. erhöht, und somit der angestrebte Wert von $T \leq 0,4...0,45 \text{ s}$ nur oberhalb von 1.000 Hz erreicht wird.

Die sich ergebende Nachhallzeitkurve für 40 mm breite und 200 mm hohe Bauffeln ist im folgenden Diagramm dargestellt:

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

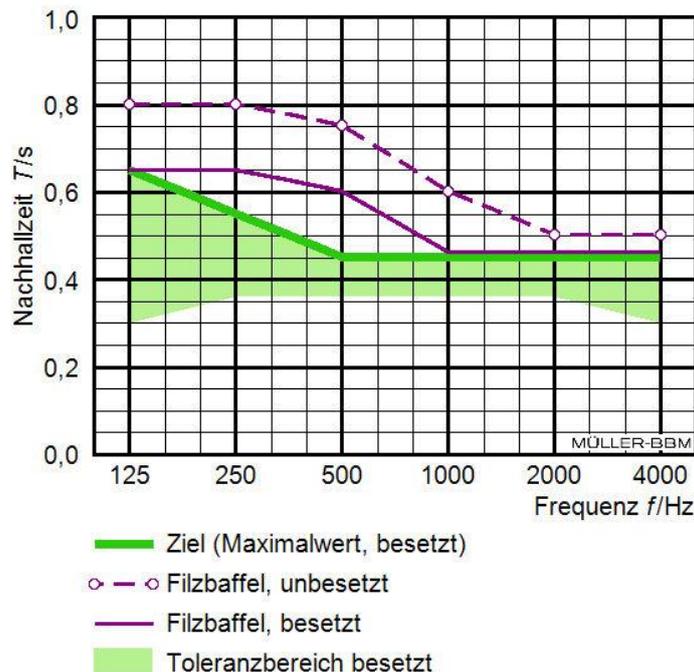


Abbildung 2.1-22: Nachhallzeit Unterrichtsraum 1. OG.
 Prognostizierte Nachhallzeit T mit 40 mm breiten und 200 mm hohen Baffeln

Aufgrund des geringen Schallabsorptionsgrades der Baffeln bei tiefen Frequenzen ergaben sich dort auch relativ lange Nachhallzeiten. Die erhöhte Nachhallzeit bei 125 Hz von $T = 0,65$ s im besetzten Zustand könnte akzeptiert werden. Die Werte bei 250 Hz und 1000 Hz sind jedoch deutlich zu hoch. Es mussten deshalb Maßnahmen ergriffen werden, um in diesen Frequenzen die Nachhallzeit zu reduzieren.

In der Planung kristallisierte sich dann heraus, dass statt der senkrecht abgehängten Filzbaffeln waagrecht zwischen den Deckenbalken angeordnete absorbierende Holzwolle-Leichtbauplatten eingebaut werden. Dies bedeutete allerdings, dass die Speichermasse des Aufbetons praktisch nicht mehr zur Verfügung stand. Thermische Untersuchungen ergaben, dass dies unter Berücksichtigung anderer geplanter Maßnahmen zulässig ist.

Diese flächigen Absorberelemente haben den Vorteil, dass sie über den gesamten Frequenzbereich sehr gleichmäßig absorbieren, d. h. im Gegensatz zu den senkrechten Baffeln auch im tieffrequenten Bereich eine hohe Schallabsorption aufweisen. In der folgenden Abbildung ist das Ergebnis der prognostizierten Nachhallzeit für diese Konstruktionen dargestellt:

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

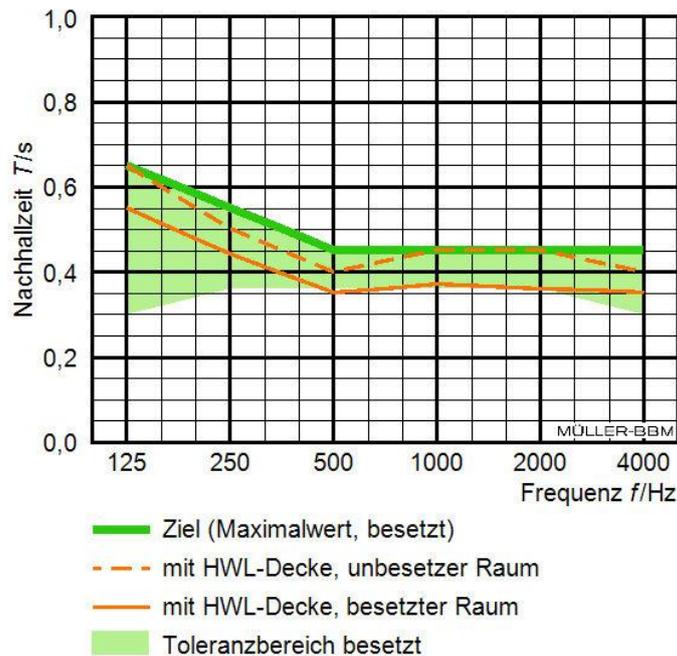


Abbildung 2.1-23: Nachhallzeit Unterrichtsraum 1. OG
 Prognostizierte Nachhallzeit T mit flächigen Absorbern zwischen den Holzbalken (Holzwolleleichtplatten mit Mineralwolleauflage)

Mit diesen flächigen Absorbern zwischen den Holzbalken werden sehr gute akustische Verhältnisse erreicht.

Ergebnis der raumakustischen Untersuchung

Die raumakustischen Laboruntersuchungen und Optimierungsberechnungen ergaben, dass aus akustischer Sicht mit folgenden Konstruktionen die Anforderungen eingehalten werden:

Wandabsorber Front- und Rückwand und an der Schiebetür

- 25 mm Holzwolle-Akustikplatten
- 24 mm Wandabstand mit vollflächiger schallabsorbierender Hinterlegung, z. B. 20...25 mm Mineralwolleplatten

Deckenabsorber

- 35 mm Holzwolle-Akustikplatten mit 40 mm schallabsorbierender Hinterlegung aus Mineralwolle

2.1.6.3 Arbeitsschritte und Ergebnisse zum Schallschutz

Bauakustische Anforderungen

Die Anforderungen für den Schallschutz in Schulen sind in DIN 4109 beschrieben. Diese wurden im vorliegenden Projekt auch für die Bereiche umgesetzt, die nicht unmittelbar zu den offenen LernLand-Schaften gehören, d. h. also insbesondere für die Trenndecken sowie die Umfassungsbauteile der Fachklassenzimmer.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Es wurden dort im Wesentlichen folgende Anforderungen gestellt:

- | | | |
|--|------------|--------------|
| - Trennwand zwischen den Unterrichtsräumen und zu Fluren | R'_{w} | ≥ 47 dB |
| - Tür zwischen Flur und Unterrichtsräumen | R_w | ≥ 32 dB |
| - Trenndecken | R'_{w} | ≥ 55 dB |
| | $L'_{n,w}$ | ≤ 53 dB |

Im Bereich der offenen LernLandSchaften wurde aufgrund der vorhandenen visuellen und kommunikativen Verbindung der einzelnen Unterrichtsbereiche (z. B. Einbau von Fenstern in den Flurwänden und Schiebetüren bzw. offene Türen) der Schallschutz neu betrachtet. In der ursprünglichen Planung waren Schiebetüren vorgesehen. Diese wurden im Laufe der Planung durch normale Drehtüren ersetzt, die jedoch einerseits im Unterrichtsbetrieb häufig offen stehen und andererseits hinsichtlich des geplanten Lüftungskonzeptes auch im geschlossenen Zustand Fugen zur Überströmung der kontrollierten Klassenraumlüftung besitzen. Die in herkömmlichen Schulen geltenden Anforderungen an das Schalldämm-Maß der Klassenraumtrennwände und Klassenzimmertüren konnten deshalb hier nicht herangezogen werden. So ist es beispielsweise nicht sinnvoll, für die Flurwände ein Schalldämm-Maß von $R'_{w} \geq 47$ dB zu fordern, wenn sich in diesen offene bzw. sehr undichte Türen befinden, die den Raum nicht dicht abschließen.

Ebenso findet über die Türöffnungen eine Schallübertragung von Klassenzimmer zu Klassenzimmer über den Flur / Marktplatz statt, so dass in der Summe zwischen den Klassenräumen kein Schalldämm-Maß von $R'_{w} \geq 47$ dB erreicht werden kann, auch wenn die Klassentrennwand selber ein Schalldämm-Maß aufweisen würde, das deutlich größer als $R'_{w} = 50$ dB ist.

Da sich durch die geplante sehr hohe akustische Bedämpfung der Räume sowohl im Senderraum als auch im Empfangsraum eine Verringerung des Schalldruckpegels ergibt, kann auch mit einem geringeren bewerteten Schalldämm-Maß der Trennwand zwischen den Unterrichtsräumen der gleiche Schallschutz erreicht werden.

Es wurde deshalb die erforderliche Schalldämmung der Klassenraumwand um 5 dB auf $R'_{w} \geq 42$ dB reduziert.

Weiterhin muss beachtet werden, dass der Schallschutz der Trennwand durch die aus brandschutztechnischer Sicht erforderlichen Fluchttüren ebenfalls verringert wird. Nach DIN 4109 müsste der geforderte Schallschutz der Klassenraumwand von $R'_{w} \geq 47$ dB inkl. sämtlicher Übertragungswege eingehalten werden, d. h. dass auch die Fluchttür entsprechend hochschalldämmend sein müsste. Dies würde bedeuten, dass hier eine Schleusenkonstruktion oder eine hochschalldämmende Tür mit Spezialverriegelung eingebaut werden muss. In der Praxis kann dies jedoch aus funktionalen Gründen nicht oder nur ganz selten ausgeführt werden. Stattdessen werden hier in der Regel sehr gut schalldämmende Einfachtüren eingebaut, die zwar entsprechender Aufwendungen bedürfen, aber konstruktiv nicht übertrieben sind. Das bedeutet, es werden üblicherweise Türkonstruktionen vorgesehen, die im eingebauten und funktionstüchtigen Zustand am Bau ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R_w \geq 37$ dB und einen Prüfzeugniswert von $R_{w,p} \geq 42$ dB aufweisen.

Im Bereich der offenen LernLandSchaften wurden deshalb folgende Anforderungen gestellt:

- | | | |
|---|--------------|-------------------|
| - Trennwand zwischen den Unterrichtsräumen | R'_{w} | ≥ 42 dB |
| - Fluchttür zwischen den Unterrichtsräumen | R_w | ≥ 37 dB |
| - resultierendes Schalldämm-Maß zwischen den Räumen | $R'_{w,res}$ | ≥ 41 dB |
| - Wände zum Flur / Marktplatz | R'_{w} | ≥ 42 dB |
| - Türen zum Flur / Marktplatz | | keine Anforderung |

Holzbeton-Verbunddecke

Seitens der Planer war eine Holzbeton-Verbunddecke vorgesehen. Durch frühzeitige Mitwirkung des Akustikers konnte hier die erforderliche Masse, d. h. die Dicke der Verbundbetonschicht, auch unter Berücksichtigung der akustischen Anforderungen frühzeitig dimensioniert werden. Die Anforderungen hinsichtlich des Luft- und Trittschallschutzes im Direktdurchgang konnten dann durch Ausführung eines aus Gründen der thermischen Speichermassen geplanten, schweren schwimmenden Estrichs und einer entsprechend dimensionierten Trittschalldämmung erreicht werden. Es wurde folgende Konstruktion ausgeführt (von oben nach unten):

- ca. 100 mm Zementestrich
- Trennlage
- ≥ 30 mm Trittschall- und Ausgleichsdämmung $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$
- 120 mm Verbundbeton (bzw. 98 mm Verbundbeton und 22 mm OSB-Platte zwischen den Balken)
- 320 mm BSH-Balken 2 x 180/320, Achsabstand 90 cm, Abstand im Licht 54 cm, dazwischen Raumakustikdecke

Die Schallübertragung über die flankierenden Bauteile wurde durch die konstruktiv bedingte Trennung der Holzkonstruktionen und Bekleidung mit akustisch biegeweichen Holz- bzw. Gipsfaserplatten ausreichend reduziert.

Konstruktive Ausgangssituation der Trennwände

Die Wandkonstruktionen sollten statisch wirksam sein und im Werk vorgefertigt werden. Für die seitens der Planer vorgelegenen möglichen Wandkonstruktionen gab es keine Messwerte. Deshalb wurden im ersten Ansatz die aus akustischer Sicht erforderlichen Konstruktionen aufgrund eines Vergleichs mit ähnlichen gemessenen Wandaufbauten und ergänzenden abschätzenden Berechnungen festgelegt. Um einerseits eine Planungssicherheit zu erreichen und andererseits die Wandaufbauten zu optimieren, wurden schalltechnische Messungen im Labor durchgeführt. Die Optimierung hatte zum Ziel, die Konstruktionen sowohl hinsichtlich Wanddicke als auch Schichtenfolge zu minimieren, um Platz und Kosten zu sparen. Im Vorfeld der Messungen ergaben sich dabei zur bisherigen Planung aus statischen, brandschutztechnischen und baupraktischen Gründen Veränderungen im Konstruktionsaufbau (teilweise Verzicht auf eine OSB-Lage, Verwendung von Gipsfaser- statt Gipskartonplatten), die bei den Messungen berücksichtigt werden konnten und die Messergebnisse positiv beeinflussten.

Im Zuge des Messprogramms sollten mit möglichst geringem Aufwand möglichst viele, sinnvolle Varianten geprüft werden. Es wurde deshalb ein Grundaufbau festgelegt und eingebaut, der sukzessive erweitert bzw. verändert wurde.

Akustische Anforderungen an die geprüften Trennwandkonstruktionen

Prinzipiell gab es zum Zeitpunkt der Messungen im Bauvorhaben folgende Anforderungen:

- Gruppe 1: $R'_w = 47 \text{ dB}$: i. W. die Trennwände zwischen den Fachklassenzimmern untereinander und den Marktplätzen untereinander
- Gruppe 2: $R'_w = 42 \text{ dB}$: i. W. die Trennwände im Bereich der offenen LernLandSchaften im OG und die Trennwände im Verwaltungsbereich
- Gruppe 3: $R'_w = 37 \text{ dB}$: i. W. die Trennwände der Klassenzimmer zu den Fluren im OG (auf diese Anforderungsgruppe konnte im Zuge der weiteren Planung und aufgrund der Messergebnisse verzichtet werden, die Wände wurden in die Gruppe 2 überführt)

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Der Wert R'_w ist dabei die Schalldämmung zwischen den Räumen, gemessen am Bau inkl. sämtlicher Nebenwege. Da die Schallübertragung nicht nur über die Wand, sondern auch über flankierende Bauteile und sonstige Nebenwege (z. B. Leitungen) erfolgt, muss das Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ der Wand alleine, ohne Nebenwege, um 5 dB höher sein, um die Gesamtschalldämmung R'_w planungssicher zu erreichen. Zum Ausgleich von Ausführungstoleranzen und Messunsicherheiten, sieht die Norm ein Vorhaltemaß von 2 dB zwischen dem Prüfzeugniswert $R_{w,P}$ und dem Rechenwert $R_{w,R}$ der Wand vor. D. h., der Wert im Prüfstand muss somit um $5+2 = 7$ dB höher sein, als der geforderte Wert R'_w am Bau.

Es ergeben sich somit für die Prüfungen im Labor folgende Zielwerte:

Gruppe 1: $R'_w = 47$ dB: $R_{w,P} = 47 + 7 = 54$ dB

Gruppe 2: $R'_w = 42$ dB: $R_{w,P} = 42 + 7 = 49$ dB

Gruppe 3: $R'_w = 37$ dB: $R_{w,P} = 37 + 7 = 44$ dB

Messergebnisse

Insgesamt wurden 10 Wandkonstruktionen an folgenden drei prinzipiell unterschiedlichen Grundkonstruktionen geprüft:

- Typ 1: 80 mm Holzständer, $e = 62,5$ cm, mit einseitiger OSB-Bekleidung und querverlaufender Lattung als Unterkonstruktion für weitere Lagen
- Typ 2: 80 mm Holzständer, $e = 62,5$ cm, mit beidseitiger OSB-Bekleidung und querverlaufender Federschiene als Unterkonstruktion für weitere Lagen
- Typ 3: 80 mm Holzständer, $e = 62,5$ cm, mit beidseitiger OSB-Bekleidung ohne weitere querverlaufende Unterkonstruktionen

Die genauen Aufbauten der untersuchten zehn Wandkonstruktionen und die Messergebnisse sind im Anhang 6 beschrieben. Zudem sind die durchgeführten Messungen sowie die frequenzabhängigen Messergebnisse im Müller-BBM Prüfbericht Nr. M98030/16 „Neubau Gymnasium Diedorf, Prüfung der Schalldämmung von Wandkonstruktionen im Prüfstand“ vom 06. August 2013 im Anhang 7 dargestellt.

Entscheidung

Unter Berücksichtigung der Messergebnisse sowie der Konstruktionsmöglichkeiten und Kosten wurde dann im Sommer 2013 beschlossen, folgende Wandkonstruktionen auszuführen:

- Für Gruppe 1: $R'_w = 47$ dB

Hierbei handelt es sich um die Trennwände zwischen den Fachklassenzimmern untereinander und den Marktplätzen untereinander.

Hier wird der Wandtyp 3.5 ausgeführt, d. h. 80 mm Ständerwerk mit 60 mm Mineralwolledämmung, beidseitig mit 18 mm OSB und 2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte beplankt.

Da diese Wände immer beidseitig raumhoch mit raumakustisch wirksamen Heraklith-Platten belegt werden (und diese bei der einseitigen Prüfung ca. 2 dB Verbesserung gebracht haben), kann der Messwert $R_{w,P} = 53$ dB für die Grundkonstruktion akzeptiert werden.

- Für Gruppe 2: $R'_w = 42$ dB

Hierbei handelt es sich um die Trennwände zwischen den Klassenzimmern im OG, den Fachklassenzimmern zu den Fluren und im Verwaltungsbereich.

Hier wird der Wandtyp 3.3 ausgeführt, d. h. 80 mm Ständerwerk mit 60 mm Mineralwolledämmung, beidseitig mit 18 mm OSB und 1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte beplankt.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

- Für Gruppe 3: $R'_w = 37$ dB

Hierbei handelt es sich um die Trennwände der Klassenzimmer zu den Fluren im OG.

Hier wird ebenfalls der Wandtyp 3.3 ausgeführt (die Wände der Gruppe 3 mussten somit nicht mehr getrennt betrachtet werden, sondern konnten den Wänden der Gruppe 2 zugeschlagen werden).

Ergebnis der bauakustischen Untersuchung:

Die bauakustischen Laboruntersuchungen ergaben, dass mit einem „Grundwandtyp“ 3.3, der je nach Anforderung zusätzlich beplankt wurde, alle bauakustischen Anforderungen erfüllt werden.

2.1.6.4 Fazit und Ausblick

Der Planungsvorgang zeigte, dass zum Erreichen der ehrgeizigen akustischen Ziele eine sehr enge und frühzeitige Zusammenarbeit aller Planungspartner, insbesondere zwischen Architekt und Akustiker, erforderlich und zielführend ist. Auch zeigte sich, dass zur Optimierung der Maßnahmen bzw. Konstruktionen Messungen und Versuche im Akustiklabor sinnvoll sind.

Zwischenzeitlich wurden auch erste Messungen des erreichten Schallschutzes und der Nachhallzeiten in den Unterrichtsräumen durchgeführt. Diese ergaben, dass die angestrebten Werte durchweg erreicht sind. Diese objektiven Messergebnisse wurden auch durch subjektive Eindrücke und insbesondere durch Aussagen der Schulleitung und Lehrer unterstützt, die mit den akustischen Verhältnissen im neuen Schulgebäude äußerst zufrieden sind.

2.1.7 Integrierte Freiraumgestaltung

2.1.7.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Die Entwicklung und Umsetzung der integrativen Freiraumgestaltung bedingt den kontinuierlichen Dialog und Abgleich mit allen Beteiligten: Bauherr, Planer der unterschiedlichen Fachsparten, Schule, Gemeinde und betroffene Nachbarn. Ergebnis des Prozesses ist ein aus dem innovativen pädagogischen und architektonischen Ansatz entwickeltes Freiraumkonzept mit Berücksichtigung der besonderen landschaftlichen Qualitäten.

Das Konzept der Freiraumgestaltung nimmt Bezug auf die städtebauliche, „teppichartige“ Struktur der Schulgebäude und die besondere Lage des Schulgrundstücks im „Schmuttertal“, geprägt durch offene, artenreiche Wiesenflächen und die mäandrierende Schmutter. Es entsteht eine spannungsvolle Abfolge differenzierter Höfe und Wiesenfelder in Kombination mit Bändern aus Sportflächen, Wegen und Vegetationselementen. Der benachbarte Landschaftsraum fließt in den Freiraum der Schule ein und vermittelt den intensiven Bezug und die Verflechtung mit der Landschaft. Begründet durch das Konzept der offenen LernLandSchaft wird die Einfriedung des Schulgrundstücks möglichst reduziert und transparent ausgeführt. Die Einzäunung an sich wird im integrativen Prozess von den umliegenden Nachbarn zum Schutz der landwirtschaftlichen Flächen ausdrücklich gewünscht. Der Eingangsbereich der Schule von der öffentlichen Erschließung ist dabei frei zugänglich gestaltet.

Auf dem Schulgrundstück selbst finden sich Bereiche mit den Schwerpunktsetzungen Sport und Bewegung, Experimentieren, Erholen und Verweilen. Diese sind räumlich getrennt, jedoch nicht abgegrenzt.

Zielsetzung des Freiraumkonzepts ist es, neben der naturräumlichen Einbindung in die Landschaft, die innovative pädagogische Architektur des Innenraums in den Außenraum zu übertragen und ein differenziertes Angebot an offenen Lernstätten zu schaffen. Ein Lageplan der Freianlagen ist in folgender Abbildung dargestellt:

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

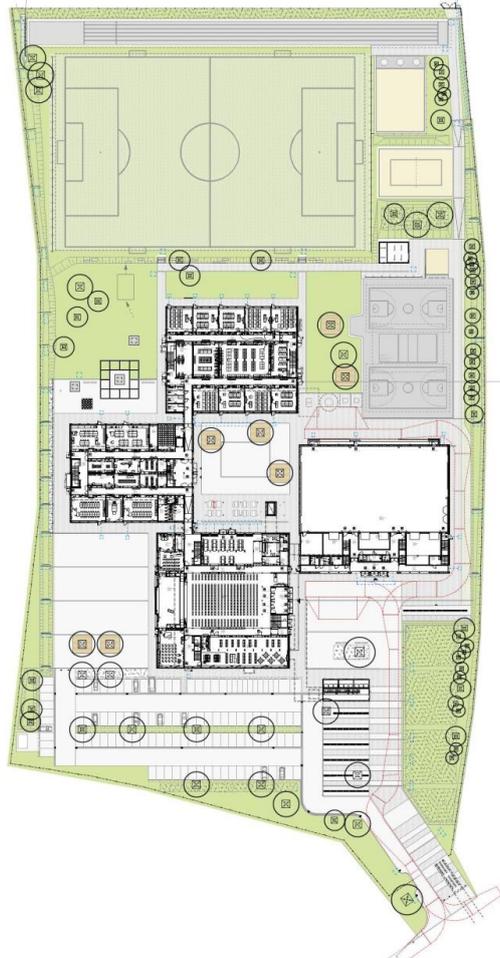


Abbildung 2.1-24: Lageplan Freianlagen, Stand: September 2015

2.1.7.2 Umsetzung der pädagogischen Zonen

Erschließungszone

Das Entrée des Gymnasiums umfasst eine öffentliche Erschließungszone mit Vorplatz zwischen dem Ortsrand Diedorf und dem Gymnasium. Optisch wird auf einen großzügigen Empfangsbereich Wert gelegt, wobei die Nutzung durch Fußgänger und PKWs aus sicherheitstechnischen Aspekten strikt voneinander getrennt sind.

Im Zuge der Planungsphase wird die fußläufige Erreichbarkeit des Schulhaupteingangs optimiert, indem die bestehende Bahnunterführung bis auf den Vorplatz des Schulgrundstücks verlängert wurde und somit einen sicheren Zugang unter der Bahn und der Dammstraße zur Schule schafft.

Im Westen der Erschließungszone schließt ein Parkplatz mit einer baumüberstandenen Stellfläche für 101 PKWs und 10 Motorroller an. Die Zufahrt zum Parkplatz kann bei Bedarf mit einer Schrankenanlage geschlossen werden.

Zentrales Kernstück des südlichen Vorplatzes ist ein Bereich mit 390 Fahrradständern, die durch 100 weitere Fahrradständer im nordöstlichen Vorplatzbereich ergänzt werden.

Sickermulden für die Belagsentwässerung mit Feldern aus Blumenwiesen und Gräsern vermitteln zwischen Schule und Landschaft im Übergangsbereich.

Pausenbereiche

Die beiden Pausenhöfe bilden den Mittelpunkt und Kommunikationsort der Schule (vgl. Abbildung 2.1-25).

Nach Westen öffnet sich ein ca. 1.255 m² großer Pausenhof zur Landschaft hin, welcher neben der Pausennutzung im Zusammenhang mit der Bühne als Schulforum genutzt werden kann. Nördlich der Mensa befindet sich der zweite Pausenhof mit einer Größe von ca. 1.175 m², der mit seiner Atriumlage einen geschützten Rückzugsort anbietet. Mit der überdachten Mensaterrasse öffnet sich die Mensa hier zum Schulhof.

Die Pausenhöfe werden durch unterschiedlich befestigte Flächen und ein abwechslungsreiches Angebot an Sitzelementen intensiv genutzte Orte der Kommunikation und Aktivität, aber auch des Rückzugs, der Erholung und des Verweilens. Multioptionale Flächen wie der Allwetterplatz im Norden der Turnhalle erweitern das Angebot an Pausenflächen und ermöglichen eine Vielzahl verschiedener Aktivitäten zur Bewegung.



Abbildung 2.1-25: Pausenhofbereich Innenhof

Freisportanlagen

Im Norden des Planungsgebiets gliedern sich die Freisportanlagen an die Sporthalle an. Die Freisportflächen verstehen sich als Teil des Gesamtfreiraums und sind durch Baumneupflanzungen und Wiesenfelder in die Landschaft integriert.

Die Freisportanlagen umfassen ein Rasenspielfeld (60 x 90 m), einen Allwetterplatz (28 x 44 m) mit integrierter Weit- und Hochsprunganlagen, ein Beachvolleyballfeld, eine Kugelstoßanlage sowie eine Laufbahn (6 / 1,22 x 130 m). Allwetterplatz und Laufbahn sind zur besseren Integration in die Landschaft mit sandfarbenen Kunststoffbelagsflächen ausgeführt.

Um das Rasenspielfeld und die Laufbahn in die Topographie des Grundstücks zu integrieren, ist ein Geländesprung von ca. 2,0 m notwendig. Der Höhengsprung wird durch eine Rasenböschung mit zwei Treppen und Sitzelementen erzielt.

Aneignungsflächen – LernLandSchaften

Zwischen Bauteil West, in dem u.a. die Kunst- und Werkräume untergebracht sind, und Bauteil Nord ist eine Werkstattterrasse mit Freiraumlabor vorgesehen. Zentrales Objekt in diesem Bereich ist eine Stahlkonstruktion mit 3 Experimentiertischen und -feldern sowie Sitzgelegenheiten.

Der Bereich mit dem frei beispielbaren Raumgerüst ist zum Experimentieren und für die Unterrichtnutzung im Freien gestaltet. Er setzt die Möglichkeit des Lernens durch eigenes Erarbeiten von den Fachräumen im Schulgebäude in den Freiraum fort. Das robuste Experimentierfeld kann von der Schulgemeinschaft für vielfältige Projekte immer wieder neu bestückt werden.

Ausstattungskonzept

Die Außenanlagen des Gymnasium Diedorf besitzen eine ansprechende und dem Architekturkonzept angepasste Ausstattung.

Bei der Auswahl der Möblierung spielen neben gestalterischen und ästhetischen Gesichtspunkten, Aspekte der Nachhaltigkeit und des Unterhalts eine Rolle. Es sind bewusst Elemente zum Einsatz gekommen, die meist mehrere Funktionen vereinbaren oder für unterschiedliche Nutzungen verwendet werden können.

Ein Beispiel dafür sind die sieben Holzdecks mit integriertem Baum, die in allen Pausenhofbereichen ausgeführt wurden. Diese können für den Unterricht oder aber als Kommunikations- oder Rückzugsort in der Pause sowie vor oder nach dem Unterricht genutzt werden.

2.1.7.3 Umsetzung der naturräumlichen Zone

Ausgleichsfläche

Für das Bauvorhaben sind Ausgleichsflächen notwendig, die auf dem Grundstück nachgewiesen werden müssen.

Die nicht eingefriedete Ausgleichsfläche umfasst ca. 12.000 m² und liegt nördlich des eingefriedeten Schulgrundstücks. Diese ist durch ein 3 m breites Tor vom Schulgrundstück zugänglich und kann in das pädagogische Konzept optimal integriert werden. Die Ausgleichsfläche mit verschiedenen ökologischen Lebensbereichen bietet einen Naturerfahrungsraum für Schüler.

Die Planung der Ausgleichsfläche erfolgt separat von der Planung des Schulgrundstücks.

Vegetationskonzept

Das Vegetationskonzept ist abgeleitet aus der naturräumlichen Lage des Grundstücks.

Die Pflege- und Unterhaltsaufwendungen im Bereich der Vegetation sollen durch den Verzicht auf Schnittgehölze und dem Einsatz eines extensiven Wiesenmahdkonzepts minimiert werden.

Es werden vorrangig heimische Arten vorgesehen, die sich in die umliegende Landschaft eingliedern und Lebensraum sowie Nahrungsquellen für heimische Tierarten bieten.

2.1.7.4 Umsetzung der technischen Aspekte

Brandschutztechnische Auflagen

Gemäß den Abstimmungen mit dem Brandschutz und dem Landratsamt Augsburg sind in den Freianlagen eine Reihe von brandschutztechnischen Auflagen nach DIN 14090 zu berücksichtigen.

Die Befahrung der Feuerwehr wird im Osten des Schulgrundstücks gewährleistet.

Wendemöglichkeiten und Aufstellflächen sind an der Feuerwehrezufahrt nördlich und südlich der Turnhalle vorgesehen. Die Breite der Feuerwehrezufahrten- und Aufstellflächen sowie die Ausbildung der Radien entsprechend den Vorgaben der DIN 14 090.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Die Zufahrten, Aufstell- und Bewegungsflächen sind für Feuerwehrfahrzeuge mit einem Gewicht von 16 t und einer Achslast von 10 t aus gelegt. Die Belagsausbildung erfolgt in Randbereichen zu Vegetationsflächen mit Schotterterrassen.

Technische Infrastruktur – Beleuchtung

Die Lichtplanung der Außenanlagen erfolgt im intensiven Austausch aller beteiligter Planer (Architekturbüro Nagler, Lumen³, IB Mayr).

Bei der Beleuchtung der Zugangspromenade und des Vorplatzes sowie des Pausenhof ‚West‘ werden Säulenleuchten eingesetzt. Im Bereich des Lehrerparkplatzes und am Nebengebäude ‚Nord‘ finden Mastleuchten Verwendung.

Alle anderen Bereiche werden, sofern nötig, von Leuchten an der Fassade beleuchtet.

Technische Infrastruktur – Entwässerung

Der Umgang mit dem anfallenden Regenwasser ist in der Entwurfsplanung als ganzheitliches Konzept entwickelt und als erlebbarer Baustein des Schul-Freiraums verstanden.

Das anfallende Oberflächenwasser wird dezentral auf dem Schulgrundstück bzw. auf der angrenzenden Ausgleichsfläche versickert.

Ein System aus Rinnen leitet das Regenwasser aller befestigten Flächen – mit Ausnahme des Innenhofs und der Parkplatzfläche – in Sickerflächen, die im südlichen Bereich des Grundstücks liegen, bzw. in Sickermulden, die an der östlichen und westlichen Grundstücksgrenze ausgebildet sind .

In den Sickermulden wird anfallendes Regenwasser kurzzeitig angestaut, bevor es über mächtige Sickerpackungen mit einer Größe von mind. 3,00 m x 1,00 m und Tiefen bis zu ca. 4,00 m in wasserableitende Bodenschichten versickert. Die Größe und Tiefe der Sickerpackungen sind aufgrund des bis in tiefe Schichten nicht sickerfähigen Baugrunds nötig und wurden hinsichtlich der Bemessung zusammen mit einem Bodengutachter festgelegt.

Das Oberflächenwasser des zentralen Pausenhofs (Innenhof) und des Parkplatzes wird über Rinnen und Einläufe gesammelt und in unterirdische Rigolen geführt.

Die Planung der unterirdischen Entwässerungseinrichtungen, an die auch die Dachentwässerung angeschlossen ist, erfolgt durch das Ingenieurbüro Wimmer.

Zusätzlich zu den unterirdischen Rigolen gibt es zur Sammlung des Dachwassers einen 75 m³ großen Regenwassertank. Das dort gespeicherte Regenwasser wird in Trockenperioden zur Beregnung des Rasenspielfelds verwendet.

2.1.7.5 Fazit und Ausblick

Im Bereich der Freianlagen werden mit dem integrativen Ansatz im Planungs- und Umsetzungsprozess alle geforderten und technischen Notwendigkeiten unter ökonomischen, ökologischen sowie pädagogischen und gestalterischen Gesichtspunkten optimal in das Gesamtsystem integriert.

Der hohe Anspruch des Forschungsbauvorhabens erfordert eine deutlich über das normale Maß hinausgehende Verschränkung der unterschiedlichen Fachdisziplinen. Hierfür ist bei den einzelnen Akteuren großer Einsatz und Überblick notwendig, auch ein Blick über den Tellerrand der eigenen Planungsthemen in den Schnittstellenbereichen zu den anderen Gewerken darf nicht fehlen.

Den als ‚Generalisten‘ zu bezeichnenden Sparten der Architektur und Landschaftsarchitektur ist diese Thematik nicht fremd, für einige der technischen Fachgewerke wäre beim Bauvorhaben mehr Einblick in landschaftsarchitektonische Themenstellungen wünschenswert und zielführend gewesen.

2.1 Architektur und Gebäudekonstruktion

Viele Fragestellungen und Planungsthemen sind übergreifend zu betrachten. Beispielsweise sind Energieversorgung oder Regenwasserbehandlung nicht losgelöst von Einzelnen zu planen, sondern als fragiles Gebilde zwischen den beteiligten Akteuren hinsichtlich aller Fragestellungen in engem Abgleich zu entwickeln. Die Änderung eines einzigen Teilaspekts führt zwangsläufig zu weiteren Änderungen im gesamten System und ist immer neu zwischen den beteiligten Gewerken abzugleichen und zu ‚verhandeln‘.

Ein Risikopotential liegt darin, dass grundlegende Einzelentscheidungen zu spät getroffen werden (manchmal ist im Moment der Entscheidung eines kleinen Teilaspekts die Gesamtauswirkung bis zum letzten Bausteine nicht im Gesamten zu überblicken) oder dass in der Kommunikation zwischen den Beteiligten Informationen nicht oder unvollständig fließen.

Die erforderliche enge Zusammenarbeit aller Akteure in Planung und Variantendiskussion beim integrativen Planungsansatz nimmt mehr Zeit in Anspruch als bei vergleichbaren Bauvorhaben, die nach gängiger Praxis geplant und ausgeführt werden.

Ergebnis des großen Engagements ist ein sehr hoher Standard, der hinsichtlich gestalterischer und ökologischer Fragestellungen weit über den herkömmlichen Qualitäten der Freianlagen eines vergleichbaren Schulbaus liegt. Dies gilt durch die Einbeziehung der Nutzer von einem sehr frühen Zeitpunkt an auch für die Infrastruktur der Freianlagen, die Nutzbarkeit für den Unterrichtsalltag und die Aufenthaltsqualität für die Schüler- und Lehrerschaft.

Ökonomisch betrachtet, stellt sich die Planung und Ausführung zunächst als kostenintensiver dar als der übliche Standard. Es wurde jedoch so geplant und gebaut, dass nach derzeitigem Stand von relativ geringen Folgekosten auszugehen ist und Freianlagen realisiert wurden, die zeitlos und dauerhaft sind.



Abbildung 2.1-26: Blick über das Rasenspielfeld nach Westen

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

2.2.1 Energieplanung / Thermischer Komfort / Plusenergiestandard

2.2.1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Analysiert man Schulgebäude in Deutschland hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihres Nutzungskomforts, so muss man für beide Bereiche erhebliche Defizite konstatieren: Vor allem Gebäude älteren Datums weisen oft hohe Energiebedarfe und einen unbefriedigenden Nutzungskomfort auf. Der Dämmstandard und die Luftdichtigkeit sind oft mangelhaft; zudem ergeben sich vor allem bei kaltem Außenklima unerfreuliche Zielkonflikte bezüglich des Wunsches nach einer guten Raumluftqualität und einem angenehmen thermischen Komfort. Auch das sommerliche Raumklima ist aufgrund der erheblichen spezifischen Wärmelasten durch Personen und Geräte oft unbefriedigend. Das Gymnasium Diedorf soll gemäß Zielsetzung ein „Plusenergiegebäude“ mit gutem Nutzungskomfort darstellen. Aspekte des sommerlichen thermischen Komforts werden in den Ausführungen zur thermisch-dynamischen Simulationsrechnung thematisiert.

Plusenergie-Standard

Das Plusenergie-Ziel wurde von der Energieplanung für das vorliegende Projekt in Abstimmung mit dem Planungsteam folgendermaßen spezifiziert:

- Der gesamte nichtregenerative Primärenergiebedarf des Gebäudes (Haustechnik und nutzerinduzierte Bedarfe) soll in der Jahresbilanz geringer ausfallen als der durch Eigenerzeugung auf dem Schulgelände substituierte Primärenergieeinsatz.
- Die durch den Betrieb des Gebäudes insgesamt (d. h. durch Haustechnik und nutzerinduzierte Bedarfe) verursachten CO₂-Emissionen sollen in der Jahresbilanz geringer ausfallen als die durch die Eigenerzeugung auf dem Schulgelände vermiedenen CO₂-Emissionen.

Endenergiebedarfe des Gebäudes, die sich bekanntlich auf verschiedene Energieträger beziehen können (z. B. Elektrizität, Gas, Holzpellets) werden hierfür zunächst in Primärenergiebedarfe umgerechnet, um sie dann hinsichtlich ihres Einsatzes an nichtregenerativen Ressourcen zu bewerten bzw. zu vergleichen. Dass gemäß dieser strengen Definition ein Plusenergiegebäude realisierbar erscheint, wird weiter unten dargelegt.

Energieplanung

Die Aufgabe der Energieplanung bestand darin, in Abstimmung mit den übrigen Planungsbeteiligten für alle energierelevanten Aspekte des Gebäudes energieeffiziente Lösungen zu entwickeln, die mit vertretbarem Aufwand realisierbar sind. Dazu wurden für das Gebäude eine erzielbare Primärenergiebilanz und ein energetisches Pflichtenheft aufgestellt und nachgeführt. Unter Berücksichtigung der Eigenerzeugung konnte so stets ermittelt werden, inwieweit das Plusenergieziel erreichbar ist. Zunächst wurde angestrebt, ein Gebäude mit sehr niedrigem Energiebedarf zu realisieren. Dies gelang durch einen hervorragenden Dämmstandard, effiziente Sonnenschutzlösungen, strömungsgünstige Lüftungsanlagen, effiziente Wärmerückgewinnungseinheiten und effiziente Leuchtmittel. Zudem wurde auf sachgerechte Steuerungs- und Regelungskonzepte Wert gelegt. Von besonderer Wichtigkeit war die Auswahl des Wärme- und Kälteversorgungskonzepts. Dieses wurde auf Basis eines multikriteriellen Rankings (Anhang 8) mit wählbaren Gewichtungsfaktoren für jährliche Kosten, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen ausgewählt.

2.2.1.2 Erzielbare Primärenergiebilanz

Die Gesamtbilanz ist in folgender Tabellen dargestellt (hier exemplarisch unter Annahme einer Kälteerzeugung mit einer Jahres-EER von 4,0 und einer Wärmeversorgung mit einer Holzpelletfeuerungsanlage und einem Gas-Spitzenlastkessel; Wärmemengen 80 % / 20 %).

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Detaillierte Eingabeformulare zu Zonierung, Heizwärme- und Warmwasserbedarf, Beleuchtung, Raumkühlung, Luftförderung, Luftkonditionierung, Diverse Technik und Elektrik (nutzerbezogen) sind den Anhängen 9-15 zu entnehmen.

Tabelle 2.2-1 Rechenblatt zur Gesamtenergiebilanz des Gebäudes (Endenergie und Primärenergie)

| Sektor | Jahres- Endenergiebedarf, kWh/a | Energieart | Endenergie Strom, kWh/a | Endenergie Wärme, kWh/a | Primärenergie- faktor, ggf. kombiniert | Primärenergie- bedarf (PEB), kWh/a |
|--|---------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|--|--|
| Luftförderung | 26.912 | Strom | 26.912 | 0 | 2,21 | 59.477 |
| Luftkühlung/-entfeuchtung | 37.015 | Kälte | 3.702 | 0 | 2,21 | 8.180 |
| Beleuchtung | 104.966 | Strom | 104.966 | 0 | 2,21 | 231.975 |
| Hilfsenergie Kühlung Umluft | 0 | Strom | 0 | 0 | 2,21 | 0 |
| Pumpen und Rückkühlwerke | 0 | Strom | 0 | 0 | 2,21 | 0 |
| Raumkühlung | 120.054 | Kälte | 12.005 | 0 | 2,21 | 26.532 |
| Nutzerbezogen | 122.633 | Strom | 122.633 | 0 | 2,21 | 271.018 |
| Lufterwärmung/-befeuchtung | 27.373 | Wärme | 0 | 27.373 | 0,08 | 2.135 |
| WW nicht el. | 85.561 | Wärme | 0 | 85.561 | 0,08 | 6.674 |
| WW el. | 0 | Strom | 0 | 0 | 2,21 | 0 |
| Heizwärme statisch, Endenergie; in Spalte "Jahresbedarf" noch incl. etwaiger Antriebswärme für AKM | 245.873 | Wärme | 0 | 245.873 | 0,08 | 19.178 |
| Wärmeverteilung | 2.922 | Strom | 2.922 | 0 | 2,21 | 6.458 |
| Diverse Technik incl. Trafoverluste für Anteil Bedarf Haustechnik | 65.796 | Strom | 65.796 | 0 | 2,21 | 145.410 |
| Summen | | | 338.936 | 358.807 | | 777.036 |

| | |
|--------------------------------------|------|
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Strom: | 10,0 |
| Jahres-EER Kälteerzeugung aus Wärme: | 0,6 |
| Anteil Kältearbeit aus Strom, % | 100 |
| Anteil Kältearbeit aus Wärme, % | 0 |

| | |
|--|-----|
| 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 |
|--|-----|

Auf den vorgestellten Berechnungen basierend ergeben sich die folgenden spezifischen Primärenergiebedarfe (hier einmal ohne und einmal mit nutzerinduzierte/n Bedarfe/n):

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

| | PEB, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m ² NGF a) |
|-----------------------------------|-------------|---|
| Beleuchtung | 231.975 | 16,5 |
| Heizen | 27.771 | 2,0 |
| Luftförderung | 59.477 | 4,2 |
| Kühlung | 34.712 | 2,5 |
| Diverse Technik | 145.410 | 10,4 |
| WW | 6.674 | 0,5 |
| Summe | 506.018 | 36,0 |
| EBF, m ² | 14.048 | |
| Spez. PEB, kWh/(m ² a) | 36,0 | |

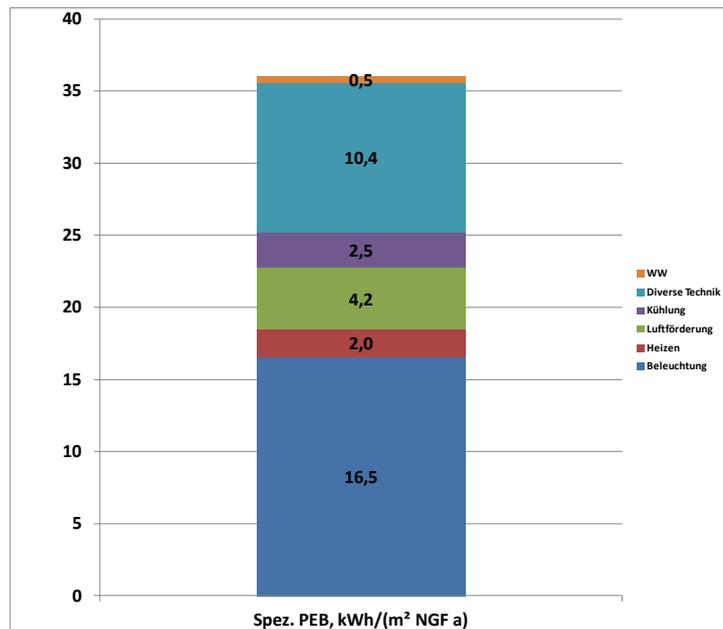


Abbildung 2.2-1: Tabellarische und grafische Darstellung des erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfs ohne nutzerinduzierte Bedarfe

| | PEB, kWh/a | Spez. PEB, kWh/(m ² NGF a) |
|-----------------------------------|-------------|---|
| Beleuchtung | 231.975 | 16,5 |
| Heizen | 27.771 | 2,0 |
| Luftförderung | 59.477 | 4,2 |
| Kühlung | 34.712 | 2,5 |
| Diverse Technik | 145.410 | 10,4 |
| WW | 6.674 | 0,5 |
| Nutzerinduziert | 271.018 | 19,3 |
| Summe | 777.036 | 55,3 |
| EBF, m ² | 14.048 | |
| Spez. PEB, kWh/(m ² a) | 55,3 | |

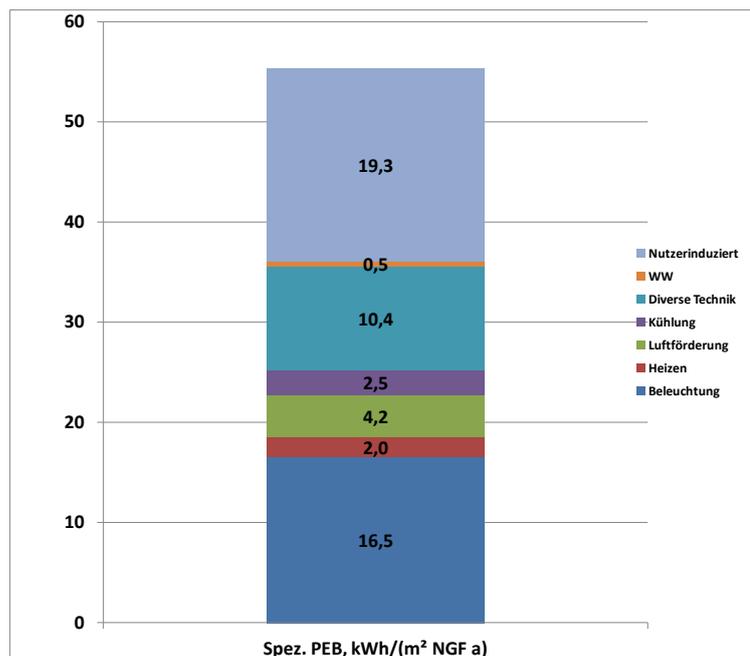


Abbildung 2.2-2: Tabellarische und grafische Darstellung des erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfs unter Einbezug der nutzerinduzierten Bedarfe

Es lässt sich festhalten, dass die prognostizierten erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfe von ca. 36 kWh/(m²NGF a) bzw. 55 kWh/(m²NGF a) extrem niedrig ausfallen – ältere Bestandsschulen weisen oft vier- bis sechsmal so hohe spezifische Primärenergiebedarfe auf, oft gehen die Werte aber noch weit darüber hinaus [Kli06] [SAa08]. Es ist hervorzuheben, dass dieser sehr niedrige spezifische Primärenergiebedarf mit einem wesentlich verbesserten Nutzungskomfort einhergeht: Es treten keine Zugerscheinungen auf, die Luftqualität ist immer gut und der winterliche und sommerliche thermische Komfort sind wesentlich besser als in fast allen anderen Schulbauten weltweit.

Erreichbarkeit des Plusenergiestandards

Die oben dokumentierten Berechnungen des Primärenergiebedarfs können nun der möglichen Eigen-
 erzeugung gegenübergestellt werden. Auf diese Weise kann ermittelt werden, ob der Plusenergiestan-
 dard erreicht werden kann. Die Gegenüberstellung ist der folgenden Abbildung zu entnehmen. Es ist
 ersichtlich, dass der angestrebte Plusenergiestandard realisierbar ist.

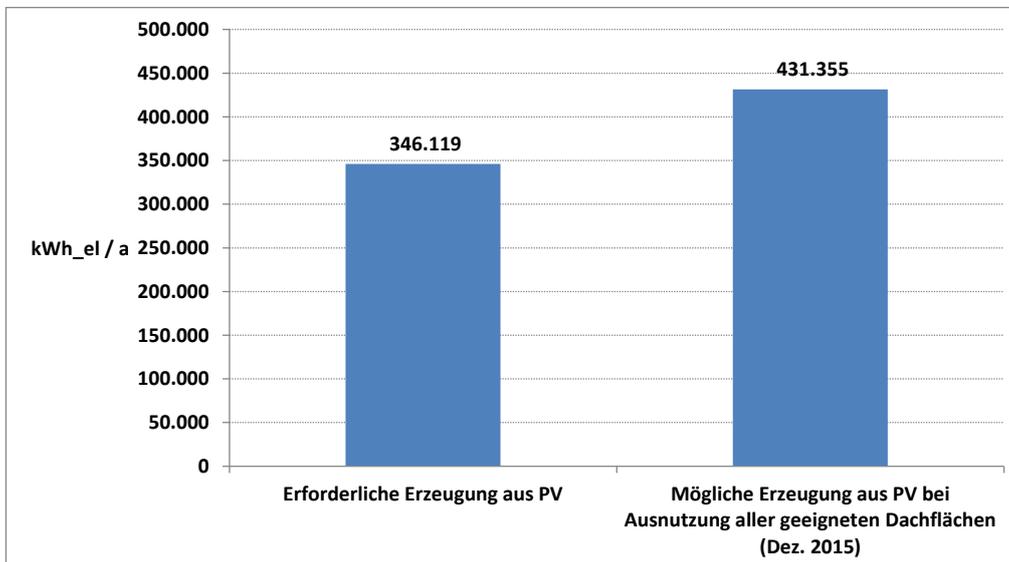


Abbildung 2.2-3: Zur Erreichung des Plusenergiestandards erforderliche und mögliche Eigenerzeugung aus PV
 (nur Gebäudedächer; P50-Werte angenommen; Leistungsverminderung durch Degradation um 7,5 %
 angenommen)

Für die CO₂-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild (vgl. Abbildung 2.2-4). Die CO₂-Vermeidung
 durch eine PV-Anlage bei Ausnutzung aller geeigneten Dachflächen übersteigt die aus dem Gebäude-
 betrieb resultierenden CO₂-Emissionen um ca. 27 t/a. Auch dieses Kriterium für den Plusenergiestan-
 dard kann also erfüllt werden.

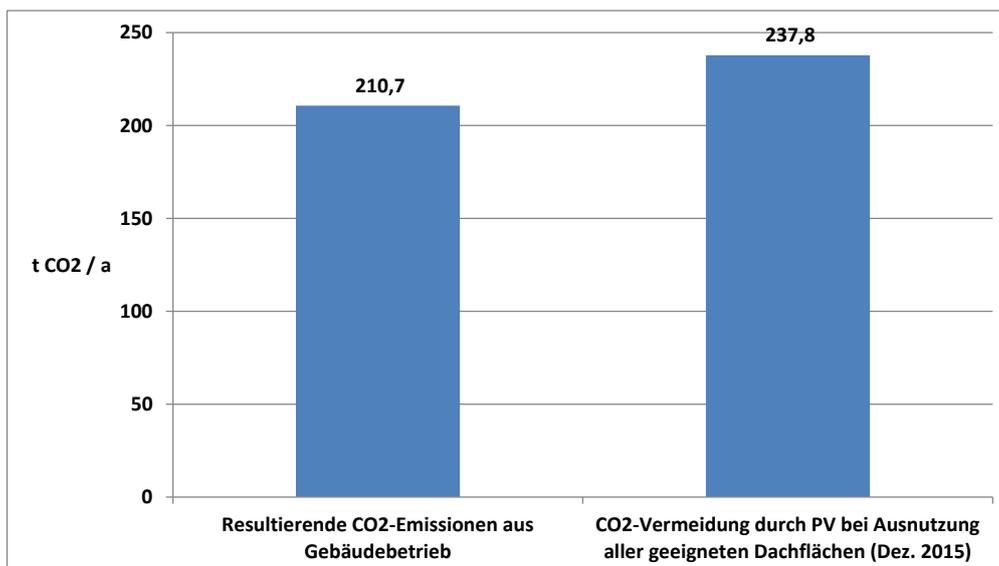


Abbildung 2.2-4: Zur Erreichung der CO₂-Neutralität erforderliche und mögliche Vermeidung von CO₂-
 Emissionen durch Eigenerzeugung aus PV (nur Gebäudedächer; P50-Werte angenommen;
 Leistungsverminderung durch Degradation um 7,5 % angenommen)

2.2.1.3 Energetisches Pflichtenheft

Aus der aufgestellten Primärenergiebilanz lässt sich ein *energetisches Pflichtenheft* ableiten, welches in für die Planer transparente Weise energierelevante Zielwerte zusammenfasst. Diese Zielwerte sind i. d. R. unmittelbar aus den Berechnungstabellen zum erzielbaren Primärenergiebedarf zu entnehmen. Das energetische Pflichtenheft wurde im Zuge der Planung fortgeschrieben und ist nachfolgend in seiner letzten Version ausgeführt.

Lüftungsanlagen

Die erforderlichen mechanischen Zu-/ Abluftanlagen sollen strömungsoptimiert ausgeführt werden. Die folgenden Strömungsgeschwindigkeiten in Lüftungskanälen sollen eingehalten werden (VDI 3807); höhere Strömungsgeschwindigkeiten sind möglich, sofern die weiter unten genannten Druckverluste eingehalten werden:

Tabelle 2.2-2: Strömungsgeschwindigkeiten Lüftungskanäle

| Betriebszeit [h/a] | v [m/s] bei Nennvolumenstrom |
|--------------------|------------------------------|
| < 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 sollen eingehalten werden:

Tabelle 2.2-3: Druckverluste Zu-/ Abluftanlagen

| Anlage | Druckverluste; Summe für Zu- und Abluft, intern und extern [Pa], bei Nennvolumenstrom |
|---|---|
| Große Lüftungsanlagen (Klassenzimmer, Aula etc.) | ≤ 1.060 |
| Mensaküche | ≤ 1.100 |

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Die folgenden Werte des gesamten Druckverlustes in Abluftanlagen sollen eingehalten werden. Alle Werte beziehen sich auf die Summe von internem und externem Druckverlust:

Tabelle 2.2-4: Gesamtdruckverlust Abluftanlagen

| Anlage | Druckverluste; Summe aus intern und extern [Pa], bei Nennvolumenstrom |
|----------------|---|
| Digestorien | ≤ 400 |
| Abluft Elektro | ≤ 160 |

Die folgenden Ventilator-Systemwirkungsgrade (Gesamt-Wirkungsgrad unter Berücksichtigung von Ventilator, Motor, Antrieb, FU) sollen eingehalten werden (in Anlehnung an verbesserte Richtwerte LEE Hessen):

Tabelle 2.2-5: Ventilator-Systemwirkungsgrade

| Anlage | Ventilator-Systemwirkungsgrad bei Nennvolumenstrom [%] |
|---|--|
| Große Lüftungsanlagen (Klassenzimmer, Aula etc.) | ≥ 70 |
| Mensaküche | ≥ 65 |
| Digestorien | ≥ 60 |
| Abluft Elektro | ≥ 55 |

Berechnungsformel: $\eta_{ges} = \eta_V \times \eta_A \times \eta_M \times \eta_{FU}$

mit

- η_V : Ventilatorwirkungsgrad
- η_A : Antriebswirkungsgrad
- η_M : Motorwirkungsgrad
- η_{FU} : Wirkungsgrad des Frequenzumrichters

WRG-Einheiten sollen in der Wärmerückgewinnungsklasse H1 nach EN 13053 A1:2010 ausgeführt werden (bei Nennvolumenstrom und $T_{amb} = 5 \text{ °C}$).

Lüftungsleitungen sollen innerhalb der thermischen Gebäudehülle mindestens folgendermaßen gedämmt werden (bei WLГ 035):

- Außenluft: 10 cm
- Fortluft: 10 cm
- Zuluft: 3 cm (Im Bereich der Holzbalken in den Klassenräumen: 2 cm)
- Abluft: 3 cm (Im Bereich der Holzbalken in den Klassenräumen: 2 cm)

Die mechanischen Zu-/ Abluftanlagen müssen, wo dies erlaubt ist, stufenlos bedarfsgerecht betrieben werden können.

Heizung / Kühlung

Die Dämmung von Heizleitungen und Armaturen soll gemäß den Anforderungen der EnEV 2009 erfolgen. Ausnahmen – insbesondere bei Anbindeleitungen – müssen abgestimmt werden. Die Dämmung von Kühlleitungen muss gemäß den Anforderungen der EnEV 2009 erfolgen.

Hilfsenergien

Sämtliche Pumpen sind mit einem Energieeffizienzindex (EEI) $\leq 0,23$ und Δp -geregelt auszuführen. Die folgenden Werte für Hilfsenergien sollen eingehalten werden:

Tabelle 2.2-6: Hilfsenergien Pumpen

| Art | Maximalwert |
|--|--|
| Summe für alle Heizkreispumpen | $P_{el} < 0,005 P_{heiz_th}$ |
| Summe für alle Kühl- und Rückkühlkreispumpen | $P_{el} < 0,02 P_{kühl_th}$ |
| Umluftgeräte | $P_{el_Ventilator} < 0,03 P_{kühl_th}$ |

Kunstlicht und Tageslichtautonomie

Die folgenden Werte für die spezifische installierte Leistung Kunstlicht sollen eingehalten werden:

Tabelle 2.2-7: spezifisch installierte Leistung Kunstlicht

| Beleuchtungsstärke [lx] | Spezifische installierte Leistung Kunstlicht [W/m ²] |
|-------------------------|--|
| 50 | 2,5 |
| 100 | 3,5 |
| 200 | 5,0 |
| 300 | 7,5 |
| 500 | 11,0 |

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad soll mindestens 80 % betragen. Bei Unterschreitungen dieses Wertes ist eine Begründung notwendig.

Für Hauptnutzungsbereiche ist durch geeignete Fassadengestaltung und evtl. in Dächern angeordnete Tageslichtelemente eine gute Tageslichtautonomie (> 60 % bei Anforderung 300 lx; > 45 % bei Anforderung 500 lx) anzustreben. Die außenliegende Sonnenschutzvorrichtung soll so ausgeführt werden, dass bei Sonneneinstrahlung und geschlossenem Sonnenschutz für dahinter liegende Räume bis zu einer Raumtiefe von mindestens 5 m i. d. R. kein Kunstlichteinsatz erforderlich wird.

Gebäudehülle

Wärmebrücken sind wegen des angestrebten Passivhausstandards weitgehend zu vermeiden. Die folgenden (etwaige Wärmebrückeneffekte enthaltenden!) U-Werte sollen eingehalten werden:

Tabelle 2.2-8: Vorgaben U-Werte

| Art | U-Wert [W/(m ² K)] | Dämmdicke bei WLГ 035 [cm] (typischerweise) |
|---|---|---|
| Außenwand opak | ≤ 0,15 im Mittel | ≥ 24 |
| Dach opak | ≤ 0,10 | ≥ 34; bei Keildämmung detailierte Betrachtung erforderlich! |
| Boden / Wand gegen Erdreich | ≤ 0,33 | ≥ 10 |
| Fenster gesamt (U _w), Pfosten-Riegel-Konstruktion | U _w ≤ 0,85 W/(m ² K) im eingebauten Zustand | – |
| Außentüren | ≤ 0,80 | ≥ 5 |

Einzuhaltender g-Wert der Fenster nach DIN EN 410: $g \geq 52 \%$

Einzuhaltender Tageslichtdurchgang der Fenster: $\tau_{vis} \geq 72 \%$

F_c-Wert des außenliegenden Sonnenschutzes: $F_c \leq 0,20$

Gebäudedichtigkeit: Ein n₅₀-Wert von unter 0,40 1/h muss erreicht und mittels eines Blower-Door-Tests nachgewiesen werden.

Thermischer Komfort

In Klassenzimmern und anderen Hauptnutzbereichen ohne erhebliche interne Lasten soll ein guter sommerlicher thermischer Komfort ohne aktive Kühlung gewährleistet werden. Die operative Raumtemperatur soll bei normalen klimatischen Bedingungen einen Wert von 27 °C während nicht mehr als 5 % der Nutzungszeit überschreiten.

2.2.1.4 Thermisch-dynamische Simulationsrechnung

Zur Sicherstellung eines guten sommerlichen thermischen Komforts im Sinne des energetischen Pflichtenhefts wurde das Instrument der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung verwendet. In der ersten Förderphase wurden zunächst Parametervariationen an einem repräsentativen südorientierten (–12,5 °) Klassenraum durchgeführt, um grundlegende Sensitivitäten des sommerlichen thermischen Komforts auf unterschiedliche baulich-technische Maßnahmen zu untersuchen. In der zweiten Förderphase erfolgten in enger Abstimmung mit der Planung verfeinerte Analysen. Im Folgenden werden wichtige Ergebnisse der Untersuchungen dokumentiert:

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Südorientierter Klassenraum im 1. OG

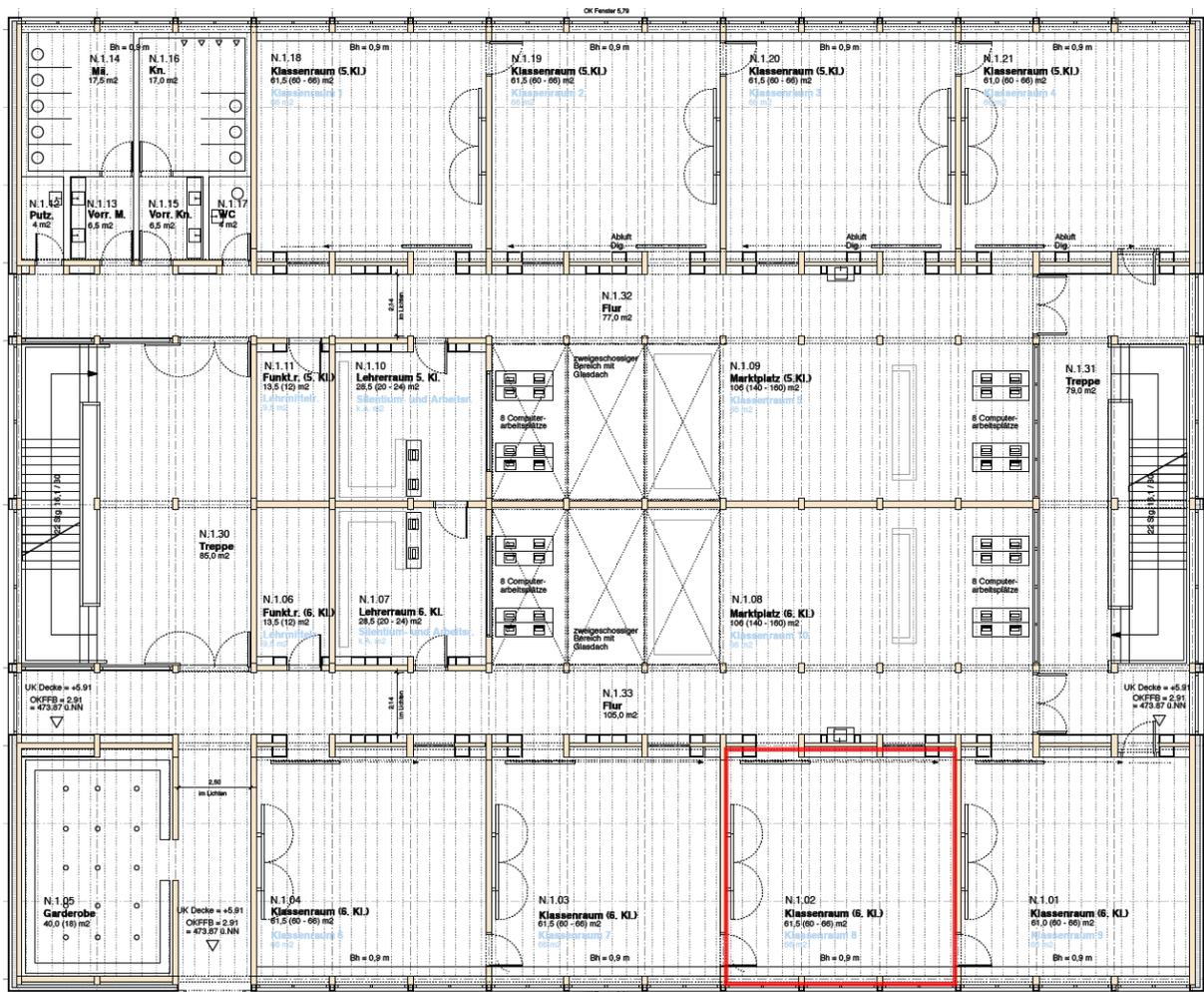


Abbildung 2.2-5: Untersucher Klassenraum 1. OG

Es wurden für den Klassenraum im 1. OG (vgl. Abbildung 2.2-5) folgende Fragestellungen / Sachverhalte überprüft:

- Einfluss der Bauweise der Decke auf den sommerlichen thermischen Komfort (unter genauerer Abbildung der vertikal positionierten Akustikbaffeln, wie beim Raum im 2. OG)
- Alternative Modellierung der Entwärmung über Fußbodenkühlung im Free-Cooling-Modus: Konservativer wird angenommen, dass sich im Free-Cooling-Modus eine Vorlauftemperatur einstellt, die maximal 5 K (statt, wie bisher im Klassenraum 2. OG betrachtet, 4 K) über der Feuchtkugltemperatur der Außenluft liegt.

Die bei der Auswertung verwendeten Kürzel lauten wie folgt:

- osb2cm: OSB-Platte mit 2 cm unter Betondecke 10 cm
- fbk: Betrieb der Fußbodenkühlung bei Abwesenheit
- fbk+5K: Betrieb der Fußbodenkühlung bei Abwesenheit; Vorlauftemperatur 5 K statt 4 K über Feuchtkugltemperatur außen

Die untersuchten Varianten und die Ergebnisse der Simulation sind folgender Tabelle und den dazugehörigen Grafiken zu entnehmen:

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Tabelle 2.2-9: Wertetabelle Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

| Kürzel | Erläuterung | Gew. Überschreitungshäufigkeit 27 °C, kWh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 27 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C, h/a | Max. Empf.temperatur, °C | Anwesenheit, h/a | % über 27 °C (bez. auf Anw.zeit) |
|---------------------|-----------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| 4-og1-osb2cm-fbk+5k | siehe gesondert | 157,3 | 466 | 198 | 61 | 29,8 | 2349 | 8,4% |
| 4-og1-fbk+5k | siehe gesondert | 130,6 | 408 | 171 | 52 | 29,6 | 2349 | 7,3% |
| 4-og1-osb2cm-fbk | siehe gesondert | 87,8 | 377 | 138 | 33 | 29,4 | 2349 | 5,9% |
| 4-og1-fbk | siehe gesondert | 69,1 | 327 | 113 | 27 | 29,2 | 2349 | 4,8% |

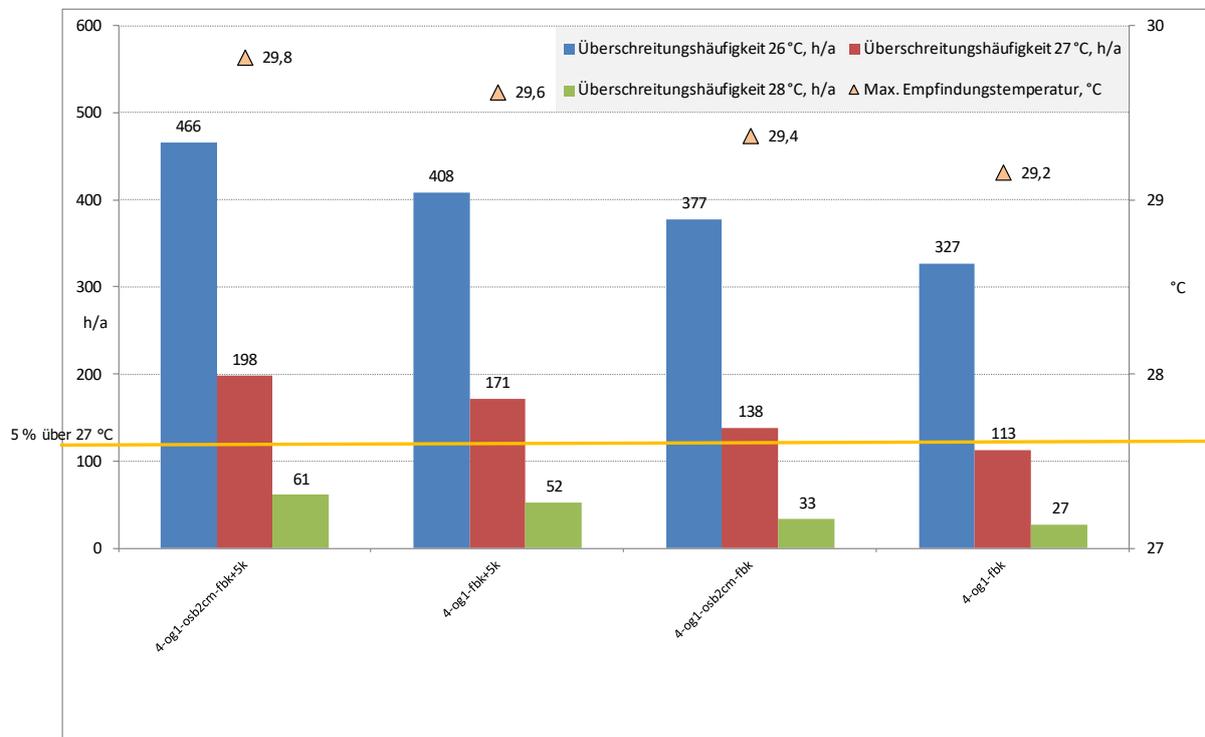


Abbildung 2.2-6: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

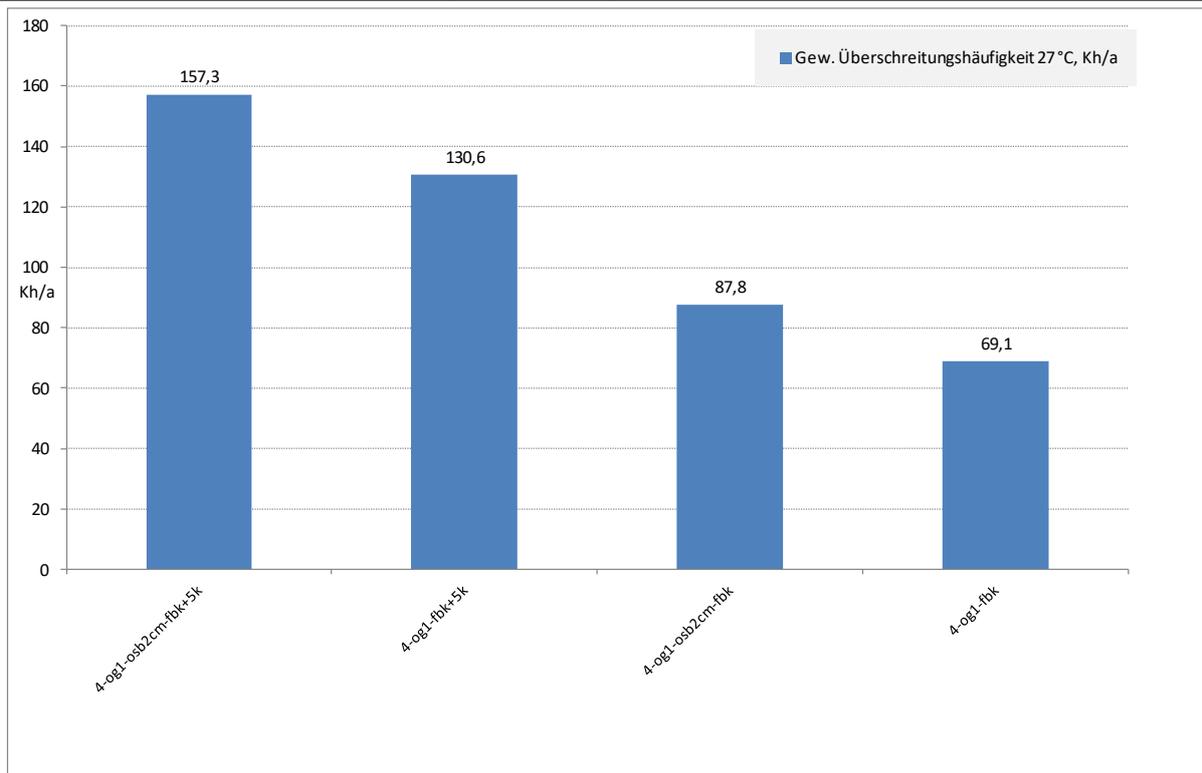


Abbildung 2.2-7: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C)

Zusätzlich wurden für diesen Klassenraum im 1. OG exemplarisch die Auswirkungen einer angenommenen Verkürzung der Nutzungszeit um 2 Stunden täglich (Belegung bis 16 Uhr statt bis 18 Uhr) untersucht.

Die untersuchten Varianten und die Ergebnisse der Simulation sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 2.2-10: Wertetabelle Simulation Klassenraum 1. OG (Untersuchung der Auswirkungen kürzerer Nutzungszeiten)

| Kürzel | Erläuterung | Gew. Überschreitungshäufigkeit 27 °C, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 27 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C, h/a | Max. Empf.temperatur, °C | Anwesenheit, h/a | % über 27 °C (bez. auf Anw.zeit) |
|-----------------------------------|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| 4-og1-osb2cm-fbk+5k | siehe gesondert | 157,3 | 466 | 198 | 61 | 29,8 | 2349 | 8,4% |
| 4-og1-osb2cm-fbk+5k-bel-bis-16uhr | siehe gesondert | 53,9 | 199 | 84 | 20 | 28,8 | 1827 | 4,6% |

Diskussion

- Im 2. OG wird der gewünschte thermische Komfort (relative Überschreitungshäufigkeit über 27 °C unter 5 %) auch bei Wegfall der Betonplatte zumindest annähernd erreicht, daher kann diese dort notfalls entfallen.
- Im 1. OG verschlechtert die OSB-Platte unter der Betondecke den thermischen Komfort (bei insgesamt etwas höheren Temperaturen als im 2. OG) zwar merklich. Allerdings bewirkt eine Verkürzung der angenommenen Nutzungszeit um z. B. 2 Stunden täglich (Belegung bis 16 Uhr statt bis 18 Uhr) eine deutliche Verringerung der Überschreitungshäufigkeit über 27 °C – im vorliegenden Fall von 8,4 % auf 4,6 %. Da die kürzere Nutzungszeit vom Planungsteam als realistisch angesehen wird, kann insgesamt die Konstruktion mit der OSB-Platte vertreten werden.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Südorientierter, an ein Dach angrenzender Klassenraum im 2. OG

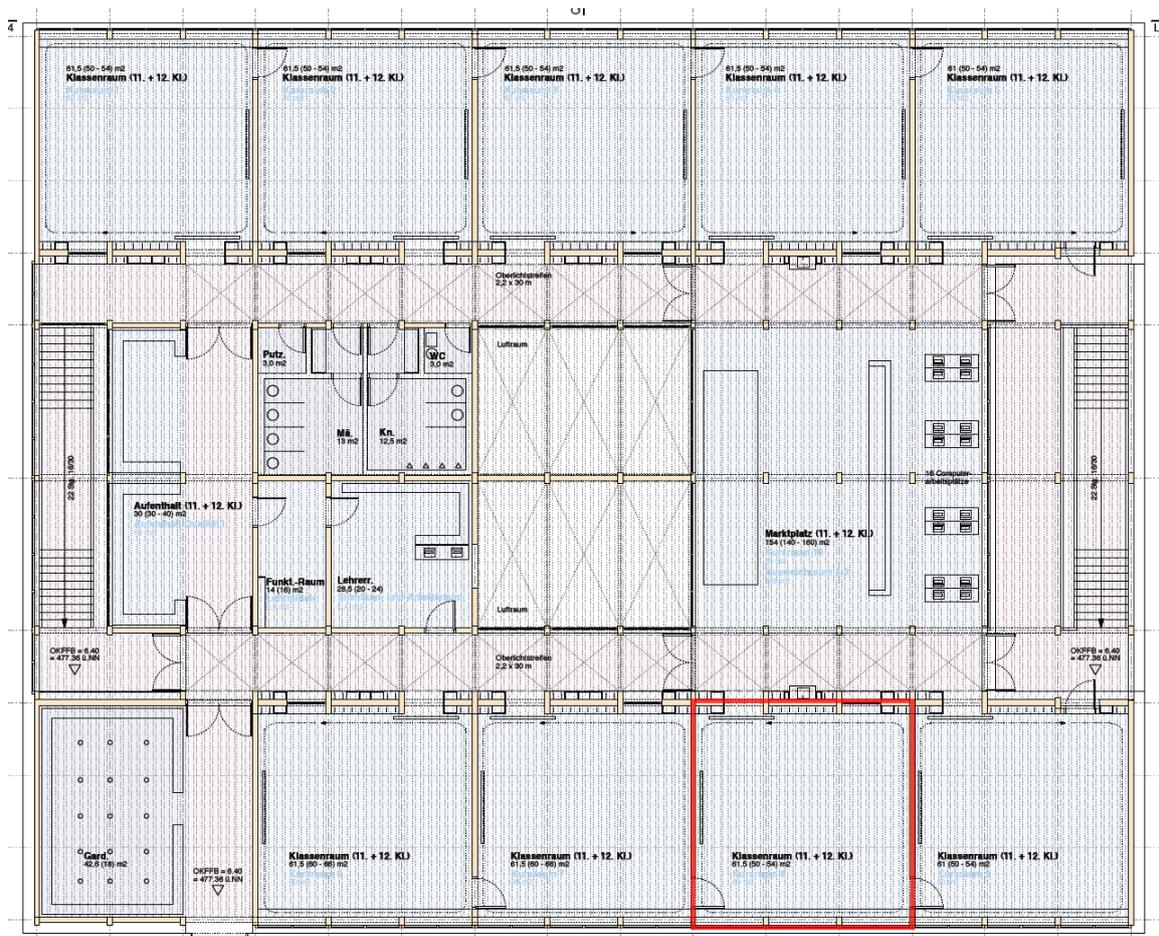


Abbildung 2.2-8: Untersucher Klassenraum 2. OG

In weiteren Untersuchungen des Klassenraums im 2. OG (Abbildung 2.2-8) wurden folgende Fragestellungen / Sachverhalte überprüft:

- Einfluss der thermischen Masse
- Einfluss der Nachtlüftung
- Einfluss einer rein adiabatischen Zuluftkühlung
- Möglichkeit der Entwärmung über Fußbodenkühlung (ausschließlich im Free-Cooling-Modus) anstelle der Nachtlüftung

Die bei der Auswertung verwendeten Kürzel lauten wie folgt:

- beton5 / beton0: Betonplatte 5cm / keine Betonplatte im Dach
- n13 / n10 Nachtlüftung 3-fach / keine Nachtlüftung
- nur-adiab-khlg: Zulufttemperatur infolge adiabatischer Kühlung, mind. 20 °C; KEINE aktive Zuluftkühlung
- fbk-24-7: Betrieb der Fußbodenkühlung rund um die Uhr
- fbk-abw: Betrieb der Fußbodenkühlung bei Abwesenheit
- tzu20: Zulufttemperatur konstant 20 °C

Die untersuchten Varianten und die Ergebnisse der Simulation sind folgender Tabellen und den dazugehörigen Grafiken zu entnehmen:

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Tabelle 2.2-11: Wertetabelle Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

| Kürzel | Gew. Überschreitungshäufigkeit 27 °C, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 27 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C, h/a | Max. Empf.temperatur, °C | Anwesenheit, h/a | % über 27 °C (bez. auf Anw.zeit) |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| 3-beton5-nl3-nur-adiab-khlg-mit-akustikbaffeln | 458,1 | 540 | 310 | 148 | 33,4 | 2349 | 13,2% |
| 3-beton0-nl0-fbk-abw-adiab-khlg-akustikbaffeln | 424,6 | 467 | 281 | 153 | 33,4 | 2349 | 12,0% |
| 3-beton5-nl0-fbk-abw-adiab-khlg-akustikbaffeln | 301,5 | 383 | 213 | 114 | 32,5 | 2349 | 9,1% |
| 3-beton0-tzu20-nl3-mit-akustikbaffeln | 112,5 | 416 | 171 | 39 | 29,5 | 2349 | 7,3% |
| 3-beton5-tzu20-nl3-mit-akustikbaffeln | 95,4 | 401 | 155 | 30 | 29,4 | 2349 | 6,6% |
| 3-beton5-nl0-fbk-24-7-adiab-khlg-akustikbaffeln | 185,7 | 252 | 138 | 72 | 31,9 | 2349 | 5,9% |
| 3-beton0-nl0-fbk-abw-tzu20-akustikbaffeln | 81,8 | 319 | 121 | 30 | 29,5 | 2349 | 5,2% |

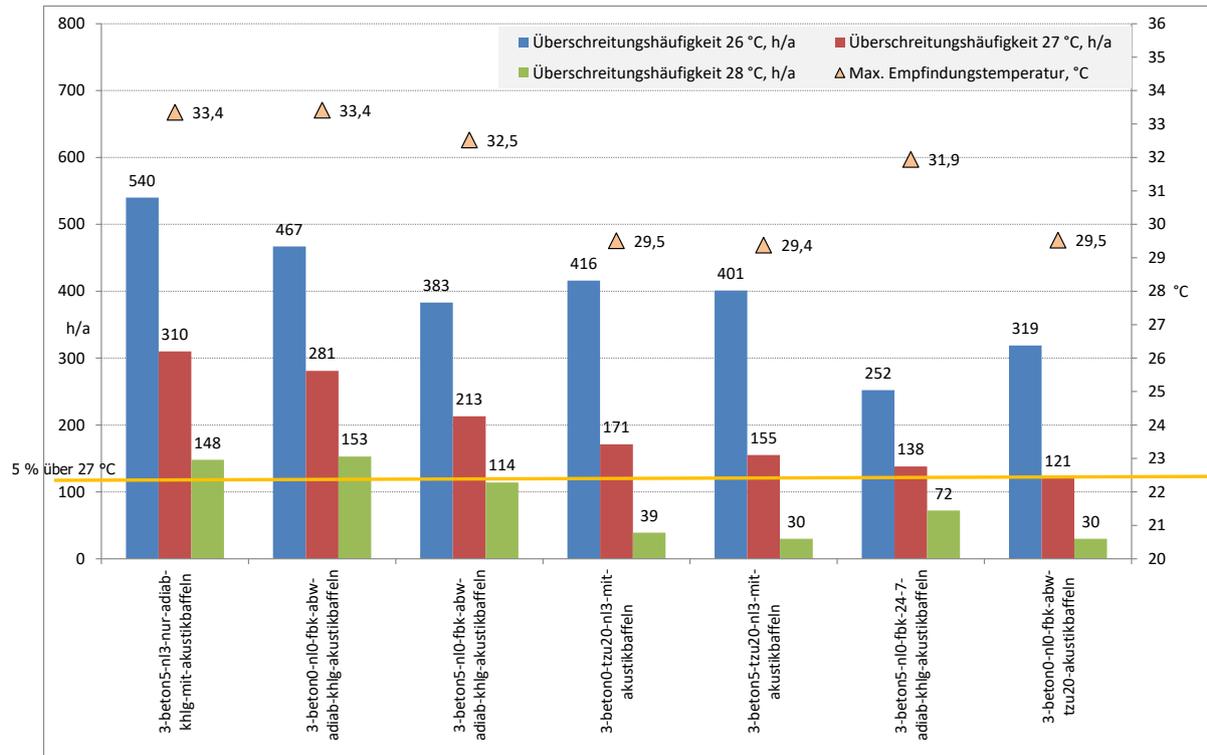


Abbildung 2.2-9: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

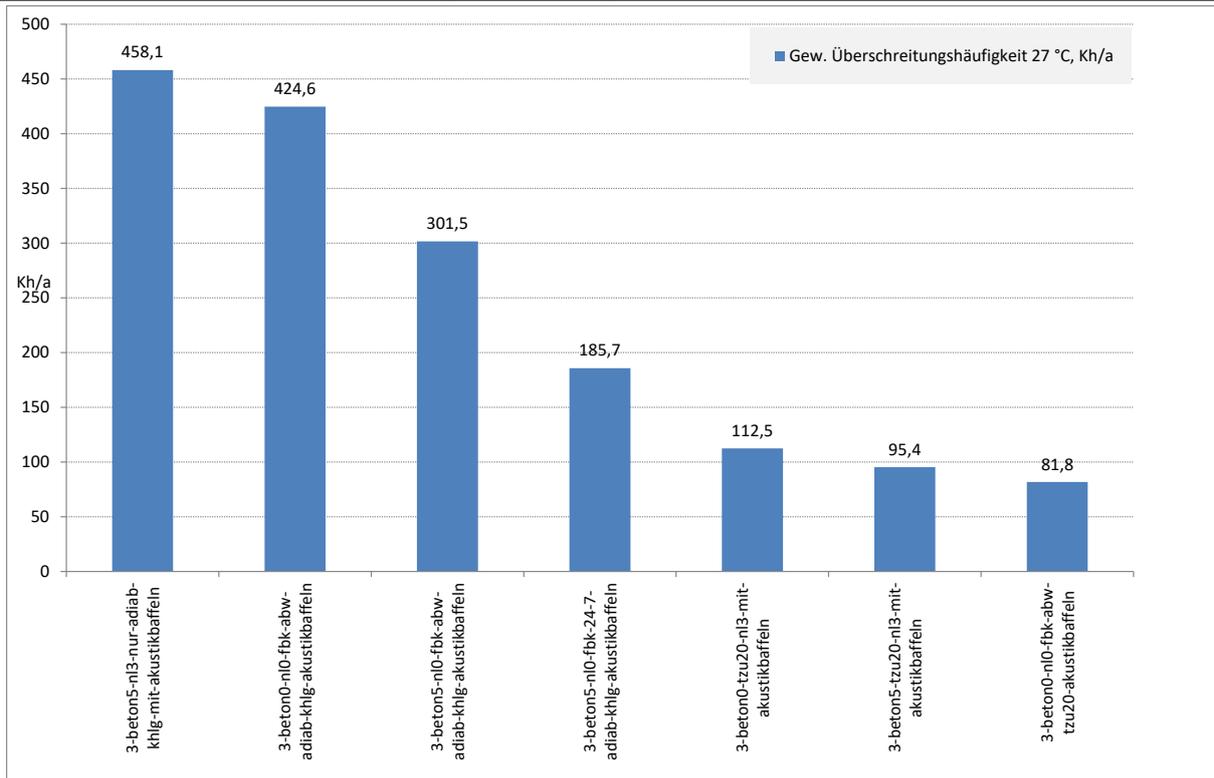


Abbildung 2.2-10: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C)

Diskussion

- Wird die Betonplatte in der Decke durch eine dicke Filzschicht (-> Akustikmaßnahmen, z. B. 8 cm) thermisch vom Raum abgekoppelt, so trägt sie kaum mehr zur Verbesserung des sommerlichen thermischen Komforts bei.
- Sofern die Zuluft mit einer hinreichend niedrigen Temperatur (z. B. 20 °C) in den Raum eingebracht wird, kann mit einer Nachtlüftung (3-facher LW) das gewünschte Komfortziel (max. 5 % der Anwesenheitszeit über 27 °C) noch näherungsweise erreicht werden. Noch besser wird in diesem Fall der thermische Komfort, wenn statt der Nachtauskühlung mit Außenluft eine Fußbodenkühlung verwendet wird.
- Trifft die Annahme zu, dass sich im Free-Cooling-Modus eine Vorlauftemperatur einstellt, die maximal 4 K über der Feuchtkugeltemperatur der Außenluft liegt, so reicht bei $T_{Zuluft}=20\text{ °C}$ der Free-Cooling-Modus der Fußbodenkühlung (Betrieb nur bei Abwesenheit) zur Erreichung des Komfortziels praktisch aus.

Zur Klärung weiterer Sachverhalte wurde die thermisch-dynamische Simulationsrechnung für den Klassenraum im 2. OG erneut aufgegriffen und angepasst.

Es wurden folgende Fragestellungen / Sachverhalte überprüft:

- Einfluss der thermischen Masse auf den sommerlichen thermischen Komfort unter genauerer Abbildung der vertikal positionierten Akustikbafflein
- Alternative Modellierung der Entwärmung über Fußbodenkühlung im Free-Cooling-Modus: Konservativer wird angenommen, dass sich im Free-Cooling-Modus eine Vorlauftemperatur einstellt, die maximal 5 K (statt, wie bisher betrachtet, 4 K) über der Feuchtkugeltemperatur der Außenluft liegt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Die untersuchten Varianten und die Ergebnisse der Simulation sind nachfolgender Tabelle sowie den entsprechenden Grafiken zu entnehmen:

Tabelle 2.2-12: Wertetabelle Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

| Kürzel | Erläuterung | Gew. Überschreitungshäufigkeit 27 °C, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 27 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C, h/a | Max. Empf.temperatur, °C | Anwesenheit, h/a | % über 27 °C (bez. auf Anw.zeit) |
|--------------------------------------|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| 4-beton0-nl0-fbk+5k-abw-tzu20-akbaff | siehe gesondert | 95,9 | 320 | 130 | 38 | 29,3 | 2349 | 5,5% |
| 4-beton5-nl0-fbk+5k-abw-tzu20-akbaff | siehe gesondert | 64,9 | 269 | 102 | 23 | 29,0 | 2349 | 4,3% |
| 4-beton0-nl0-fbk-abw-tzu20-akbaff | siehe gesondert | 50,0 | 249 | 82 | 16 | 28,9 | 2349 | 3,5% |
| 4-beton5-nl0-fbk-abw-tzu20-akbaff | siehe gesondert | 30,6 | 195 | 58 | 8 | 28,5 | 2349 | 2,5% |

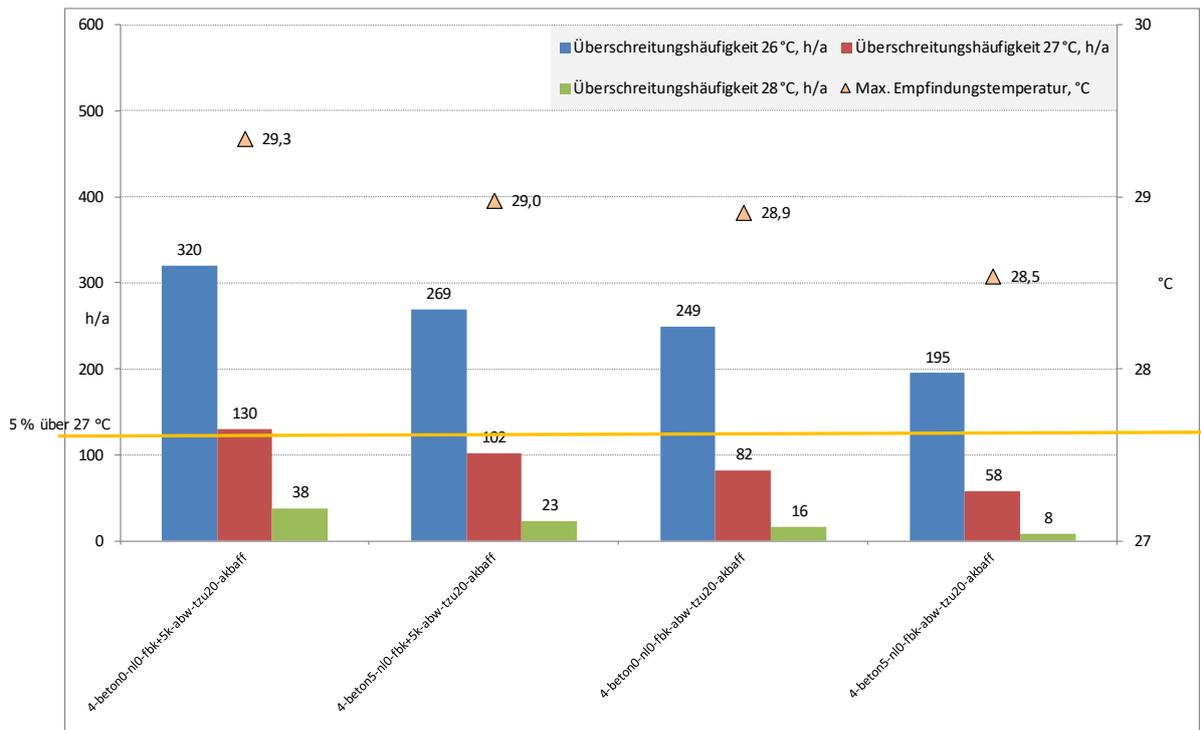


Abbildung 2.2-11: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

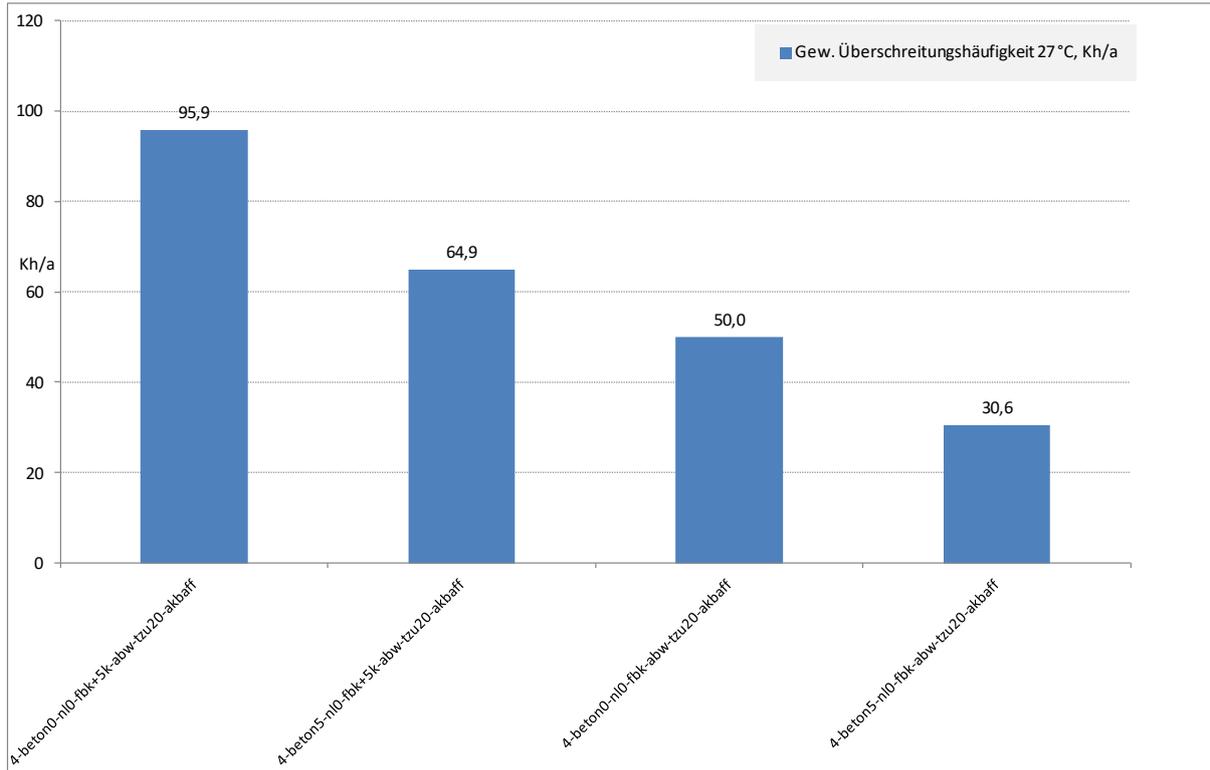


Abbildung 2.2-12: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C)

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

An ein Dach angrenzender Marktplatz im 2. OG

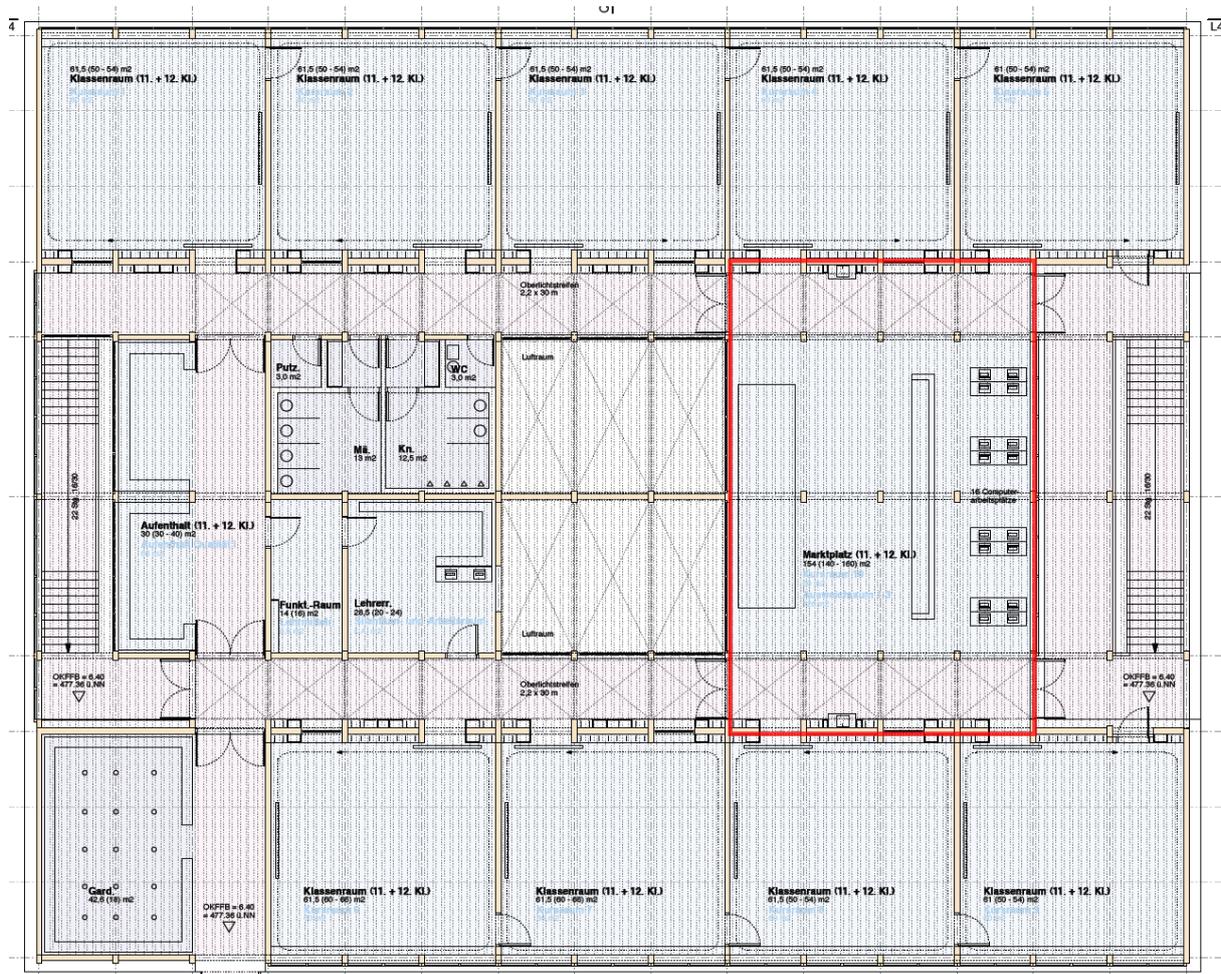


Abbildung 2.2-13: Untersucher Marktplatz 2. OG

Die simulativen Untersuchungen wurden nunmehr erstmals auf einen innenliegenden „Marktplatz“ (Abbildung 2.1-13) ausgedehnt. Der Marktplatz erhält in der Simulation Zuluft mit aus den vorher beschriebenen Untersuchungen ermittelten Temperaturen (= Raumlufttemperaturen der Klassenräume 2. OG, jeweils zur Hälfte süd- und nordorientiert; Fall „2-beton5-tzu20-nl3“).

Die geprüften Varianten und die zugehörigen Ergebnisse sind wieder in der folgenden Wertetabelle und den dazugehörigen Grafiken beschrieben:

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Tabelle 2.2-13: Wertetabelle Simulation Marktplatz 2. OG

| Kürzel | Erläuterung | Gew. Überschreitungshäufigkeit 27 °C, Kh/a | Überschreitungshäufigkeit 26 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 27 °C, h/a | Überschreitungshäufigkeit 28 °C, h/a | Max. Empfindungstemperatur, °C | Anwesenheit, h/a | % über 27 °C (bez. auf Anw.zeit) |
|------------------------|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|
| marktplatz-nl0 | Basisfall: Keine eigene Nachtauskühlung | 244,6 | 371 | 225 | 111 | 30,3 | 2349,0 | 9,6% |
| marktplatz-nl3 | Eigene Belüftung mit Außenluft bei Abwesenheit (3-facher LW), sonst wie Basisfall | 59,9 | 160 | 78 | 23 | 29,3 | 2349,0 | 3,3% |
| marktplatz-beton10-nl3 | Betonplatte 10 cm in dach, eigene Belüftung mit Außenluft bei Abwesenheit (3-facher LW), sonst wie Basisfall | 10,7 | 80 | 22 | 2 | 28,2 | 2349,0 | 0,9% |

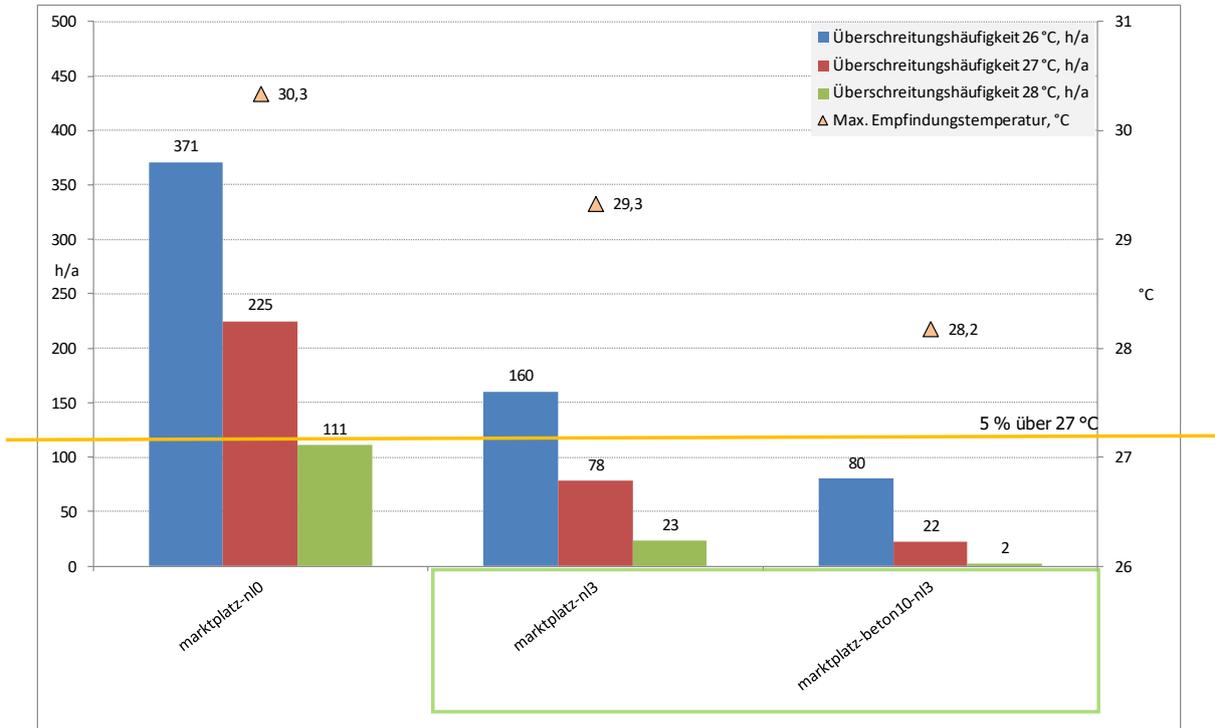


Abbildung 2.2-14: Grafische Auswertung Simulation Marktplatz 2. OG

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

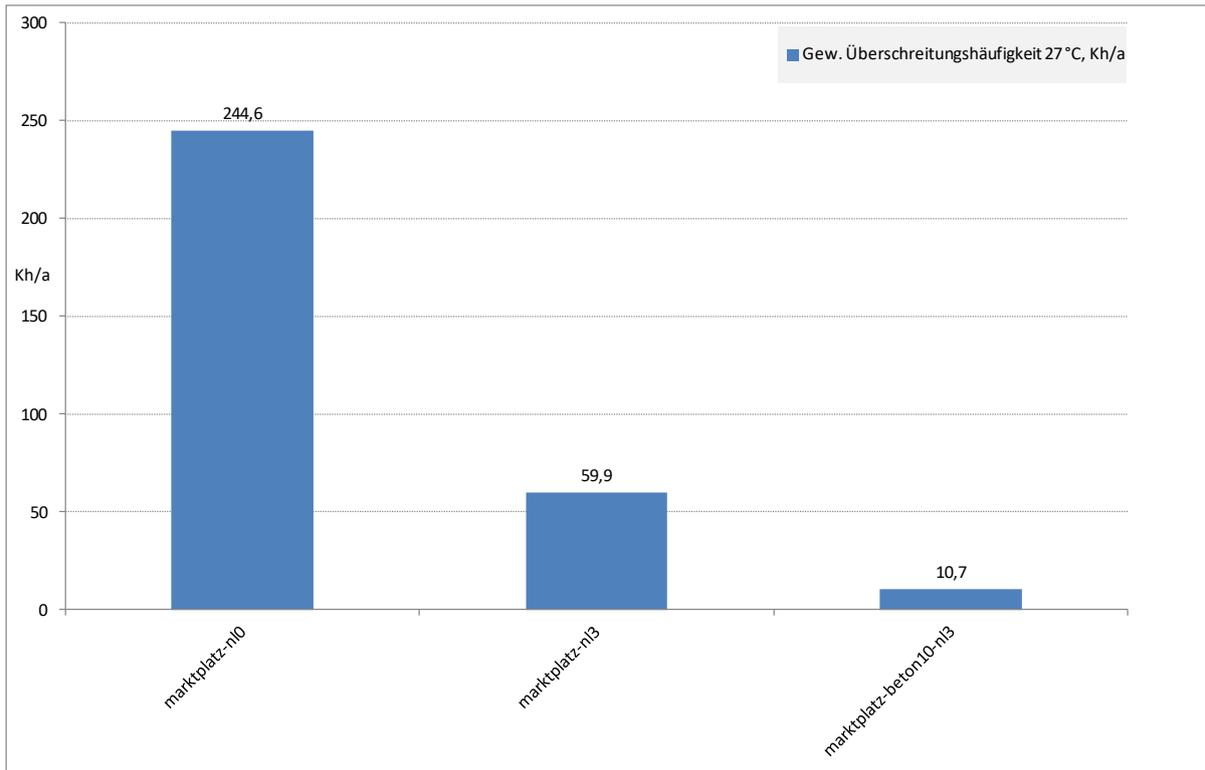


Abbildung 2.2-15: Grafische Auswertung Simulation Marktplatz 2. OG (gewichtete Überschreitungshäufigkeit 27°C)

Diskussion

Im Marktplatz wird der gewünschte thermische Komfort nur dann vollständig erreicht, wenn dieser eine eigene Nachtauskühlung mit direktem Zustrom von Außenluft erhält. Eine erhöhte thermische Masse z. B. in der Dachkonstruktion ist jedoch nicht erforderlich. In späteren Berechnungen wird (spezifisch für einen Klassenraum, aber vermutlich übertragbar auf den Marktplatz) gezeigt, dass anstelle der Nachtlüftung auch die Fußbodenkühlung eine wirksame Entwärmung gewährleistet (s. u.).

2.2.1.5 Fazit und Ausblick

Beim vorliegenden Projekt konnten zahlreiche der angestrebten Ziele in Hinblick auf Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Nutzungskomfort erreicht werden. Insbesondere das wichtige Ziel, den Plusenergiestandard gemäß projektspezifischer Definition zu realisieren, erscheint vor dem Hintergrund der aktuellen Prognosen erreichbar. Aufgrund der Eigenheiten des Holzbaus mussten allerdings in Teilbereichen Kompromisse hingenommen werden. So wurden aufgrund der prinzip-bedingten im Schnitt relativ geringen wirksamen thermischen Masse des Gebäudes und aufgrund der außerordentlich hohen Anforderungen an die Raumakustik die Zielwerte für den sommerlichen thermischen Komfort zum Teil nur knapp erfüllt. Wegen der mit dem Holzbau einhergehenden vergleichsweise großen Dimensionen von Bauteilen mussten zudem teilweise Abstriche bei der Tageslichtnutzung in Kauf genommen werden, was sich in verringerten Tageslichtautonomen und damit erhöhten Energiebedarfen für Kunstlicht niederschlägt. Die genannten Einschränkungen schmälern das hervorragende Gesamtergebnis jedoch nicht wesentlich.

2.2.2 Heizungstechnik

2.2.2.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Die Wahl des Wärmeerzeugungssystems erfolgte mittels einer Entscheidungsmatrix, in der insgesamt 9 Varianten der Kälte- und Wärmeerzeugung miteinander verglichen wurden (siehe Anhang 16). Als Entscheidungskriterien dienten die Aspekte Primärenergiebedarf, CO₂-Emissionen und Jahreskosten. Diese drei Teilaspekte wurden mit Hilfe eines multikriteriellen Rankings gewichtet, zusammengefasst und bewertet. Dabei zeigte sich, dass die Gewichtung der drei Teilaspekte keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Die Variante 1 (Pelletkessel, Pufferspeicher, adiabate Kältemaschine) schnitt immer am besten ab. Exemplarisch wird die ausgewogene Gewichtung zwischen ökologischen und ökonomischen Kriterien dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung zur Wahl des Wärmeerzeugungssystems ist schon im Abschlussbericht der ersten Förderphase enthalten.

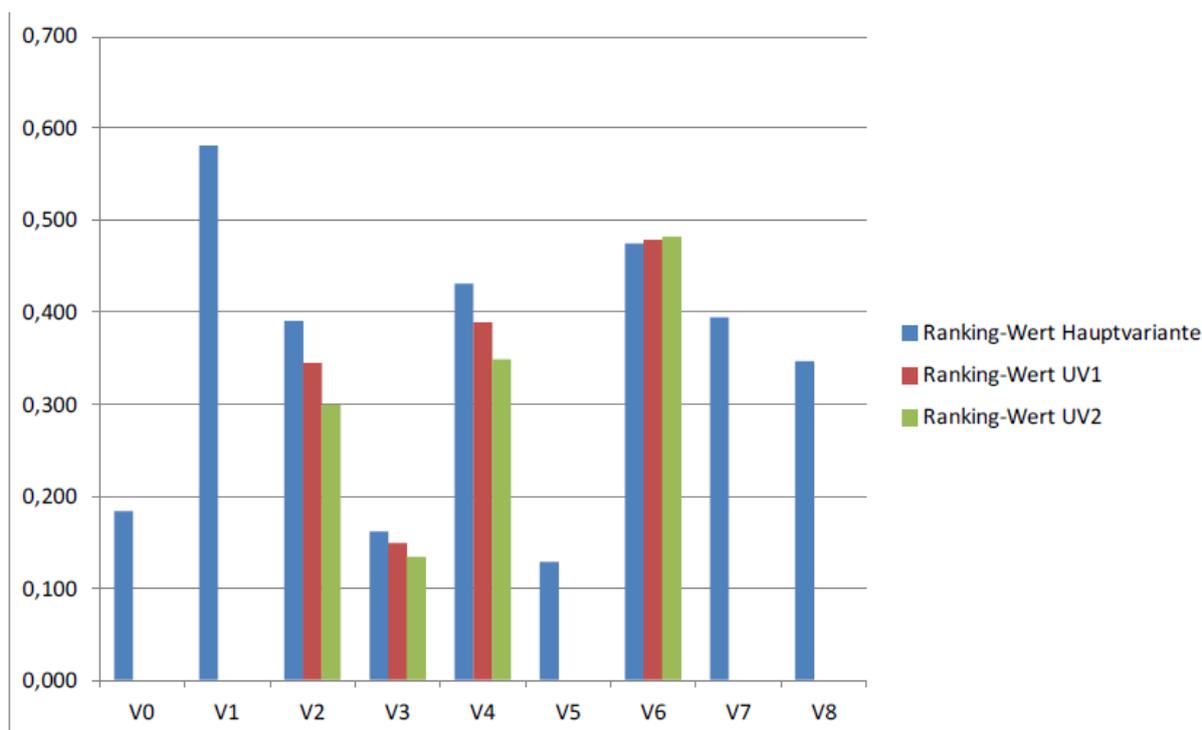


Abbildung 2.2-16: Ranking der Erzeugungsvarianten Wärme / Kälte mit ausgewogener Gewichtung

25% Primärenergie, 25% CO₂-Emissionen, 50% Jahreskosten. Je höher der Rankingwert, desto besser schneidet die Variante im Vergleich ab.

2.2.2.2 Wärmeerzeugung und -speicherung

Die Wärme wird über zwei Pelletkessel mit je 100 kW Leistung erzeugt. Die Speicherung erfolgt mit zwei Pufferspeichern zu je 7.500 Liter Inhalt. Ein Pufferspeicher dient im Sommer zur Speicherung von Kaltwasser.

Bisher laufen beide Pelletkessel ohne nennenswerte Störung. Auch die geringe Leistung mit 200 kW ist bisher auf Grund der beiden Pufferspeicher völlig ausreichend. Allerdings hatten wir bis 22.12.2015 noch keine längeren Temperaturperioden unter 0°C.

Optimierung Pufferspeicher

Es wurde untersucht, wie viele Pufferspeicher benötigt werden und in welcher Größe diese ein Optimum für das Schmuttertal-Gymnasium darstellen. Pufferspeicher in der Größe von 4 x 5.000 l waren

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

von Wimmer-Ingenieure zuerst vorgeschlagen worden. Damit sollte das Ziel verfolgt werden, die Laufzeit der beiden Pelletkessel zu verlängern, was zu weniger Takten und einer Reduzierung der Schadstoffemissionen führt. Für das Puffern von Leistungsspitzen sind die beiden Speicher zu klein ausgelegt, dazu wäre eine viel größere Speicherkapazität notwendig, wie folgende Überlegung zeigt.

Bei einer Außentemperatur von -14 °C beträgt die benötigte Heizleistung:

- Um 07:00 Uhr 1.167 kW
- Um 09:00 Uhr 333 kW
- Um 13:00 Uhr 238 kW

Die Pufferspeicher haben Wärmeverluste und zwar ca. 24 kWh pro Tag und Pufferspeicher. Bei 4 Pufferspeichern ergibt dies Wärmeverluste von ca. 21.900 kWh pro Jahr. Auf Grund der hohen Speicherverluste wurden vom ZAE Bayern 2 Pufferspeicher mit je 7.500 Liter vorgeschlagen. Bei zwei Pufferspeichern ergibt sich eine Jahreswärme von ca. 16.400 kWh. Der Einbau von 2 Pufferspeichern mit je 7.500 ltr. Wasserinhalt wurde umgesetzt.

2.2.2.3 Wärmeverteilung

- Verteiler 1 als ganzjähriger Warmwasserverteiler für die Warmwasserversorgung Küche und Sporthalle sowie als Heizungsversorgung für die Nacherhitzer der Lüftungsgeräte.
- Verteiler 2 als kombinierter Heizungs- und Kälteverteiler für die Fußbodenheizung und Fußbodenkühlung Schule und Sporthalle, der je nach Betriebsmodi als Kälte- oder Wärmeverteiler genutzt wird.
- Ein reiner Kälteverteiler für die Kühlregister der Lüftungsanlage sowie für die Kühlung der Wechselrichterräume

Die Hydraulik der Lüftungsnacherhitzer wurde als Mischschaltung mit eigenen Umwälzpumpen geplant, da nur so eine gleichmäßige Erwärmung der Zuluft sichergestellt werden kann.

Auf Grund der Widerstände der Heiz- und Kühlregister in den Lüftungsgeräten wurde überlegt, nur ein Register zum Heizen und Kühlen zu verwenden. Die Zuluft muss morgens nachgeheizt und mittags gekühlt werden können. Dies ist nur mit zwei eigenen Registern im Lüftungsgerät möglich. Ein gemeinsames Register für Heizen und Kühlen im Lüftungsgerät scheidet damit aus. Die Verriegelung der Register über die Gebäudeleittechnik (entweder Heizen oder Kühlen) ist selbstverständlich möglich.

2.2.2.4 Brauchwarmwasserbereitung

Aufgabenstellung war eine Minimierung des Energieverbrauches bei der Warmwasserbereitung zur Erzielung des Plusenergiestandards.

Die Entscheidung für elektrische Durchlauferhitzer und die Frischwasserstationen ist aus einem Variantenvergleich hervorgegangen. Zur Ausführung kamen 3 Frischwasserstationen für die Duscbereiche ohne Zirkulationspumpen und mit kurzen Anbindeleitungen und zusätzlich elektrische Spülventile zur automatischen Spülung der Warmwasserleitungen zur Verhinderung von Stagnationswasser und Legionellenbildung. Mit dieser Maßnahme konnte die Warmwassertemperatur auf 45 °C begrenzt werden.

In den Bereichen der Schulhäuser und der Aula gibt es bis auf die Küche kein Warmwasser aus den Frischwasserstationen. Wo Warmwasser gebraucht oder vorgeschrieben ist, wurden elektrische Durchlauferhitzer eingebaut. In Teeküchen, Putzmittelräumen, Behinderten-WC-Anlagen sowie in einigen naturwissenschaftlichen Räumen und Vorbereitungsräumen werden zu Warmwasserbereitung elektrische Durchlauferhitzer verwendet.

Bisher sind uns keine negativen Äußerungen von Seiten der Schüler oder Lehrer bekannt. Weitergehende Untersuchungen finden während der Monitoringphase statt, so dass dann weitere Erkenntnisse

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

gewonnen werden können. Für Schulen sollte die oben genannte Vorgehensweise inzwischen gängige Praxis sein.

2.2.2.5 Fazit und Ausblick

Entgegen der üblichen Auslegung von Kesselanlagen in Größe der benötigten Heizleistung, kann durch den Einsatz der beiden großen Pufferspeicher ein allzu häufiges Takten der beiden Pelletkessel vermieden werden. Bei einer Speicherkapazität von 350 kWh benötigt ein Kessel 3,5 Stunden zur Beladung der Speicher (von 50 °C als Mindesttemperatur auf 70 °C als derzeit eingestellte Höchsttemperatur).

Der zweite positive Nebeneffekt der Pufferspeicher ist, dass bei Ausfall der Kessel auf Grund einer Störung noch stundenlang Heizungswasser zur Verfügung steht, so dass der Nutzer im Regelfall nichts von einer Störung mitbekommt.

Die Verteiler arbeiten bisher ohne Probleme. Der Umschaltpunkt Heizung / Kühlung muss allerdings im Frühjahr noch getestet werden. Die Erfahrungen werden im Rahmen des Monitorings analysiert.

2.2.3 Kältetechnik

2.2.3.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

In der Entscheidungsmatrix der Erzeugungseinheiten (siehe Anhang 16) ist neben dem Wärmeerzeuger auch schon die Kälteerzeugung mit abgebildet. Zusätzlich zu den aufgeführten Varianten wurden nachträglich noch folgende Möglichkeiten der Kälteerzeugung untersucht:

- Kühlung mit Spiralkörpern im Grundwasser
- Eisspeicher mit Wärmepumpe

Brunnenwasser kam auf Grund des hohen Eisengehalts zur Kühlung nicht in Frage.

2.2.3.2 Kälteerzeugung

Gemäß den Ergebnissen der Entscheidungsmatrix sowie des Variantenvergleiches wird folgende Technik zur Kühlung eingesetzt:

- Bei den Lüftungsgeräten durch die indirekt adiabate Kühlung, welche durch das Befeuchten der Fortluft und den Austausch der Verdunstungswärme über die Wärmerückgewinnung an die Zuluft erfolgt.
- Durch die Erzeugung von Kaltwasser durch Kühlung über die Außenluft, an wärmeren Tagen durch die Befeuchtung der Außenluft (Adiabatik) und zusätzlich an ganz warmen Tagen über eine Klein-kompressor-Kältemaschine. Die Kälteleistung beträgt maximal 130 kW. Der Betrieb der Kältemaschine soll in den Nachstunden erfolgen, um eine höhere Leistungszahlen und eine bessere Energieeffizienz zu gewährleisten.

Auf Grund der geringen jährlich benötigten Endenergie für die Kühlung gibt es nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtenergiebilanz. Die geringen Investitionskosten sprechen damit für die oben beschriebene Variante.

2.2.3.3 Kälteübergabe in die Klassenräume

Auf Grund der geringen Speichermasse, der hochgedämmten Außenhülle und der ganzjährig hohen inneren Wärmelasten (30 Schüler pro Klassenraum), ist eine Kühlung der Klassenräume im Sommer unabdingbar. Dazu werden folgende Lösungen umgesetzt:

- Eine Fußbodenheizung ist vorhanden, diese wird im Sommer zu Kühlung verwendet (ca. 20 W/m²).
- Der Umschaltpunkt im Frühjahr von Heizen auf Kühlen bzw. im Herbst von Kühlen auf Heizen erfolgt jeweils einmalig durch die GLT durch die Auswertung der Bauteilfühler, welche im Bauwerk verstreut angeordnet sind.
- Die Kühlung erfolgt nur nachts, wenn das Kühlwasser über die kühlen Außentemperaturen ohne Kältemaschine erzeugt werden kann. 16-17 °C Vorlauftemperatur reichen hier aus.
- Abkühlen der Estrichmassen des Fußbodens, wodurch sich eine kühle Speichermasse (ähnlich der Betonkernaktivierung) ergibt, welche sich unter Tage wieder mit Wärme aufladen kann.

2.2.3.4 Kühlung Wechselrichter- und Serverräume

Es wurde untersucht, ob im Winter eine Kühlung von Wechselrichter-, und Serverräumen notwendig ist. Die 3 Wechselrichterräume benötigen im Winter auf Grund der geringen Sonneneinstrahlung und der geringen Betriebszeiten (wenig Sonnenstunden) keine Kühlung. Im Sommer, wenn lange Betriebszeiten und damit ein großer Wärmeeinfall zu verzeichnen ist, können die Räumlichkeiten über die Kältemaschine gekühlt werden.

Der Serverraum benötigt ganzjährig Kühlleistung. Um diese Wärme über die zentrale Kältemaschine abzuführen werden ca. 40.000 kWh elektr. Strom benötigt. Dazu müsste die ganze Kältetechnik im Winter nur für einen einzigen Raum vorgehalten werden, was weder ökologisch noch ökonomisch Sinn macht. Wird die Wärme ganzjährig mit einer Split-Kälteanlage abgeführt, so werden nur ca. 20.000

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

kWh Strom benötigt. Es wurde die Entscheidung getroffen, die Kühlung des Serverraums über eine Split-Kältemaschine mit einer Leistung von ca. 5 kW zu kühlen.

2.2.3.5 Fazit und Ausblick

Eine Kühlperiode gab es bisher noch nicht, da die Schule ihren Betrieb erst am 15.9.2015 aufgenommen hat. Gemäß der Regelbeschreibung war die Kälteerzeugung bisher nur für eine Woche im Probebetrieb im Einsatz. Danach wurde sie auf Grund der sinkenden Außentemperaturen und der Temperaturen im Gebäude von der Regelungstechnik außer Betrieb genommen. Zu erkennen war, dass bis Anfang November keinerlei Beheizung notwendig war, die Umwälzpumpen der Heizung waren ausgeschaltet. Das spricht für die gute Dämmung der Gebäude und das Funktionieren der Be- und Entlüftung. Lediglich die Split-Kälteanlage, welche den Serverraum unabhängig von der zentralen Kälteerzeugung mit Kälte versorgt, ist durchgehend in Betrieb.

2.2.4 Lüftungstechnik

2.2.4.1 Randbedingungen der Lüftungsanlage

Außenluftkonditionen

Sommer: 32 °C / 40% r.F.
 Winter: – 16 °C / 90% r.F.

Lüftungsgerät

Kompaktes Zu- und Abluftgerät, Ventilatoren, direkt angetrieben mit stufenlosem EC-Motor, Wärmerückgewinnung, Nachheizregister, Kühlregister, Filter

Luftfilterung nach EU 5 / EU 7

Wärmerückgewinnung mit Kreislaufverbundsystem, Wirkungsgrad 73 %

Luftgeschwindigkeiten

Lüftungsgeräte: 1,5-2 m/s
 Hauptleitungen: 2-3 m/s ND
 Verteilungsleitungen: 2-3 m/s ND
 Anschlussleitungen: 2-3 m/s ND

Raumluftkonditionen

Sommer: Außenluftzustand und höhere Temperaturen

Winter: nach DIN

Berechnungsgrundlagen

| | |
|---|---------------------------------------|
| Luftrate pro Schüler: | 28,3 m ³ /h |
| Spez. Luftrate pro Klassenzimmer: | 8-14 m ³ /h*m ² |
| Spez. Luftrate m ³ /h*m ² Nebenräume: | 1,0 -2,0 |
| Druckverluste extern im Kanalnetz: | 200 Pa |

Wärmeversorgung

| | |
|----------------|-----------|
| Heizmedium: | PWW 50/30 |
| Betriebsdruck: | PN 6 |

2.2.4.2 Variantenuntersuchung zu Versorgungssystemen für Be- und Entlüftung

Grundsätzlich stehen folgende System zur Auswahl:

- Variante 1: Dezentrale Be- und Entlüftung
Die Be- und Entlüftung eines jeden einzelnen Raumes.
- Variante 2: Semidezentrale Be- und Entlüftung
Die Be- und Entlüftung von zusammengefassten Raumgruppen.
- Variante 3: Zentrale Be- und Entlüftung der einzelnen Häuser:
ein Lüftungsgerät für jedes Klassenhaus / Aula / Sporthalle.
- Variante 4: Zentrale Be- und Entlüftung:
Ein Zentralgerät für die Be- und Entlüftung der gesamten Schule

Grundsätzlich muss gesagt werden, dass sich alle Argumente und Berechnungen auf das Gymnasium in Diedorf beziehen. Besonderheiten sind hier der Holzbau, der Plusenergiestandard sowie die offenen LernLandSchaften. Bei Schule mit anderen Vorgaben, können die Vor- und Nachteile völlig anders liegen.

Auch muss die Be- und Entlüftung von Aula, Schulküche und Sporthalle zentral erfolgen, hier machen dezentrale Lüftungsgeräte auf Grund der benötigten großen Luftmengen überhaupt keinen Sinn. Die nachfolgenden Betrachtungen gelten somit nur für die beiden Klassenhäuser.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Im folgenden Vergleich werden die Varianten unter energetischen, wirtschaftlichen, technischen und nutzungsbedingten Aspekten beleuchtet. Dazu wird u.a. der SFP-Wert (specific fan power) verwendet. Er charakterisiert die spezifische Ventilatorleistung, welche durch das Verhältnis von aufgenommener elektrischer Leistung zum geförderten Luftvolumenstrom definiert wird und zur Kennzeichnung des elektrischen Energieverbrauchs dient. Umso größer der Wert, umso höher der elektrische Energieverbrauch. Der SFP-Wert wird unterteilt in SFP 1 bis SFP 7.

Variante 1: Dezentrale Be- und Entlüftung

Vorteile

- Extrem kurze Kanalwege und damit geringe Kanaldruckverluste
- Bauvolumen für die Lüftungszentrale und Luftverteilung wird minimiert, Einsparung von Baukosten KG 300
- Es entfällt eine Vielzahl von Volumenstromreglern und Brandschutzklappen
- Wirkungsgrad WRG im Winter bis 85 %

Nachteile

- Sehr hoher Wartungsaufwand (Filter, Ventilatoren) und damit hohe Betriebskosten
- Die hohe Anzahl von Außen- und Fortluftöffnungen in der Fassade stellt einen erheblichen Eingriff in die Gebäudestruktur dar. Das bedeutet, dass die Architektur bei der Fassadengestaltung die Zu- und Abluftöffnungen mit beachten und gestalterisch mit einplanen muss. Erfolgt dies, stellt die große Anzahl der Öffnungen für die Lüftungstechnik keinen Nachteil für das dezentrale Lüftungssystem dar.
- Die Anordnung der Außen- und Fortluftöffnungen in der Nähe der Lüftungsgeräte bedeutet, dass die Öffnungen der jeweiligen Fassade zugeordnet werden müssen. Beim Gymnasium Diedorf ergibt sich eine Vielzahl von Zuluftöffnungen auf der Südseite des Gebäudes, was im Sommer zur Ansaugung von sehr warmer Außenluft und damit zu einer sehr warmen Zuluft in den Klassenräumen führt.
- Die Gefahr von Wärmebrücken und Undichtigkeiten ist auf Grund der großen Anzahl von Fassadendurchbrüchen sehr hoch.
- Dachdurchführungen für Fort- und Außenluft sind beim Gymnasium Diedorf auf Grund der Photovoltaik nicht möglich.
- Gleichzeitigkeiten in Bezug auf den Volumenstrom können nicht genutzt werden, was bedeutet, dass Investitionskosten für 80.000 m³/h Zu- und Abluft notwendig sind.
- Schallschutz ist bei Einzelgeräten problematisch, die Schallabstrahlung ist hier auf Grund des Montageortes der beiden Zu- und Abluftventilatoren im Klassenraum wesentlich höher als bei zentralen Systemen.
- Die Nachheizung ist praktisch nur elektrisch möglich. Das mag im Einzelfall sinnvoll sein, beim Gymnasium Diedorf ist das Nachheizen mit Strom auf Grund des schlechten Primärenergiefaktors von Strom nicht möglich. Die Herstellung einer Plusenergieschule wäre damit massiv gefährdet, wenn nicht sogar unmöglich. Wird nicht nachgeheizt sind im Winter Zulufttemperaturen von ca. 14 °C zu erwarten, das führt zu Zugerscheinungen und damit zur Ablehnung der mechanischen Be- und Entlüftung bei den Nutzern.
- Die adiabate Nachkühlung, eines der wichtigsten Instrumente bei zentralen Lüftungsanlagen, da diese praktisch ohne Stromverbrauch arbeiten, ist bei dezentralen Anlagen nicht möglich.
- Die Nachkühlung mit Kaltwasser ist zwar theoretisch möglich, würde aber einen sehr hohen Investitionsaufwand bedeuten, so dass diese Variante nicht realistisch ist. Die Folge ist, dass im Sommer mit Lufttemperaturen bis zu 28 °C in den Raum eingeblasen wird.
- Der elektrische Wirkungsgrad der einzelnen Zu- und Abluftventilatoren ist allein auf Grund ihrer Größe wesentlich schlechter als der Wirkungsgrad der zentralen Zu- und Abluftventilatoren.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Vergleichsrechnung SFP-Wert (specific fan power)

| | |
|--------------------|---|
| Volumenstrom: | 850 m ³ /h entsprechen 0,236 m ³ /s für einen Klassenraum |
| Pressung extern: | ca. 200 Pa |
| Leistungsaufnahme: | ca. 350 Watt pro Ventilator |
| SFP: | 1.483 Ws/m ³ entsprechend SFP 4 |

Fazit Variante 1:

Die Be- und Entlüftung einzelner Räume scheidet in diesem Fall definitiv aus. Da ein Plusenergiehaus geplant ist, müssen sämtliche Räume be- und entlüftet werden. Dies würde eine sehr große Zahl an Einzellüftungsgeräten bedeuten, welche alle kontrolliert gesteuert und zentral betrieben werden müssten. Der elektrische Wirkungsgrad der Kleinlüftungsgeräte ist mit den Wirkungsgraden von Großanlagen nicht vergleichbar.

Die jährlichen Gesamtkosten sind höher als bei der zentralen Variante.

Variante 2: Semidezentrale Be- und Entlüftung

Vorteile

- Kurze Kanalwege und damit geringe Kanaldruckverluste
- Bauvolumen für die Lüftungszentrale und Luftverteilung wird minimiert
- Die Anzahl der Einzellüftungsgeräte wird gegenüber den dezentralen Lüftungsgeräten verringert
- Es entfällt eine Vielzahl von Volumenstromreglern und Brandschutzklappen
- Wirkungsgrad WRG im Winter bis 85 %

Nachteile

- Hoher Wartungsaufwand (Filter, Ventilatoren)
- Die hohe Anzahl von Außen- und Fortluftöffnungen in der Fassade stellt einen erheblichen Eingriff in die Gebäudestruktur dar. Das bedeutet, dass die Architektur bei der Fassadengestaltung die Zu- und Abluftöffnungen mit beachten und gestalterisch mit einplanen muss. Erfolgt dies, stellt die große Anzahl der Öffnungen für die Lüftungstechnik keinen Nachteil für das semidezentrale Lüftungssystem dar.
- Die Anordnung der Außen- und Fortluftöffnungen in der Nähe der Lüftungsgeräte bedeutet, dass die Öffnungen der jeweiligen Fassade zugeordnet werden müssen. Beim Gymnasium Diedorf ergibt sich eine Vielzahl von Zuluftöffnungen auf der Südseite des Gebäudes, was im Sommer zur Ansaugung von sehr warmer Außenluft und damit zu einem erhöhtem Kühlaufwand führt.
- Die Gefahr von Wärmebrücken und Undichtigkeiten ist auf Grund der Fassadendurchbrüche hoch.
- Dachdurchführungen für Fort- und Außenluft sind beim Gymnasium Diedorf auf Grund der Photovoltaik nicht möglich.
- Gleichzeitigkeiten in Bezug auf den Volumenstrom können nicht genutzt werden, was bedeutet, dass Investitionskosten für 80.000 m³/h Zu- und Abluft notwendig sind.
- Es werden in den Stockwerken eine Vielzahl von kleinen Lüftungszentralen benötigt.
- Die Nachheizung ist nur mit hohem Rohrleitungsaufwand mit Warmwasser möglich.
- Die Regelung der Nachheizung ist sehr aufwändig.
- Die adiabate Nachkühlung, eines der wichtigsten Instrumente bei zentralen Lüftungsanlagen, da diese praktisch ohne Stromverbrauch arbeiten, ist bei dezentralen Anlagen nicht möglich.
- Die Nachkühlung mit Kaltwasser ist nur mit einem hohen Rohrleitungsaufwand möglich.
- Das Kondensat der Kühlung muss bei jeder Zentrale abgeführt werden.
- Die Regelung der Nachkühlung ist sehr aufwändig.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

- Der elektrische Wirkungsgrad der einzelnen Zu- und Abluftventilatoren ist allein auf Grund ihrer Größe wesentlich schlechter als der Wirkungsgrad der zentralen Zu- und Abluftventilatoren.
- Da abgehängte Decken auf Grund der geringen Raumhöhen bzw. der Holzkonstruktion nicht möglich sind (damit die Gebäudeklasse 3 nicht überschritten wird), ist es sehr schwierig, Kanalinstallationen in den Baukörper zu integrieren.

Vergleichsrechnung SFP-Wert (specific fan power)

| | |
|--------------------|---|
| Volumenstrom : | 2.500 m ³ /h entsprechend 0,694 m ³ /s für mehrere Klassenräume |
| Pressung extern: | ca. 200 Pa |
| Leistungsaufnahme: | ca. 800 Watt pro Ventilator |
| SFP: | 1.153 Ws/m ³ entsprechend SFP 3 |

Fazit Variante 2:

Auch die Be- und Entlüftung von Raumgruppen scheidet definitiv aus. Die Nachteile überwiegen deutlich.

Der Einbau von Einzellüftungsgeräten bedeutet, dass alle kontrolliert gesteuert und zentrale betrieben werden müssten. Der elektrische Wirkungsgrad der mittelgroßen Lüftungsgeräte ist mit den Wirkungsgraden von Großanlagen nicht vergleichbar.

Variante 3: Zentrale Be- und Entlüftung der einzelnen Häuser

Vorteile:

- Gegenüber der zentralen Be- und Entlüftung keine erkennbar.
- Geringer Wartungsaufwand (Filter, Ventilatoren)
- Relativ geringe Anzahl von Außen- und Fortluftöffnungen in der Fassade.
- Gleichzeitigkeiten in Bezug auf den hausweise erforderlichen Volumenstrom können genutzt werden.
- Pro Haus wird jeweils eine Lüftungszentrale benötigt.
- Der Rohrleitungsaufwand für die Nachheizung hält sich in Grenzen.
- Die Nachkühlung ist adiabat möglich.
- Die Nachkühlung mit Kaltwasser ist möglich.

Nachteile:

- Etwas erhöhter Wartungsaufwand gegenüber der zentralen Lösung (Filter, Ventilatoren)
- Vier Lüftungszentralen anstelle von nur einer erhöht in der Summe die Fläche der Lüftungszentralen.
- Geringere Betriebssicherheit
- Eine höhere Anzahl von Fassadendurchführungen, keine zentrale Außen- und Fortluft.
- Geringere Gleichzeitigkeit als beim Zentralgerät, dadurch insgesamt ein höherer Volumenstrom.
- Investitionen insgesamt eher höher als beim Zentralgerät (höherer Volumenstrom, höhere Regelungsaufwand, größere Lüftungszentralen, keine Einsparungen bei den Baukosten, da nach wie vor die Installationsgänge im Untergeschoß benötigt werden, da abgehängte Decken auf Grund der für den Holzbau benötigten Gebäudeklasse 3 nicht eingebaut werden können).
- Es werden vier statt zwei Wärmerückgewinnungseinheiten benötigt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Vergleichsrechnung SFP-Wert (specific fan power)

| | |
|--------------------|--|
| Volumenstrom : | 20.000 m ³ /h, entsprechend 5,555 m ³ /s für ein Lüftungsgerät |
| Pressung extern: | ca. 230 Pa |
| Leistungsaufnahme: | ca. 3.800 Watt pro Ventilator |
| SFP: | 684 Ws/m ³ entsprechend SFP 2 |

Fazit Variante 3:

Die zentrale Be- und Entlüftung von einzelnen Häusern wäre eine Alternative zur zentralen Be- und Entlüftung des Gesamtkomplexes. Allerdings sind gegenüber der wirklich zentralen Lösung keine entscheidenden Vorteile, jedoch eine größere Anzahl von Nachteilen zu erkennen.

Variante 4: Zentrale Be- und Entlüftung

Vorteile:

- Geringster Wartungsaufwand (Filter, Ventilatoren)
- Nur zwei Wärmerückgewinnungseinheiten notwendig.
- Bei Ausfall oder Wartung eines Zentralgerätes kann das zweite Zentralgerät weiter betrieben werden und stellt zumindest einen flächendeckenden Grundluftwechsel sicher.
- Eine zentrale Fortluft, eine zentrale Außenluftansaugung.
- Gleichzeitigkeiten in Bezug auf den Volumenstrom können für alle Gebäude vollständig genutzt werden. Für eine Großveranstaltung in der Aula oder Sporthalle steht genügend Luft (auch aus den Klassenräumen) zur Verfügung und muss dennoch nicht separat vorgehalten werden.
- Eine Lüftungszentrale für alle Gebäude einschließlich Küche.
- Der Rohrleitungsaufwand für die Nachheizung zentral in direkter Nähe zur Heizzentrale ist gering.
- Die Nachkühlung ist adiabatisch möglich.
- Die Nachkühlung mit Kaltwasser ist möglich.

Nachteil:

- Die Wege zu den Häusern müssen mit begehbaren, relativ großen Betonkanälen erschlossen werden, um die Luft mit geringer Geschwindigkeit zu den Häusern zu transportieren.

Vergleichsrechnung SFP-Wert (specific fan power)

| | |
|--------------------|--|
| Volumenstrom: | 22.500 m ³ /h entsprechend 6,25 m ³ /s für ein Lüftungsgerät |
| Pressung extern: | ca. 230 Pa |
| Leistungsaufnahme: | ca. 4.000 Watt pro Ventilator |
| SFP: | 640 Ws/m ³ entsprechend SFP 2 |

Fazit Variante 4:

Diese Variante wird favorisiert.

Vergleich der spezifischen Ventilatorleistungen

Abschließend sind die spezifischen Leistungsaufnahmen der Ventilatoren bei den vier unterschiedlichen Varianten nochmal übersichtlich zusammengefasst. Hier schneiden Variante 3 und 4 deutlich am besten ab.

Tabelle 2.2-14: Übersicht der Lüftungsvarianten unter dem Aspekt spez. Ventilatorleistung

| | Belüftungssystem | SFP (specific fan power) [Ws/m³] | SFP- Klasse |
|-------------|--|---|------------------------|
| Variante 1: | Dezentrale Be- und Entlüftung | 1483 | SFP 4 |
| Variante 2: | Semidezentrale Be- und Entlüftung | 1153 | SFP 3 |
| Variante 3: | Zentrale Be- und Entlüftung der einzelnen Häuser | 684 | SFP 2 |
| Variante 4: | Zentrale Be- und Entlüftung | 640 | SFP 2 |

2.2.4.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich

In einer detaillierten ökonomischen Untersuchung sind die zentrale und dezentrale Variante von Seiten der Investitionskosten, der Betriebskosten und der Wartungskosten miteinander verglichen worden. Dabei können Variante 1 und 2 sowie Variante 3 und 4 jeweils zusammengefasst werden, weil sie sowohl technisch als auch ökonomisch sehr ähnlich sind. Somit sind im Anhang 17 nur zwei Varianten enthalten (zentrale Be- und Entlüftung und dezentrale Be- und Entlüftung). Die jeweiligen Randbedingungen sind den Tabellen zu entnehmen.

In der nachfolgenden Tabelle 2.1-1 wurden die Ergebnisse zusammengefasst. Man erkennt deutlich die geringen Unterschiede der beiden Systeme. Je nach Schultyp, Art der Bauweise, veränderten Randbedingungen können sich diese Ergebnisse auch zu Gunsten einer dezentralen Be- und Entlüftung verschieben.

Tabelle 2.2-15: Ergebnisse des Variantenvergleichs

| | Zentral (Variante 4) [€/a] | Dezentral (Variante 1) [€/a] |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Annuität der Investitionskosten | 48.920,00 | 54.392,00 |
| Betriebskosten pro Jahr | 10.072,30 | 8.482,32 |
| Wartungskosten pro Jahr | 20.000,00 | 21.000,00 |
| Gesamtkosten pro Jahr | 78.992,30 | 84.776,32 |

Fazit

Die zentrale Be- und Entlüftung stellt aus unserer Sicht die beste Lösung für die Be- und Entlüftung des Schmuttertal Gymnasiums dar. Auf Grund der Verteilung der Schule auf vier Einzelgebäude wäre die Aufteilung auf je eine Lüftungszentrale je Haus eine denkbare Alternative. Diese scheidet jedoch aus unserer Sicht vor allem auf Grund der geringeren Nutzbarkeit der Gleichzeitigkeiten aus. Die Be- und Entlüftung von Aula und Sporthalle und damit der Volumenstrom für diese beiden Gebäude profitiert

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

stark auf Grund der Gleichzeitigkeit zwischen Klassenräumen und Aula / Sporthalle. Beispiel Aula: benötigt werden 15.330 m³/h, aufgrund der optimierten Nutzbarkeit der Gleichzeitigkeit werden nur 3.780 m³/h angesetzt.

2.2.4.4 Funktionsweise der Lüftungsanlage

- Jeder Klassenraum kann über motorisch gesteuerte Volumenstromregler einzeln geregelt und gesperrt werden.
- Regelung der Zuluft anhand der Raumluftqualität über CO₂-Fühler. Angestrebt werden Werte zwischen 1000 bis 1200 ppm.
- Zuluft je Klassenraum, Überströmung und Abluft in den Marktplätzen.
- Flure werden separat be- und entlüftet.
- Zuluft einbringung in den Klassenräumen über Quellluft.
- Keine aktive Beheizung oder Kühlung der Räume über die Lüftung.

2.2.4.5 Optimierung des zentralen Lüftungsgeräts

Zur Verringerung von Technikflächen, Investitionskosten und Energieverbrauch wurde untersucht, wie weit die Luftmenge der zentralen Luftaufbereitungsgeräte reduziert werden kann. Eine Reduktion wird dadurch ermöglicht, dass die Luft nur dorthin transportiert wird, wo diese tatsächlich benötigt wird. In den Klassenräumen werden die variablen Volumenstromregler erst dann geöffnet, wenn die CO₂-Konzentration über 1.000 ppm liegt. Unterhalb dieses Wertes ist die Lüftung nicht in Betrieb.

Auch in Nebenräumen, in welchen sich nur wenige Personen aufhalten, werden die Luftmengen auf ein Minimum reduziert. Auch in der Turnhalle oder in der Aula wird nur dann be- und entlüftet, wenn dies notwendig ist. Im Anhang 18 ist exemplarisch die Luftmengenbilanz für das Klassenhaus I dargestellt.

Im Ergebnis konnte somit die Luftmengen für die Auslegung der Zentralgeräte von ca. 76.000 m³/h auf ca. 42.000 m³/h reduziert werden (siehe nachfolgend Tabelle 2.2-16).

Tabelle 2.2-16: Luftmengenbilanzen Gesamtanlage optimiert

| Gebäude | Luftmenge summiert [m ³ /h] | Luftmenge optimiert [m ³ /h] |
|---------------|--|---|
| Klassenhaus 1 | 25.450 | 16.523 |
| Klassenhaus 2 | 25.345 | 16.896 |
| Aula | 15.330 | 3.780 |
| Sporthalle NR | 9.950 | 4.840 |
| Summe | 76.075 | 42.039 |

Für die beiden zentralen Luftaufbereitungsanlagen wurden je 22.500 m³/h entsprechend 45.000 m³/h Gesamtluftmenge gewählt. Die Thematik ist auch unter dem Aspekt Qualitätssicherung in Kapitel 2.3.8.5 Detailbetrachtung von Systemkomponenten beschrieben.

2.2.4.6 Brandschutz

Auf Grund der Klassifizierung des Gebäudes in der Gebäudeklasse 3 konnte das gesamte Gebäude oberhalb der Bodenplatte in F 30 eingestuft werden. Sämtliche Lüftungskanäle erhalten eine Brandschutzklappe bei Durchgang durch die Bodenplatte und werden anschließend und ihrem Weg zu den

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Klassenräumen in L 30 Qualität verkleidet. In den Klassenhäusern gibt es keine Brandschutzklappen oberhalb der Bodenplatte.

2.2.4.7 Fazit und Ausblick

Seit ca. Mitte November sind alle Lüftungsanlagen im geregelten Betrieb. Lediglich in Räumen, in welchen sich tags über nur wenige Personen aufhalten (z. B. Lehrerarbeitsräume) sprechen die CO₂-Fühler nicht an, so dass hier mit dem derzeitigen Belüftungskonzept nie ein Luftaustausch stattfindet. Hier erfolgt eine Optimierung durch eine morgendliche Zwangsspülung mit frischer Luft.

Das „Verschieben“ der Luft scheint wunderbar zu funktionieren, bisher sind uns keine Klagen bekannt. Auch eine Sitzung der Planungsteams in einem der Klassenräume mit ca. 30 Personen hat nach 2 Stunden nicht dazu geführt, dass einer der Teilnehmer das Bedürfnis hatte das Fenster zu öffnen.

Eine wissenschaftliche Analyse und Bewertung der Raumluftqualität im gesamten Schulgebäude wird im Rahmen des Monitorings durchgeführt.

2.2.5 Gebäudeleittechnik / MSR

2.2.5.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Das Gebäudeautomationssystem übernimmt das Überwachen, Steuern, Regeln, Optimieren und Leiten von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung, sowie das Instandhaltungsmanagement für ein Gebäude. Es ermöglicht den Datenaustausch mit Systemen für besondere Aufgaben. Gefordert sind die Einrichtungen, Programme und Leistungen gemäß VDI 3814 Blatt 2 für Managements-, Automations- und Ein-/Ausgabefunktionen, mit genormtem Kommunikationsprotokoll in und zwischen den einzelnen Funktionsebenen, der Automations- und Managementebene.

Zu sämtlichen gebäudetechnischen Anlagen wurden Regelschemata erstellt, welche zum einen den Aufbau der Regelung in der Planungsphase abbilden, und später für den Nutzer im Rahmen der Gebäudeleittechnik (GLT) auf dem Rechner dargestellt werden. In den Regelschemata sind alle relevanten Anlagenteile, Informationen und Regelgrößen aufgeführt. Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für ein Regelschema in einem Gruppen- bzw. Klassenraum.

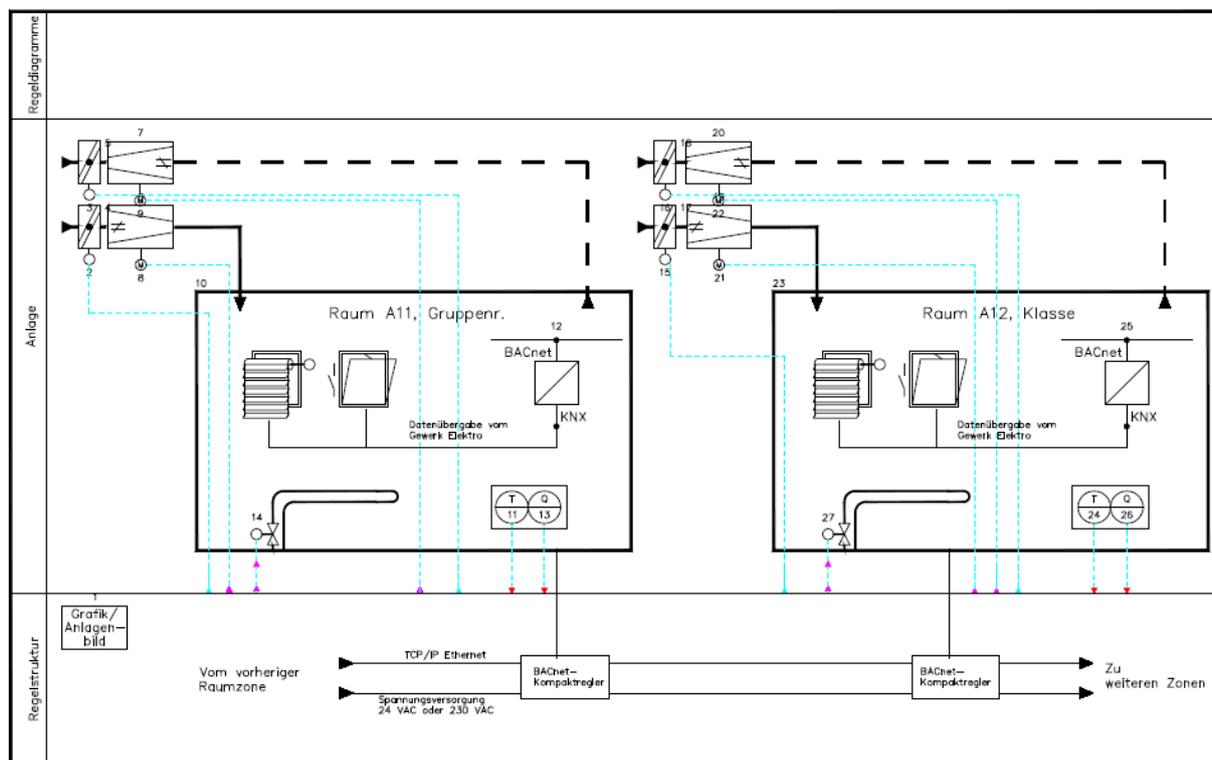


Abbildung 2.2-17: Regelschema Gebäudeleittechnik

Temperatur- und CO₂-Fühler (T,Q) geben Meldungen (rot markiert) an ein BUS-System ab, über das dann automatisch Regelbefehle (magentafarbene Stellen) an Motoren oder Ventile geleitet werden. Diese Befehle sorgen z.B. dafür, dass Frischluft in den Raum strömen oder die Fußbodenheizung Wärme liefern soll. Das zweite abgebildete BUS-System steuert in diesen Räumen die Verschattungssysteme.

Die Datenpunktlisten bilden alle verarbeiteten Datenpunkte, analog oder digital, Eingang oder Ausgang, ab (siehe Anhang 19). Zudem werden von der Gebäudeleittechnik Daten erhoben und in Datenbanksysteme eingetragen, die anschließend von einem Monitoringsystem zur Gebäudeoptimierung abgerufen werden können.

Beim Gymnasium Diedorf kommen daher ein Direct-Digital-Controller-System (DDC) in den Technikschwerpunkten / Informationsschwerpunkt (ISP), ein Einzelraumsystem in den Raum- und Zonenbereichen sowie ein übergeordnetes Gebäudeleittechniksystem zur Anwendung.

2.2.5.2 Automationssysteme

Durch einen weltweit festgelegten Protokoll-Standard können Automationsstationen verschiedener Hersteller untereinander, aber auch mit der übergeordneten Gebäudeleittechnik kommunizieren und Informationen austauschen. Grundlage hierfür ist die DIN EN ISO 16484-5.

Alle in diesem Projekt eingesetzten DDC-Automationsstationen, Einzelraumregler und auch die Gebäudeleittechnik, werden über ein Standard Ethernet TCP / IP Netzwerk miteinander verbunden und tauschen somit direkt Daten aus. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technik ist zum einen die größere Unabhängigkeit von einzelnen Herstellern, zum anderen handelt es sich hierbei um eine zukunftsweisende Technologie, die spätere Änderungen und Erweiterungen von Anlagen problemlos ermöglicht.

Als Datenprotokoll der Gebäudeautomation ist BACnet over TCP / IP, im Bereich der Raumzoneneuerung BACnet over TCP / IP oder BACnet MS / TP vorgesehen. Der Datenaustausch mit dem Gewerk Elektrotechnik erfolgt nach Festlegung mit dem Ingenieurbüro Mayr über Profibus DP.

Die Anbindung der motorischen Brandschutzklappen (BSK) in die Gebäudeautomation erfolgt aufgrund ihrer Vielzahl über eigene BSK Module, die ebenfalls über ein Bussystem in die Gebäudeautomation integriert werden.

2.2.5.3 Gebäudeautomation

Zur Bedienung und Überwachung der Gebäudeautomation ist der Aufbau eines neuen GLT-Systems mit einem Arbeitsplatz vorgesehen. Über das Daten-Protokoll BACnet (Building Automation and Control Network) werden die einzelnen Informationsschwerpunkte, Einzelraumregler und Schnittstellen zu Drittgewerken mittels EDV-Netzwerk an die Gebäudeleittechnik angebunden.

Treten Störungen auf, werden diese je nach Dringlichkeit gemeldet und können somit innerhalb kürzester Zeit behoben werden. Oftmals lassen sich Störungen schon im Vorfeld erkennen und beheben, wodurch größeren Ausfällen vorgebeugt werden kann.

Besonders dringende Störungen können z. B. über Handy oder E-Mail, auch außerhalb der Betriebszeiten, an externe Stellen versandt werden.

Zusätzlich bietet diese Lösung dem Hausmeister oder dem Servicepersonal des Herstellers die Möglichkeit, sich unabhängig vom GLT-Arbeitsplatz in das System einzuwählen und dieses zu bedienen. Entsprechende zusätzlich notwendige Softwaremodule wurden in der Ausschreibung, im Bedarfsfall, mit vorgesehen.

2.2.5.4 Gekürzte Regelungsbeschreibung zum Gymnasium Diedorf

Heizungstechnik

Kesselanlage

Die Kesselanlage besteht aus 2 x 100 kW Pelletkessel. Beide Kessel liefern Wärme an einen Pufferspeicher, von welchem aus dann wieder die einzelnen Heizkreise versorgt werden. Außerdem besitzen beide Kessel jeweils eine Kesselkreispumpe im Rücklauf, welche über ein Dreiwegeventil die Rücklauf-temperatur auf der für den Kessel notwendigen Temperatur hält. Die Kesselkreispumpe transportiert das Kesselwasser bis zu den Pufferspeichern. Die Freigabe der Kessel erfolgt über die Kesselsteuerung je nach den Wassertemperaturen in den Pufferspeichern. Die Gebäudeleittechnik erteilt übergeordnet die Freigabe der Kesselsteuerung zum Betrieb der Kesselanlage. Jeder Kessel besitzt einen Wärmemengenzähler über welchen die abgegebene Wärmemenge gezählt wird. Ein Kessel ist jeweils Führungskessel, der andere folgt im Rahmen der Kesselfolgeschaltung (siehe später). Die Rolle des Führungskessels wechselt wöchentlich automatisch.

Betriebszustände der Heizungsanlage

Winterbetrieb, Frühlingsbetrieb, Sommerbetrieb, Herbstbetrieb

Winterbetrieb:

Der Winterbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass die Heizung zum Beheizen des Gebäudes benötigt wird. Die Fußbodenheizung steht dann zur Verfügung. Als Umschaltkriterium dient die zeitlich gemittelte Bauteiltemperatur.

Durch den Modus Winterbetrieb wird Folgendes ausgelöst:

- Beide Kessel laufen in Folgeschaltung
- Der Führungskessel wechselt wöchentlich
- Beide Pufferspeicher stehen zur Beheizung zur Verfügung
- Die Kältemaschine ist komplett ausgeschaltet
- Der Kälteverteiler 1 ist komplett stillgelegt
- Der Heizungsverteiler 1 ist komplett in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 2 arbeitet im Betriebsmodus Fußbodenheizung

Frühlingsbetrieb:

Der Frühlingsbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass keine statische Heizung mehr zum Beheizen des Gebäudes benötigt wird. Die Fußbodenheizung steht dann nicht mehr zur Verfügung. Allerdings ist es möglich die Zuluft der Lüftungsgeräte nachzuwärmen. Als Umschaltkriterium dient die zeitlich gemittelte Bauteiltemperatur.

Durch den Modus Frühlingsbetrieb wird Folgendes ausgelöst:

- Es ist nur noch ein Kessel in Betrieb
- Der Betriebskessel wechselt wöchentlich
- Nur ein Pufferspeicher steht zur Beheizung zur Verfügung
- Der zweite Pufferspeicher kühlt langsam ab und steht anschließend als Pufferspeicher zur Verfügung
- Die Kältemaschine ist in Betrieb und nutzt die Kühle der Nacht zur Beladung des Pufferspeichers
- Am Der Kälteverteiler 1 ist der Kühlkreis Wechselrichterräume in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 1 ist komplett in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 2 (Fußbodenheizung) ist nicht in Betrieb
- Die Nacherhitzer der Lüftungsanlage sind freigegeben.

Sommerbetrieb:

Der Sommerbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass keine statische Heizung mehr zum Beheizen des Gebäudes benötigt wird. Die Fußbodenheizung steht dann nicht zur Verfügung. Es ist jedoch möglich sowohl über die Fußbodenheizung als auch über die Lüftung die Räume zu kühlen. Als Umschaltkriterium dient die zeitlich gemittelte Bauteiltemperatur.

Durch den Modus Sommerbetrieb wird Folgendes ausgelöst:

- Es ist nur ein Kessel in Betrieb
- Der Betriebskessel wechselt wöchentlich
- Nur ein Pufferspeicher steht zur Beheizung zur Verfügung
- Der zweite Pufferspeicher dient der Kälte als hydraulische Weiche und Pufferspeicher

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

- Die Kältemaschine ist eingeschaltet und nutzt die Kühle der Nacht zur Beladung des Pufferspeichers.
- Der Kälteverteiler 1 ist komplett in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 1 ist komplett in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 2 ist als Kälteverteiler in Betrieb
- Die Temperatur der Räume wird über die Fußbodenkühlung geregelt.

Herbstbetrieb:

Der Herbstbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass nach wie vor keine statische Heizung zum Beheizen des Gebäudes benötigt wird. Die Fußbodenheizung noch nicht zur Verfügung. Allerdings ist es möglich die Zuluft nach zu erwärmen. Als Umschaltkriterium dient die zeitlich gemittelte Bauteiltemperatur.

Durch den Modus Herbstbetrieb wird Folgendes ausgelöst:

- Es ist nur ein Kessel in Betrieb
- Der Betriebskessel wechselt wöchentlich
- Nur ein Pufferspeicher steht zur Beheizung zur Verfügung
- Der zweite Pufferspeicher steht weiterhin als Pufferspeicher für die Kälte zur Verfügung und wird zeitversetzt in den Heizmodus umgeschaltet
- Die Kältemaschine ist in Betrieb und nutzt die Kühle der Nacht zur Beladung des Pufferspeichers
- Am Kälteverteiler 1 ist der Kühlkreis Wechselrichterräume in Betrieb die anderen Kühlkreise sind abgeschaltet.
- Der Heizungsverteiler 1 ist komplett in Betrieb
- Der Heizungsverteiler 2 (Fußbodenheizung) ist NICHT in Betrieb
- Die Temperatur der Räume wird über die Lüftung geregelt (nur Wärme)

Heizkreise

Folgende Heizkreise stehen im Winterbetrieb für die Beheizung des Gebäudes zu Verfügung:

Heizungsverteiler 1

- Heizkreise Lüftungsgeräte, 50 / 30 °C, 623 kW
- Heizkreis Umkleiden und Nebenräume, 40 / 30 °C, 10 kW
- Warmwasserbereitung Küche, 60 / 25 °C, 145 kW

Heizungsverteiler 2

- Heizkreis Schule Nord, 40 / 35 °C, 37 kW, Fußbodenheizung
- Heizkreis Schule West, 40 / 35 °C, 37 kW, Fußbodenheizung
- Heizkreis Aula, 40 / 35 °C, 34,5 kW, Fußbodenheizung
- Heizkreis Turnhalle, 40 / 35 °C, 34 kW, Fußbodenheizung

Fußbodenheizung in den Klassenräumen, Marktplätzen, sonstige Räume

Die Vorlauftemperatur-Kurve wird gebäudeweise für jeden Heizkreis separat festgelegt. Die Regelung der Raumtemperatur erfolgt über Raumtemperaturfühler, dabei arbeiten die Stellventile am Fußbodenheizungsverteiler stetig. Die Raumsolltemperatur ist für jeden Raum separat veränderbar (Eckräume). Eine Temperaturabsenkung ist für das Wochenende und für die Ferien vorgesehen.

Heizregister an den Nacherhitzern der Lüftungsgeräte

Die Heizregister an den Nachbehandlungseinheiten der beiden Lüftungsgeräte arbeiten als Nacherhitzer mit Mischkreispumpe im Beimischbetrieb.

Warmwasserbereitung

Grundsätzlich wird das Warmwasser in der Schule für Putzräume und Teeküchen mit elektrischen Durchlauferhitzern erzeugt. In den Klassenräumen und Toilettenanlagen steht kein Warmwasser zur Verfügung. Die Brauchwarmwasserbereitung für die Küche und die Duschen in der Sporthalle wird mit Hilfe von Frischwasserstationen über die Kesselanlage gewährleistet.

Warmwasserbereitung Küchenbereich

Die Warmwasserbereitung für den Küchenbereich erfolgt mittels einer Frischwasserstation direkt unter der Küche im UG der Aula (kurzer Weg). Die Warmwassertemperatur ist auf 45 °C ausgeregelt. Sollte der Küchenbetrieb eine höhere Warmwassertemperatur benötigen, so kann die Warmwassertemperatur für einen gewissen Zeitraum manuell erhöht werden.

Die Wassermenge in den Warmwasserzuleitungen konnte nicht unter 3 Liter gehalten werden, so dass eine Zirkulationspumpe eingesetzt werden musste.

Warmwasserbereitung Duschbereiche Sporthalle

Die Warmwasserbereitung für den Duschbereich erfolgt ebenfalls mittels Frischwasserstationen. Die Warmwassertemperatur wird auf 45 °C ausgeregelt. In der Sporthalle konnte die Wassermenge in den Warmwasserzuleitungen unter 3 Liter gehalten werden, so dass auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden konnte. Für den Ferienbetrieb wird jedoch eine automatische Spülung vorgehalten.

Kältetechnik

Kälteerzeugung

Kompakt-Kaltwassersatz zur Erzeugung von Kaltwasser zur Klimatisierung in folgenden Schritten:

1.) Freie Verdunstungskühlung

Bei entsprechend tiefen Außentemperaturen und -feuchten wird die anfallende Wärme aus dem Prozesswasser mit der Außenluft abgeführt. Zur weiteren Absenkung der Außenlufttemperatur und Erhöhung der Kühlleistung wird die Verdunstungskühlung zugeschaltet. In einem Zwischenwärmeübertrager wird das Prozesswasser auf die gewünschte Vorlauftemperatur abgekühlt. Die Regelung der Kühlleistung erfolgt stufenlos über den Luftvolumenstrom.

2.) Teillastbetrieb freie und Verdunstungskühlung, Kompressions-Kältemaschine kondensiert auf Fortluft.

Mit steigender Außenlufttemperatur und -feuchte reduziert sich die durch die Verdunstungskühlung abführbare Wärmemenge. Kann das Prozesswasser im Zwischenwärmeübertrager nicht mehr bis auf die gewünschte Vorlauftemperatur abgekühlt werden, dann erfolgt eine

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Nachkühlung im Verdampfer der integrierten Kompressions-Kälteanlage. Die Kondensationswärme der sich im Teillastbetrieb befindenden mehrstufigen Kompressions-Kälteanlage wird an die Fortluft abgegeben.

- 3.) Freie Verdunstungskühlung, Kompressions-Kältemaschine kondensiert auf Fortluft und Sekundärkreis.

Mit zunehmendem Anteil der Kompressions-Kälteanlage an der Gesamtkühlung kann die Kondensationswärme nicht mehr ausschließlich an die Fortluft abgegeben werden. Über ein Regelventil wird ein Teil des Wassers aus dem Sekundärkreis nach dem Zwischenwärmeübertrager zum wassergekühlten Kondensator der Kompressions-Kältemaschine zur Abfuhr der restlichen Kondensationswärme geleitet. Der Kondensationsdruck wird vom Controller geregelt, um die Kaltwassererzeugung mit optimalem EER betreiben zu können.

- 4.) Kühlung über Kompressions-Kälteanlage

Ist die Wassertemperatur im Sekundärkreis höher als die Prozesswassertemperatur, dann wird die gesamte erforderliche Kühlleistung von der Kompressions-Kältemaschine erbracht. Durch die zweistufige Abgabe der Kondensationswärme im Luftkondensator (Erhitzer) an die Fortluft und im Wasserkondensator an den Sekundärkreis wird nur eine geringe Luftmenge benötigt. Die durch die mit Hilfe der Verdunstungskühlung erreichten niedrigen Kondensationsdrücke führen zu einem hohen EER der Kompressions-Kälteanlage.

Die Vorlauftemperatur der Kältemaschine wird abhängig von der Außentemperatur zwischen 12 und 17 °C ausgeregelt.

Kälteverteilung

Der Heizungsverteiler 2 wird im Sommer als Kälteverteiler betrieben.

- Kühlkreis Schule Nord, 16 / 19 °C, 40 kW, Fußbodenkühlung
- Kühlkreis Schule West, 16 / 19 °C, 40 kW, Fußbodenkühlung
- Kühlkreis Aula, 16 / 19 °C, 48 kW, Fußbodenkühlung
- Kühlkreis Turnhalle, 16 / 19 °C, 24,5 kW, Fußbodenkühlung

Kälteverteiler 1

- Kühlkreise Lüftungsgeräte
- Kühlkreis Wechselrichterräume
- Kühlkreis Flächenkühlung

Kühlung der Klassenräume

Kühlung durch die Zuluft

Die Klassenräume werden in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration mit gekühlter Luft versorgt. Die Luftmenge wird dabei von der Luftqualität bestimmt. Eine Erhöhung der Lufttemperatur führt nicht zu einer Erhöhung der Luftmenge.

Kühlung durch die Fußbodenheizung

Die Fußbodenheizung des Winters dient im Sommer zu Kühlung der Räumlichkeiten. Dabei wird über Nacht die im Estrich eingelegte Fußbodenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 16 °C und einer

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Rücklaufemperatur von 19 °C von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr so lange gekühlt, bis der Raumtemperatursollwert erreicht wurde. Die Fußbodenkühlung wird grundsätzlich nur nachts von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr betrieben. Eine Kühlung am Tag ist nicht vorgesehen.

Lüftungstechnik

Allgemein

Zwei Lüftungsgeräte mit je 22.500 m³/h versorgen gemeinsam oder einzeln die Schule mit aufbereiteter Luft. Ein Umluftbetrieb ist nicht vorgesehen, die Wärmerückgewinnung im Winter und die Kälterückgewinnung im Sommer erfolgt mittels Kreislaufverbundsystem. Zusätzlich kann eine Befeuchtung der Abluft als adiabate Kühlung eingesetzt werden.

Eine Befeuchtung oder eine Entfeuchtung ist vorerst nicht vorgesehen, eine dezentrale Befeuchterstrecke nur für die Musikräume wird vorgesehen.

Zusätzlich sind Nachbehandlungseinheiten mit Erhitzen, teilweise Kühlregistern und Absperrklappen installiert. Die Zulufttemperaturregelung der einzelnen Zonen erfolgt über separate Zulufttemperaturkurven. Dabei erfolgt die Regelung der Luftmenge i. d. R. über den CO₂-Gehalt der Räume. Die Zuluft trägt deshalb gar nicht oder nur in sehr geringem Umfang zur Beheizung oder Kühlung der Räume bei.

Steuerung (gilt für alle Anlagen)

Die Lüftung läuft weitgehend automatisch, kann jedoch in Ausnahmefällen von der GLT aus von Hand ein bzw. ausgeschaltet werden. Über ein Zeitprogramm werden die Betriebszeiten definiert, die weitere Regelung übernehmen dann die CO₂-Fühler in den Klassenräumen.

Regelung in den Klassenräumen

Luftmengenregelung

Die Klassenräume sind grundsätzlich mit variablen Volumenstromreglern in der Zu- und Abluft ausgestattet. Zusätzlich ist in jedem Klassenraum ein Präsenzmelder, ein Temperatur- sowie ein CO₂-Fühler vorhanden. Übergeordnet wird die Lüftungsanlage von der GLT zum Betrieb freigegeben.

Regelgröße für jeden einzelnen Klassenraum ist der CO₂-Gehalt. Mithilfe der Zu- und Abluft-Volumenstromregler erfolgt eine stetige Regelung auf den eingestellten CO₂-Sollwert.

Die Luftmenge an den Primäranlagen wird über einen fest definierten Solldruck geregelt. Steigt der Druck im Lüftungsnetz an, werden die Ventilatoren zurück geregelt, die umgewälzte Luftmenge verringert sich. Sinkt der Druck im Netz ab, wird die Drehzahl der Ventilatoren erhöht und die Luftmenge im Netz steigt an.

Feuchteregelung

Sinkt im Winter die Luftfeuchte in den Referenzräumen unter 30 % so werden um 200 ppm erhöhte CO₂-Werte zugelassen, so dass sich die umgewälzte Luftmenge verringert.

Luftmengenregelung in der Aula

Die Aula ist grundsätzlich mit variablen Volumenstromreglern in der Zu- und Abluft ausgestattet. Zusätzlich sind in der Aula ein Präsenzmelder, ein Temperatur- sowie ein CO₂-Fühler vorhanden. Die Regelung erfolgt stetig in Abhängigkeit des CO₂-Gehalts. Die Freigabe der Lüftungsanlage muss übergeordnet von Hand (durch den Hausmeister) oder über eine Kalenderfunktion erfolgen. Die Luftmenge an der Primäranlage wird über einen fest definierten Solldruck geregelt. Steigt der Druck im Lüftungsnetz an, werden die Ventilatoren zurück geregelt, die umgewälzte Luftmenge verringert sich. Sinkt der Druck im Netz ab, wird die Drehzahl der Ventilatoren erhöht und die Luftmenge im Netz steigt an.

Regelung in der Sporthalle

Zu- und Abluft

Die Sporthalle ist in drei Abschnitte mit je eigenen motorischen Volumenstromreglern unterteilt. Über Präsenzmelder der Elektrotechnik, wird die Lüftung jeweils in dem Hallenteil eingeschaltet, in welchem die Präsenzmelder Personen feststellen. Die Belüftung erfolgt jeweils mit der berechneten maximalen Luftmenge.

Zu- und Abluft Umkleide / Duschen

Die Umkleide- und Duschräume haben jeweils eigene motorische Volumenstromregler. Die Regelung erfolgt wieder über die Präsenzmelder der Elektrotechnik, es gibt 6 Dusch- und 6 Umkleideräume. Jeweils ein Dusch- und ein Umkleideraum werden zusammengefasst. Es wird bei Präsenz jeweils die berechnete maximale Luftmenge umgewälzt.

Zusätzlich ist in den 6 Duschräumen noch ein Feuchtfühler mit vorhanden. Spricht der Feuchtfühler an, wird die Lüftung für diesen Bereich in Betrieb gesetzt.

Zu- und Abluft sonstige Räume

Alle sonstigen Räume in der Sporthalle wie z. B. Toiletten, Putzmittelräume, Beh. WC, Lehrerräume werden über eine Kalenderfunktion betrieben.

2.2.5.5 Fazit und Ausblick

Bisher laufen alle Anlagen störungsfrei, es sind uns keine Klagen von Nutzern bekannt. Das Ergebnis des Monitoring bleibt abzuwarten.

2.2.6 Elektrische Energie

2.2.6.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Der moderne Holzbau, insbesondere mit weitgehender Vorfertigung, stellte an die Haustechnikplanung hohe Anforderungen, vor allem hinsichtlich Materialwahl, Situierung der Installationen und Leitungsführung. Aber auch die sehr hohen Anforderungen an Wärme- und Winddichtigkeit, sowie die beabsichtigt vorgefertigte Bauweise verlangten eine sehr detaillierte Planung der Leitungsführung schon während der Vorplanungsphase. Durch die neuheitliche Bauweise sind nicht immer Standardlösungen bzw. -produkte einsetzbar. Deshalb mussten neue Konzepte und Lösungen erarbeitet werden. Auch die Untersuchungen von Energieeinsparungsmöglichkeiten und deren Realisierung waren mit den beteiligten Planern frühzeitig und fortlaufend durchzuführen. Besonders anspruchsvoll sind im Holzbau die brandschutztechnischen Anforderungen der Leitungsanlagenrichtlinie (LAR) umzusetzen.

2.2.6.2 Fremdversorgung

Für die Grundversorgung des Gymnasiums wurde eine kundeneigene 630kVA Trafostation in Fertigteilbauweise eingeplant. Eingespeist wird die Trafostation über das 20kV-Netz der Lechelektrizitätswerke (LEW). Die Verbrauchsmessung erfolgt mittelspannungsseitig in der Trafostation.

2.2.6.3 Energieerzeugung

Konventionelle Schulgebäude haben durch ihre Nutzung erhebliche Primärenergiebedarfe und verursachen hohe CO₂-Emissionen. Verschiedene Energieerzeugungsmöglichkeiten wurden deshalb untersucht und auch aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht betrachtet. Dies waren im Wesentlichen:

Stromerzeugung mit Sonnenenergie

Berechnungen haben gezeigt, dass das Ziel, ein Plusenergiegebäude zu realisieren, allein schon mittels dachgestützter Photovoltaikanlagen erreicht werden kann. Die möglichst nahtlose Integration der Photovoltaikmodule in die Dachkonstruktion wurde im Sinne der Synergienutzung im Zuge der weiteren Planung eingehend geprüft.

Aus architektonischen Gründen, war es gewünscht, dass der Dachaufbau mit Dachfolie und Begrünung erfolgen soll. Das bedeutete, dass die Befestigung der PV-Anlagen auf den vier Pultdächern mit einer Gesamtfläche von ca. 2680 qm vollkommen durchdringungslos erfolgen sollte.

Gemeinsam mit Architekten und Statikern wurden Unterkonstruktionen entwickelt, bei denen die PV-Anlagen, möglichst frei und mit wenig Durchdringungen gegen Abrutschen gesichert sind.

Obwohl die zur Verfügung stehenden Dachflächen schon ausreichten, das Ziel eines Plusenergiestandards zu erreichen, wurden im Rahmen des Forschungsauftrages trotzdem weitere Ansätze (z.B. hochwertigere und leistungsstärkere Module, Kühlung der PV-Module mit Wasser etc.) untersucht um höhere Erträge zu erzielen. Aufgrund des sehr niedrigen Budgets, mussten diese Ideen jedoch verworfen und kostengünstigere Module eingeplant werden, um den Plusenergievorgaben gerade noch gerecht zu werden.

Stromerzeugung mit Windkraft

Im Rahmen des Forschungsauftrages wurde auch die Rentabilität von Kleinwindkraftanlagen auf den Dächern betrachtet. Es hat sich aber gezeigt, dass bei den laut Windatlas in Diedorf zu erwartenden Windstärken von ca. 2,5-2,9 m/s eine Windenergienutzung unwirtschaftlich ist. Deshalb wurde die Nutzung der Windkraft im Zuge der weiteren Planung nicht mehr weiter verfolgt.

Stromerzeugung mit BHKW

In Zusammenarbeit mit den Planungsbeteiligten wurde auch die Kosten-/ Nutzungsbetrachtung von BHKW's wärme- und stromlastgeregelt untersucht.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Von IB Wimmer wurde für die Erzeugung von Wärme und Kälte ein Rankingverfahren entwickelt, bei dem verschiedene Varianten zur Wärme- und Kälteerzeugung untersucht wurden. Es stellte sich dabei heraus, dass der Einbau eines BHKW nicht wirtschaftlich ist. Deshalb wurde dieser Aspekt nicht weiter verfolgt.

2.2.6.4 Energieverbrauch/ -einsparung

Um den Plusenergiestandard zu erreichen wurden aber nicht nur Konzepte untersucht, möglichst viel Energie selbst zu erzeugen, sondern auch (das eigentliche Hauptziel) Möglichkeiten gesucht, soviel wie möglich Energie einzusparen die im Folgenden erläutert sind:

Reduzierung des Strombedarfs von Heizungs-, Lüftungs-, Sanitäranlagen

- Bedarfsabhängige Regelung der Ventilatoren
- Raumweise Einstellbarkeit der Lüftungsanlagen
- Überwachung der Fensteröffnung, z.B. mittels Magnetkontakten
- Bedarfsoptimierte Regelung von Umwälzpumpen
- Einsatz von Bus-Systemen, um den Verkabelungsaufwand und damit Leitungsverluste zu reduzieren

Reduzierung des Strombedarfs von Beleuchtungsanlagen

- Bestmögliche Tageslichtnutzung
- Steuerung der Beleuchtungsanlagen mittels Präsenzmelder
- Tageslichtabhängige Regelung der Beleuchtungsanlagen
- Einsatz von energiesparenden Leuchten (LED, EVG, hohe Leuchtenwirkungsgrade etc.)
- Vernünftiges Verhältnis von Direkt- zu Indirektlicht bei Einsatz von abgependelten Leuchten
- Energiesparende Verschattungsmöglichkeiten
- Einsatz von Bus-Systemen (KNX, DALI, SMI), um den Verkabelungsaufwand und damit die Leitungsverluste zu reduzieren

Um die Eignung der auf dem Markt erhältlichen KNX-/ DALI-Komponenten testen zu können wurde in einem Container, in welchem das Gymnasium in Diedorf bisher untergebracht war, ein Musterraum mit entsprechender Sonnenschutzanlage und Leuchten mit tageslichtabhängiger Beleuchtungssteuerung eingerichtet und getestet.

Eine wesentliche Verringerung des Verkabelungsaufwandes, verbunden mit entsprechender Reduzierung von Leitungsverlusten versprach der Einsatz eines neu auf den Markt gekommenen KNX-DALI Gateways zur Beleuchtungssteuerung. Mit ihm konnte eine intelligente Lösung der Sicherheitsbeleuchtung geplant werden, welche die komplette Beleuchtungsanlage mit einbezieht. Obendrein kann mit dem gleichen Bus der Status aller Leuchten abgefragt werden kann.

2.2.6.5 Kabelwege im Holzbau

Besonders große Herausforderungen stellte der Holzbau an die Planung der elektrischen Anlagen hinsichtlich der Kabel- und Leitungsführung.

In Zusammenarbeit mit den anderen Projektbeteiligten mussten Installationskonzepte entwickelt und Leitungsführungssysteme angewendet werden, die einerseits die Umsetzung des pädagogischen Konzeptes ermöglichten (wie z.B. möglichst flexible Installationen, variable Kunstlichtsteuerung, Nutzung moderner Medien) und andererseits den hohen Ansprüchen an die Architektur und auch der Leitungsführungsoptimierung gerecht wurden. Wegen der Dicke der Deckenbalken und den engen Abständen der Balkenlagen wäre an den Decken ein Durchbohren der Balken auf der Baustelle nicht möglich gewesen. Auch hätte jede Bohrung vorab mit den Projektbeteiligten und dem Fertigteilhersteller abgestimmt werden müssen.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Aufgrund der Vorfertigung der Wand- und Deckenelemente war es also notwendig, die komplette Leitungsführung schon in der Vorplanung und im Entwurf zu durchdenken und mit den anderen Planungsbeteiligten (Architekten, Statiker, HLS-Planer, ...) abzustimmen. Eine Leitungsführung quer zu den Balkenlagen war nur begrenzt möglich. So konnten die Leitungen je Raumseite nur an 2 Stellen (flurseitig u. fensterseitig) quer zu den Balken geführt werden. Dies hatte zur Folge, dass alle Leuchten und Geräte in den Deckenfeldern, auch wenn sie im benachbarten Deckenfeld waren, immer die ganze Strecke längs zu den Balken bis zur Flurseite oder zum Fenster verkabelt werden mussten, um dort in das nächste Deckenfeld zu gelangen. Dadurch kamen enorme Mehrlängen an Kabel und Leitungen zustande.

Um aber den Verkabelungsaufwand, aus vorgenannten Gründen, auf das notwendigste zu reduzieren, wurden deshalb auch dezentrale Installationskonzepte entwickelt. Auf Etagenverteiler wurde deshalb bewusst verzichtet. Dafür bekam jeder Unterrichtsraum oder Marktplatz eine eigene kleine Unterverteilung, in welcher die Leitungen auf kurzem Wege zusammengefasst werden konnten. Die Unterverteilungen beinhalten auch die erforderlichen Leitungsabsicherungen und intelligenten Bauteile zur Steuerung/Regelung des Kunstlichts und auch des Tageslichtes, etc.. Verbunden wurden die Unterverteilungen über Bus-Leitungen.

Trotzdem verursachte der Holzbau bei diesem Projekt insgesamt ca. 30% höhere Kabellängen.

2.2.6.6 Fazit und Ausblick

Der Planungsauftrag für das Gymnasium Diedorf stellte für uns eine besondere Herausforderung dar, weil es deutschlandweit der erste umweltfreundliche Schulneubau in Holzbauweise ist, bei dem von Anfang an sowohl auf Energieeinsparung als auch Energiegewinnung großen Wert gelegt wurde.

Nur durch regen und arbeitsintensiven Austausch mit allen beteiligten Planern war die Realisierung des Holzbaus mit größtenteils in Österreich industriell vorgefertigten Elementen möglich.

Der für die Größe des Projektes zu knappe Fertigstellungstermin, setzte alle Beteiligten unter enormen Zeitdruck und brachte auch uns an unsere Grenzen.

Oft mussten die Pläne mehrmals wöchentlich neu eingelesen und aktualisiert werden, da das Bauvorhaben, wegen der fehlenden Koordinationszeit und frühzeitigen Nutzereinbindung, viele Änderungen erforderte, die erst während der Bauphase erkannt werden konnten.

Als Elektroplaner aus Leidenschaft wünschen wir uns für die Zukunft bei derartigen Projekten ein realistisches Zeitfenster, um in für alle entspannterer Atmosphäre, bestmögliche Arbeit liefern zu können.

2.2.7 Tages- und Kunstlichtplanung

2.2.7.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Das Projekt Gymnasium Diedorf stellt sich im Ganzen als äußerst vielschichtig mit vielfältigen Interdependenzen dar. Diese Zusammenhänge haben, wie auch auf die anderen Fachdisziplinen, große Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld der Lichtplanung.

Im Projektablauf wurden die vielschichtigen tangierenden Themen in der Lichtplanung aufgegriffen und abgearbeitet. Es wurden jeweils die tageslichttechnischen sowie die kunstlichttechnischen Aspekte berücksichtigt.

Die Relevanz und das Tätigkeitsfeld der Tages- und Kunstlichtplanung in diesem Projekt kann in den folgenden Themen zusammengefasst werden:

- Lichtplanung für offene LernLandSchaften
- Lichtplanung bezüglich des Plusenergiekonzeptes

Lichtplanung für offene LernLandSchaften

Die spezielle Architektur, die aus der Entwicklung der offenen LernLandSchaften hervorgeht, stellt auch die Lichtplanung vor eine besondere Herausforderung.

Üblicherweise geht die Lichtplanung auf die von der Norm geforderten Randbedingungen ein und schafft für eine genau definierte Art von Nutzung eine normgerechte Beleuchtung, die man in diesem Zusammenhang als Standardlösung bezeichnen kann.

In diesem Fall ist die Zuordnung der Nutzungen durch die gewünschte Offenheit der LernLandSchaften nicht auf präzise Weise möglich. So ist der sogenannte „Marktplatz“ eine Zone des Gebäudes, die mit vielen verschiedenen Nutzungen belegt werden kann. Der Markplatz kann Klassenraum, Aufenthaltszone, Korridor und Bühne als Funktion annehmen. Diese Funktionen müssen von Kunst- und Tageslichtplanung berücksichtigt werden.

Selbstverständlich werden für alle Klassenräume die höchsten Anforderungen an Beleuchtungsstärke und Ergonomie erfüllt. Diese gelten bei Zuordnung der Nutzung „Lernbetrieb“ auch für den Markplatz und dessen Korridor sowie den Lichthofbereich.

Ergebnisse der 1. Förderphase

Es wurde in Förderphase 1 festgestellt, dass Lichthof und Oberlichtstreifen hauptsächlich für das Funktionieren der Markplatzbereiche notwendig sind. Für die seitenbelichteten Klassenräume wäre eine rückseitige Tagesbelichtung positiv, aber da sie nicht absolut notwendig ist, wurde sie aus architektonischen Gründen verworfen.

Die verschiedenen Varianten der Raumaufteilung wurden bezüglich ihrer Tageslichtversorgung und der damit verbundenen Tageslichtautonomie in mehreren verschiedenen Simulationen durchgerechnet.

Es wurde unter anderem die Lage von Oberlichtstreifen im fensterfernen Teil der Klassenräume untersucht und die Relevanz eines Lichthofes für das Funktionieren des „Markplatzes“ evaluiert. Auch die Effektivität von Lichtöffnungen in der Decke zum EG direkt unter dem Lichthof wurde bewertet.

Ein Ergebnis dieser Untersuchungen sind z.B. transparente Verglasungsanteile in den Trennwänden der Klassenräume zum Markplatz. Diese Öffnungen haben sowohl kommunikative, als auch tageslichttechnische Vorteile.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Sie erhöhen in Teilbereichen die Tageslichtautonomie und schaffen eine besondere Aufenthaltsqualität, da sie durch ihre Transparenz den indirekten Blickkontakt zu den internen Lichtöffnungen Lichthof und Oberlichtstreifen zulassen. Die Oberlichtstreifen wurden im Laufe des Projektes aus Kostengründen eingespart.

Das Kunstlichtkonzept muss bezüglich der Allgemeinbeleuchtung in Bänderabschnitten flexibel regelbar sein, um in Zeiten der Nicht-Belegung, die Beleuchtung dimmen zu können und elektrische Energie zu sparen.

Ein zusätzlicher Warmton im Marktplatz sollte zunächst zur Aufwertung diverser Marktplatzbelegungen realisiert werden, wurde aber im Verlauf des Projektes eingespart. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Regent eine Sonderleuchte entwickelt, die gleichzeitig eine Allgemeinbeleuchtung über Leuchtstofflampe und eine Warmtonbeleuchtung durch Spots gewährleisten sollte. Diese Sonderleuchte und der geplante ergonomisch wertvolle zusätzliche Warmton wurden wie im aus Kostengründen und aufgrund der nicht als 100prozentig notwendig bewerteten Relevanz in der 2. Förderphase gestrichen.

Die Untersuchungen zu den offenen LernLandschaften wurden umfänglich im Abschlussbericht der 1. Förderphase zusammengefasst und werden hier nochmals aufgezählt:

- Tageslichtuntersuchung der Oberlichtstreifen über dem fensterfernen Bereich der Klassenräume
- Tageslichtuntersuchung der Oberlichtstreifen über dem Korridor
- Tageslichtuntersuchung Lichthof
- Kunstlichtberechnung für Warmtonmilieu
- Entwicklung der Sonderleuchte Marktplatz mit Warmtonspots LED

Lichtplanung bezüglich des Plusenergiekonzeptes

Das vorliegende Projekt soll extrem strenge Anforderungen an einen niedrigen Primärenergiebedarf erfüllen. Somit muss der Energieeinsatz von Kunstlicht auf das absolut nötige Maß begrenzt werden. Dies gelingt durch folgende Maßnahmen:

- Gewährleistung eines guten Tageslichtangebotes
- Verwendung von Kunstlichtlösungen mit hoher Effizienz und daher niedrigen spezifischen installierten Anschlussleistungen
- Präsenz- und tageslichtabhängige Steuerung / Regelung des Kunstlichts in speziell angeordneten Schaltgruppen

Durchgeführte Untersuchungen in der 1.Förderphase:

- Abstimmung zwischen Architekt, Klima / Energieplanung und Elektroplanung zur Entwicklung eines Tageslichtkonzeptes für Oberlicht und Seitenlicht
- Tageslichtuntersuchung Aula
- Tageslichtuntersuchung Sporthalle
- Berechnungen für die Varianten mit oder ohne Sparrenlage
- Berechnungen für die Varianten mit verschiedenen Tageslichtsystemen
- Aufstellung der qualitativen und ergonomischen Unterschiede der Tageslichtsysteme
- Anpassung der Kunstlichtplanung und Kunstlichtsteuerung an das Plusenergiekonzept
- Kunstlichtberechnung für die vollen Anschlussleistungen im Marktplatzkorridor
- Kunstlichtberechnung für die verminderten Anschlussleistungen im Marktplatzkorridor
- Untersuchung alternativer Leuchtmittel (LED)

2.2.7.2 Ausführungsplanung und -umsetzung

Offene Lernlandschaften

In der Ausführungsplanung wurden die angestrebten Konzepte weiter in Abstimmungen mit der Steuerungstechnik der Elektroplanung für die einzelnen Nutzungsbereiche optimiert. Der zentrale Punkt ist hierbei, dass alle wichtigen Steuerungsfunktionen in einer Mediensäule in jedem definierten Raumbereich zusammenlaufen, welche alle wichtigen Funktionen zur einfachen Bedienung bündelt.

Eine genaue Kalibrierung der gewünschten Beleuchtungssituationen bezüglich Ihrer Beleuchtungsstärken wird durch das geplante Lichtsteuerungssystem gewährleistet und kann durch Dimmen der Dali-Aktoren realisiert werden.

Die grundsätzlich nach Norm notwendige Beleuchtungsstärke ist in jedem Fall sichergestellt und wird durch die Fix-Wert-Dimmung und Anwesenheitssensoren, soweit dies die Nutzung der offenen Lernlandschaften zulässt, zum Zweck der Energieeinsparung weiter gesenkt.

Es wird sowohl die pädagogische Nutzung im vollen Umfang gewährleistet, als auch die sparsame Nutzung von Leuchtmitteln und Energie ermöglicht.

Um die Planung in diesem Punkt zu unterstützen wurde in Zusammenarbeit von Landratsamt, Elektroplanung und Lumen3 ein Mustercontainer auf dem Schulgelände erstellt, in welchem die originalen eingepplanten Leuchten und alle Regelungsbestandteile als Musterraum aufgebaut wurden. Auch die funktionstüchtigen Tageslichtsysteme wurden in diesen Raum eingebaut, sodass das Kunst- und Tageslichtsystem in seiner integralen Anhängigkeit von allen Beteiligten begutachtet und optimiert werden konnten.

In diesem Musterraum wurde der Warmlichtton, der als Zusatz für die Marktplatzbereiche geplant war, dargestellt. So konnten die Abstimmungen über Helligkeiten, die in der Theorie getroffen wurden, durch das reale Empfinden untermauert werden. In diesem Zusammenhang konnte außerdem die Sonderleuchte „Marktplatz“ mit LED-Einheiten, welche leider letztendlich in dieser Form nicht realisiert wurde, sowie die Pendelleuchte Aula (vgl. Abbildung 2.2-18) begutachtet werden, welche nun in der Aula in Realität leuchtet.

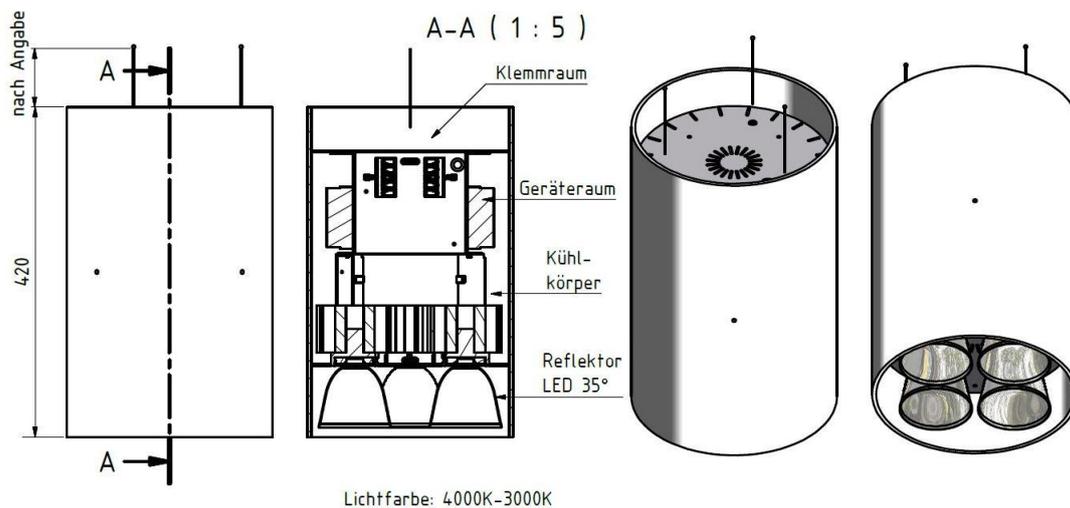


Abbildung 2.2-18: Sonderleuchte Pendelleuchte Aula

Diese Leuchte wurde entwickelt um die Kriterien LED-Leuchtmittel, 2 Lichtfarben, Ausblendung über Reflektoren, hoher Lichtstrom und schlichtes Design zu verbinden.

Auf den Vorteil eines zusätzlichen Warmtonmilieus in den Marktplätzen musste wie erwähnt aus Kostengründen verzichtet werden. Die speziell dafür entwickelte Marktplatzleuchte wurde durch die auch in den restlichen Bereichen verwendeten Spiegelrasterleuchten ersetzt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Betrachtet man die Relevanz eines zusätzlichen Warmtones, welcher hauptsächlich nur in den dunklen Nachmittagsstunden und Abendstunden genutzt worden wäre, so muss festgestellt werden, dass das Weglassen dieser Zusatzmaßnahme keinen Ausschlussgrund für die grundsätzliche Funktion des Gebäudes bedeutet und somit sinngemäß korrekt gestrichen wurde.

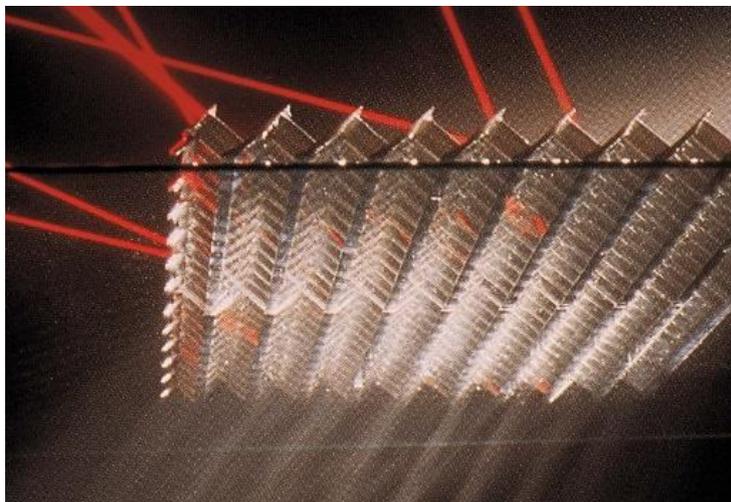
Energetische Aspekte der Tageslichtplanung

Der Einsatz von intelligenten Tageslichtsystemen ist für alle Tageslichtöffnungen aufgrund der hohen G-Wert Anforderungen notwendig. Neben einer ergonomischen Benutzung der Räume für alle Wetterlagen und Sonnenstände stellen sie eine Begrenzung des Strahlungswärmeeintrages sicher.

Als vertikales Tageslichtsystem vor den Fensterflächen wird ein außenliegender Lamellenraffstore aus zweifarbigen Lamellen oben Alu unten weiß verwendet. Dieser wird in Abhängigkeit von aktuellen Daten, die eine Wetterstation liefert, per KNX-Bussystem gesteuert. Zu jedem Zeitpunkt wird der Lamellenbehang optimiert geöffnet und geschlossen. Die Lamellen werden bei Sonneneinstrahlung jeweils im weitest geöffneten Cut-Off Winkel angesteuert, um sowohl Sonnenschutz als auch Tageslichtnutzung zu gewährleisten.

Zusätzlich zum Lamellenraffstore außen war geplant, dass im Innenbereich ein Blendschutzrollo angebracht wird. Dieser Blendschutz wurde aufgrund des im Unterpunkt „Produktvergleich Oberlichter“ beschriebenen Zielkonfliktes nicht realisiert. Dieses Blendschutzrollo hätte die Funktion gehabt, bei flachen Sonnenständen ein Hochfahren des Lamellenbehanges zu ermöglichen und somit eine weitere Tageslichtnutzung (solare Lichtnutzung) durch aufgestreutes Sonnenlicht in klimatisch erwünschten oder unbedenklichen Fällen wie z.B. im Winter möglich zu machen.

Die Oberlichter und der Lichthof wurden mit Mikrosonnenschutzraster (vgl. Abbildung 2.2-19) im Glaszwischenraum des 3fach-Isolierglasverbundes ausgestattet, welches direkte Sonneneinstrahlung verhindert und gleichzeitig diffuses Tageslicht in den Raum lässt. Dieses System macht auch an sonnigen Tagen eine ergonomische Nutzung der Räume möglich und gewährleistet einen G-Wert von 0,14.



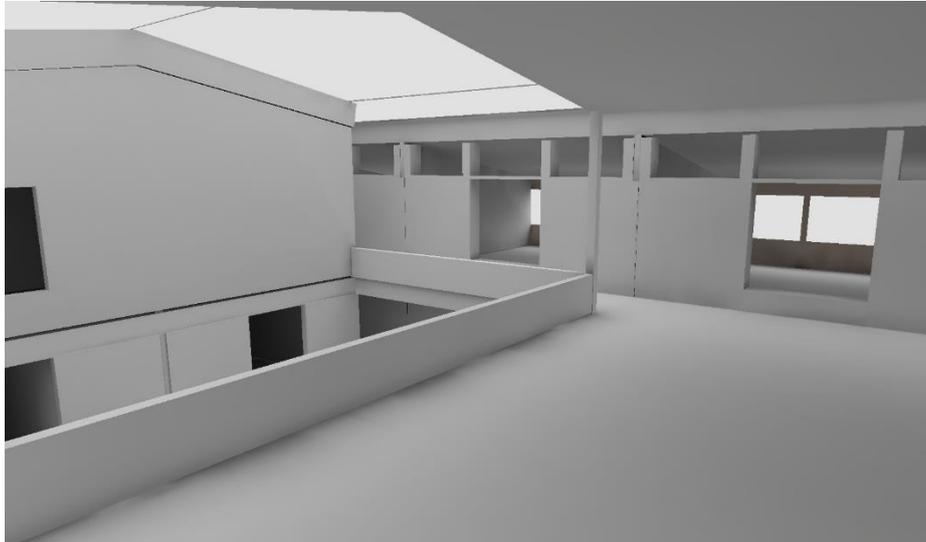
*Abbildung 2.2-19: Mikrosonnenschutzraster als horizontales Tageslichtsystem
Dieses richtungsselektive Inlet wurde in allen horizontalen Oberlichtern in den 3-Scheiben Isolierglasverbund eingesetzt um einen niedrigen G-Wert bei gleichzeitig hohem Transmissionsgrad zu gewährleisten.*

Bezüglich der Lage und Größe der Tageslichtöffnungen wurden fortwährend die möglichen baulichen Varianten der architektonischen Ausbildung in Tageslichtsimulationen abgebildet. Diese wurden dem Planungsteam als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt. Abbildung 2.2-30 und Abbildung 2.2-31 zeigen das 3D-Modell, welches als Grundlage zur Simulation entwickelt wurde. Die Tageslichtöffnungen wurden auf ihr architektonisch und klimatisch bedingtes Maximum an Öffnungsgröße vergrößert.

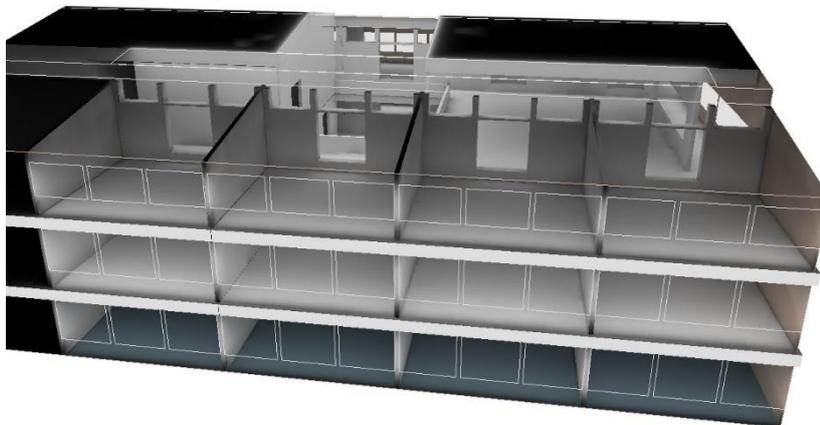
2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Die Tageslichtautonomiewerte wurden zur Präzisierung der Primärenergiebilanz an IP5 weitergegeben, um die Wirksamkeit der Tageslichtsubstitution auch in der Primärenergiebilanz wirksam werden zu lassen.

Im Rahmen der Ausführung wurde auf eine planungsgemäße Durchführung der Installation, Programmierung und des Betriebs des Lamellensystems geachtet.



*Abbildung 2.2-20: 3D-Simulation des Tageslichteintrages in den Marktplatz
In den Tageslichtsimulationen konnten die verschiedenen Gebäudevarianten lichttechnisch geprüft werden.*



*Abbildung 2.2-21: 3D-Simulation des Tageslichteintrages in das Gebäude
In den Tageslichtsimulationen konnten die verschiedenen Gebäudevarianten der Geschosshöhen lichttechnisch geprüft werden.*

Nachfolgende Abbildung 2.2-22 zeigt Falschfarbendarstellungen des Tageslichteintrages (Tageslichtquotient) der Geschosse EG / OG1 / OG2, welche in Simulationen des Entwurfsstandes angefertigt wurden. Es wurden die Öffnungsgrößen der Tageslichtöffnungen des Entwurfes verwendet.

In der linken Spalte ist der maximal mögliche Tageslichteintrag simuliert, welcher sich bei einer kompletten Öffnung dieser Tageslichtöffnungen theoretisch ergeben würde. In der rechten Spalte ist die Variante dargestellt, in der, wie auch zuletzt ausgeführt, die Sparrenlage und das Mikrorasterinlet ergänzt und simuliert wurde.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Anhand der Werte an der Position der roten Punkte wurden die Tageslichtautonomien festgestellt und verglichen. Alle blau eingefärbten Bereiche stellen die Zonen einer ausreichenden Tageslichtautonomie dar. Mikroraster + Sparrenlage wurden als Ergebnis dieser Untersuchung als machbar bewertet. In dieser Weise wurden viele weitere Varianten untersucht.

Die Zielkonflikte zum Wegfall der Fluroberlichter im OG2 und die Optimierung der Sparrenlage wurden ebenfalls in diesem System zur Ermittlung der jeweils entsprechenden Tageslichtautonomien untersucht und dem Planungsteam als Entscheidungsgrundlage zu Verfügung gestellt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

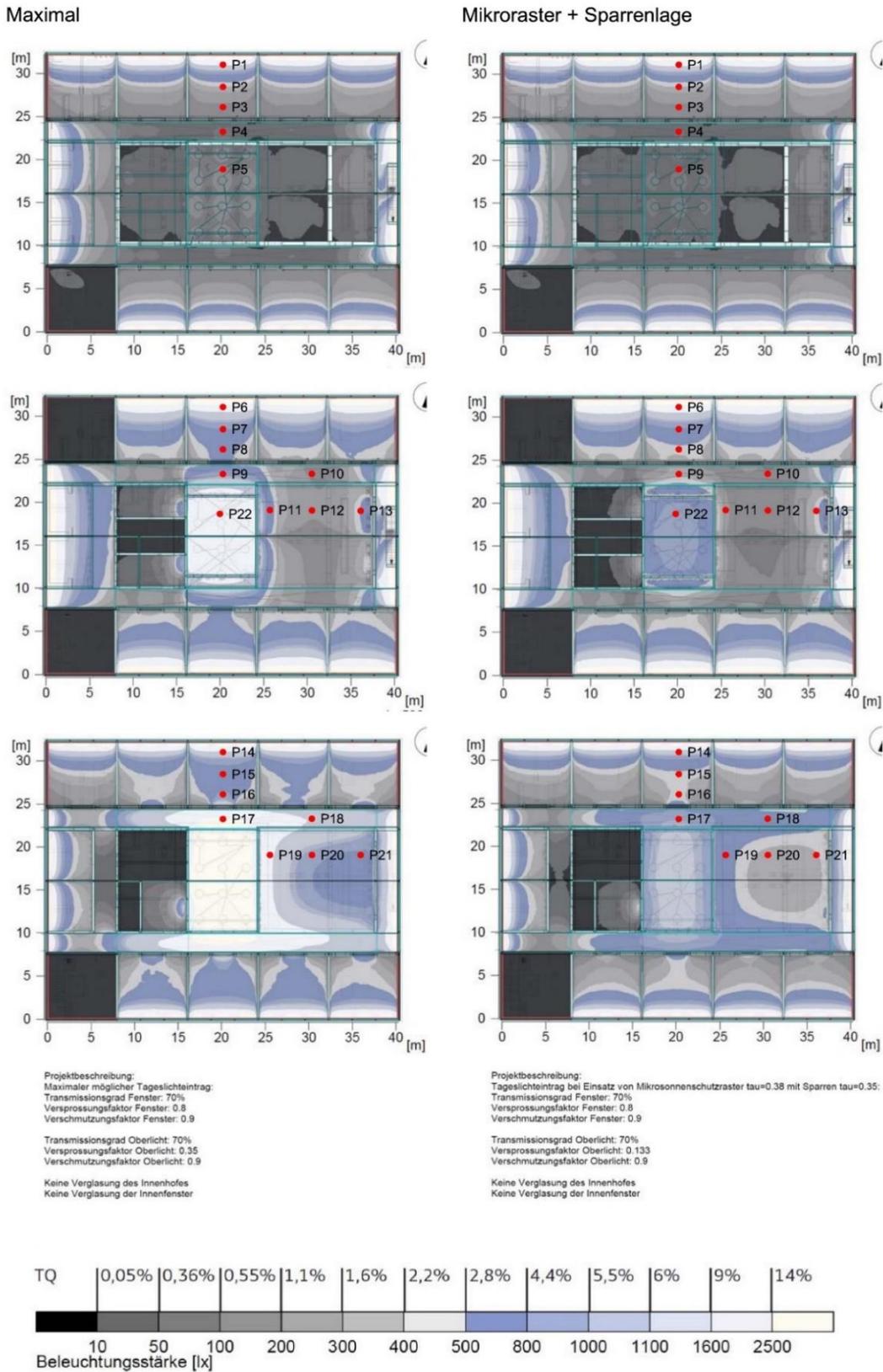


Abbildung 2.2-22: Tageslichtsimulationen Klassenhaus
 Die Simulation der Tageslichtquotienten ermöglichte die Bewertung der Varianten der Tageslichtöffnungen,
 ihrer Größe und der eingesetzten Tageslichtsysteme

Energetische Aspekte der Kunstlichtplanung

Die Kunstlichtplanung wird durch Verwendung von modernen effizienten Leuchten, Leuchtmitteln und Steuerungssystemen optimiert. Generell ist das Beleuchtungskonzept in allen Klassen- und Büroräumen BAP-tauglich.

Die nach Norm vorgeschriebenen Beleuchtungsstärkewerte und lichttechnischen Kennwerte werden auf möglichst energieeffiziente Weise erzeugt, welche in einem zweiten Schritt durch Tageslicht ergänzt werden. Dies macht eine zeitweise Abschaltung von Leuchten möglich. Das vorhandene Tageslicht kann stufenlos genutzt werden.

In der Nähe des Markplatzes sind die Schaltgruppen respektive des Lichthofes gestaffelt.

Eine zonenweise Dimmung des Kunstlichts in Überlagerung mit einem vergrößerten Tageslichteintrag unter Anwendung einer tageslichtabhängigen Steuerung und einer Präsenzsteuerung ist an dieser Stelle ein optimales System.

Eine DALI-Steuerung in Kombination mit einem KNX-Bussystem stellt in diesem Fall die optimale Lichtsteuerung dar. Ein solches hat folgende Vorteile:

- Einzel-oder Gruppenprogrammierung der Leuchten
- Stufenlose Dimmung der Leuchten gegen 0%
- Rückmeldung des Betriebszustandes Leuchten bzw. Störmeldung
- geringfügig niedrigerer Eigenverbrauch des DALI-EVG im Vergleich zum 1-10V EVG
- günstige Wiederbeschaffung der EVG (1-10V EVG in naher Zukunft nicht mehr Stand der Technik)

Generell wurden anstatt Kompakt-Leuchtstofflampen oder Halogen-Glühlampen LED-Leuchtmittel verwendet. Dies realisiert das größte Energieeinsparungspotential und ist wartungstechnisch als positiv einzuordnen.

2.2.7.3 Tageslichteintrag durch horizontale Flächen

Optimierung der Sparrenlage

Der Holzbau ist aus Sicht der Tageslichtplanung als nicht restlos optimal zu bewerten. Den größten Nachteil stellt in diesem Zusammenhang die Sparrenlage dar, welche vollflächig unter den Oberlichtern angeordnet ist und den Tageslichteintrag zunächst in der 1.Variante um etwa 60% abschwächte.

Die ersten Tageslichtuntersuchungen hatten ergeben, dass der effektive Transmissionsgrad der Sparrenlage bei ca. $\tau=0.38$ lag, welches den Tageslichteintrag leider so abschwächte, dass die Tageslichtautonomien stark verringert wurden. In diesem Punkt bestand das größte Verbesserungspotential.

Für alle horizontalen Oberlichtöffnungen wurden seitens der Architektur konstruktive Änderungen zur Erhöhung des Transmissionsgrades der Sparrenlage entwickelt. Diese beinhaltete die Veränderung der Dimensionen der Sparren von 8/30 cm Achsabstand 30 cm auf 6/44 cm Achsabstand 45 cm.

Um den diffusen Transmissionsgrad für die Sparrenlage zu ermitteln, wurden von Lumen3 Relux-Berechnungen durchgeführt, aus denen der diffuse Transmissionsgrad der Sparren hervorging. Die Berechnungen wurden auf der Grundlage eines 3-D Modelles der Sparren und deren alten und neuen Dimensionen aufgebaut.

Die Berechnungen ergaben, dass die verbesserten Dimensionen der Sparrenlage eine Erhöhung des diffusen Transmissionsgrades von 35% auf 47,3% zur Folge hatte (vgl. Abbildung 2.2-23, Abbildung 2.2-24).

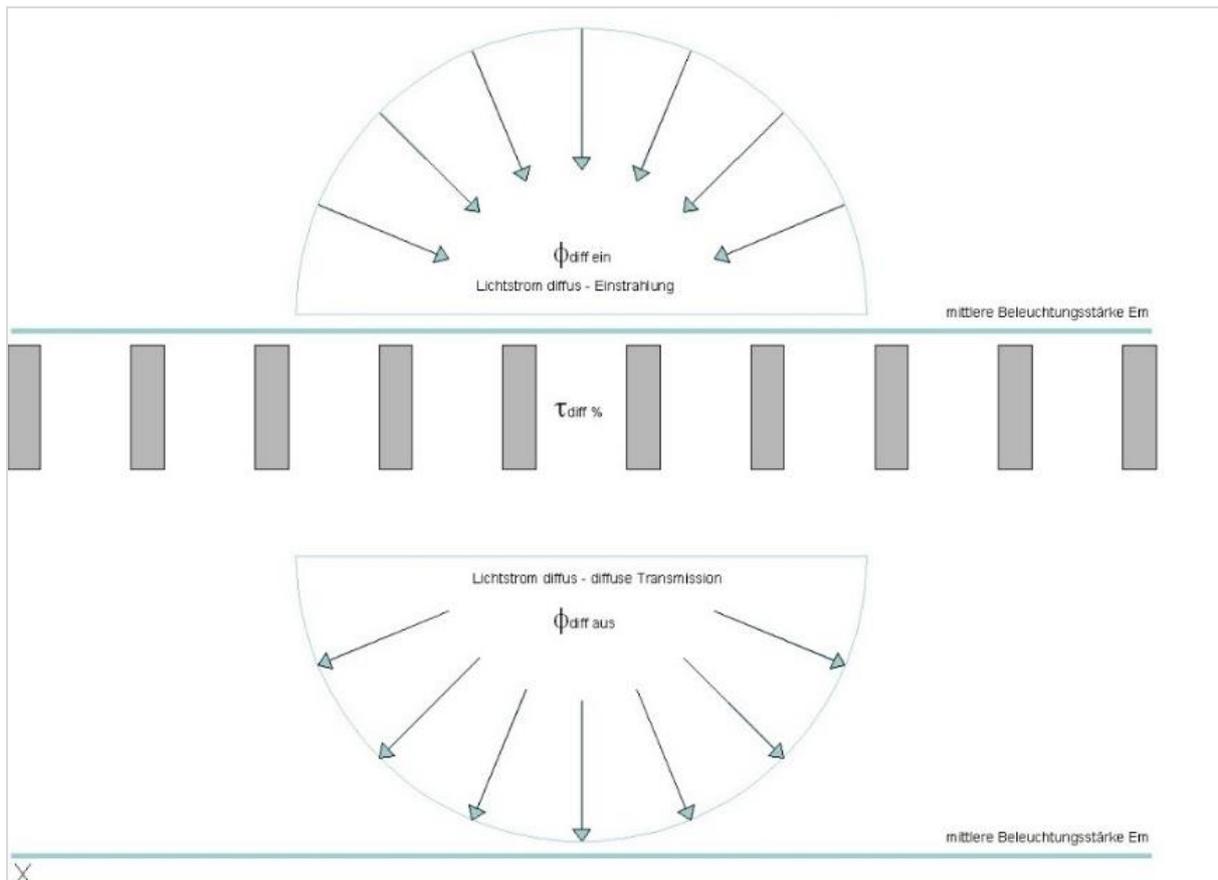
Diese veränderten Randbedingungen wurden in den Tageslichtberechnungen von Klassenhaus, Aula und Sporthalle nachgeführt und in Tageslichtautonomien umgerechnet. Diese Werte wurden dem Planungsteam zur Verfügung gestellt und zur Beurteilung der tageslichttechnischen Situation verwendet.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Verglichen zur Situation vor der Verbesserung der Lichtdurchlässigkeit der Sparrenlage verbesserte sich die wahrnehmungspsychologische Situation geringfügig. Die energetische Situation blieb in etwa gleich.

Überdies wurden Verbesserungsvorschläge für Konstruktion und Oberflächen erarbeitet, die die Tageslichtautonomie weiter erhöhten. Alle Materialien wurden möglichst hell gestaltet und die Glasqualitäten der nötigen Innenfenster und Verglasungen mit einem möglichst hohen Transmissionsgrad ausgestattet.

Die aktualisierten Tageslichtautonomiewerte wurden zudem zur Präzisierung der Primärenergiebilanz verwendet, um die Wirksamkeit der Tageslichtsubstitution auch in der Primärenergiebilanz wirksam werden zu lassen.



*Abbildung 2.2-23: Untersuchung Transmissionsgrad Sparrenlage (8/30 cm Achsabstand 30 cm)
 Die Untersuchung der Transmissionsgrade der Sparrenlage unter den Oberlichtern stellte die Nachteile der Tageslichtabschwächung dar. $\tau=35\%$*

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

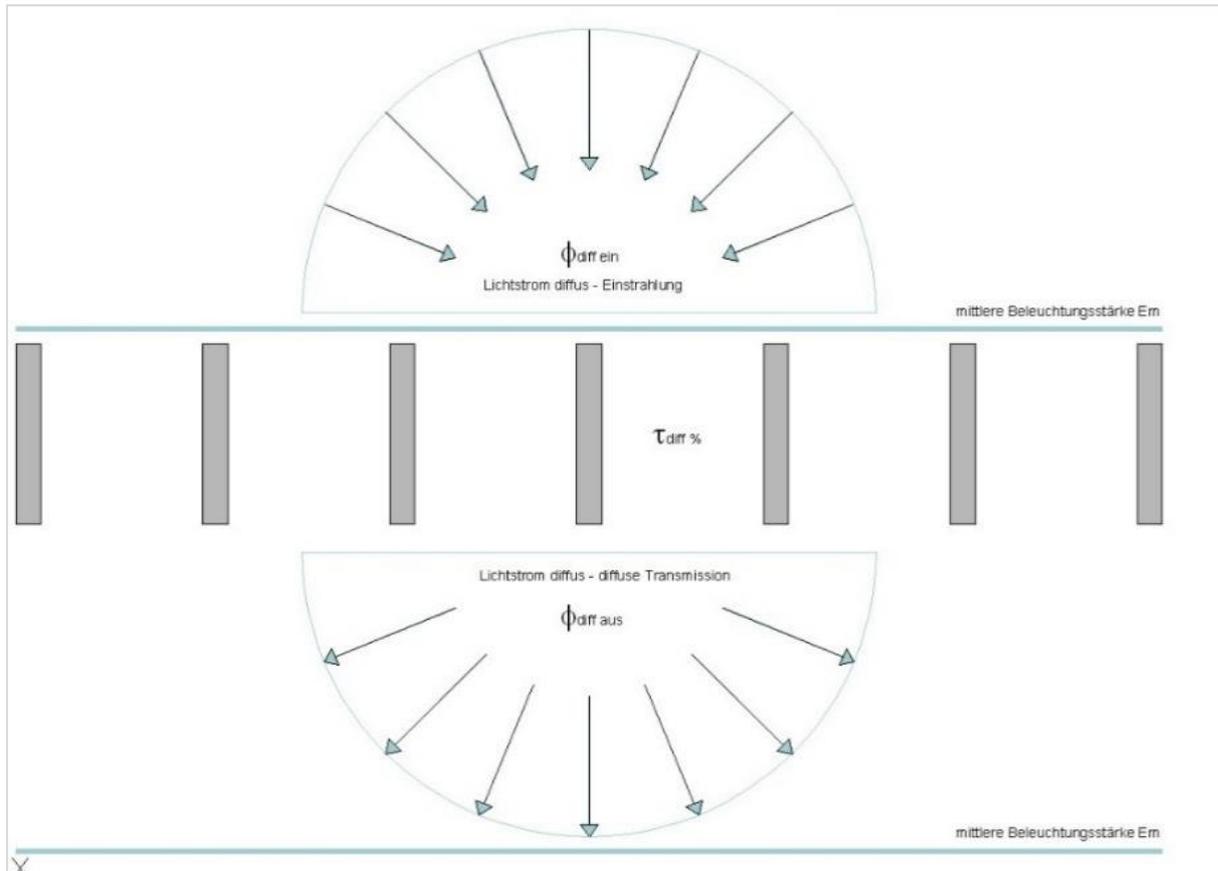


Abbildung 2.2-24: Untersuchung verbesserter Transmissionsgrad Sparrenlage (6/44 cm Achsabstand 45 cm)
 Die veränderte Dimensionierung der Sparrenlage verbessert den Transmissionsgrad und sorgt für bessere Tageslichtautonomien. $\tau_{\text{diff}}=47,3\%$

Optimierung des Oberlichtanteils in der Sporthalle

Die Oberlichter in der Sporthalle, welche mit Mikroraster ausgestattet sind, waren im Verlauf der Planung in zwei 4,6 m breiten Oberlichtstreifen im Hallendach angeordnet.

Es wurde vom Architekten aufgrund des Zwangs der Kosteneinsparung vorgeschlagen nur noch ein Fensterband mit 2,3 m Breite in der Hallentiefe und ein klares Fensterband mit der Höhe 2,3 m auf der Nordseite der Halle einzuplanen. Dies ergäbe gemäß Architekt eine Einsparung von 180.000,-Euro.

Beide Varianten wurden von Lumen3 in Tageslichtberechnungen berechnet. Es wurde dargestellt, welche Konsequenzen diese Maßnahme für die Tageslichtversorgung und die ergonomische Benutzung der verschiedenen Bereiche mit sich führt.

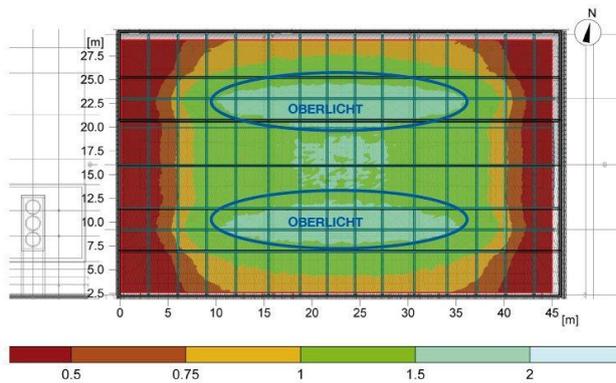
Als Vorbild für eine akzeptable Tageslichtversorgung wurde vom Bauherrn die vom Landkreis Augsburg gebaute Sporthalle in Königsbrunn mit etwa 1% TQ im Mittel angeführt.

Beide untersuchten Varianten besitzen knapp über 1% TQ und sind demnach akzeptabel (vgl. Abbildung 2.2-25/Abbildung 2.2-26). Die Variante mit dem Seitenfenster verschiebt den Tageslichteintrag leicht zur Fensterseite. Dies wurde als unbedenklich eingestuft. Die Variante Seitenfenster hat insgesamt keine großen Nachteile.

Der Bauherr entschied sich für die Variante mit dem Seitenfenster.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Sporthalle Diedorf Variante A (Stand der Planung):
 2 x Oberlicht 4,6 m mit Mikrosonnenschutzraster



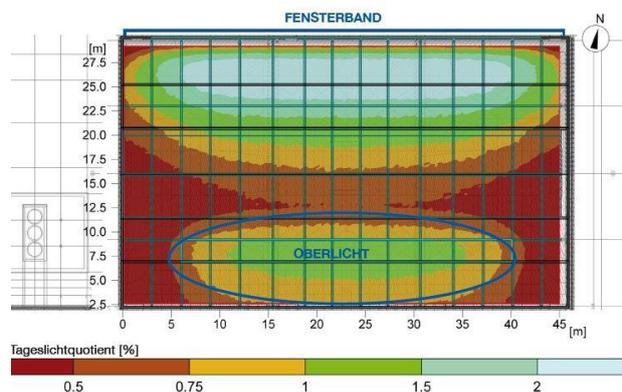
Tageslichtquotient, derzeitige Planung:

| | |
|-------------------------------|-------------|
| mittlerer Tageslichtquotient: | Dm = 1,04 |
| minimaler Tageslichtquotient: | Dmin = 0,09 |
| Maximaler Tageslichtquotient: | Dmax = 1,86 |

*Abbildung 2.2-25: Tageslichtsimulation Zielkonflikt Oberlichter Sporthalle Variante1
 Hier wurden 2 Oberlichtbänder simuliert.*

Sporthalle Diedorf Variante B :

1 x Oberlichtstreifen 2,3 m+Fensterband 2,3 m mit Mikroraster



Tageslichtquotient:

| | |
|-------------------------------|-------------|
| mittlerer Tageslichtquotient: | Dm = 1,02 |
| minimaler Tageslichtquotient: | Dmin = 0,18 |
| Maximaler Tageslichtquotient: | Dmax = 2,62 |

Einsparung Kosten brutto: -180.000, 00 €
 (Gegenüber Var A)

*Abbildung 2.2-26: Tageslichtsimulation Zielkonflikt Oberlichter Sporthalle Variante2
 Hier wurden 1 Oberlichtband und ein Fensterband simuliert. Die Gegenüberstellung wurde als
 Entscheidungsgrundlage verwendet*

Optimierung des Oberlichtanteils in den Klassenhäusern

Die Oberlichter, welche grundsätzlich alle mit Mikroraster ausgestattet sind, waren im Verlauf der Planung H-förmig über Lichthof und den Korridoren angeordnet.

Es wurde vom Architekten aufgrund des Zwangs der Kosteneinsparung vorgeschlagen die Oberlichter über den Korridoren OG 2 wegfällen zu lassen. Dies ergäbe gemäß Architekt eine Einsparung von 210.000,-Euro.

Es wurde von Lumen3 in Tageslichtberechnungen berechnet und dargestellt, welche Konsequenzen diese Maßnahme für die Tageslichtversorgung und ergonomische Benutzung der verschiedenen Bereiche mit sich führt. Die hauptsächliche Einbuße trägt bei dieser Veränderung der Marktplatz OG2, der vorher als tagesbelichtet mit einem mittleren TQ-Wert von über 2% gelten konnte und nun weit unter 2% fällt. Auch der mittlere TQ-Wert im Lichthof sinkt um etwa 1,5%. auf ca. 4% (vgl. Abbildung 2.2-27).

Der wahrnehmungspsychologische Unterschied für den Marktplatz OG2 wurde von Lumen dargestellt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Es wurde ebenfalls von Lumen3 erläutert, dass es sich bei diesen Einbußen um ergonomische und nicht energetische Gesichtspunkte handelt.

Schlussendlich wurde entschieden, dass der hohe Kostenaufwand für die Oberlichtflächen über den Korridoren OG2 nicht gerechtfertigt sei, wenn davon ausschließlich Lichthof und Marktplatz OG2 profitieren.

Somit wird der Marktplatz OG2 nunmehr denselben Tageslichteindruck wie der Marktplatz OG1 mit entsprechend ähnlichen Tageslichtautonomien erhalten.

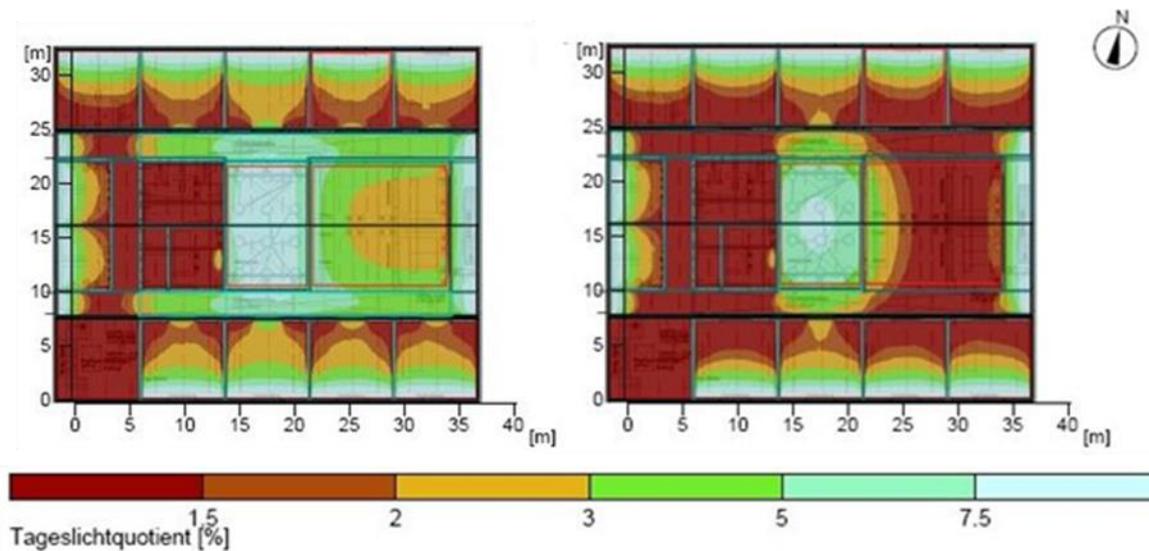


Abbildung 2.2-27: Tageslichtsimulation Oberlichter Korridore

Links: Simulation der verlängerten Oberlichtbänder

Rechts: Simulation des Lichthofes

Die Gegenüberstellung wurde als Entscheidungsgrundlage verwendet.

Tageslichtsituation in der Aula

Im Aulagebäude wurde aus konstruktiven Gründen, die dem Holzbau geschuldet sind, darauf verzichtet, dass die innenliegenden Büroräume eine eigene Reihe Oberlichter erhalten. Diese Räume erhalten nunmehr nur noch über vertikale Glasoberlichter zum Korridorraum hin eine minimale Tageslichtversorgung.

Im Zuge dieser Maßnahme haben sich die Aufbauhöhen der Oberlichter oberhalb der Aulakorridore stark vergrößert. Auch dies wird dem Holzbau geschuldet und konnte auch durch ausgiebige Anstrengungen der Architekten nicht verhindert werden.

Durch die größere Eigenverschattung verringert sich sowohl die Tageslichtversorgung der Aula Korridore OG1 als auch die Tageslichtversorgung der Aulafläche insgesamt. Letztendlich profitieren ausschließlich die Korridore OG1 von den Oberlichtern. Die Tageslichtsimulationen zu diesen Fragestellungen wurden durch Lumen3 beigesteuert (vgl. Abbildung 2.2-28, Abbildung 2.2-29).

Es wurde in diesem Zusammenhang von Lumen3 dezidiert auf die Wichtigkeit einer großzügigen offenen vertikalen Fensterfläche hinter der Bühne hingewiesen.

Diese Fensterfläche reicht zwar nicht dazu aus die Tageslichtversorgung D_m der gesamten Aula im Mittel entscheidend zu erhöhen. Dennoch erhöht diese offene Fensterfläche die positive Wahrnehmung des Raumes drastisch durch Tageslicht, welches aus dem Außenraum in den ersten Metern hinter der Bühne eintritt. So ist ein deutlicher Bezug zum Außenraum möglich.

Die Ergebnisse der Tageslichtversorgung hatten sich z.B. im Fall der Aula-Innenfläche Punkt 23 von $D_m=1,8\%$ auf $D_m=0,79\%$ mit einer Tageslichtautonomie von 14% auf 0% verringert.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Wie man an diesem Beispiel erkennen kann, haben die Konstruktionsform der Oberlichter in der Dachhaut und die daraus resultierenden Verminderungen des Lichtdurchganges einen großen Einfluss auf den Eintritt von Tageslicht in das Gebäude.

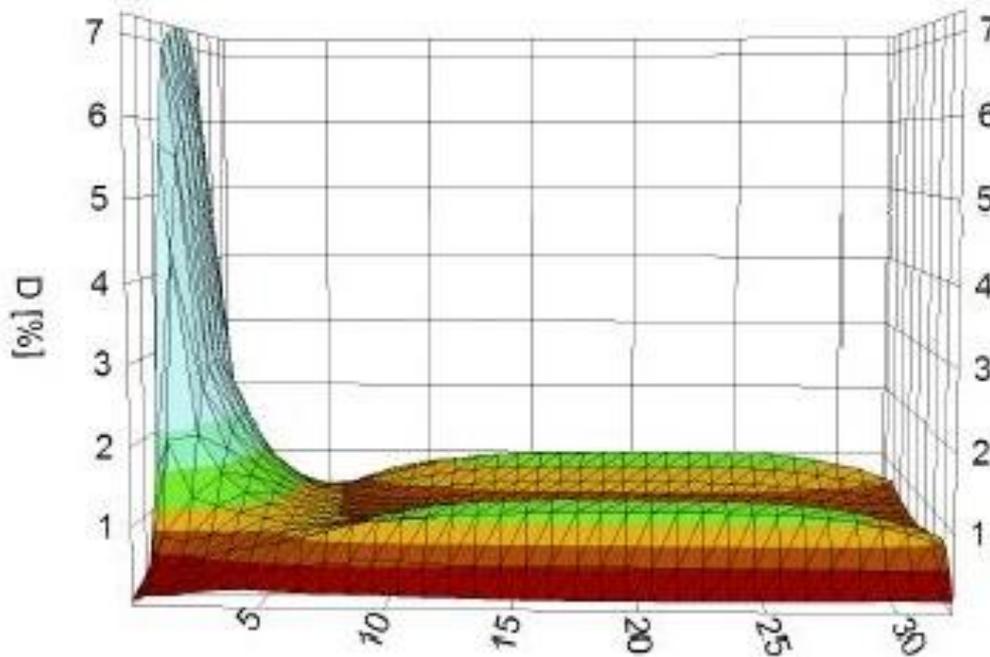


Abbildung 2.2-28: Tageslichtuntersuchung Aula, Oberlichter TQ-Wert-Gebirgedarstellung

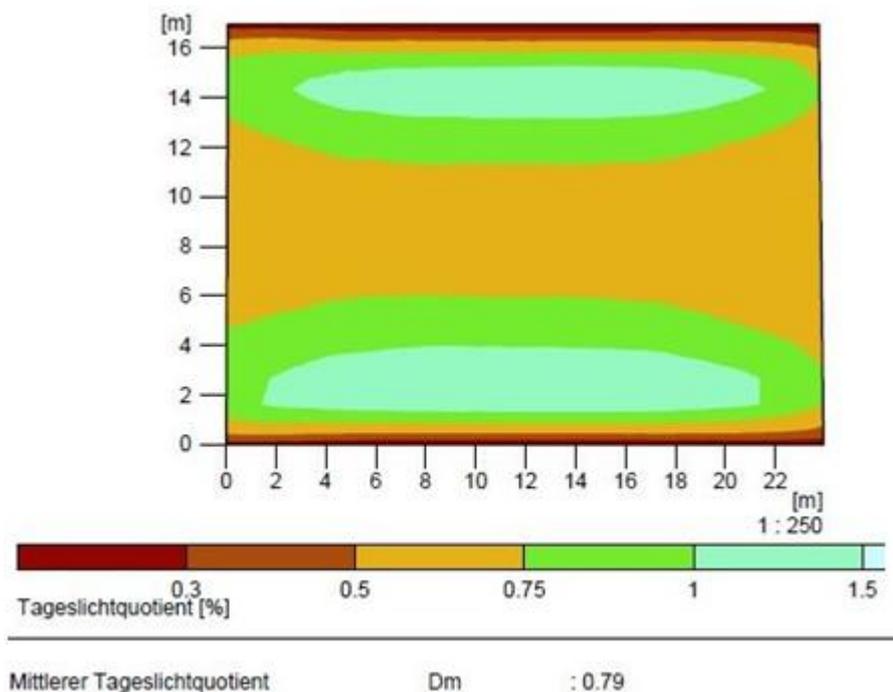


Abbildung 2.2-29: Tageslichtuntersuchung Aula, Oberlichter TQ-Wert-Falschfarbendarstellung

Produktvergleich Oberlichter

Während der Vergabephase wurde untersucht, welche Konsequenzen der Einsatz des vom Glasbauunternehmer vorgeschlagenen Tageslichtinlets der Firma Okalux als Ersatz für das geplante Mikrosonnenschutzraster bezüglich der Tageslichtversorgung durch die Oberlichter hätte.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

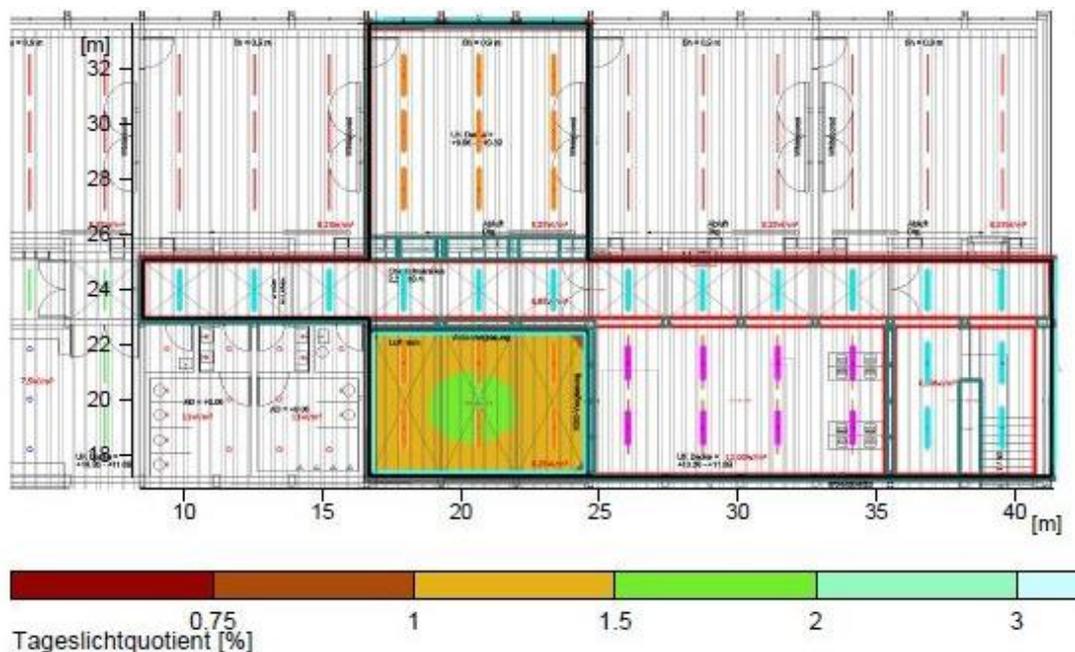
Es wurde durch Lumen3 in Zusammenarbeit mit IP5 eine Entscheidungsvorlage erstellt. Die TQ-Simulationen wurden für jeweils ein Klassenhaus und beide Produkte durch Lumen3 beigesteuert (vgl. Abbildung 2.2-30/Abbildung 2.2-31).

Speziell die Unterschiede in G-Wert und Transmissionsgrad wurden von IP5 und Lumen3 aufbereitet und bewertet, um die kritischen Eckdaten der beiden Produkte herauszuarbeiten.

Beide Produkte können klimatisch für das Projekt verwendet werden, wobei das Okalux-Inlet wesentlich kostengünstiger ist.

Es zeigte sich allerdings, dass das Produkt der Firma Okalux nur ca. die Hälfte des Transmissionsgrades des Mikrosonnenschutzrasters besitzt. Die Konsequenz dieses verminderten Transmissionsgrades würde in etwa in einer Halbierung der Tageslichtversorgung aller durch die Oberlichter betroffenen Bereiche resultieren.

Aufgrund dieser schlechten Durchlässigkeit für Tageslicht, welche die Tageslichtversorgung der Innenbereiche dramatisch senken würde, wurde letztendlich von einer Verwendung des Okalux-Inlets Abstand genommen.



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus
 Höhe der Bewertungsfläche
 Verwendeter Rechenmodus

Hoher Indirektanteil mit Lichtfarben
 0.75 m
 Bedeckter Himmel nach CIE

Datum, Uhrzeit:

21.06. 12:00 (WOZ 10:40)

Geographische Daten:

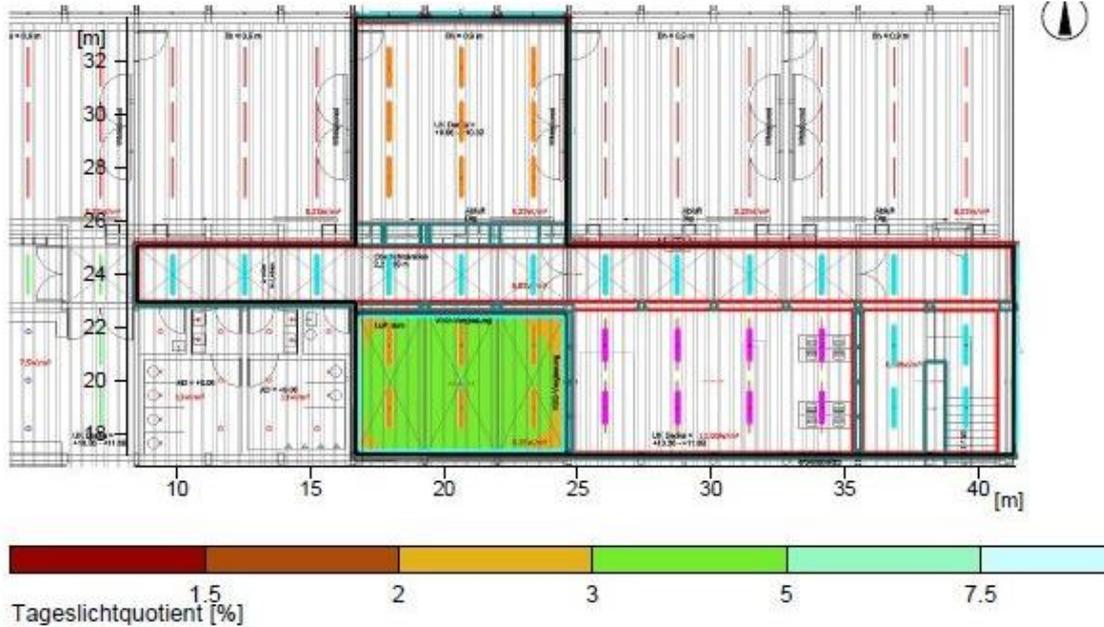
Ort : Diedorf
 Breitengrad : 48.21 °
 Längengrad : 10.48 °
 Nordwinkel : 0.00 °

Tageslichtquotient:

Mittlerer Tageslichtquotient Dm : 1.34

Abbildung 2.2-30 Tageslichtuntersuchung Okalux SIII

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus
 Höhe der Bewertungsfläche
 Verwendeter Rechenmodus

Hoher Indirektanteil mit Lichtfarben
 0.75 m
 Bedeckter Himmel nach CIE

Datum, Uhrzeit:

21.06. 12:00 (WOZ 10:40)

Geographische Daten:

Ort : Diedorf
 Breitengrad : 48.21 °
 Längengrad : 10.48 °
 Nordwinkel : 0.00 °

Tageslichtquotient:

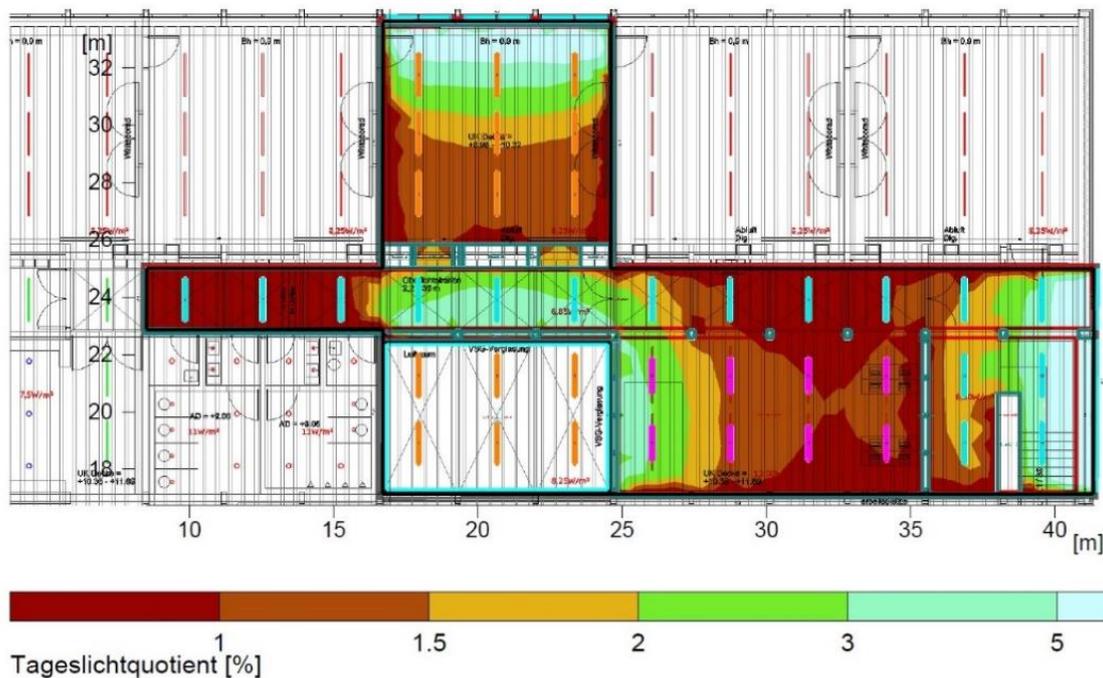
Mittlerer Tageslichtquotient

Dm : 3.44

*Abbildung 2.2-31: Tageslichtuntersuchung Mikroraster
 Die Gegenüberstellung wurde als Entscheidungsgrundlage verwendet. Okalux SIII ist gemäß dieser
 Untersuchung nicht einsetzbar.*

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

In nachfolgender Abbildung ist eine Tageslichtsimulation für das gebaute Ergebnis dargestellt:



*Abbildung 2.2-32: Nachgeführte Tageslichtsimulation nach Ergebnis Produktvergleich
 Die aktualisierten Tageslichtsimulationen der Ausführungsplanung zeigen in etwa das heutige gebaute Ergebnis.*

2.2.7.4 Sonnenschutz der Fassade

Der Untersuchung der Tageslichtautonomien als Kriterium für den Einsatz der Tageslichtsysteme ging eine umfassende Untersuchung von möglichen Tageslicht- und Sonnenschutzsystemen voraus, die für die Grundauswahl der weiterverfolgten Tageslichtsysteme verantwortlich ist.

Es wurden neben der Untersuchung der TQ-Werte und Tageslichtautonomien verschiedene Tageslichtsysteme bezüglich ihres Lichteintrages, G-Wertes, Kosten, der Lichtqualitäten bei verschiedenen Himmelsituationen und Ihrer Anwendbarkeit im architektonischen Kontext gegenübergestellt.

Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung ist die Verwendung von Mikrosonnenschutzraster und des Lamellenraffstores mit innenliegendem Blendschutz.

Entscheidungsweg Tageslichtsysteme

Im Folgenden wird kurz der Entscheidungsweg zu der Wahl der Tageslichtsysteme beschrieben. In diesem Entscheidungsweg wurden die Aspekte Tageslichtlenkung, Nutzerakzeptanz und Ausblickssituation detailliert betrachtet. Zudem wurde während des Entscheidungsprozesses der Nutzer des zukünftigen Gymnasiums befragt und dessen Wünsche in das Konzept mit aufgenommen.

Zunächst wurden den Architekten alle Möglichkeiten von Tageslichtsystemen vorgestellt. Dies beinhaltete Tageslichtsysteme aller verschiedenen Lagen innerhalb der Fassade.

Dabei wurden statische, bewegliche, einheitliche und geteilte Tageslichtsysteme in Erwägung gezogen. Generell gibt es bei dieser Betrachtung zwei wesentliche Randbedingungen, die zwingend einzuhalten sind. Durch die klimatischen Vorgaben muss der Sonnenschutz einen G-Wert von max. 0,1 besitzen. Außerdem soll sich der Sonnenschutz nach Vorgabe des Architekten gefällig in die Architektur und Fassadenstruktur integrieren lassen.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Der Nutzer fordert zudem eine leichte und flexible Bedienbarkeit der Systeme sowie ein einheitliches Erscheinungsbild, welches keine besondere Ablenkung für den Schüler darstellt, und wies ausdrücklich darauf hin, dass es mit Lamellenstrukturen optisch bislang keine Probleme gegeben habe, solange diese ruhig und einheitlich gesteuert würden.

Aus Sicht der Klimaplanung konnten alle ausschließlich innenliegenden Tageslichtsysteme ausgeschlossen werden, da sie allesamt einen zu schlechten G-Wert aufweisen und auch kombiniert mit besonderen Glasarten zu viel Wärmestrahlung in das Gebäude eintreten lassen.

Aus diesem Grund fiel die Wahl auf außenliegende Sonnenschutz- und Tageslichtsysteme.

Aus Sicht des Architekten wurden Kastenfenstersysteme aufgrund ihrer höheren baulichen Anforderungen und Kosten ausgeschlossen. Dies bedeutet, dass alle Systeme, die ausschließlich in ein Kastenfenstersystem oder im Glaszwischenraum funktionieren, ebenfalls ausgeschlossen werden mussten.

Desweiteren konnten auf Wunsch des Architekten und aufgrund der Bauform des Holzbaus mit zum Teil niedrigen Fensterhöhen keine feststehenden Tageslichtsysteme wie z.B. Umlenkprismen, Holographic Optical Elements oder Umlenkklammern benutzt werden.

Diese würden im oberen Teil des Fensters die freie Aussicht blockieren und wurden somit sowohl vom Architekten als auch vom Nutzer als nicht akzeptabel empfunden. Gleiches gilt für alle erdenklichen Formen von Lichtumlenkschwertern oder Kämpferstrukturen. Aufgrund dieser Vorauswahl verringerte sich die Vielzahl der theoretisch möglichen Tageslichtsysteme auf einige wenige, die tatsächlich in diesem Projekt anwendbar sind.

Nach dieser grundlegenden Auswahl wurden während Förderphase 1 folgende Sonnenschutzsysteme näher betrachtet:

- Offenes Fenster (zum Vergleich)
- Außenliegender Lamellenbehang mit 1 Motor + Blendschutzrollo innen mit Motor
- Außenliegender Lamellenbehang mit 2 Motoren
- Außenliegender Sonnenschutzscreen
- Elektrochromes Glas Typ Econtrol
- Lamellen im Scheibenzwischenraum RetroLux Therm Kösterlamelle

Für diese Tageslichtsysteme wurden abgesehen von den im weiteren Bericht beschriebenen Tageslichtautonomien nun dezidiert die Möglichkeiten und Folgen für das Licht im Innenraum bei 4 verschiedenen charakteristischen Tageslichtzuständen untersucht und festgehalten:

- Bedeckter Himmel
- Gemischter Himmel
- Sonniger Himmel – hoher Sonnenstand
- Sonniger Himmel

In dieser Untersuchung wurden die Systeme bezüglich ihrer solaren Tageslichtnutzung / Lichtumlenkung, G-Wertes, Kosten, ihrer ergonomischen Tauglichkeit bei verschiedenen Himmelsituationen und Ihrer Anwendbarkeit im architektonischen Kontext gegenübergestellt.

- Untersuchung Tageslichtsysteme: Sonniger Himmel hoher Sonnenstand
- Untersuchung Tageslichtsysteme: Sonniger Himmel flacher Sonnenstand
- Untersuchung Tageslichtsysteme: bedeckter Himmel
- Untersuchung Tageslichtsysteme: gemischter Himmel

Lösung und gewählte Tageslichtsysteme

Nach Diskussion mit allen beteiligten Fachplanern, dem Architekten und vor allem dem Nutzer, für den stellvertretend Herr StD Günter Manhardt zur Verfügung stand, wurde die Variante Außenliegender Lamellenbehang mit 1 Motor und Blendschutzrollo innen mit Motor als beste Lösung gewählt, die im Folgenden beschrieben ist:

Ein einheitlicher außenliegender Lamellenbehang stellte von allen untersuchten Tageslichtsystemen die beste Lösung dar.

Der G-Wert und Sonnenschutz sind für jeden Sonnenfall gewährleistet. Der Wunsch von Architekt und Nutzer nach einer einfachen und logischen Bedienbarkeit wird sichergestellt.

Dadurch, dass der Behang nicht 2-geteilt ist, kann er durch eine optimierte Steuerung von einer Wetterstation ideal im Winkel über die ganze Fläche dem cut-off Winkel nachgeführt werden, ohne dass eine Verwirrung über die Lamellenstellung im oberen Bereich beim Nutzer entsteht.

Es wurde eine Winkelnachführungsgenauigkeit von $\alpha < 2^\circ$ und eine stufenlose Motorentätigkeit realisiert, welches einen sehr hochqualitativen Standard darstellt.

Der Nutzer wünschte sich in diesem Fall eine logische nachvollziehbare einheitliche Steuerung des gesamten Behanges mit der Möglichkeit einer manuellen Übersteuerungsmöglichkeit für Sonnen- und Blendschutz.

Die Tageslichtumlenkung und solare Nutzung wird bei diesem Behang über die jeweils vorhandene Öffnung des Behanges im cut-off angle möglich gemacht. Die reflektierte Sonnenbestrahlung der oberen Seite der Lamelle wird auf der unteren weißen Seite der darüberliegenden Lamelle weiter in den Raum gegeben. Man kann in diesem Zusammenhang von einem sehr hohen solaren Lichtgewinn sprechen, der überdies eine angenehme, ergonomische Helligkeit auf der Innenseite der Lamellen besitzt.

Eine Besichtigung der FOS / BOS-Erding in Zusammenarbeit mit dem ZAE-Bayern konnte bestätigen, dass der Idealfall weiße Lamellen sind. Werden die Lamellen nur leicht geöffnet, so nimmt der Behang eine so hohe Eigenhelligkeit an, dass dies wesentlich der Beleuchtungsstärke im Raum zugutekommt.

Im Projektverlauf wurde die Oberseite der Lamellen aus Verschmutzungsgründen in Alu-Natur ausgeführt. Dies wirkt sich auf das beschriebene Prinzip nur gering Effizienz mindernd aus. Die Unterseite der Lamelle ist weiterhin weiß.

2.2.7.5 Blendschutz

Der für das oben erläuterte Tageslichtsystem zusätzlich geplante innenliegende Blendschutz wurde vom Nutzer einhellig begrüßt.

In der Entwurfsplanung waren für alle Fenster der Klassenräume auf der Nord- und Südseite des Gebäudes diese innenliegenden Blendschutzscreens vorgesehen. Diese gewährleisten bei niedrigen Sonnenständen und offenem Fenster sowie einem bedeckten Himmel mit hohen Leuchtdichten zu Zeiten klimatischer Unbedenklichkeit eine Möglichkeit zusätzlicher Tageslichtnutzung, da die Lamellen nicht geschlossen werden müssen.

Es wurde vom Architekten aufgrund des Zwangs der Kosteneinsparung vorgeschlagen diesen Blendschutz wegzulassen und durch die Funktion der Lamellen zu ersetzen. Dies ergäbe gemäß Architekt eine beträchtliche Kosteneinsparung.

Es wurde von Lumen3 anhand von Sonnenstandsdiagrammen dargestellt, unter welchen Umständen zu welchen Zeiten ein Ersatz des Blendschutzes durch halb geöffnete Lamellen des außenliegenden Lamellenraffstores theoretisch möglich ist und welche Konsequenzen diese Maßnahme für die Tageslichtversorgung und ergonomische Benutzung der Räume mit sich führt.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Abbildung 2.2-33 zeigt diese Sonnenbahnen für Diedorf. Die Eigenverschattung des Gebäudes ist für die Nord- und Südseite in senkrechten Verschattungsflächen dargestellt.

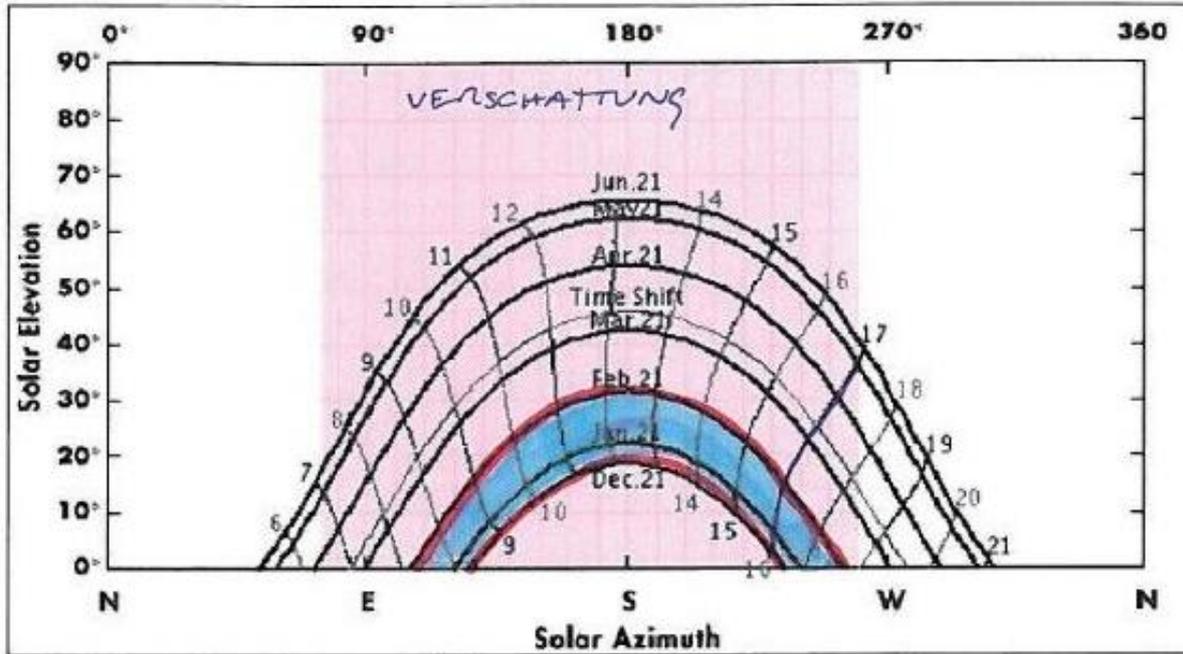
Es soll gezeigt werden, zu welchen Zeiten für wieviele Stunden Sonnenstrahlen nach klimatischem Abschluss in das Gebäude gelangen dürften. Von ca. Februar-November ist eine direkte Sonneneinstrahlung ohnehin verboten. Die Zeiten von ca. November-Februar sind blau eingefärbt.

Das heißt nach Norden werden solche Einstrahlungen überhaupt nicht entstehen. Die blaue Färbung ist von der Eigenverschattung des Gebäudes verdeckt.

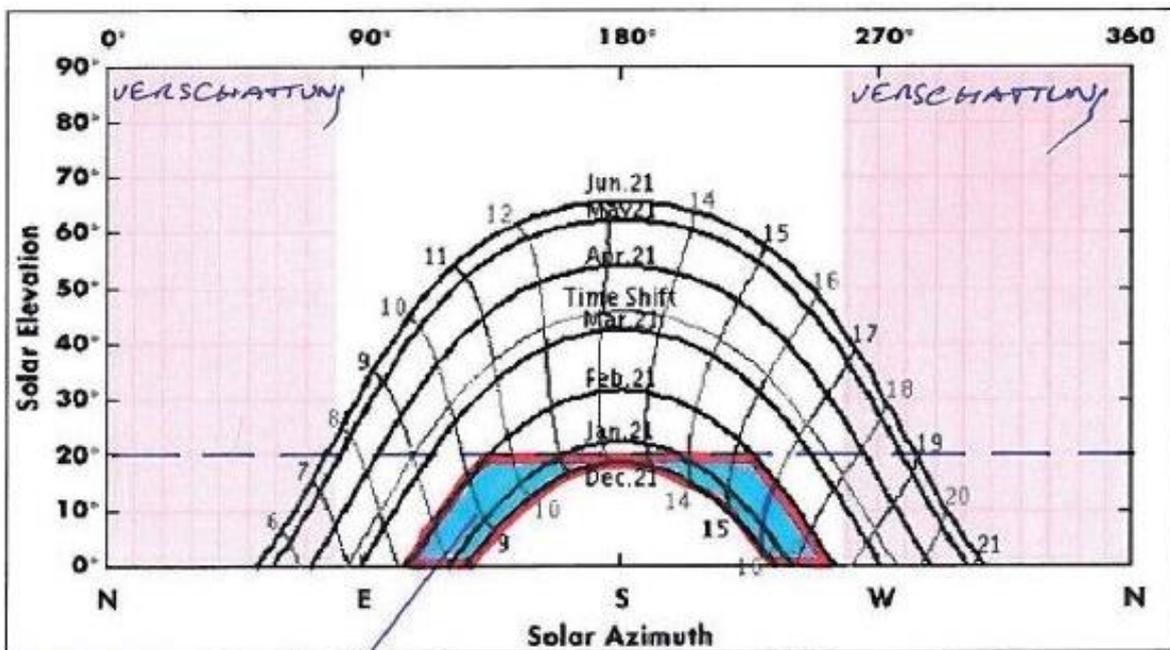
Nach Süden wird die blaue Fläche zusätzlich abgeschnitten, da man ab einem Sonnenhöhenwinkel von ca. 20 Grad auch die Lamellen im cut-off-Winkel als Blendschutz mit Tageslichteintrag benutzen könnte. Die Nachmittagszeiten werden im Schulbetrieb als untergeordnet bewertet.

Somit gilt die funktionelle Einschränkung, die durch den Wegfall des Blendschutzes entsteht, nur für etwa 2,5 Stunden in den Zeiten von ca. November-Februar oder einen sehr hellen Mischhimmel.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard



Norden



SÜDEN

Abbildung 2.2-33 Sonnenstandsdiagramme Relevanz Blendschutz

Die Beurteilung der Relevanz eines Blendschutzes konnte anhand von Sonnenstanddiagrammen mit eingetragenen Nutzungszeiten dargestellt und als Entscheidungsgrundlage aufbereitet werden.

Es wurde erläutert, dass zu klimatisch unbedenklichen Zeiten ohne Blendschutz ein Teil der zusätzlichen Tageslichtnutzung wegfällt. Dies hat auf die grundsätzliche energetische Situation der Kunstlichtergänzung durch Tageslicht aufgrund der geringen Nutzungszeit nur einen geringen Einfluss.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Es wurde außerdem von Lumen3 und dem ZAE Bayern erläutert, dass ergonomische Einbußen bei der Benutzung des Raumes für die beschriebenen Nutzungszeiten zu erwarten seien. Die Nutzungszeiten des Blendschutzes wurden an den Sonnenstandsdiagrammen festgestellt.

Der Bauherr entschied sich, den Blendschutz zunächst nicht zu installieren, für einen eventuellen Fall aber eine Möglichkeit der Nachrüstung vorzusehen und stattdessen vorerst im Falle der Blendung den außenliegenden Lamellenraffstore zu verwenden.

2.2.7.6 Kunstlicht

Im Rahmen des Planungsprozesses wurde der Einsatz von LED und Leuchtstofflampen verglichen. Die Entscheidungsgrundlage von Lumen3 und IBM, welche Lichtqualität, Lichtmenge und Kosten gegenüberstellt, wurde dem Planungsteam zur Verfügung gestellt. Ein Wechsel auf LED-Leuchtmittel in den Klassenräumen wurde in Simulationen bestätigt.

Der Einsatz von LED-Leuchtmitteln für die Nutzung in den Klassenräumen und LernLandSchaften wurde dahingehend entschieden, dass derjenige Teil der Langfeldleuchten, welcher sich in den Klassenräumen befindet, in LED ausgeführt wurde. Eine Entscheidungsgrundlage hierfür bot die in Abbildung 2.2-34 dargestellte Simulation.

Die Marktplätze und Korridore müssen aufgrund ihrer Höhe wie bisher geplant in T5-Leuchtstofflampentechnologie beleuchtet werden.

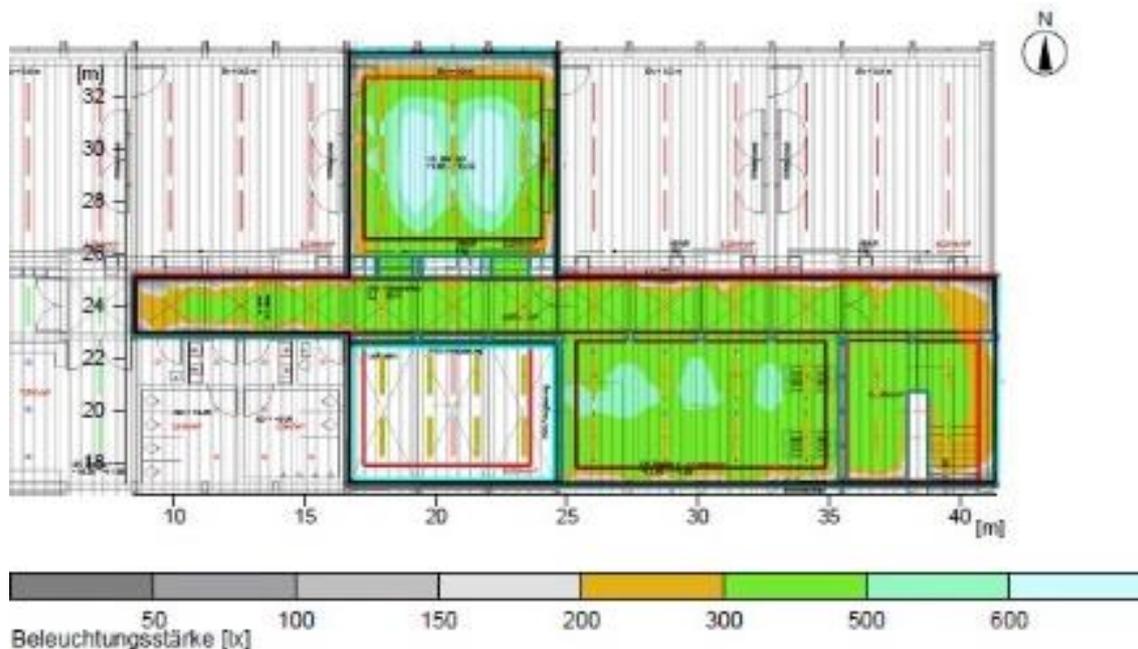


Abbildung 2.2-34: Kunstlichtsimulation LED für Klassenräume und Marktplatz

Diese Simulationen zeigten, dass die LED-Spiegelrasterleuchten, welche anstelle der geplanten T5-Leuchtstofflampenleuchten eingesetzt werden, nur in den Klassenräumen verwendet werden können

2.2.7.7 Außenanlagen

Das Lichtkonzept Außenbereiche realisiert für die Zuwegung, Parkplätze und Fahrradständerzonen eine normgerechte Beleuchtung, welche durch hocheffiziente Leuchten mit LED-Leuchtmitteln und Reflektor-Linsentechnologie umgesetzt wurde.

Diese Leuchten verfügen generell über eine Ausblendung in dem sogenannten „cut-off“ angle, der eine Lichtverschmutzung in ungewünschte Richtungen verhindert.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Das Beleuchtungskonzept vermeidet bewusst dekorative Beleuchtungen der Fassade oder einzelner Elementen im Landschaftsbereich, damit sich das Gebäude möglichst harmonisch in den Naturbereich seiner unbeleuchteten Umgebung einfügen kann. Die einzigen zusätzlichen Anhebungen der Beleuchtungsstärke finden am Haupteingang statt, um einen großzügigen Eindruck des Eingangsbereiches zu schaffen. Diese Zusatzbeleuchtung kann ausschließlich bei Bedarf zugeschaltet werden.

Eine Kunstlichtsimulation für den Außenbereich ist in Abbildung 2.2-35 dargestellt. Detaillierte Daten zu den dort eingesetzten LED-Mastleuchten sind Anhang 20 zu entnehmen.

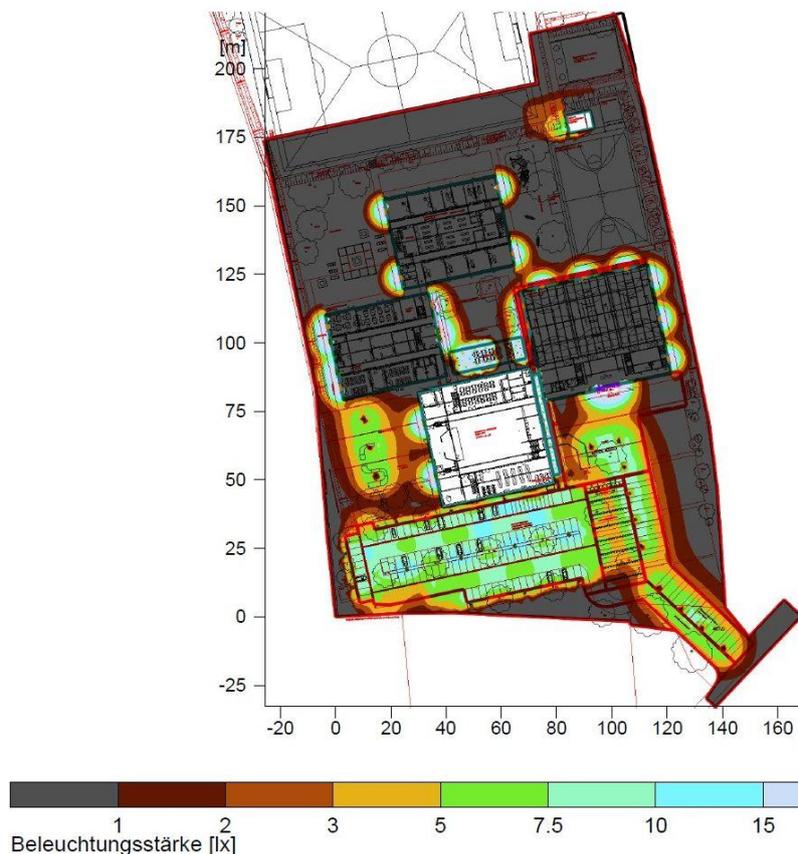


Abbildung 2.2-35: Kunstlichtsimulation des Außenbereich

2.2.7.8 Fazit und Ausblick

Lichtplanung offener LernLandSchaften

Das grundsätzliche Ziel der Anpassung des Tages- und Kunstlichtsystems an die offenen LernLandSchaften wurde erreicht.

Der Holzbau ist aus Sicht der Tageslichtplanung zum jetzigen Zeitpunkt als nicht restlos optimal zu bewerten. Den größten Nachteil stellt in diesem Zusammenhang die Sparrenlage dar, die die Tageslichtversorgung um etwa 40% abschwächt.

Aus Sicht der Kunstlichtplanung bringt der Holzbau keine besonderen Schwierigkeiten mit sich.

Obwohl der Wegfall der Warmtonbeleuchtung einen großen Funktionsunterschied bedeutet, wurde die Entscheidung für die Einsparung dieser Maßnahme dennoch korrekt abgewogen und begründet.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Nach wie vor manifestiert die bestehende intelligent gesteuerte Kunstlichtanlage ein funktionsgerichtetes System, welches mit Fixwertdimmung, Tageslichtergänzung und Anwesenheitssteuerung inklusive Overridefunktionen ein Maximum an Bedienungsmöglichkeiten erfüllt ohne in zu komplizierte Bedienungsschwierigkeiten zu verfallen.

Die Diskussionen, welche an dieser Stelle über die Bedienungsmöglichkeiten und Strategien der Mediensäule geführt und positiv abgeschlossen wurden, waren von entscheidender Wichtigkeit um dieses positive Ergebnis zu erreichen.

Ergebnisse Tageslicht

Es ist zu erkennen dass sich die Tageslichtversorgung des realisierten Gebäudes grundsätzlich nicht gegenüber der Planung geändert hat.

Die größten Teile der Energiesubstitution durch Tageslicht befinden sich in den fensterversorgten Bereichen. Grundsätzlich sind vor allem die Klassenräume mit Fensterbezug als gut tagesbelichtet zu beschreiben. Dies gilt auch für die Treppenhäuser und an Fenster angrenzende Bereiche.

Die horizontalen Oberlichter leisten hauptsächlich einen wahrnehmungspsychologischen Beitrag. Die Tageslichtautonomien sind ausschließlich im zentralen Lichthof so hoch, dass Kunstlicht ersetzt werden kann. In Aula und Sporthalle ist dieser positive wahrnehmungspsychologischen Beitrag dennoch in jedem Fall zu begrüßen, auch wenn die Kunstlichtversorgung voraussichtlich nicht in großen Zeiträumen dadurch abgeschaltet werden kann. Die Lebendigkeit des Tageslichts wird spürbar. Auch der geringe TQ-Wert von 1% äußert sich bei hohen Außenhelligkeiten in sichtbaren Helligkeiten.

Die Gesamtsituation ist auf der einen Seite durch die Erhöhung des Transmissionsgrades der Sparrenlage verbessert worden.

Auf der anderen Seite wirken sich die Entscheidungen verursacht durch die Zielkonflikte negativ auf die Tageslichtversorgungsöffnungen durch horizontale Oberlichtflächen aus. Durch diese Veränderungen wurde die Tageslichtversorgung der innenliegenden Bereiche vermindert. Dieser Nachteil wurde dem höheren Zweck der Kosteneinsparung untergeordnet.

So wurde z.B. die Tageslichtversorgung des bisher attraktivsten Bereiches Marktplatz OG2 im Zuge der Einsparungen wesentlich reduziert. Die Sporthalle und die Aula verfügen über unverändert geringe Tageslichtversorgungen, welche sich mit 1-1,5% zu entsprechend geringen Tageslichtautonomien umrechnen lassen. Jedoch sind die wahrnehmungspsychologischen Effekte der Tagesbelichtung durch die horizontalen Oberlichter deutlich im realisierten Gebäude spürbar und wurden allseitig als äußerst positiv für den Aula- und Sporthallenbereich bewertet.

Die Verwendung des Mikrosonnenschutzrasters ist von grundlegender Wichtigkeit für die klimatisch akzeptable Tagesbelichtung der innenliegenden Bereiche und wurde vollumfänglich in den ersten Behagungen bestätigt.

Zusammenfassendes Fazit

Grundsätzlich wurden für Tages- und Kunstlichtplanung die angestrebten Ziele erreicht.

Die Kompromisse, die durch die Zielkonflikte entstanden, wurden so gefunden, dass keine Einschränkungen von grundsätzlichen Zielsetzungen entstanden. Dennoch wäre im Bereich der Tageslichtversorgung eine weitere Optimierung wünschenswert.

Es ist sinnfälliger, dass ein Gebäude dessen Dachstruktur hauptsächlich von einer großflächigen PV-Anlage belegt ist, nur wenige Öffnungsmöglichkeiten für horizontale Dachoberlichter besitzt. In diesem Zusammenhang wurden alle Möglichkeiten ausgeschöpft und das Ziel der Tageslichtversorgung der inneren Bereiche des Gebäudes wurde durch die Ausbildung der Oberlichtöffnungen grundsätzlich erreicht.

2.2 Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Dennoch wären vor allem im Aulabereich weitere zentrale gelegene Öffnungsflächen für die Tageslichtversorgung von Vorteil gewesen.

Die mehrfach erwähnte Ausbildung der Sparrenlage, welche gestalterisch unabdingbar ist, ist ebenfalls ein Punkt, an dem ein großes Potential besteht, da eine gestalterische Schließung der Oberlichter in jedem Fall physikalisch kontraproduktiv sein muss.

Der Verzicht auf eine luxuriösere Ausführung der zusätzlichen Lichtfarben erweist sich im Nachhinein als eine korrekte Maßnahme.

Der Planungsprozess bezüglich der Kunst- und Tageslichtplanung ist von einer sehr positiven integralen Zusammenarbeit der Fachplaner und des Architekten geprägt. Die Vorteile einer interdisziplinären Kommunikation der „kurzen Wege“ wurden voll ausgeschöpft und sind zu empfehlen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Die Zunahme der Anforderung beim Neubau von Schulgebäuden erfordert heute die Zusammenarbeit aller Beteiligten: Auftraggeber, Architekten, Fachplaner, Experten. Diese Form der Gebäudeplanung bezeichnet man als integrale Planung.

2.3.1 Lebenszyklusanalyse

Bei dieser Analyse vergleicht man das geplante Gebäude mit virtuellen Objekten, die dieselbe Nutzung haben. Kubatur, Raumprogramm, Energiestandards, Bauweisen und dadurch beeinflusste Komfortaspekte können abweichen. Der Vergleich erfolgt über Kennwerte, die meist flächen- oder kubaturbasiert sind. Die virtuellen Objekte vertreten z.B. eine Standardlösung als Referenzvariante.

Im Planungs- und Entscheidungsprozess werden verschiedene Planungsalternativen der Architekten und Fachingenieure in der Regel ausschließlich unter dem Aspekt der baurechtlichen Zulässigkeit und der Herstellungsmehrkosten behandelt. Dies führt in den meisten Fällen nur zur Fortschreibung eines bekannten Standards ohne Innovationsaspekte.

2.3.1.1 Besonderheiten Forschungsprojekt

Bei der Planung des Gymnasiums Schmuttertal sollten deshalb die verschiedenen Lösungsvorschläge unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit gegeneinander abgewogen und bewertet werden, um die vorteilhafteste Lösung zu ermitteln. Für diesen Prozess bedient man sich unter anderem der Lebenszyklusanalyse. Diese umfasst die drei Themenfelder der Nachhaltigkeit:

- Ökonomie, hier Herstellungs- und Nutzungskosten
- Ökologie, hier Umweltbilanz für die Erstellung, des Betriebes und der Beseitigung
- Soziales, hier der Komfort und die Gesundheit während des Gebäudebetriebs

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Anforderungen umgesetzt:

- Die Berechnung der Lebenszykluskosten und die Wirtschaftlichkeitsberechnung
- Die Berechnung der Ökobilanz über den Lebenszyklus
- Die Auswahl von Bauprodukten im Sinne eines schadstoffreduzierten Konzepts

Mit der Anwendung dieser Planungsinstrumente konnte sichergestellt werden, dass nachhaltige Entscheidungen in Hinblick auf innovative, umweltfreundliche und qualitativ hochwertige Baustandards und technische Lösungen getroffen wurden.

Arbeitsansatz

Folgende Vorgehensweise für den Variantenvergleich wurde zugrunde gelegt. Die beteiligten Planer legten jeweils für ihr Arbeitsfeld die in dem jeweiligen Konzept enthaltenen Komponenten fest und fügten qualitative (z.B. U-Wert) oder quantitative Informationen (z.B. Mehrkosten) dazu. Die Zusammenstellung ist Anhang 21 zu entnehmen.

Alternative A-Standard: Standardschule mit Standardraumprogramm erfüllt in energetischer Sicht die Anforderung der EnEV 2009. Die Bauweise beruht auf einer mineralischen Primärkonstruktion in Mauerwerksbauweise mit Betondecken und Holzdachstuhl. Die Schule wird nur im Bereich der Aula und der Turnhalle mechanisch belüftet.

Alternative B-Passivhaus: Schule mit demselben Raumprogramm und energetischem Konzept auf Passivhausniveau. Die Bauweise beruht auf einer mineralischen Primärkonstruktion in Mauerwerksbauweise mit Betondecken und Holzdachstuhl. Die Hüllflächen erreichen sehr niedrige U-Werte. Die Schule wird vollständig mechanisch belüftet. Zusätzlich wird eine PV-Anlage auf allen Dächern installiert.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Alternative C Plus-Energie: Schule mit demselben Raumprogramm und energetischem Konzept auf Passivhausniveau. Die Bauweise beruht auf einer hölzernen Primärkonstruktion mit Holzaußenwand und einem hohen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Das Gebäude soll weitgehend vorgefertigt werden. Die Hüllflächen erreichen sehr niedrige U-Werte. Die Schule wird vollständig mechanisch belüftet und, falls die Speichermasse nicht ausreicht, zusätzlich gekühlt. Ein innovatives Belichtungskonzept versucht den Einsatz von Beleuchtungsstrom zu reduzieren. Durch den Einsatz von großen Photovoltaikflächen soll ein Plusenergiekonzept entwickelt werden. Zusätzlich wird das Raumprogramm für ein modernes pädagogisches Konzept der Lernlandschaften verändert.

Während der Planungsphase wurde eine vierte Kostenvariante eingeführt. Die Plusenergievariante der Schule wurde aufgeteilt in eine Variante C mit den energieeffizienten Maßnahmen und eine Variante D mit den zusätzlichen Komfort- und Pädagogikmaßnahmen. Dies war notwendig, um den Entscheidungsträgern (Kreisrat) den Unterschied zwischen Investitionen mit Kosteneinsparungseffekten und Investitionen mit Komfortcharakter deutlich zu machen. Dabei ist zu betonen, dass eine andere Lernlandschaft auch Vorteile entwickelt oder eine bessere Schalldämmung die Verständigungsqualität Lehrer-Schüler ebenso verbessert, wie sie die Hörgesundheit des Lehrers langfristig schützt. Diese Effekte lassen sich aber mit einfachen Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht sofort darstellen.

Durch diesen Vergleich war es möglich, die forschungsbedingten Ziele und Besonderheiten des DBU-Projektes und die damit einhergehenden Kosten gegenüber den anderen Varianten aufzuzeigen und zu bewerten.

2.3.1.2 Flächenbedarf

Die drei Varianten weisen einen unterschiedlichen Flächenbedarf auf, der durch das unterschiedliche pädagogische Konzept, aber auch durch die Bauweise bedingt ist.

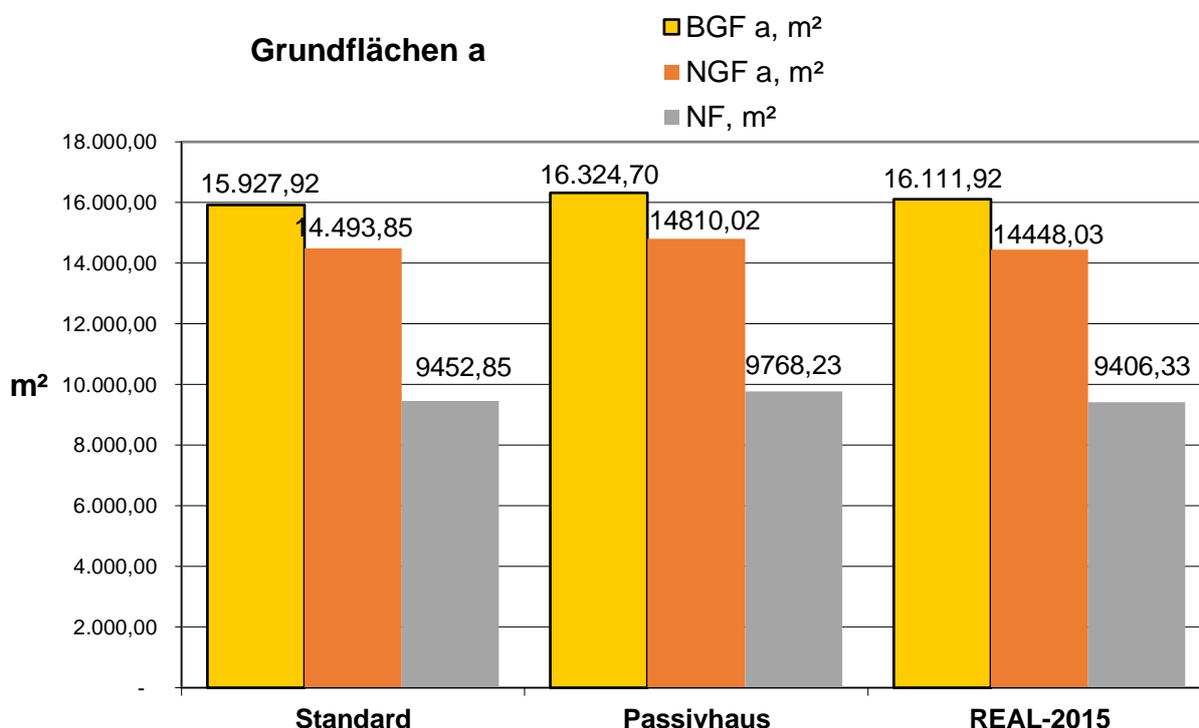


Abbildung 2.3-1: Übersicht der Grundflächen a in m²

Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Flächenansprüche der Varianten-A-B-C

Die Variante C fällt etwas kleiner aus, als die Variante B, da das Flächenkonzept mit den besonderen Lernlandschaften durch die Marktplatzbereiche zu weniger Klassenraumflächen führt.

Die Flächenwerte bilden die Basis für die Kennwerte:

- Bruttogrundfläche (BGF) ist die Bezugsgröße für den Kennwert der Lebenszykluskosten
- Nettogrundfläche (NGF), in Zukunft als Nettoraumfläche bezeichnet, ist die Bezugsgröße für die Ökobilanz

2.3.2 Lebenszykluskosten und Barwert

Die Lebenszykluskostenberechnung besteht in einer Erweiterung der Kostenbetrachtung über den angenommenen Nutzungszeitraum von 50 Jahren. Für die Lebenszykluskostenberechnung der diskutierten Planungsalternativen wird die Berechnung der Herstellungskosten nach DIN 276 erweitert durch die zusätzlichen Phasen der Lebenszykluskostenrechnung mit den entsprechenden Kostenstellen nach DIN 18960 und die abschließende Wirtschaftlichkeit gegebenfalls unter Einbezug qualitativer Aspekte dargestellt.

Basis für die Lebenszykluskostenberechnung sind

- die Herstellungs- oder Baukosten.

Diese werden ergänzt durch die verschiedenen Kostenstellen der Nutzungskosten nach DIN 18960:

- Ver- und Entsorgung
- Reinigung
- Wartung
- Instandsetzung

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

2.3.2.1 Baukosten

Die Baukosten wurden für alle oben beschriebenen Varianten durch eine bauteilbasierte Modellierung in der integralen Planungssoftware auf der Basis der sirAdos-Baudatenbank ermittelt. Zu den verschiedenen Planungsständen wurden die Modellierungen 2012, 2013 und 2014 nachgeführt.

Im Planungsverlauf wurden die sogenannten „forschungsbedingten“ Kostenpositionen der DBU-Variante von allen Planungsbeteiligten aktualisiert und konkretisiert. Dabei hat sich gezeigt, dass zur weiteren Beurteilung eine Aufteilung der Kosten in die wesentlichen Forschungsthemen sinnvoll ist, insbesondere auch, um die Effizienz des Plusenergiestands gegenüber dem Passivhausstandard und die Kosteneffizienz des Holzbaus bewerten zu können. Dadurch konnte auch der Unterschied zwischen Investitionen mit Kosteneinsparungseffekten und Investitionen mit Komfortcharakter aufgezeigt werden. Aufgeteilt wurden die Kosten daher wie folgt:

- Mehrkosten Plusenergie
- Mehrkosten Holzbau
- Mehrkosten Pädagogische Architektur und
- Mehrkosten Komfortziele

Diese Forschungskosten und deren Aufteilung sind in Tabelle 3.3-1 dargestellt. In den Bemerkungen dieser Übersicht sind die einzelnen Kostenpositionen näher erläutert.

Die anteiligen Baukosten (bezogen auf KG 300+400) für die forschungsbedingten baulichen Maßnahmen belaufen sich gemäß der Übersicht auf ca. 7,5% gegenüber einer vergleichbaren Schule im Passivhausstandard, die in Massivbauweise und ohne offene Lernlandschaften umgesetzt wird. Hierbei sind auch bereits Einsparungen durch die Vorteile der Holzbauweise (hoher Vorfertigungsgrad etc.) berücksichtigt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Die festgestellten Baukosten (KG 300 und 400) wurden mit Kostenstand 08.03.2015 (Kostenfeststellung) nachrichtlich vom Planungsbüro Kaufmann übernommen. Eine wesentliche Vorbedingung für eine realistische Kostenannahme der virtuellen Gebäudelösungen Standard und Passivhaus besteht in der Berücksichtigung projektspezifischer Anpassungen z.B. im Brandschutzkonzept oder in der Lüftungsanlage. Diese wurden für die jeweiligen alternativen Planungslösungen ebenfalls in allen Einzelheiten nachvollzogen. Für die Modellierung 2014 wurde dies im Detail durchgeführt, die weiteren Gebäudeanpassungen durch Auflagen und Änderung der Anforderungen im Planungsprozess und Kostenentwicklungen wurden für alle Gebäudemodelle nur noch anhand den Änderungen der Kostenverfolgung nachverfolgt und fortgeschrieben.

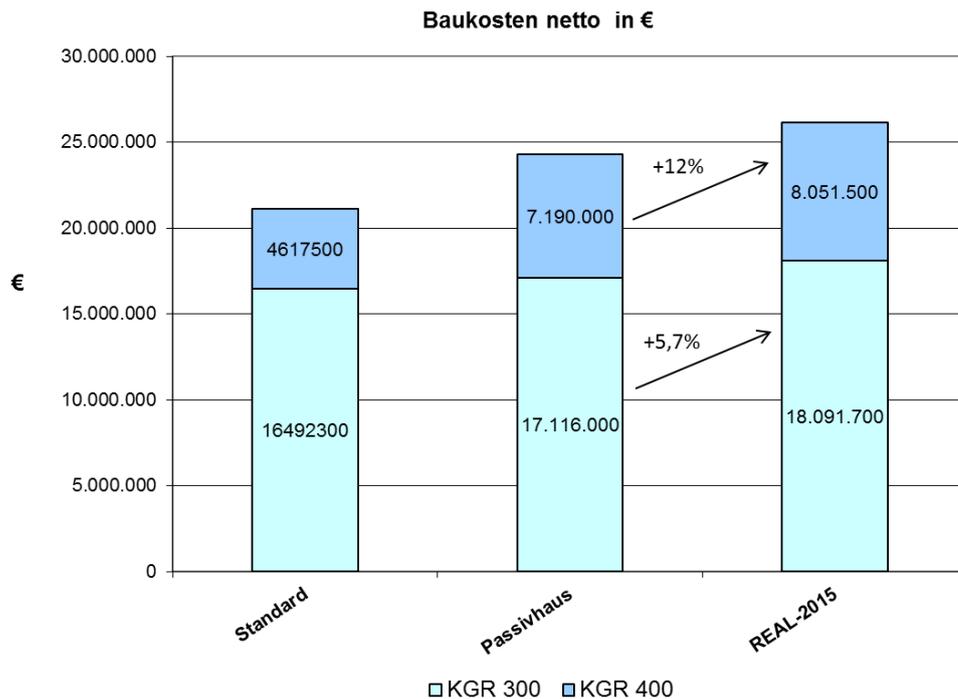


Abbildung 2.3-2: Baukostenübersicht KGR 300-400 Variante A-C netto.

Das Bild zeigt die ermittelten Herstellungskosten nach DIN 276 für zwei Varianten und die festgestellten Kosten für das realisierte Gebäude.

Als Vergleichskennwert für die Baukosten wurden die Baukosten pro m² Bruttogrundfläche ermittelt.

Baukosten netto € pro m² BGF

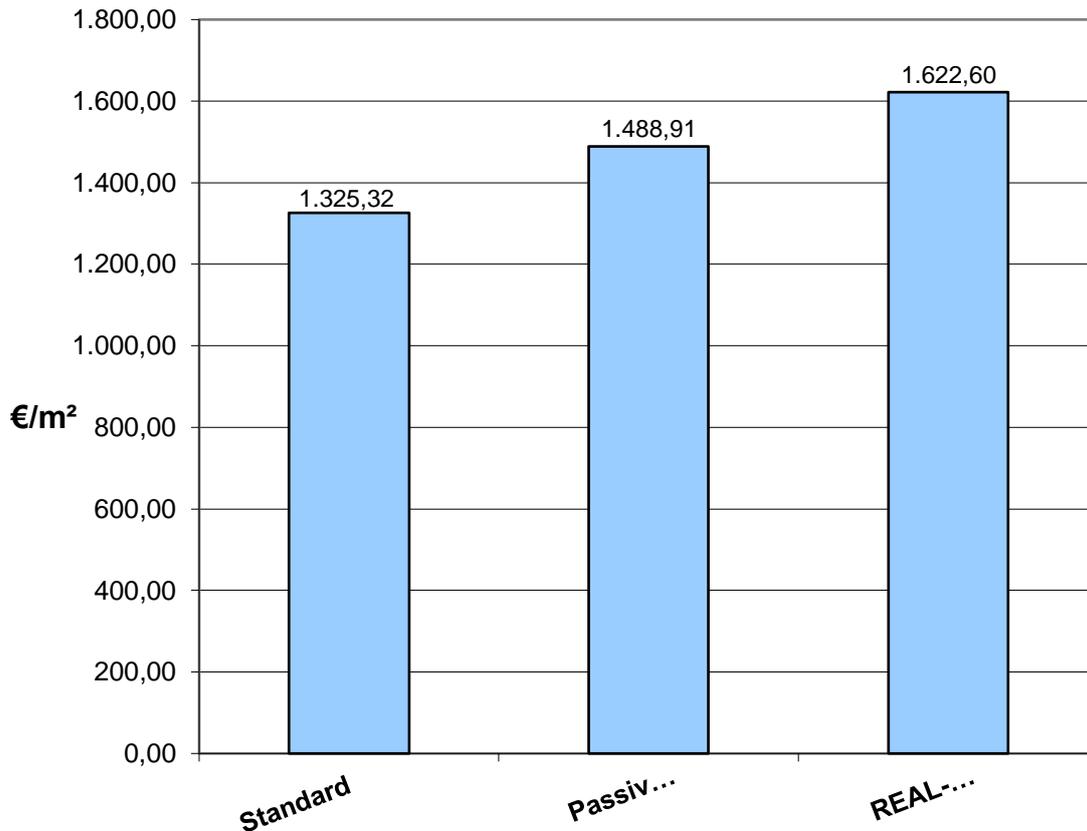


Abbildung 2.3-3: Herstellungskosten netto bezogen auf den m²

Das Bild zeigt die ermittelten Herstellungskosten bezogen auf den m² BGF

Fazit

Die Baukosten des Forschungsprojektes liegen in den Kostengruppen 300 und 400 um ca. 23.8% über den Kosten einer Standardschule (EnEV-Standard ohne Lüftung; mineralische Bauweise, Flurschule). Ausschlaggebend sind hierbei die deutlich höheren Technikkosten (Komplettlüftung, Photovoltaikanlage), die zu einem höheren Lernkomfort führen und die Schule für den EU-Standard 2019 (Plus-Energie) tauglich machen. Vergleicht man die Baukosten mit einer vergleichbaren Standardschule im Passivhausstandard steigen die Baukosten nur um ca. 7,5% an. Hier zeigen sich die monetären Vorteile der Holzbauweise mit dem hohen Vorfertigungsgrad, die die zusätzlichen Kosten im Bereich neue Lernkonzepte und Schadstoffminimierung zumindest teilweise ausgleichen.

2.3.2.2 Nutzungskosten

Während des Nutzungszeitraums wird in dem Gebäude eine Fülle an Dienstleistungen ausgeführt, die jeweils mit weiteren Kosten verbunden sind. Der Rückbau wird bisher im Rahmen der Zertifizierung ausdrücklich nicht erfasst und deshalb auch hier nicht berücksichtigt. Die durchgeführten Berechnungen haben folgende externen Parameter berücksichtigt:

- Kostenabrechnung nach Angabe der Architekten
- Energieberechnung nach Simulation für drei energetische Varianten
- PV- Kosten und Ertragsrechnung

Die Ver- und Entsorgungskosten ergeben sich aus dem berechneten Endenergiebedarf für die drei Varianten. Auch im Endenergiebedarf zeigt sich noch der Vorteil der Plusenergieschule. Dieser Vorteil

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

wird bei dem Punkt „Wirtschaftlichkeit Energiestandard“ dargestellt und erläutert. Hier wird der Vorteil um die Photovoltaikanlage und den Aspekt des Lebenszyklusgedankens (langfristige Betrachtung) ergänzt. Einen erheblichen Einfluss auf die Medienkosten hat die Abschätzung des Eigenbedarfs an elektrischem Strom aus der PV-Anlage. Die anfangs angesetzte hohe Abnahme wurde auf der Basis einer Simulationsrechnung auf einen Eigenbedarf von ca. 35% beschränkt. Die Aufteilungsquote ist von besonderer Bedeutung, da der Eigenverbrauch den teuren externen Strombezug einspart. Die Netzeinspeisung wird zum jetzigen Zeitpunkt um 50% weniger als der Einkaufspreis vergütet (siehe Anhang 22).

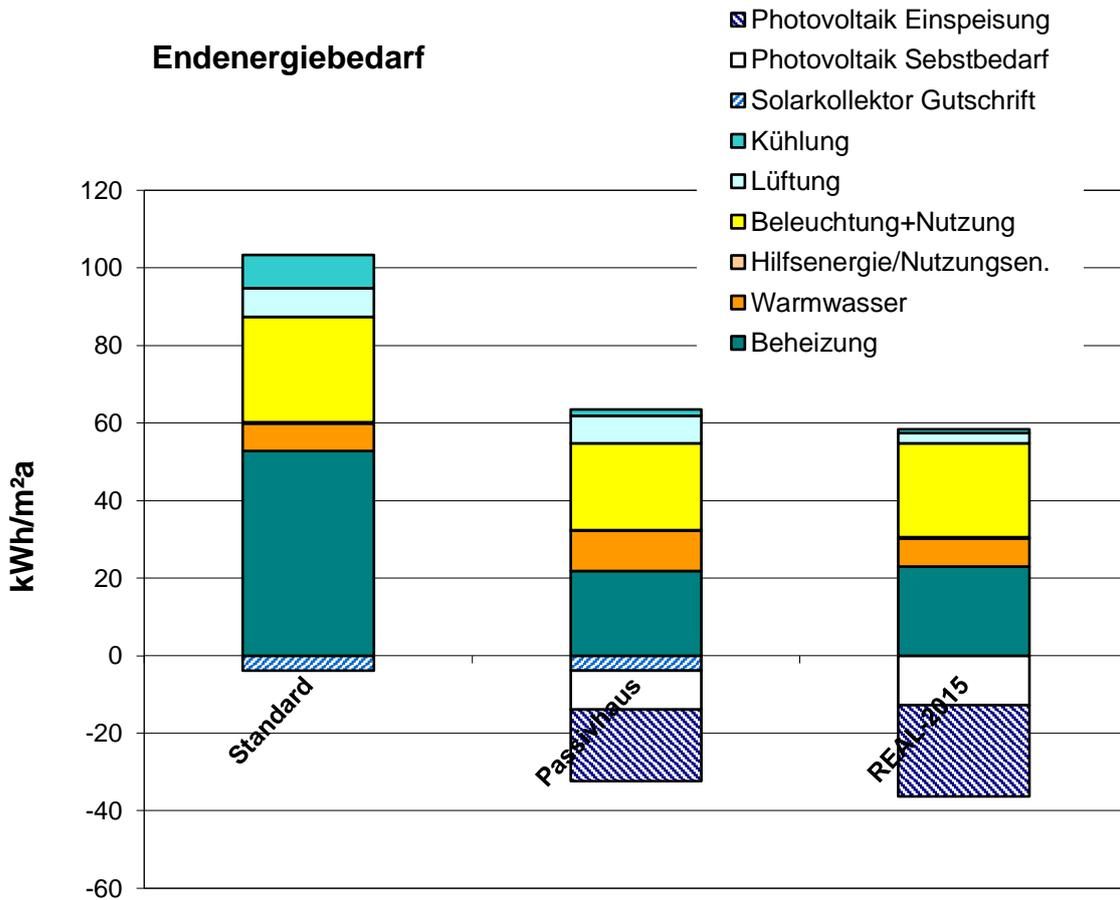


Abbildung 2.3-4: Endenergiebedarf in kWh/a bezogen auf den m² Energiebezugsfläche

Das Bild zeigt den berechneten Endenergiebedarf aufgeteilt auf die verschiedenen Bedarfsquellen. Als negative Werte wird die Stromerzeugung der PV-Anlage dargestellt, aufgeteilt nach Eigenverbrauch und Netzeinspeisung.

Der Wasserbedarf wurde für alle Varianten gleich angenommen.

Die Reinigungskosten wurden für „normale Verschmutzung“ ermittelt. Berücksichtigt werden alle Boden-, Fenster- und Türflächen mit entsprechenden Zyklen. Die tatsächlichen Reinigungskosten können durch zusätzliche Aufwendungen für Sporthallenbetrieb außerhalb der Schulsportzeiten und andere Besonderheiten der Gebäudenutzung höher ausfallen. Die tatsächliche Vertragssumme für Reinigungsarbeiten wurde nicht berücksichtigt.

Die Wartungskosten orientieren sich an der technischen Ausstattung der Schule. Die Wartungszyklen entsprechen entweder den Empfehlungen der Hersteller oder berücksichtigen gesetzliche Vorgaben

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

aufgrund von Verordnungen (z.B. Heizungswartung). Weiterhin berücksichtigt werden die Empfehlungen der AMEV [AMEV06]. In LEGEP werden elementspezifische Wartungszyklen verwendet. Abgeschlossene Wartungsverträge wurden nicht berücksichtigt.

Die Instandsetzungskosten sind entscheidend abhängig von den angesetzten Zyklen für die Ersatzarbeiten. 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 [VDI03] Bezug genommen. In LEGEP werden diese Vorgaben in besonders begründeten Fällen durch Änderung des Zyklus verändert.

Die Kosten über einen bestimmten Betrachtungszeitraum können kumuliert werden. Dabei besteht die Möglichkeit ein statisches Berechnungsverfahren anzuwenden, bei dem alle Kostenarten fortlaufend entsprechend ihres durch den Zyklus festgelegten Auftretens addiert werden. Dies ist ein stark vereinfachtes Modell, das vor allem die Verzinsung des eingesetzten Kapitals unberücksichtigt lässt. Die in der folgenden Abbildung dargestellten Folgekosten beziehen sich auf eine statische Berechnung. Preissteigerungen wurden weder für die Serviceleistungen noch für die Energiekosten berücksichtigt.

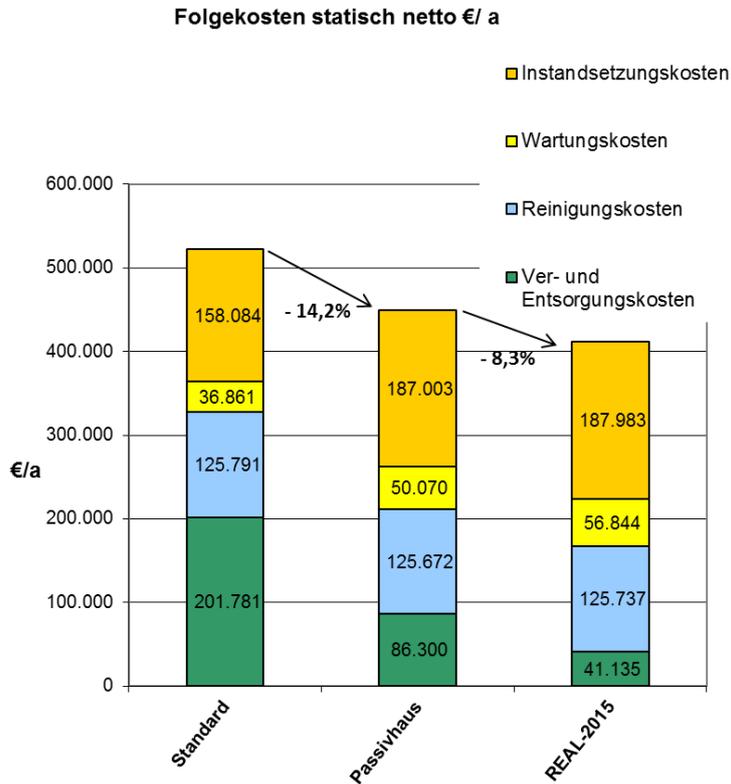


Abbildung 2.3-5: Folgekosten statisch in €/a

Das Bild zeigt bei der Variante Standard die hohen Energiekosten, die bis auf ein Fünftel des Werts reduziert werden können. In der PlusenergieLösung wirkt sich der Eigenbedarf an der PV-Stromerzeugung aus. Es werden 35% an Eigenstromversorgung angesetzt.

Die jährlichen Nutzungskosten betragen bei der Standardschule 522.000 €, bei der Passivhauslösung 450.000 €, bei der Plus-Energielösung 412.000 €. Die hohen Einsparungen bei den Versorgungskosten werden teilweise durch höhere Wartungs- und Instandsetzungskosten kompensiert. Die PlusenergieLösung weist um 21% niedrigere Kosten auf als die Standardvariante.

Bezogen auf den m² BGF weist die Plus-Energievariante die niedrigsten Folgekosten auf.

Folgekosten statisch netto €/ m² BGF a

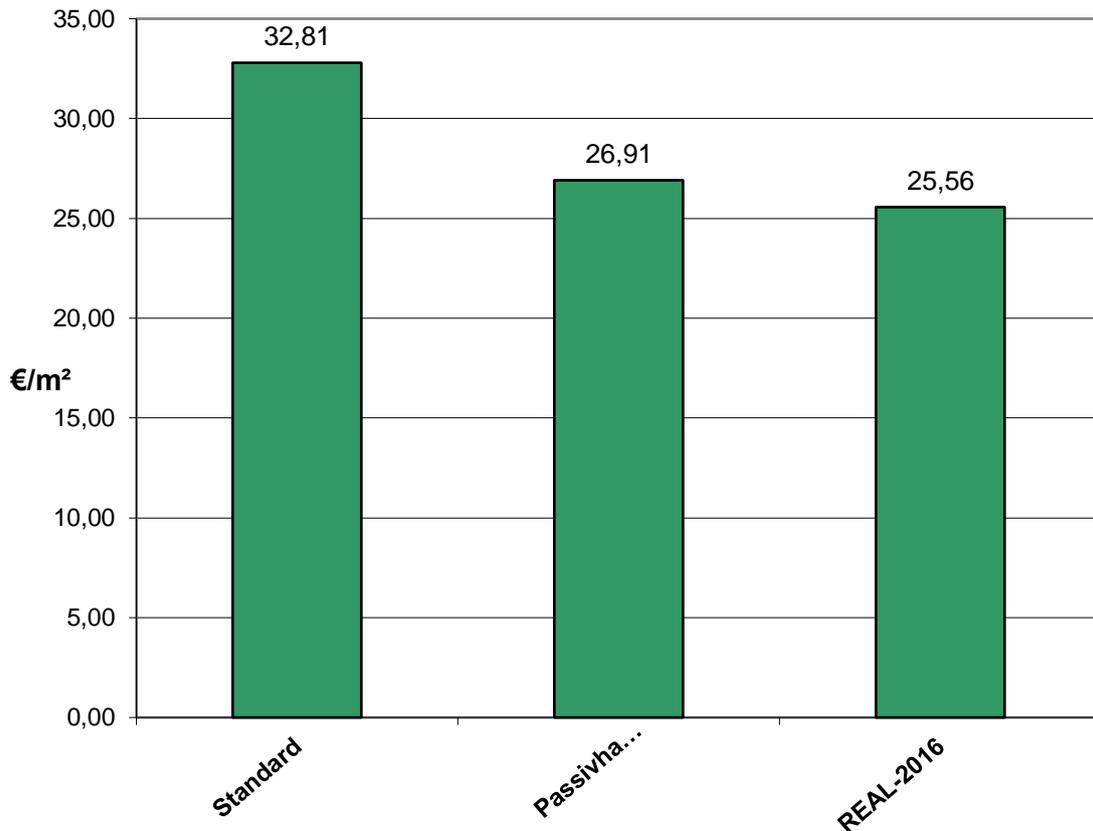


Abbildung 2.3-6: Folgekosten statisch in €/a bezogen auf den m² BGF

Das Bild zeigt die Folgekosten im Jahr bezogen auf den m² BGF auf.

2.3.2.3 Nutzungskosten dynamisiert und Barwertermittlung

Um die wirtschaftliche Dynamik abzubilden werden Preissteigerungsfaktoren festgelegt, die Erfahrungswerte vergangener wirtschaftlicher Entwicklung zur Grundlage haben. Es muss wegen der zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftretenden Mittelabflüsse ein dynamisches Verfahren angewendet werden. Unterschiedliche Mittelzu- oder -abflüsse erschweren einen Vergleich verschiedener Gebäude. Ziel ist die Vergleichbarkeit von Gebäuden unterschiedlicher Ausführung (Herstellungskosten) und unterschiedlichem Mittelabfluss (Folgekosten) über einen bestimmten Betrachtungszeitraum. Die hierfür angewandte Methode heißt „Kapitalwertmethode oder Barwertmethode“. Die folgenden Abbildungen zeigen in kumulierter Darstellung die Kostenentwicklung unter der Annahme festgelegter Preissteigerungs- und Abzinsungswerte:

- Instandsetzungskosten: +2 %/a
- Reinigungskosten: +2 %/a
- Wartungskosten: +2 %/a
- Energiekosten + 4 %/a
- Wasserkosten: +2 %/a
- Barwertzins: + 3,5 %/a

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Folgekosten Dynamisch abgezinst netto €/a

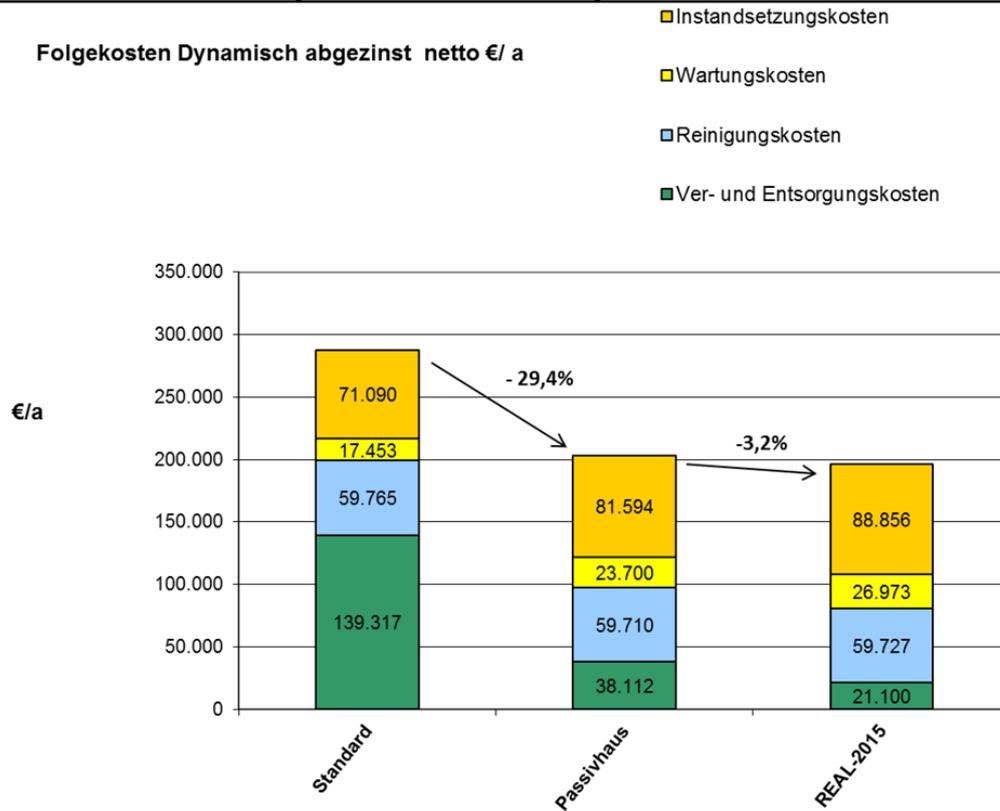


Abbildung 2.3-7: Folgekosten dynamisiert, und abgezinst in €/a

Das Bild zeigt im Vergleich zur statischen Berechnung, den Einfluß der Preissteigerung bei den Energiekosten der Standardvariante und die Reduzierung des Anteils der Instandsetzung durch den Abzinsungseffekt bei Investitionen, die später im Lebenszyklus auftreten.

Die dynamisierten und abgezinsten Folgekosten verdeutlichen die Unterschiede zwischen den Lösungen. Die Plusenergielösung ist um knapp 32 % günstiger als die Standardschule. Dies liegt an den dauerhaft hohen Energiekosten der Standardschule und der geringeren Wertigkeit der wesentlich später einsetzenden höheren Instandsetzungskosten bei dem Plusenergie-Gebäude. Die Instandsetzungs- und Wartungskosten sind bei der Plusenergievariante am höchsten wegen der größeren PV-Anlage und der aufwändigeren technischen Anlagen.

Betrachtet man sämtliche Folgekosten einer Schule, dynamisiert einzelne Kostenstellen und berücksichtigt die Verzinsung der Kapitalkosten zeigt sich ein Vorteil von insgesamt 32 % für den hier umgesetzten Neubau gegenüber einer herkömmlichen Schule. Gegenüber der Passivhauschule ist ebenfalls ein kleiner Vorteil von 3% ersichtlich, der aber angesichts des Betrachtungszeitraums von 50 a nicht ins Gewicht fällt.

Die Barwertermittlung der Lebenszykluskosten berücksichtigt zusätzlich die Herstellungskosten der jeweiligen Gebäudevariante. Der Barwert wird auf den m² Bruttogrundfläche bezogen. Wegen der geringeren BGF der Plusenergielösung ist der Wert gegenüber der Passivhausvariante erhöht bei ähnlichem absolutem Wert.

Barwert Lebenszykluskosten

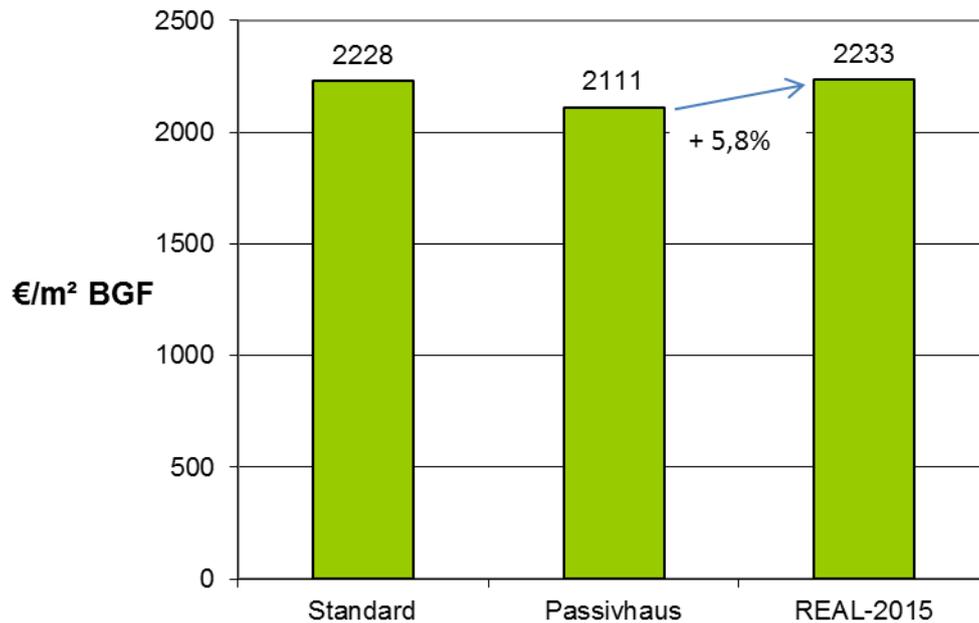


Abbildung 2.3-8: Barwert Lebenszykluskosten in €/a m²BGF

Die Abbildung zeigt den erreichten Barwert bezogen auf den m² BGF bei einem Betrachtungszeitraum von 50 a. Die realisierte Plusenergielösung ist annähernd gleich zur Standardvariante und wegen der höheren Herstellungskosten um knapp 6% erhöht gegenüber der Passivhausvariante, bietet aber den höchsten Komfort und pädagogische Qualität.

2.3.2.4 Fazit

Die Unterschiede zwischen den Gebäudevarianten und der Plusenergielösung sind sehr gering und bei der langen Betrachtungszeitraumweise zu vernachlässigen. Dies bedeutet, dass sich das qualitativ hochwertige und nachhaltige Gebäude im Lebenszyklus rechnet bzw. keine monetären Nachteile gegenüber einer Standardschule aufweist. Durch die Energieeinsparungen des Plusenergiekonzeptes und die Vorteile der Holzbauweise können bauliche und betriebliche Mehrkosten langfristig ausgeglichen werden und ein höherer Qualitätsstandard umgesetzt werden. Der Neubau weist gegenüber einer Standardschule einen deutlichen qualitativen Mehrwert auf:

- Hochwertige Raumatmosphäre mit entsprechenden Lernbedingungen Schüler und Lehrer
- Flexibilität des Raumkonzeptes für neue Lernmethoden – Erhöhung Lernqualität
- Guter sommerlicher thermischer Komfort (keine Überhitzung)
- Reduzierung von Risikostoffen im Hinblick auf Gesundheit und Umweltentlastung

Hinzu kommt der Vorteil, dass im Rahmen eines geförderten Monitoring Konzeptes die Optimierung des laufenden Betriebs (Komfort und Kosten) erfolgt und die Erreichung der ambitionierten Ziele überprüft wird. Auch die Auswirkungen des neuen Raum- und Lernkonzeptes und des Raumkomforts für die Unterrichtsqualität bzw. die Lernqualität werden hierbei durch ein unabhängiges Prüfinstitut gemessen und bewertet.

2.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

2.3.3.1 Wirtschaftlichkeit Baukosten

Ein Vergleich der Baukosten (Stand 08.03.2016) mit dem BKI (Stand 1.Quartal 2014 und Stand 1. Quartal 2015) zeigt, dass die Kosten pro m³ BRI für den Neubau des Gymnasiums Diedorf im Bereich des Mittelwerts des BKI liegen. Es wird ersichtlich, dass das gesamte Forschungsprojekt im Rahmen der ausgewiesenen BKI-Kosten realisiert werden konnte und nicht relevant über dem Durchschnitt liegt.

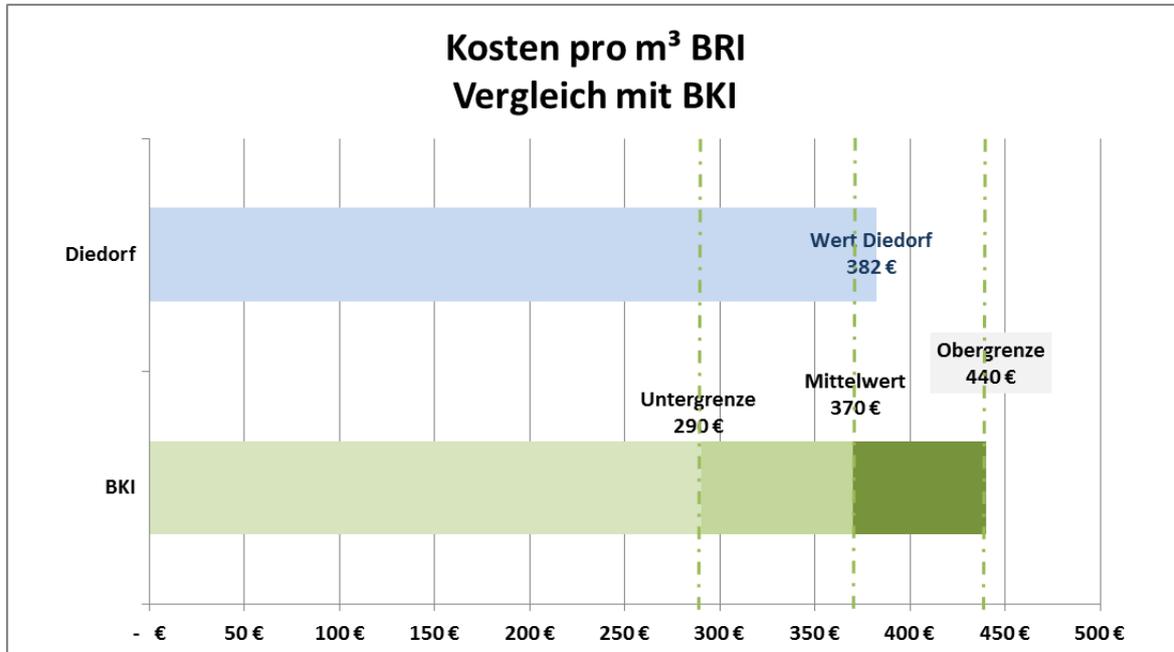


Abbildung 2.3-9 Vergleich mit BKI 2014

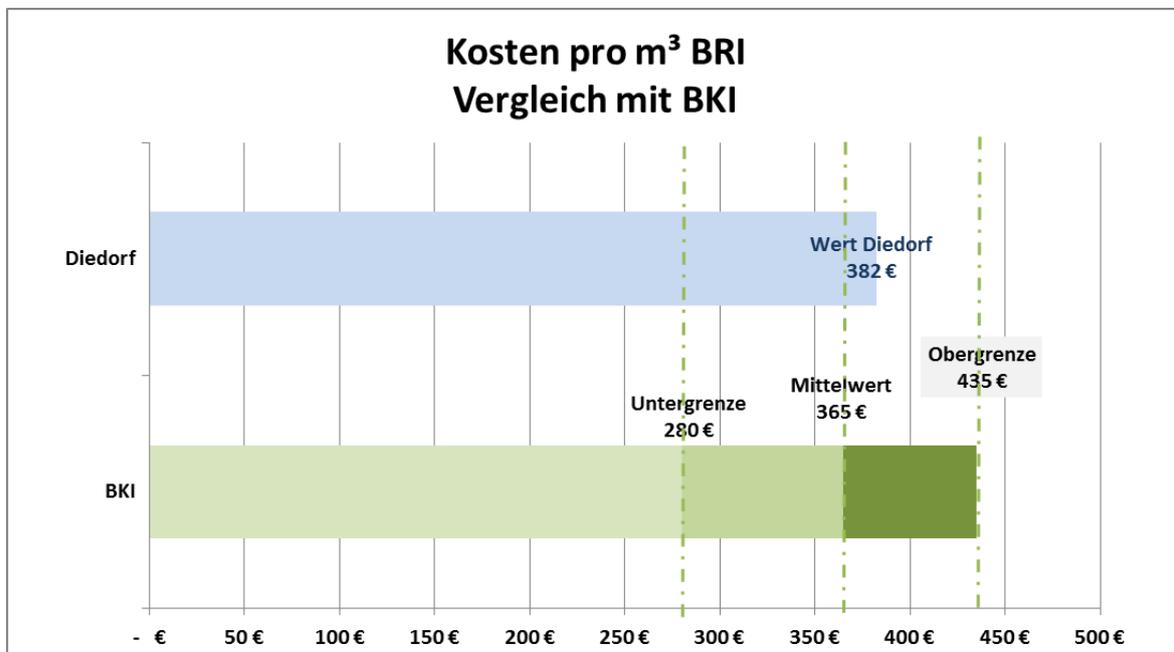


Abbildung 2.3-10 Vergleich mit BKI 2015

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Die in diesem Kostenansatz enthaltenen Mehrkosten für die Ausführung des Gebäudes als Plusenergieschule mit offenen Lernlandschaften in Holzbauweise betragen ca. 7,5 % bezogen auf die KG 300 und 400 der Baukosten (der Variante Passivhaus). Bei diesen Mehrkosten handelt es sich nicht ausschließlich um rentierliche Kosten, die direkt zu (Energie)Einsparungen über den Lebenszyklus führen.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurde daher berücksichtigt, welche Kosten zwangsläufig aus der pädagogischen Architektur entstehen und welche Mehraufwendungen aufgrund höherwertiger Dämmstandards oder energieeffizienter Gebäudetechnik erfolgen (sogenannte Umweltrelevante Mehrkosten).

2.3.3.2 Wirtschaftlichkeit Plusenergiestandard

Der Plusenergiestandard ist eine Weiterentwicklung der mittlerweile standardisierten Passivhauschule. Bei einer Plusenergieschule werden dazu zunächst alle Energieeinsparpotentiale ausgeschöpft und anschließend der notwendige Restenergiebedarf regenerativ erzeugt. Wird im Ergebnis mehr Energie erzeugt als verbraucht, spricht man von einer Plusenergieschule. Im Sommer erwirtschaftet eine solche Schule Energieüberschüsse, die in das öffentliche Netz eingespeist werden können. Das öffentliche Stromnetz stellt sozusagen den Energiespeicher dar. Das Plusenergiehaus ist zu unterscheiden von einem energieautarken Gebäude, das auch die Speicherfunktion selbst übernimmt.

Für das Gymnasium Diedorf wurde die Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz dieses Plusenergiestandards exemplarisch untersucht und unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen der Holzbauweise und der Umsetzung offener Lernlandschaften bewertet.

Bewertung Energiebilanzen

Hierzu wurden die Energiebilanzen der untersuchten Varianten aufgestellt und die dazu erforderlichen energetischen Investitionen (umweltrelevante Mehrkosten) in notwendige bauliche und technische Maßnahmen zur Erreichung des entsprechenden Energiestandards monetär bewertet.

Für den Haupt-Wärmeerzeuger wurde ein ausführlicher Systemvergleich durchgeführt. Hierbei hat sich gezeigt, dass eine Holzpelletfeuerungsanlage die wirtschaftlichste Energieversorgung für das Planungskonzept in Diedorf bietet. Neben der Erhöhung der Versorgungssicherheit reduziert sich die Primärenergie der Plusenergieschule wesentlich, wenn als Brennstoff Holzpellets eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil von Holzpellets ist, dass der Brennstoff regional beschafft werden kann und die Holzpellets CO₂-neutral verbrennen und damit Schadstoffemissionen verringern und die Umweltbelastung senken. Um diesem wirtschaftlichen Vorteil und dem Einsatz regenerativer Energien auch im Passivhausstandard Rechnung zu tragen, wurde auch bei der Passivhauschule der übliche und wirtschaftliche Erdgaskessel in einer ergänzenden Variante durch einen Holzpelletkessel ersetzt.

Nachfolgend ist zunächst das Ergebnis des Vergleichs zur Energieeffizienz der unterschiedlichen Energiestandards dargestellt.

Zunächst wird der Passivhausstandard mit einem Neubau der Schule nach dem EnEV-Standard hinsichtlich des Energieverbrauchs verglichen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Tabelle 2.3-1: Energetischer Vorteil Passivhausstandard

| Energetischer Vorteil Passivhausstandard (ohne PV-Anlage) ggü. EnEV | | |
|--|-------------------------|----------------------------|
| Energiestandard | Endenergiebedarf | Primärenergiebedarf |
| Passivhaus mit Gas-Brennwertherme | 786.387 KWh | 1.342.234 KWh |
| Passivhaus mit Holzpelletfeuerungsanlage | 811.407 KWh | 944.025 KWh |
| EnEV-Schule mit Heizöl-Brennwertkessel | 1.285.799 KWh | 2.021.814 KWh |
| Energieeinsparung bei Gas -BW absolut | 499.412 KWh | 679.580 KWh |
| Energieeinsparung in % | 38,8% | 33,6% |
| Energieeinsparung bei HP -Anlage absolut | 474.393 KWh | 1.077.789 KWh |
| Energieeinsparung in % | 36,9% | 53,3% |

Es zeigt sich ein deutlicher Vorteil sowohl beim Primärenergieverbrauch¹ als auch beim Endenergieverbrauch.

Nachfolgend wird der Energieverbrauch des Plusenergiekonzeptes gegenüber einer vergleichbaren Passivhauschule dargestellt.

Tabelle 2.3-2: Energetischer Vorteil Plusenergieschule

| Energetischer Vorteil Plusenergiestandard (ohne PV-Anlage) ggü. Passivhaus | | |
|---|-------------------------|----------------------------|
| Energiestandard | Endenergiebedarf | Primärenergiebedarf |
| Plusenergieschule mit Holzpelletfeuerungsanlage | 692.319 KWh | 765.049 KWh |
| Passivhaus mit Gas-Brennwertherme | 786.387 KWh | 1.342.234 KWh |
| Passivhaus mit Holzpelletfeuerungsanlage | 811.407 KWh | 944.025 KWh |
| Energieeinsparung bei Gas -BW absolut | 94.068 KWh | 577.185 KWh |
| Energieeinsparung in % | 12,0% | 43,0% |
| Energieeinsparung bei HP -Anlage absolut | 119.087 KWh | 178.976 KWh |
| Energieeinsparung in % | 14,7% | 19,0% |

Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgesehenen zusätzlichen Maßnahmen reduziert sich der Endenergieverbrauch um weitere 15%.

Nachfolgend werden zusätzlich notwendige Investitionen in den Plusenergiestandard monetär bewertet.

Methodik Wirtschaftlichkeitsanalyse

Der Grundgedanke jeder Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es, Aussagen über finanzielle Auswirkungen von Investitionen zu ermöglichen. Vor allem bei langen Nutzungsdauern von Schulgebäuden ist es entscheidend, dass Kosten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, ökonomisch mit dynamischen Methoden bewertet werden. Das wesentliche Merkmal eines solchen dynamischen Verfahrens ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit entsprechenden Zins- und Preissteigerungseffekten ab- bzw. aufzudiskontieren. Dazu wird die dynamische Annuitätenmethode

¹ Der Primärenergiebedarf berücksichtigt neben der Endenergie auch den Bedarf an Energie, der durch die vorgelagerte Prozesskette entsteht.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

verwendet. Dieses Verfahren ist in Deutschland schon seit Jahrzehnten als adäquate Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei baulichen und technischen Maßnahmen eingeführt. Die Annuitätenmethode verteilt den Kapitalwert einer Investition in gleichbleibende Jahresraten (Annuitäten) auf die erwartete Nutzungsdauer. Die Annuität stellt gegenüber dem bekannteren Kapitalwert einen verständlicheren Vergleichsmaßstab dar, nämlich den jährlichen Mehrertrag, den eine Investition erbringt. Eine Investition ist vorteilhaft, wenn die Annuität größer als 0 ist.

Zur Ermittlung der annuitätischen Kosten und Erlöse wurde ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zu Grunde gelegt. Es wird unterstellt, dass die energiebedingten Mehrkosten zu 100 Prozent mit Fremdkapital finanziert werden (kalkulatorischer Zinssatz 2%; vollständige Tilgung über den Betrachtungszeitraum). Finanzierungen über öffentliche Fördermittel wurden hierfür zunächst nicht berücksichtigt. Die annuitätischen Erlöse setzen sich aus Energieeinsparungen und Einsparungen bei der Wartung zusammen. Für den Energieträger Strom wurde eine Preissteigerung von 5% pro Jahr und für Holzpellets von 3% angesetzt.

Kosteneffizienz von Einzelmaßnahmen

Im Hinblick auf die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energiesparmaßnahmen werden beim Projekt Diedorf einzelne Mehrkosten für Maßnahmen zur Energieeffizienz des Plusenergiestandards gesondert auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

Tabelle 2.3-3: Annuitätischer Gewinn einzelner Maßnahmen ausgehend von einem mittleren zukünftigen Preisniveau

| Maßnahme | Energieeinsparung durch die Maßnahme kWh/a | Jährliche Kosteneinsparung, (gemittelt über die nächsten 20 Jahre) EUR/a | Einsparung Wartungskosten | Annuitätische Erlöse EUR/a | Kosten der Maßnahme, € | Annuitätische Kosten EUR/a | Annuitätischer Gewinn EUR/a |
|---|--|--|---------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Türen ca. 235 m ² mit U-Wert 0,8 W/(m ² K) statt 1,0 W/(m ² K) | 4.038 kWh | 254,98 € | - € | 254,98 € | 5.337 | 326,37 € | - 71,40 € |
| Verringerung der Druckverluste | 53.401 kWh | 17.657,63 € | - € | 17.657,63 € | 160.675 | 9.826,34 € | 7.831,29 € |
| Optimierte Regelung Lüftung | 21.031 kWh | 4.228,43 € | 2.965,13 € | 7.193,56 € | 153.641 | 9.396,18 € | 2.202,62 € |
| Verwendung von Fensterkontakten | 18.612 kWh | 1.175,29 € | - € | 1.175,29 € | 7.700 | 470,90 € | 704,39 € |
| KNX-Bus für Stand-By-Abschaltung | 5.424 kWh | 1.793,50 € | - € | 1.793,50 € | 12.194 | 745,75 € | 1.047,75 € |
| Gesamt | 102.506 kWh | 25.109,82 € | 2.965,13 € | 28.074,95 € | 339.546,27 € | 20.765,54 € | 7.309,42 € |

Es wird deutlich, dass sich notwendige Investitionen in den Plusenergiestandard rechnen.

Ein weiterer gesondert zu betrachtender Aspekt ist die für ein Plusenergiekonzept notwendige regenerative Energieerzeugung.

Den notwendigen Strombedarf der Schule deckt eine Photovoltaikanlage mit einer installierten Leistung von 446,6 kWp ab. Die Photovoltaikanlage wurde so dimensioniert, dass sie jährlich mehr Energie liefert als in der Schule tatsächlich verbraucht wird. Das öffentliche Stromnetz dient als Zwischenspeicher, um nicht vermeidbare Schwankungen zwischen Produktion und Bedarf auszugleichen. Der dabei direkt durch die PV-Anlage abgedeckte Stromverbrauch der Schule liegt nach ersten Einschätzungen bei 35%. Eine Überprüfung dieser Annahmen erfolgt im Zuge des Monitoring. Die Photovoltaikanlage trägt sich trotz der mittlerweile geringen Einspeisevergütung aufgrund des Eigenstromverbrauchs wirtschaftlich von alleine. Die Photovoltaikanlage wurde daher bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit ebenfalls nicht berücksichtigt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Eine erweiterte Perspektive ergibt sich, wenn eine Gesamtoptimierung für das System aus Gebäude und Anlagen vorgenommen wird: Dann zeigt sich, dass durch die passiven Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Ausnutzung der natürlichen Eigenschaften des Holzes und durch durchdachte Verbesserungen in der Gebäudetechnik nicht nur Energiekosten eingespart werden:

Dem Forschungscharakter in Diedorf geschuldet, wird ein augenscheinlich aufwendiges Lüftungskonzept umgesetzt. Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Plusenergiekonzeptes in Diedorf muss der Mehraufwand gegenüber einer Standard-Lüftung, die bereits in jeder Passivhausschule umgesetzt werden muss, berücksichtigt werden.

Die Mehrinvestition für die hier benötigte größere und hocheffiziente Lüftungsanlage rechnet sich zunächst einzelwirtschaftlich nicht. Die höheren investiven Kosten relativieren sich allerdings sowohl im Hinblick auf die Wartungsfreundlichkeit des hierbei umgesetzten technischen Konzeptes, dessen Energieeffizienz als auch durch die zusätzlichen monetären Vorteile bei der Ausnutzung der Potentiale der Holzbauweise, die das aufwendigere Lüftungskonzept bietet (siehe hier Punkt Wirtschaftlichkeit Holzbau).

Exkurs: Wesentlicher Bestandteil von Passivhaus- und auch Plusenergieschulen sind komplexe Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ebenso wie notwendige Anlagen zur Kälteerzeugung im Hinblick auf einen guten sommerlichen Wärmeschutz. Die Kosten für eine Lüftungsanlage wurden bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der beiden Energiestandards nicht berücksichtigt, da die Lüftung insbesondere auch ein besonderes Komfortmerkmal darstellt, da sie zu deutlich besseren Lernbedingungen in den Klassenräumen führt. In einem Schulneubau sollte daher möglichst immer eine kontrollierte Lüftungsanlage zum Einsatz kommen, da durch die höhere Belegungsdichte der Frischluftbedarf in Schulen und damit die Bedeutung der Lüftung wesentlich größer als bei anderen Gebäuden ist.

Dieser Zusammenhang führt zwar nicht dazu, dass Gebäude mit Plusenergiestandard in Holzbauweise und offenen Lernlandschaften in der Investition kostengünstiger werden als vergleichbare Schulgebäude, die im konventionellen Optimum gebaut werden würden, zeigt aber einen neuen Schulstandard auf, der im Lebenszyklus nur geringe monetäre Nachteile aufweist dafür aber zahlreiche zusätzliche qualitative Vorteile wie eine hohe Luftqualität, eine ausgezeichnete thermische Behaglichkeit und optimale Lern- und Lehrbedingungen.

2.3.3.3 Wirtschaftlichkeit Holzbauweise

Die Vorteile einer Holzbauweise lassen sich allgemein wie folgt zusammenfassen:

- Leichte Bauweise
- Schnelle Vorfertigung
- Kurze Bauzeit
- Trockene Bauweise, keine Baufeuchte
- Schmale Konstruktionen, welche die Anforderungen der EnEV erfüllen
- Einfache Sicherstellung der Luftdichtheit
- Geringere Wandstärken bedingen eine optimale Raumausnutzung
- Umweltentlastung - Einsparung bis zu 75 % klimaschädliches CO₂ ggü. Massivbau

Betrachtet man jetzt im Speziellen ein in Holzbauweise errichtetes Schulgebäude im Vergleich zu einem Standardschulgebäude in Massivbauweise, dann überzeugt vor allem die schnellere Bauzeit des Neubaus in Holzbauweise. Dies liegt in dem hohen Vorfertigungsgrad der Bauteile und in der sogenannten „trockenen Baustelle“ begründet.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Durch die Errichtung in Holzbauweise konnte beim Gymnasium Diedorf das wichtige Ziel - „Die Einhaltung des Fertigstellungstermins zum Schuljahresbeginn 2015“ erreicht werden. Außerdem konnten durch die Bauzeitverkürzung von 5 Monaten die Mietkosten für Container eingespart werden. Insgesamt ergibt sich dabei ein zusätzlicher Kostenvorteil von ca. 320.000 € netto.

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Holzbauweise beim Gymnasium Diedorf liegt in dem geringeren Flächenverbrauch. Durch die besseren Dämmwerte können Holzbauten mit einer schlankeren Bauweise überzeugen. Das zunächst aufwendigere Lüftungskonzept nutzt dabei die Zwischenräume der Holzskellettbauweise zur Lüftungskanalführung, d.h. es werden weder abgehängte Decken noch Lüftungsschächte benötigt. Ein Nachteil ist dabei allerdings die kleinteilige Wegeführung im Holzbau, wodurch sich die Massen der Lüftungskanäle um ca. 50% und die Länge der Kabelwege um ca. 75% erhöhen. Durch die Errichtung des Schulgebäudes in Holzbauweise wird im Ergebnis die Gebäudeklasse 3 für das Projekt mit allen einhergehenden Vorteilen für den Brandschutz (geringere Auflagen) erreicht.

Holz ist zudem sowohl konstruktiv für tragende Bauteile, als auch als Dämmstoff mit großer Effektivität für Energiesparbauten einsetzbar.

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Auswirkungen auf die Kosten bei einer herkömmlichen Massivbauweise zur Erreichung der gleichen Gebäudeklasse 3:

| Projektumsetzung in Massivbauweise in GK3 | |
|--|---|
| Mehrstärke der Außenwände von +20cm | Mehrkosten ca. 570.000 € netto (zur Einhaltung der Anforderungen an thermische Hülle) |
| Lüftungsverteilung in den Wänden | Mehrkosten ca. 300.000 € netto (Einhaltung der Raumhöhen) |
| Abgehängte Decke für Raumakustik | Mehrkosten ca. 550.000 € netto |
| Entfall der kleinteiligeren Wege der Lüftungsführung und Kabelwege GLT/ Elektro | Minderkosten ca. 241.000 € netto |
| Entfall der zusätzlich benötigten Brandschutzklappen (und Quellauslässe) | Minderkosten ca. 225.000 € netto |
| Verlängerung der Bauzeit | Mehrkosten ca. 190.000 € netto |
| <p>⇒ Bauliche Mehrkosten gesamt ca. 1,15 Mio. € (bei Ausführung in Massivbauweise und GK3, einschl. längerer Bauzeit)</p> | |

Abbildung 2.3-11 Vorteile Holzbau

Eine Ausführung des Neubaus in Gebäudeklasse 5 würde dagegen erhöhte brandschutztechnische Auflagen bedingen, die zu Mehrkosten für das Gymnasium Diedorf führen würden. Demgegenüber stünden mögliche Einsparungen durch eine Kanalführung der Lüftungstechnik in den abgehängten Decken und einer Deckenausführung in Stahlbeton in der Gebäudeklasse 5 gegenüber der u.a. kostenintensiveren kleinteiligeren Ausführung der Lüftungstechnik (jeder Raum wird einzeln angefahren) bei der hier umgesetzten Holzbauweise in Gebäudeklasse 3. Diese Einsparungen könnten ggf. die Mehrkosten eines erhöhten Brandschutzes kompensieren.

2.3.3.4 Wirtschaftlichkeit offene Lernlandschaften

Eingangs wurde bereits dargelegt, dass es sich bei den Mehrkosten für das ambitionierte Modellprojekt nicht ausschließlich um rentierliche Kosten handelt. Insbesondere das neue Lernkonzept verursacht durch das Clusterprinzip in Verbindung mit den offenen Klassenräumen zusätzliche akustische und brandschutztechnische Maßnahmen und stellt höhere Anforderungen an die Lüftungstechnik. Darüber hinaus wird das pädagogische Konzept auch in die Freiraumplanung umgesetzt. Diese Maßnahmen würden für eine Standardschule mit Standardraumstruktur und Standardklassenräumen mit Frontalunterricht zunächst nicht anfallen. Die Kosten hierfür lassen sich nicht direkt durch Energieeinsparungen amortisieren. Sie führen jedoch zu einer qualitativ hochwertigeren Lern- und Arbeitsumgebung für Schüler und Lehrer, die sich jedoch nicht monetär bewerten lässt.

Relevante Kriterien zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bilden sich auch in Volumen- und Flächenkennwerten sowie Flexibilisierungsgraden ab. Insbesondere eine effiziente Flächennutzung in der Planung sichert den wirtschaftlichen Umgang mit der Ressource Gebäude. Jeder m² Nutzfläche ist teuer in der Herstellung und im Betrieb.

Wie ist daher der Flächenverbrauch durch das neue Lernkonzept zu bewerten: Erfordern Inklusion, Ganztage und differenzierte Lernangebote Mehrflächen in der Planung? Können „Sowieso-Flächen“ wie Erschließungsflächen nutzbar gemacht werden?

Die Flächenauswertung des Projekt Diedorf zeigt: Das neue pädagogische Konzept erfordert keine Mehrflächen gegenüber dem Standardraumprogramm einer konventionellen Flurschule. Jedem Schüler steht auch bei einer maximalen Auslastung der Schule eine wirtschaftliche Lernfläche² von 2,7 m² zur Verfügung, auf der differenziertes Lernangebot möglich ist.

Das gebaute Beispiel in Diedorf ist durchaus ein Beispiel dafür, dass sich Flächeneffizienz, eine Wohlfühlumgebung, neue Lernkonzepte und innovative Baustandards nicht zwangsweise ausschließen. Verbesserungspotentiale lassen sich jedoch erschließen, da das umgesetzte Vier-Häuser-Prinzip auch Flächennachteile birgt, die die Flächeneffizienz insbesondere mit Blick auf die BGF beeinträchtigt.

²Diese entspricht der gesamten differenzierten Lernlandschaft

2.3.4 Ökobilanz

Für die Ökobilanz der diskutierten Planungsalternativen wird die Berechnung entsprechend der Angaben in den Steckbriefen des Bewertungssystems nachhaltiges Bauen (BNB) für Bildungsbauten des Bundesministeriums für Umwelt, Bauen und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführt. Basis für die Berechnung sind die oben beschriebenen Gebäudemodelle.

Die Ökobilanz wurde 2014 auf Basis der Ökobaudat 2011-2013 durchgeführt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die soeben veröffentlichte Ökobaudat 2015, die sich an den Festsetzungen der DIN EN 15804 orientiert in diesem Projekt noch nicht berücksichtigt werden konnte.

2.3.4.1 Gebäudegewicht, Stoffmasse

Das Gewicht der geplanten Schule erreicht mit ca. 1150 kg/m²BGF nur 2/3 des Gesamtgewichts der Standardvariante. Das ist etwas höher als übliche Holzgebäude mit Primärkonstruktion. Verursacht wird dieses Gewicht durch die großen betonierte Versorgungsgänge für die Lüftungsanlage unter der Bodenplatte und die Betonauflast auf sämtlichen Holzdecken.

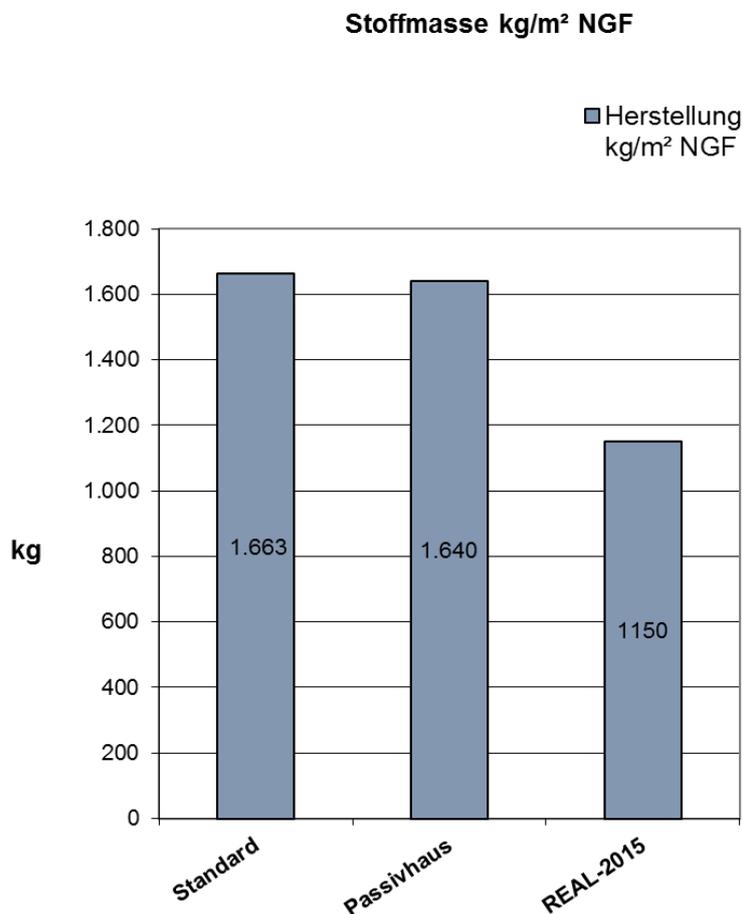


Abbildung 2.3-12: Gewicht des eingesetzten Materials in kg/m²BGF

Die Abbildung zeigt das für die Herstellung erforderliche Gewicht aller Materialien bezogen auf den m² BGF

Dadurch entfallen 90 % des Gewichts der realisierten Variante auf mineralische, fossile und metallische Materialien der Bodenplatte mit Fundamentierung und die technischen Versorgungsgänge unter Niveau. Der Anteil aller Bauteile aus nachwachsenden Rohstoffen erreicht ca. 9 %.

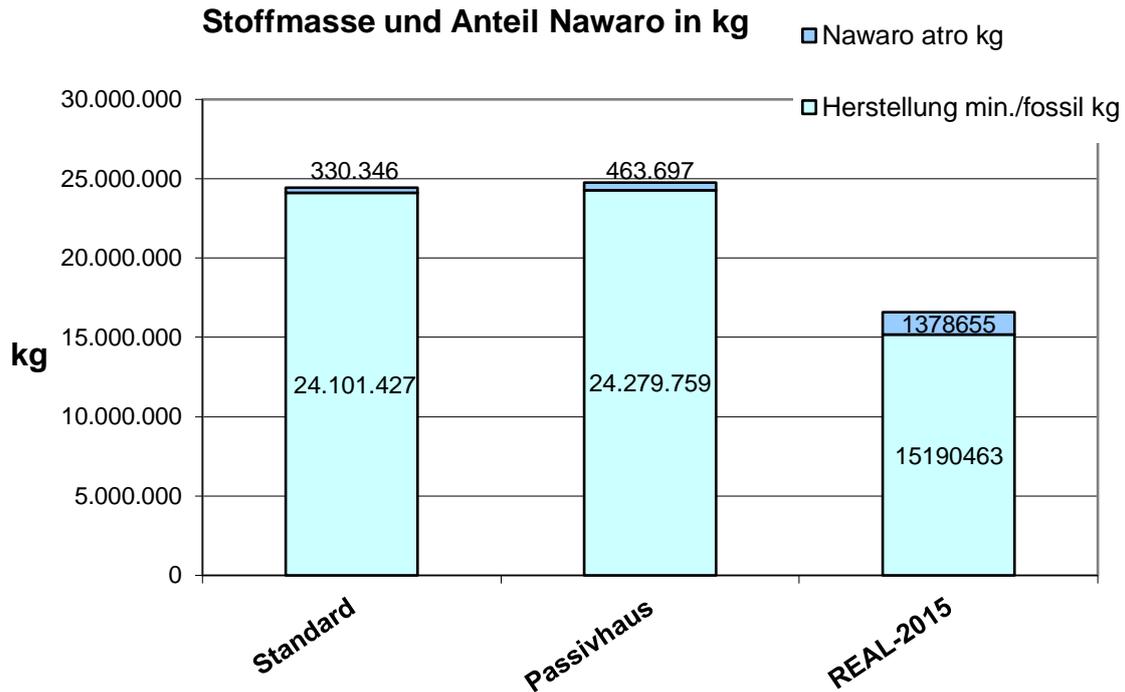


Abbildung 2.3-13: Gewicht des eingesetzten Materials in kg absolut

Dass auch die mineralischen Standard- und Passivhausvarianten einen erkennbaren Holzanteil aufweisen, liegt an der Holzkonstruktion der großvolumigen geneigten Dächer.

2.3.4.2 Primärenergiebedarf und CO₂-Äquiv. für Gebäude und Versorgung

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar in kWh

Die starke Reduktion des Energiebedarfs ändert bei den Ökobilanzergebnissen das Verhältnis zwischen dem energetischen Anteil in der Nutzungsphase (Säulenfarbe: dunkelblau) und dem physischen Gebäude (Säulenfarben: hellblau). Während bei der Standardvariante mit EnEV-Erfüllung die Belastung durch den Betrieb dominiert, werden bereits bei der Passivhausvariante die Verhältnisse 50:50 ausgeglichen. Die Plusenergievarianten in Holzbauweise zeigen erstens die negativen Betriebswerte durch die Überschussproduktion der PV-Anlage und zweitens ein fast erreichtes Null-Niveau bei der PE-Bilanz. Bei der Auswertung des Energieindikators „Primärenergie nicht erneuerbar“ wird deutlich, dass bei Anrechnung dieser Einsparung auch der Aufwand für die Errichtung der Schule nahezu vollständig abgedeckt werden könnte.

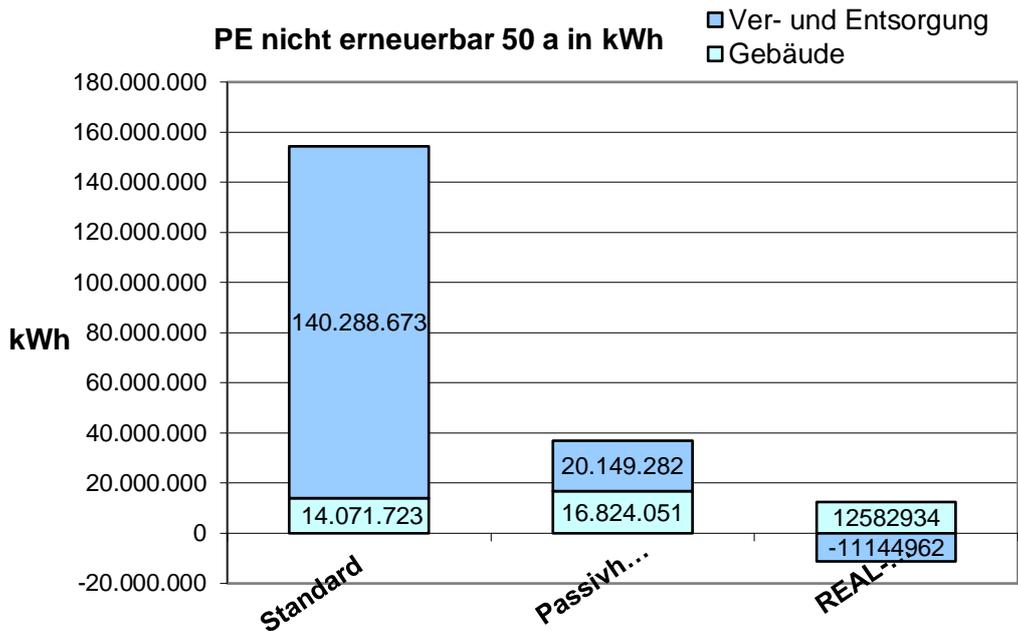


Abbildung 2.3-14: PE nicht erneuerbar in kWh absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung

PE erneuerbar

Die erneuerbare Primärenergie wird ebenfalls für das Gebäude (Säulenfarbe: hellgrün) und den Energiebedarf (Säulenfarbe: dunkelgrün) separat dargestellt. Durch den hohen Anteil an erneuerbarer Primärenergie im Gebäude und bei der Energiebereitstellung für die Wärme durch Holzpellets erreichen die realisierten Gebäude mehr als die doppelte Menge an erneuerbarer Primärenergie als das Standardgebäude. Der Strombedarf bei der Wärmebereitstellung für die Standardlösung ist für $\frac{3}{4}$ der Menge der erneuerbaren PE verantwortlich. Dies beruht auf dem Anteil erneuerbarer Energie im deutschen Strommix 2012. Dieser Anteil wird in Zukunft noch ansteigen. Da die Wärmebereitstellung bei der Passivhausbeheizung stark reduziert wird, führt dies zu einem geringen Wert. Der Stromanteil wird durch den hohen Eigenanteil gedrückt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

PE erneuerbar 50 a in kWh

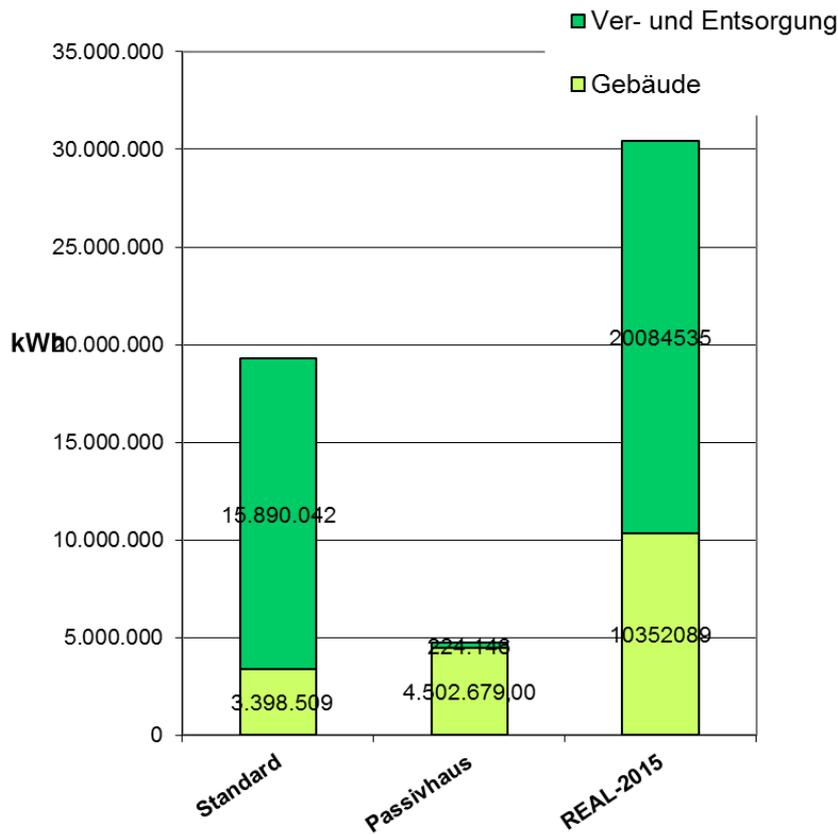


Abbildung 2.3-15: PE erneuerbar in kWh absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung

Klimagaspotenzial in kg CO₂-Äquivalente

Das Klimagaspotenzial zeigt ähnliche Verhältnisse wie die nicht erneuerbare Primärenergie. Das Standardgebäude weist sehr hohe Werte durch den Versorgungsanteil auf, die Passivhausvariante investiert mehr in das Gebäude, reduziert aber den Versorgungsaufwand dadurch auf ein Fünftel. Die geplante und realisierte Variante liegt auch beim Umwelteintrag durch die Gebäude um ein Drittel günstiger als das Passivhaus, die Anteile durch die Versorgung sind negativ. Auch hier gleichen die Überschussanteile ca. 50% der Aufwendungen für das Gebäude aus.

Klimagaspotenzial 50 a in kg CO₂-Äquiv.

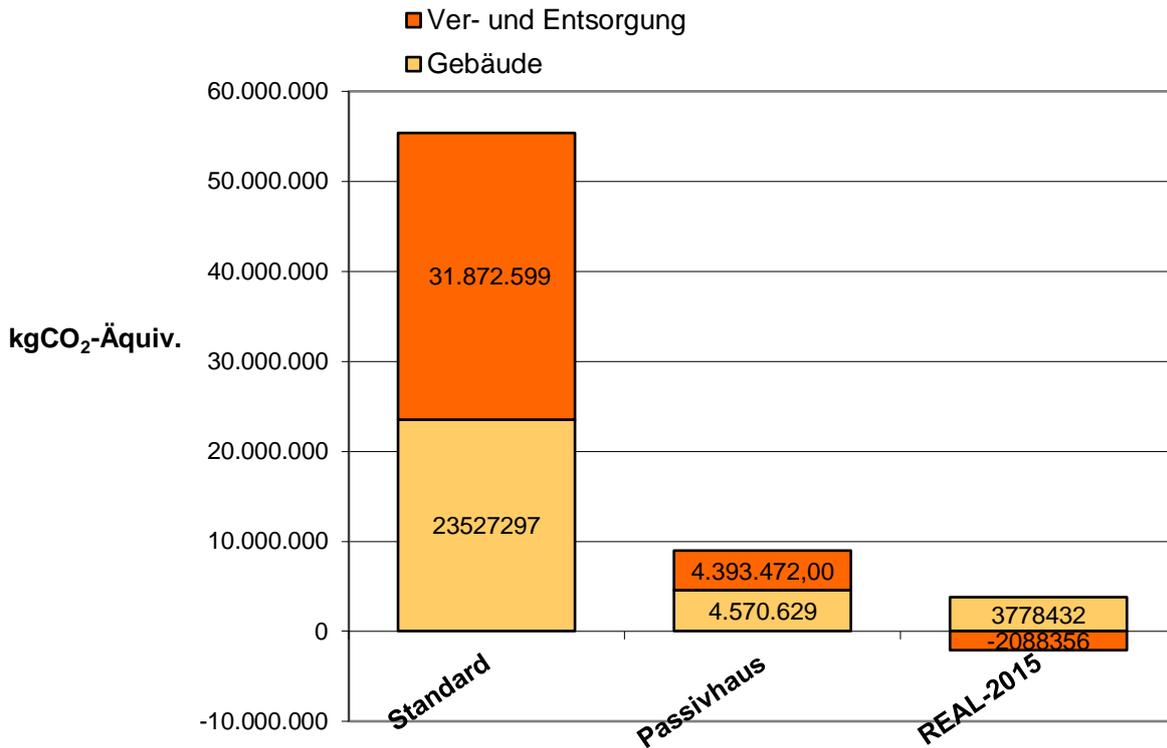


Abbildung 2.3-16: Klimagaspotenzial in kg CO₂ absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung

Der Strombedarf des Gebäudes wird theoretisch durch die Photovoltaikproduktion abgedeckt, der Überschuss Dritten zu Verfügung gestellt. Die Varianten mit der installierten Photovoltaikanlage erreichen einen Strom-Überschuss. Bei der Auswertung des Wirkungsindikators Klimagaspotenzial wird deutlich, dass bei Anrechnung dieser Einsparung auch der Aufwand für die Errichtung der Schule für das Klimagaspotenzial in kg CO₂ Äquivalente nahezu vollständig abgedeckt werden könnte.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Abiotischer Ressourcenverbrauch in kg SB-Äquivalente

Der abiotische Ressourcenverbrauch verdeutlicht ebenfalls den Vorteil der NAWARO-Bauweise und die Effekte der Photovoltaikproduktion.

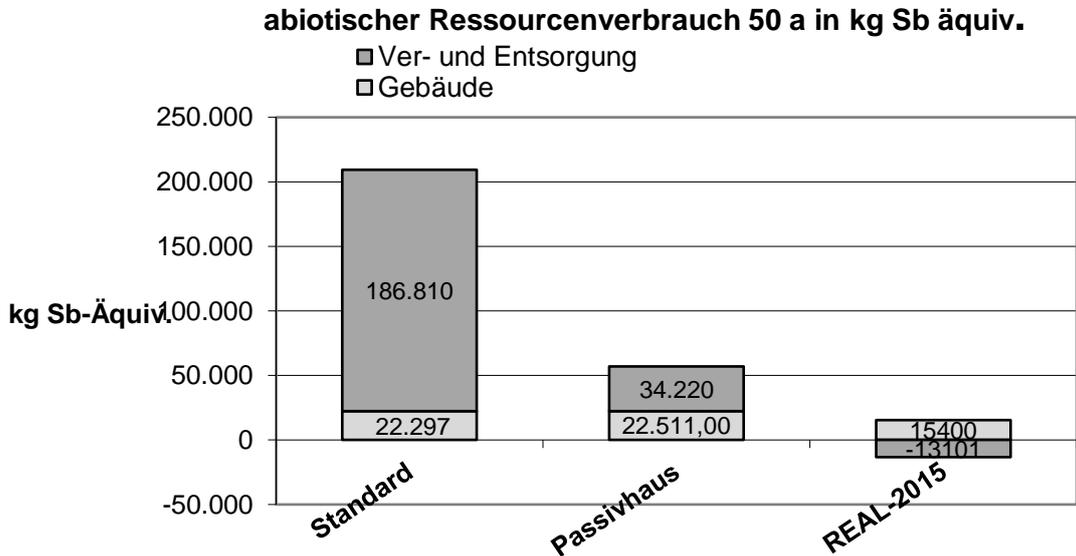


Abbildung 2.3-17: Klimagaspotenzialo in kg CO₂ absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung

Inkorporierter Kohlenstoff C in kg

Der inkorporierte Kohlenstoff C weist für die Plus-Energievariante eine vier Mal größere Menge auf, als die Standard- oder drei Mal größere Menge als die Passivhausvariante.

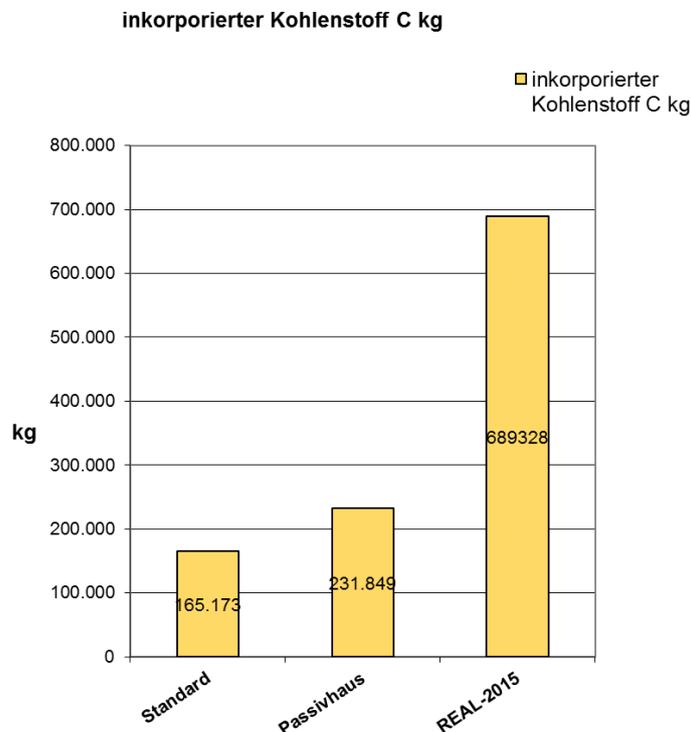


Abbildung 2.3-18: inkorporierter Kohlenstoffanteil in den Gebäuden in kg C für die Herstellungsphase

Fazit

Die Ökobilanz liefert eindeutige Aussagen über die jeweilige Modellierung. Die Vergleiche zwischen Gebäuden in konventioneller Bauweise, die zahlreiche Bauprodukte aus endlichen Ressourcen enthalten, und Gebäuden mit einem hohen Anteil an Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen haben die erheblichen Entlastungspotenziale aufgezeigt, die letztere Bauweise für das Ökosystem bietet. Ein Großteil der heute üblichen Bauaufgaben vom Wohn- bis zum Gewerbebau lässt sich mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen umsetzen. Bei den gezeigten Objekten wurden Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen von der Tragkonstruktion in Außen- und Innenwänden, Decken, Stützen und Dächern über Fassadenverkleidung, Sonnenschutz und Dämmung bis hin zum Innenausbau eingesetzt.

Deutlich wird dabei, wie gegenüber der Standardvariante bereits die Passivhausvariante starke Umweltentlastungen durch den reduzierten Energiebedarf erreicht. Erst die vergrößerte PV-Anlage erreicht negative Werte im Versorgungsbereich. Im Zusammenspiel mit der Holzkonstruktion kann fast eine Nullemission inklusive des Gebäudeaufwands bei den Indikatoren PE nicht erneuerbar und Klimagaspotenzial erreicht werden.

2.3.5 Reduktion Risikostoffe

Ziel der Bauproduktbewertung ist einerseits die Sicherstellung der Luftqualität im Innenraum unter hygienischen Gesichtspunkten, die zu keinen negativen Effekten hinsichtlich der Raumnutzer führt. Andererseits sollen Risikostoffe für die lokale Umwelt so weit möglich reduziert werden.

Durch die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte (z.B. geprüft nach AgBB oder „Blauer Engel“) kann eine relative Sicherheit in Hinblick auf eine niedrige Immissionskonzentration an flüchtigen organischen Verbindungen und Formaldehyd geschaffen werden. Durch die Überprüfung der Herstellerangaben der Bauprodukte auf Risikostoffe werden diese erkannt und vermieden. Dies muss aber bereits in der Planung mit der Baustoff- und Konstruktionswahl abgestimmt werden.

Für die Risiken der lokalen Umwelt wird auf Basis eines Gebäudemodells die elementbasierte Dokumentation der Materialien bzw. Bauprodukte nach den Kriterien des Steckbriefs 1.1.6 (BNB) durchgeführt. Auf Basis einer durch den Auftraggeber festzulegenden Qualitätsstufe werden Handlungsempfehlungen für die Materialwahl für den Planer zusammengestellt.

2.3.5.1 Arbeitskonzept

Für die Risikostoffe der Innenraumhygiene wurde durch den Auftraggeber eine Qualitätsstufe für die Innenraumlufthygiene festgelegt, die sich an den Ziel- und Grenzwerten des Kriteriums 3.1.3 Innenraumhygiene im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) orientiert. Auf Basis dieser Festlegung wurden für die Planer Handlungsempfehlungen für die Material- bzw. Bauproduktwahl gegeben.

Die Bearbeitung dieser Aufgabe erfolgte in fünf Schritten:

- Abstimmung der Detailplanung des Architekten und des Konstruktionsaufbaus auf bestimmte emissionsarme Bauprodukte ohne Risikopotenzial
- Formulierung der Ausschreibung in Hinblick auf die Vermeidung von bestimmten Bauprodukten, Einforderung der Bauproduktokumentation durch die Unternehmer
- Vorlage der Dokumente zu den Bauprodukten durch den Unternehmer
- Bewertung der Bauprodukte und Freigabe
- Überprüfen der Baustelle auf die eingesetzten Bauprodukte.

In Zusammenarbeit mit dem Kreisbauamt des Landratsamts Augsburg wurde eine Tabelle erstellt, die bezogen auf die Risikostoffe eindeutige Qualitätsanforderungen zusammenstellt. Diese Tabelle bildete die Grundlage für alle weiteren Arbeiten mit den Architekten für die Detailplanungen, Ausschreibungen und Vergaben. Zusätzlich wurden den Planern Basisinformationen zu den Regelungen für Gefahrstoffe in Deutschland und der Europäischen Union zu Verfügung gestellt (siehe Anhang 23) [Dür07].

Für jedes Gewerk wurden spezielle „Zusätzliche technischen Vorbemerkungen“ (ZTV) bereitgestellt. Die Leistungsverzeichnisse wurden anschließend bezüglich der einzelnen Positionen auf die korrekten Anforderungen ergänzt bearbeitet (siehe Anhang 23).

Seitens der Architekten wurde ein Formular entwickelt, das den beauftragten Firmen bei der Auftragsvergabe übergeben wurde. Dies sollte die Datenbereitstellung erleichtern. Je Bauprodukt mussten vier bis sechs Dokumente übergeben werden. Diese Unterlagen umfassten:

Normativ

- Zulassungen, Konformitätsdokument oder Prüfzeugnisse
- Technisches Datenblatt in aktueller Fassung mit Datumsangabe
- Sicherheitsdatenblatt in aktueller Fassung mit Datumsangabe (Falls erforderlich)
- Angabe der Entsorgungswege mit Abfallschlüsselnummer (EAK) und
- Leistungserklärung (DOP)
- AgBB-Zeugnis (falls erforderlich)

Freiwillig

- Umweltproduktdeklaration (EPD) des IBU oder anderer Institutionen (falls verfügbar)
- Andere Label z.B. EC, RAL, NaturePlus, Giscode usw.

Für die Umsetzung der Ziele war entscheidend, dass die Unternehmer bereits bei Abgabe des Angebots angehalten wurden, die für den Einsatz vorgesehenen Bauprodukte mit Dokumenten zu belegen. Für die qualitative Einstufung der Bauprodukte und deren Freigabe für die Baustelle, ist die vorbeschriebene Dokumentensammlung eine unabdingbare Voraussetzung. Für die Sichtung und Prüfung der Unterlagen, das Erkennen der Risikostoffe und deren Einstufung werden drei Qualifikationen benötigt:

- Baukonstruktives Verständnis
- Juristisches Fachwissen
- Chemiekennntnisse

Die Komplexität der Regulierungen soll am Beispiel der Formaldehydgrenzwerte deutlich gemacht werden. Die folgende Abbildung zeigt unterschiedliche Festlegungen durch die EU, die RAL-UZ 38 bzw. den blauen Engel oder den Verband der Fertighaushersteller (BdF).

2. E1-Formaldehydabgabegrenze seit 1996

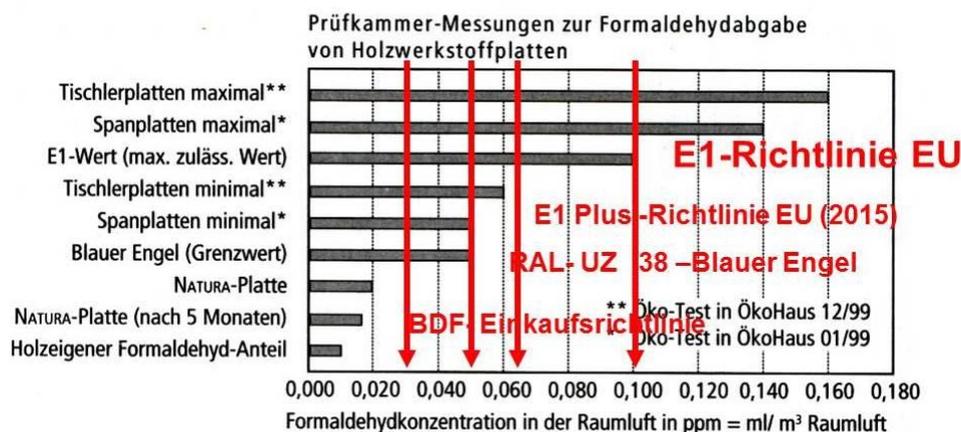


Abbildung 2.3-19: Verschiedene Formaldehydgrenzwerte

Spätestens vor Beginn der Arbeiten mussten alle Bauprodukte durch den Bearbeiter freigegeben worden sein. Die Bauprodukte wurden für jeden Unternehmer in einer speziellen Tabelle zusammengestellt (siehe Anhang 23).

Es wurden ca. 500 Bauprodukte und ca. 2.000-2.500 Dokumenten geprüft und bewertet. Auf Basis der vorgelegten Dokumente wurde jedes Bauprodukt bewertet und zur Anwendung freigegeben.

2.3.5.2 Probleme bei der Durchführung

Man sollte erwarten, dass im digitalen Zeitalter die Grundlagen für eine Dokumentation schnell und problemlos durch die beauftragten Unternehmer und Gewerke zu Verfügung gestellt werden. Die Praxiserfahrung zeigt, dass nahezu alle Auftragnehmer mit dieser Anfrage zum ersten Mal konfrontiert werden. Nur 10 Prozent der Unternehmer sind in der Lage, die gewünschten Dokumente vollständig vorzulegen. In der Folge benötigen alle Beteiligten eine Reihe von Telefonaten und einigen Schriftverkehr, bis die Dokumentation zusammengestellt werden kann. Insgesamt müssen für ein kleines bzw. mittelgroßes Projekt ca. 150-300 Bauprodukte dokumentiert werden. Die folgende Grafik zeigt einen möglichen Ablauf der Informationssammlung für ein Bauprodukt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Informationsbereitstellung für Bauprodukte

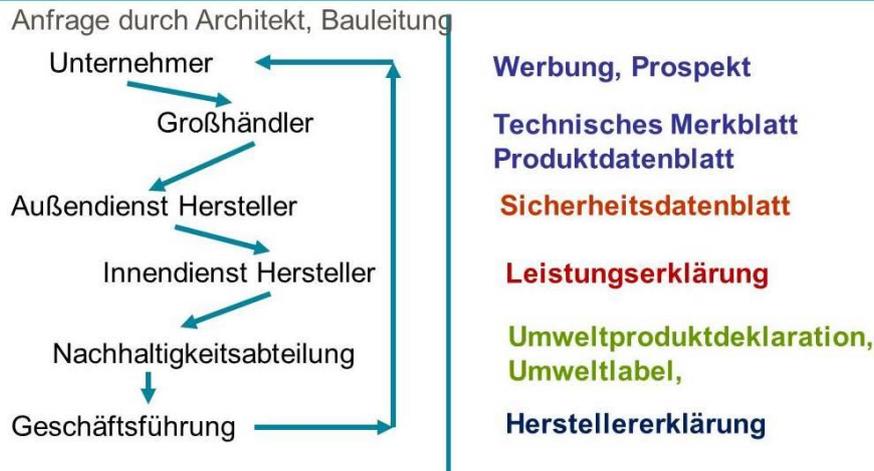


Abbildung 2.3-20: Unterlagenabfrage für ein Bauprodukt

Ein direkter Zugriffsweg für die Dokumente ist heute das Internet mit dem Herstellerauftritt. Da jeder Hersteller seine Informationen individuell präsentiert, ist diese Form der Recherche trotzdem zeitaufwändig. Besonders erschwerend ist die Tatsache, dass benötigte Dokumente wie die Leistungserklärung oder das Sicherheitsdatenblatt von einzelnen Unternehmen nicht frei verfügbar im Internet herunterzuladen sind. Der Informationssucher sollte in diesen Fällen deutlich machen, dass es eine Pflicht des Herstellers ist, alle geforderten Dokumente bereitzustellen.

Als erschwerend stellte sich heraus, dass die Vergabe der Zimmererarbeiten in zwei Losen zu einem doppelten Prüfaufwand der Bauprodukte führte, da jede Firma das Recht auf einen eigenen Produktkatalog hat. Es zeigte sich, dass trotz gleicher Schulung beider Firmen, die Bereitstellung der vollständigen Unterlagen und deren Freigabe sehr unterschiedlich verstanden wurden. Aus diesem Grund geht die Überprüfung bei einer der Firmen sehr schleppend voran, so dass die Produkte alle bereits verbaut sind, bevor eine Freigabe erfolgen kann. Daraus ist zu ersehen, dass die Rechtsmittel zur Erzwingung der Dokumentenfreigabe noch nicht ausreichend sind. Vor allem der gewünschte Fertigstellungstermin schafft Abhängigkeiten, die von den Firmen ausgenützt werden. Angedrohte Vertragsstrafen könnten möglicherweise die Ernsthaftigkeit der Bemühungen unterstützen.

Eine weitere Erschwernis zeigte sich bei der Oberflächenvergütung des Estrichs. Die geforderte Sichtqualität konnte erst der vierte Unternehmer befriedigend erfüllen, so dass verschiedenste Produktkonzepte geprüft und freigegeben werden mussten.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass für 21 verschiedene Gewerke des Standardleistungsbuches „Zusätzliche technische Vorbemerkungen“ (ztV) entwickelt wurden, zusätzlich drei allgemeine Dokumente für die „Allgemeinen Vorbemerkungen“ und zur Schulung der Unternehmer. Die einzelnen Unternehmer haben im Rahmen ihrer Auftragserteilung 443 Bauprodukte gemeldet. Diese wurden auf der Basis der eingereichten Unterlagen einer Bewertung unterzogen. Bei durchschnittlich fünf Dokumenten je Bauprodukt sind ca. 2200 Dokumente geprüft worden. Bisher wurden 38 Bauprodukte zurückgezogen. Diese Zahl liegt evtl. höher, da nicht freigegebene Bauprodukte erst später als „zurückgezogen“ gemeldet werden. Insgesamt wurden bisher 331 Bauprodukte freigegeben. Darunter sind auch 31 Referenzprodukte, die vorher in Abstimmung mit den anfragenden Architekten geprüft wurden.

2.3.5.3 Fazit

Folgende Erkenntnisse haben sich aus der Projektbearbeitung ergeben:

- Die Unternehmer sind auf die Dokumentation der eingesetzten Bauprodukte nicht vorbereitet.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

- Die Herstellerfirmen bedienen die Anfragen der Unternehmer zögerlich, nach mehreren Anfragen sind sie aber in der Lage alle gewünschten Dokumente zu Verfügung zu stellen. Einige Hersteller werden aktiv und lassen Untersuchungen für die Erfüllung der AgBB-Anforderungen nachträglich erstellen.
- Die Unternehmer haben bisher für die Qualitätseinstufung der Bauprodukte in Hinblick auf Risikostoffe und Emissionsminderung kaum Auswahlkriterien entwickelt.
- Einige Herstellerfirmen sind darauf vorbereitet die Anfragen nach Risikostoffen und Emissionsklassen entsprechend DGNB- oder BNB-Zertifizierung zu erfüllen, bzw. bemühen sich aktiv um eine Emissionsminderung ihrer Produkte.

Allen mit diesem Projektpunkt Beteiligten ist im Arbeitsverlauf deutlich geworden, dass die Bauprodukt dokumentation, die Begrenzung der Risikostoffe und die Sicherstellung einer hygienischen Innenraumluft für jedes Bauvorhaben sichergestellt werden sollte.

2.3.6 Monitoring Innenraumlufthygiene

Zur Erfolgsdarstellung der durchgeführten Maßnahmen in Bezug auf die Qualität der Innenraumluft wurde innerhalb vier Wochen nach Fertigstellung des Gebäudes eine Messung der Innenraumluft in ausgewählten Räumen durchgeführt. Dabei wurden die Indikatoren Formaldehyd und TVOC bestimmt. Folgende Zielwerte sollten erreicht werden:

- Flüchtige organische Stoffe (TVOC) in der Innenraumluft: deutliche Unterschreitung von 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC bei Messungen, als Zielwert gilt 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Formaldehyd in der Innenraumluft: deutliche Unterschreitung des Formaldehyd-Richtwertes von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, als Zielwert gilt 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Messung muss entsprechend den Anforderungen des Steckbriefs nach DIN 16000 ff. durchgeführt werden. Am 20.8.2015 wurde die Messung in Diedorf durch Herrn Weinisch vom Institut für Qualitätsmanagement und Umfeldhygiene durchgeführt. Die Labor-Analytik lieferte Dr. Wirkner. Das Ergebnis zeigen die beiden folgenden Abbildungen:

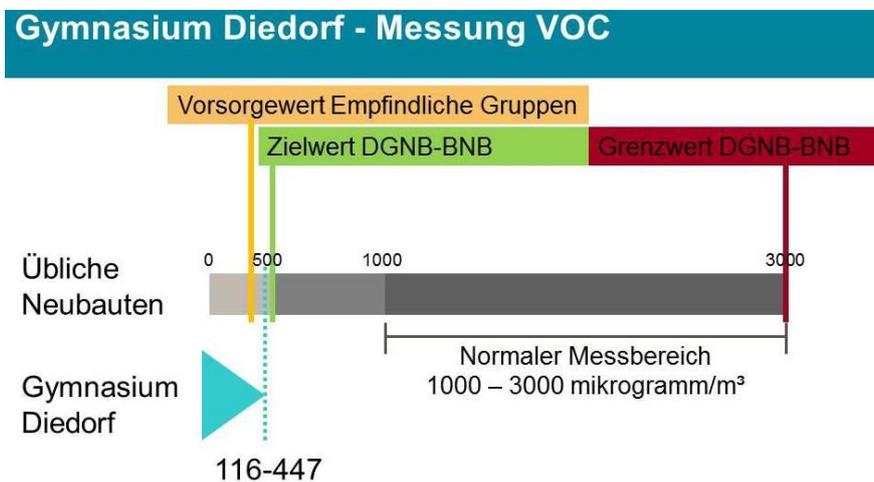


Abbildung 2.3-21: Ergebnis der TVOC-Messung in Diedorf

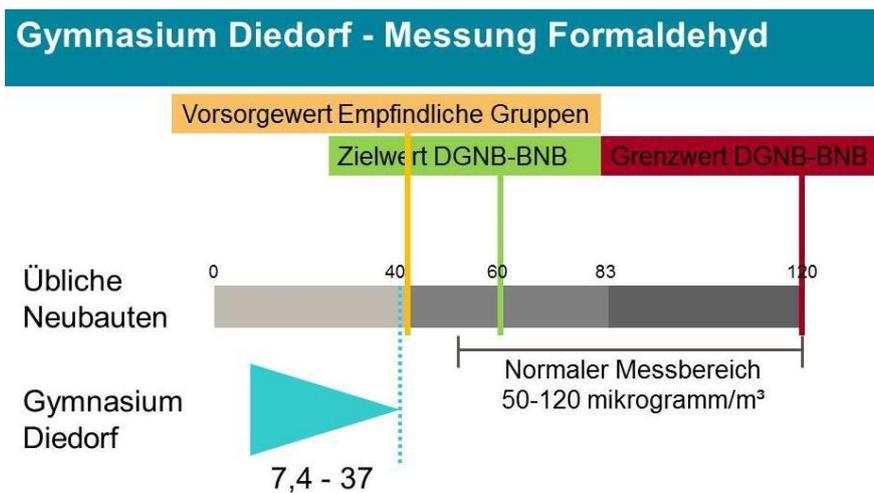


Abbildung 2.3-22: Ergebnis der Formaldehyd-Messung in Diedorf

2.3.6.1 Probleme

Die Terminfindung für die Luftmessung ist schwierig, da das Zeitfenster zwischen Fertigstellung und Möblierung grundsätzlich sehr eng ist. Zusätzlich muss bei einer vorhandenen Lüftung sichergestellt sein, dass in jedem Raum die Lüftung an- und abzuschalten ist. Die Messung muss entsprechend den Anforderungen des Steckbriefs nach DIN 16000 ff. durchgeführt werden. Die Verschlusszeiten für die Räume im Baustellenbetrieb mit vielen Unternehmen, die im Gebäude tätig sind, korrekt einzuhalten, bedürfen besonderer Vorkehrungen.

Da bei den Messungen viele Einzelstoffe erfasst werden, die auch auf Wettereinflüsse reagieren, ist eine sorgfältige Planung des Messzeitpunkts Voraussetzung für ein korrektes Ergebnis.

2.3.6.2 Fazit

Das Gebäude ist als „sehr schadstoffarmes Gebäude“ gemäß DIN EN 15251 einzustufen. Mit der deutlichen Unterschreitung der BNB-Zielwerte für die Raumluftqualität wird die Höchstpunktzahl des Steckbriefs erreicht. Weitere Bewertungen sind für diesen Steckbrief im Bereich der „personenbezogenen Lüftungsrate“ durchzuführen.

Die Messergebnisse in allen untersuchten Schulräumen haben ergeben, dass in den Räumen mit betriebenen RLT-Anlagen bei Bauübergabe keine Überschreitungen von Richt- und Leitwerten des „Ausschuss für Innenraumrichtwerte“ der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (IRK) zu erwarten sind. Nach einer ausreichenden Ablüftungs- und Abtrocknungszeit der Baustoffe werden die Richt- und Leitwerte selbst ohne Betrieb der RLT-Anlagen mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten.

2.3.7 Aufbau der Messdatenerfassung / Vorbereitung zum Monitoring

2.3.7.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Ein wichtiger Baustein für die Erreichung ehrgeiziger Projektziele ist der Aufbau eines Monitorings als Grundlage für eine Betriebsoptimierung. Die Vielzahl an Projektbeteiligten in Kombination mit innovativen technischen Lösungen, einer anspruchsvollen Regeltechnik und Problemen bei der Bauausführung, macht eine überwachte Inbetriebnahme mit anschließender Optimierungsphase nötig. Insbesondere bei der Funktionalität von Einzelanlagen und Gebäude kommt es nicht selten zu Problemen nach Inbetriebnahme der Immobilie, was sich durch geringeren Nutzerkomfort und mangelnde Akzeptanz niederschlägt. Defizite bei der Energieeffizienz werden oft aufgrund der fehlenden Kontrolle gar nicht oder erst viel später erkannt.

Das Monitoring dient ebenfalls als Grundlage für eine energetische Evaluierung, um die Erreichung des Plusenergiestandards zu dokumentieren und nachzuweisen. Dabei werden auch die in der Planungsphase getroffenen Annahmen und Auslegungen im Gebäudebetrieb überprüft, um so in Zukunft optimierte Planungsprozesse zu erreichen. Insbesondere die im Energetischen Pflichtenheft zusammengestellten energetischen Vorgaben für die Fachplaner werden nach Baufertigstellung im Gebäudebetrieb überprüft. Dazu gehören z. B. Strömungsgeschwindigkeiten in Lüftungskanälen, Wirkungsgrade von Wärmerückgewinnung, Ventilatoren und Pumpen sowie auch spezifische Installationswerte von Kunstlicht oder Anforderungen an die Raumlufttemperatur im Sommerfall.

Das Gesamtpaket Monitoring / Betriebsoptimierung für das Projekt Diedorf wird in drei Stufen abgearbeitet:

1. Erstellung eines Monitoringkonzepts
(Bestandteil des 1. Förderantrags, 2012)
2. Aufbau der Messdatenerfassung / Vorbereitung zum Monitoring
(Bestandteil des 2. Förderantrags, Leistungszeitraum 1.12.2012 bis 31.12.2015)
3. Messdatengenerierung und -auswertung inkl. Betriebsoptimierung
(Bestandteil des 3. Förderantrags, 1.1.2016 bis 31.12.2018)

Dabei lassen sich drei Themenschwerpunkte bzw. Zielstellungen für das ganzheitliche Monitoring herausarbeiten:

- Themengebiet Raumkomfort und Behaglichkeit
Insbesondere eine angenehme operative Raumtemperatur und eine geeignete Lüftung mit niedrigen CO₂-Konzentrationen spielen für den Raumkomfort eine große Rolle. Hinzu kommen ein hoher Anteil an Tageslichtnutzung, zugfreie Einbringung von Frischluft, geringe Nachhallzeiten für eine gute Raumakustik und ein ausreichender Blendschutz. Eine Nutzerbefragung komplettiert das Thema.
- Themengebiet Energieeffizienz und Nachhaltigkeit
In diesem Komplex geht es im ersten Schritt um die Optimierung der Energieeffizienz, angefangen bei den Einzelkomponenten (z. B. Umwälzpumpen) über gesamte Systeme (z. B. PV-Anlage) bis hin zum Gesamtgebäude (Erreichung des Plusenergiestandards im Betrieb). Dazu werden Wirkungsgrade bestimmt, energetische, ökologische und wirtschaftliche Jahresbilanzen gebildet, die dann ausgewertet und analysiert werden.
- Themengebiet Betriebsoptimierung
Nach der Inbetriebnahme werden sowohl die komforttechnischen als auch die energetischen und wirtschaftlichen Zustände im Hinblick auf die gesetzten Zielstellungen optimiert. In enger Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, den Nutzern, den Planern und den ausführenden Firmen werden Optimierungsvorschläge erarbeitet, umgesetzt und mit einer Erfolgskontrolle in Form einer Evaluation abgeschlossen.

2.3.7.2 Schwerpunkte des Monitorings

Im ersten Schritt ist auf Basis der von den Fachplanern und Architekten vorgestellten Konzepte für Gebäude, Anlagentechnik und Nutzung ein spezielles Monitoringkonzept entwickelt worden, welches die beschriebenen Zielstellungen in Bezug auf Raumkomfort, Energieeffizienz und Optimierung berücksichtigt. Dabei lassen sich fünf Schwerpunkte differenzieren:

- Die detaillierte Vermessung von fünf Referenzräumen bzw. -zonen zur Analyse von Raum- und Nutzungskomfort, Energieverbräuchen sowie Schalt- und Regelvorgängen in den verschiedenen Betriebsmodi.
- Die redundante Vermessung von zentralen technischen Anlagen insbesondere des Heiz- und Kühlsystems sowie der Lüftungsanlage zur Beurteilung von Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit.
- Das separate Monitoring von Sondernutzungen wie Küche, Server, Sporthalle oder Aula.
- Die ergänzende Erfassung von Stromflüssen getrennt nach Nutzungsarten (Beleuchtung, Pumpen, Steuerung etc.).
- Eine verbesserte Wetterdatenaufzeichnung zur Optimierung des Gebäudebetriebs und der Energiebilanzierung.

Als zweiter Schritt ist in enger Zusammenarbeit mit den Fachplanern auf Basis der vorliegenden Planunterlagen die Positionierung der Sensorik abgestimmt worden.

2.3.7.3 Monitoring der Referenzräume

Ziel des Monitorings in den Referenzräumen ist eine genaue Analyse des Raumkomforts in Abhängigkeit der anlagentechnischen Versorgungsfunktionen. Standardmäßig werden in den Klassen raumweise Lufttemperatur zur Heizungsregelung und CO₂-Konzentration zur Lüftungsregelung in der Mediensäule erfasst. Hinzu kommt die Erfassung von Beleuchtungsstärke zur Kunstlichtregelung, die Präsenz zur Abschaltung der Versorgungsfunktionen an zwei mittigen Positionen der Decke und die Erfassung der Fensterposition durch einen Schließkontakt. In den fünf gewählten Referenzräumen werden zusätzlich folgende Parameter erfasst:

- Relative Raumluftheuchte als Indikator für die Behaglichkeit und VOC-Konzentration als Bewertungszahl für den Gesundheitsschutz. Die englische Abkürzung VOC (Volatile Organic Compounds) bezeichnet die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen, die in Innenräumen aufgrund von Ausdünstungen von Möbel, Wand- und Deckenmaterialien, Farben oder Klebstoffen aber auch durch Reinigungsmittel auftreten können. Sie können zu negativen gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Kopfschmerzen führen.
- Relative Raumluftheuchte, Raumlufthtemperatur, CO₂-Konzentration und VOC-Konzentration an einem zweiten Standort im Raum. Die standardmäßige Positionierung der Regelsensorik wird normalerweise in Türnähe angeordnet. Allerdings reagieren einige Parameter sehr sensitiv auf die Anordnung im Klassenraum (insbesondere auf die Montagehöhe). Folgende Abbildung 2.3-23 verdeutlicht dies am Beispiel der CO₂-Konzentration.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

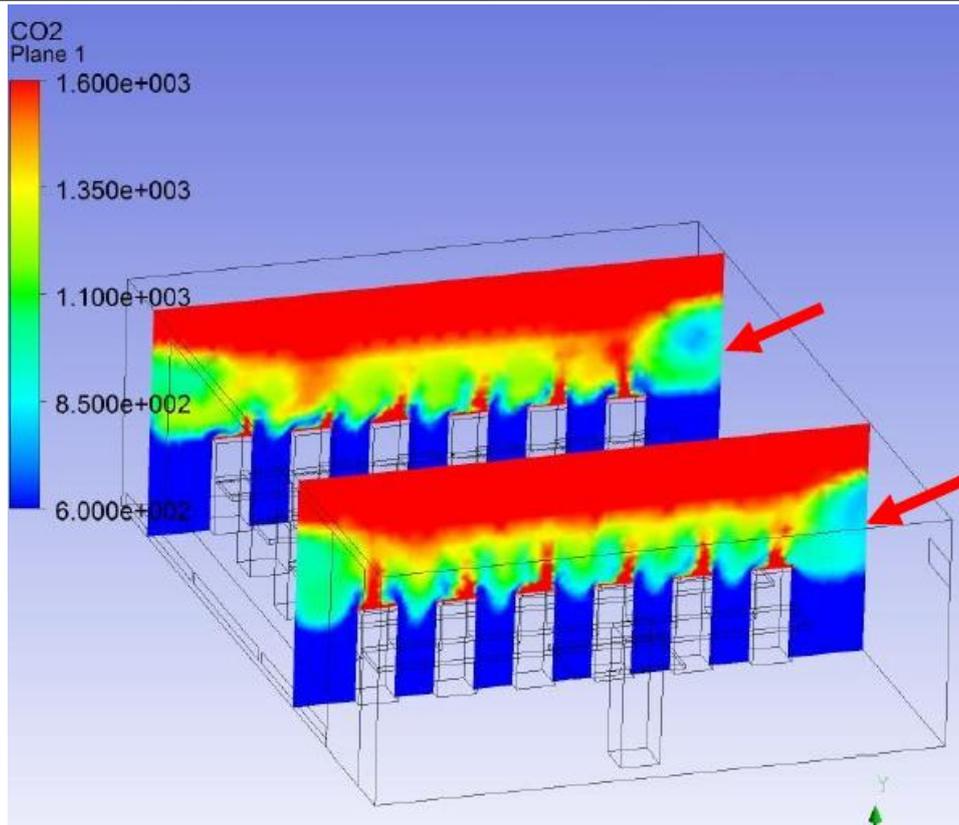


Abbildung 2.3-23: CFD-Simulation der CO₂-Konzentration in einem Klassenraum mit Quelllüftung
 (Quelle: Y. Wang, Optimization for Building Control Systems of a School Building in Passive House Standard, TUM, 2015).

Die aufrechten Quader innerhalb des Raumes stellen die Schüler dar. Aufgrund der ausgeatmeten Luft ist jeweils ein Bereich mit hoher Konzentration (rot) zu erkennen. Die farblich dargestellten Vertikalschnitte zeigen das Höhenprofil der Konzentration. Unter der Decke ist die Konzentration an CO₂ mit 1600ppm mehr als doppelt so hoch wie in Bodennähe (600ppm). Die Pfeile markieren die optimale Höhe der Sensoren zur Erfassung einer aussagekräftigen Konzentration in Bezug auf die Nutzer.

- Die Erkenntnisse der zweiten Sensorposition innerhalb eines Klassenraumes sollen dazu genutzt werden, für alle anderen Räume die optimalen Regelparameter in Bezug auf einen guten Raumkomfort zu kalibrieren.
- Oberflächentemperaturen von Verglasung, Fensterrahmen, Fußboden und Außenwand sowie redundant die Strahlungstemperatur durch eine von der Decke abgependelte schwarze Kugel. Für ein optimales Wohlbefinden innerhalb von Räumen ist die operative Raumtemperatur, die sich aus der Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur der Umfassungsflächen ergibt, der beste Indikator.
- Volumenstrom sowie Lufttemperatur und -feuchte der Zuluft zur Kontrolle von Regeleinrichtungen, der Überprüfung von Auslegungs- und Zielparametern sowie Bildung von Energiebilanzen.
- Wärme- und Kältemengenzähler (WMZ / KMZ) für die Fußbodenheizung (FBH) bzw. -kühlung inklusive Vor- und Rücklauftemperatur zur Kontrolle von Regeleinrichtungen, der Überprüfung von Auslegungs- und Zielparametern sowie Bildung von Energiebilanzen. Zusätzlich sollen Aussagen über die Behaglichkeit in Abhängigkeit der FBH gemacht werden.
- Detaillierte Stromverbräuche innerhalb des Klassenraumes in Abhängigkeit der Nutzungsart. Damit sollen Aussagen gemacht werden können, wie viel Strom für Beleuchtung, den Betrieb der Verschattungsanlagen sowie alle Steckdosen bezogenen Anwendungen verbraucht wird.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Abschließend sind alle in den Referenzräumen montierten Sensoren zusammengefasst (siehe Tabelle 2.3-4). Dabei ist zwischen Standardsensorik, die auch in allen anderen Klassenräumen des Gymnasiums verbaut wurde und zusätzlicher Messtechnik für die Referenzräume unterschieden worden.

Tabelle 2.3-4: Standardsensorik und Sensorik in den Referenzräumen

| Standardsensorik | | Erweiterte Sensorik | |
|--|---------|---|-------------------|
| Bezeichnung | Einheit | Bezeichnung | Einheit |
| Raumlufttemperatur Mediensäule | °C | Rel. Raumluftfeuchte Mediensäule | % |
| CO ₂ -Konzentration Mediensäule | ppm | VOC-Konzentration Mediensäule | % |
| Helligkeit | lux | Raumlufttemperatur Gegentafelwand | °C |
| Präsenz | 0/1 | CO ₂ -Konzentration Gegentafelwand | ppm |
| Fensterschließkontakte | 0/1 | Rel. Raumluftfeuchte Gegentafelwand | % |
| | | VOC-Konzentration Gegentafelwand | % |
| | | Oberflächentemperatur Verglasung | °C |
| | | Oberflächentemperatur Fensterrahmen | °C |
| | | Oberflächentemperatur Fußboden | °C |
| | | Oberflächentemperatur Außenwand | °C |
| | | Bauteiltemperatur | °C |
| | | Strahlungstemperatur | °C |
| | | WMZ / KMZ Fußbodenheizung | kW/kWh |
| | | VL / RL-Temperatur der WMZ / KMZ | °C |
| | | Zulufttemperatur, -feuchte | °C/% |
| | | Zuluftvolumenstrom | m ³ /h |
| | | Stromverbräuche Beleuchtung, Verschattung, Steckdosen | kW/kWh |

Auswahl der Referenzräume

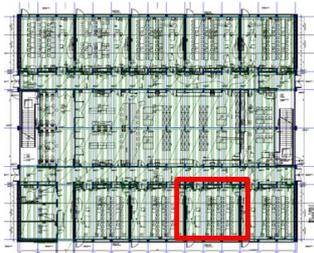
Bei der Wahl der fünf Referenzräume sind verschiedene Aspekte zu beachten. Zum einen sollten die Zonen repräsentativ für das Gesamtgebäude sein und keine extremen Expositionen aufweisen. Zum anderen sind Räume mit Südorientierung aussagekräftiger als nach Norden ausgerichtete Klassen, weil dort orientierungsabhängige Aspekte wie Verschattung und Kühlung von größerer Bedeutung sind. Um Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes zu beleuchten, sind Zonen in der obersten Etage deutlich besser geeignet als Klassen im EG. Zur Auswahl sollten mindestens ein Marktplatz, ein konventioneller Klassenraum mit Tür und ein offener Klassenraum kommen. Aufgrund höherer Abwesenheitszeiten (z. B. nach dem Abitur bis zum Beginn der Sommerferien) sind Klassen der oberen Jahrgangsstufen (11/12) weniger gut als Referenzräume geeignet.

In der folgenden Tabelle 2.3-5: Lage und Charakteristika der fünf Referenzräume Tabelle 2.3-5 sind die zwischen Planungsteam, Bauherrn, Nutzer und ZAE Bayern abgestimmten Referenzräume aufgelistet.

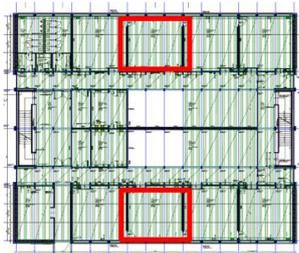
2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Tabelle 2.3-5: Lage und Charakteristika der fünf Referenzräume

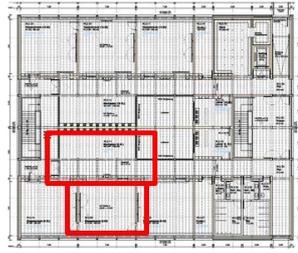
| Bezeichnung | Klasse Süd (geschlossen) | Klasse Süd (offen) | Klasse Nord (offen) | Klasse Süd (offen) | Marktplatz |
|--------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| Haus | KH 1, Physik III | KH 1, 6. Kl. | KH 1, 5. Kl. | KH 2, 9. Kl. | KH 2, 9. Kl. |
| Orientierung | Süd teilverschattet | Süd teilverschattet | Nord | Süd unversch. | Innen |
| Etage | EG | 1. OG | 1. OG | 2. OG | 2. OG |
| RaumNr. | NE 02 | N 1.03 | N 1.19 | W 2.09 | W 2.11 |



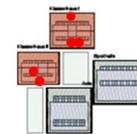
KH1, EG



KH1, 1. OG



KH2, 2. OG



Bauteilfühler

In der übergeordneten Leittechnik sind globale Betriebsmodi analog zu den Jahreszeiten definiert, die bestimmte technische Systeme freischalten. So ist z. B. ein Betrieb der Kältemaschine im Wintermodus nicht möglich. Für die Definition dieser Modi hat sich gezeigt, dass die besten Ergebnisse in Abhängigkeit von trägen Innenraumsensoren erzielt werden, die nicht kurzfristigen Temperaturschwankungen unterliegen. Zu diesem Zweck sind im gesamten Gebäude 24 Bauteilfühler montiert. Da außer den thermisch durch die Fußbodenheizung aktivierten Speichermassen kaum Bauteile zur Verfügung stehen, sind die massiven Holzträger verwendet worden. Die Balken wurden angebohrt und der Stabfühler bis zur Mitte des Vollholzes eingeführt.

2.3.7.4 Monitoring der zentralen haustechnischen Anlagen

Für den Gebäudebetrieb ist bereits eine gewisse Sensorik notwendig, um Systemgrößen zu messen und damit Betriebsmodi zu steuern (MSR). Ein Monitoring erfordert allerdings zusätzliche Sensorik und Energiezähler, die für den Gebäudebetrieb nicht erforderlich sind. Ziel ist es eine zusätzliche integrierte Messtechnik zu konzipieren, die einerseits die bestehenden Sensoren einbezieht und damit kostengünstig ist und andererseits auch über die Projektlaufzeit hinaus weiter genutzt werden kann. Dadurch sollte auch die bisher übliche Mehrfachinstallation von Sensoren reduziert werden. Dazu kann es notwendig sein, dass Standardsensoren mit erhöhten Qualitäten (z. B. Genauigkeit) ausgeführt werden müssen, um die Anforderungen des Monitorings zu erfüllen.

Gerade im Bereich der zentralen haustechnischen Anlagen werden Wärmemengenzähler (WMZ) und Temperaturfühler in großer Zahl verbaut, um Energiebilanzen und Wirkungsgrade von Komponenten und Systemen zu bestimmen. Um eine optimale Ausstattung zu gewährleisten, ist eine enge Abstimmung mit dem Fachplaner auf Basis der aktuellen Planung notwendig.

Bei fertigen Systemkomponenten wie z. B. der Kältemaschine ist ein weiteres Ziel des Monitorings, unabhängig der Herstellersensorik, eigene Messwerte zu generieren, um so charakteristische Parameter wie EER (energy efficiency ratio) redundant bestimmen zu können. Eine detaillierte Darstellung über die Positionierung aller Sensoren der zentralen haustechnischen Anlagen ist dem (Anhang 24) zu entnehmen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Wärmeerzeuger

Zwei Pelletkessel versorgen das Gymnasium mit Wärme. Für die Bilanzierung werden beide Kessel separat mit Wärmemengenzählern vermessen. Zusätzlich wird der Stromverbrauch der Kessel und der Umwälzpumpen des Primärkreises zu den Pufferspeichern aufgezeichnet (siehe Abbildung 2.3-24). Des Weiteren stellt der Hersteller seine internen Messdaten über eine Bus-fähige Schnittstelle zur Verfügung.

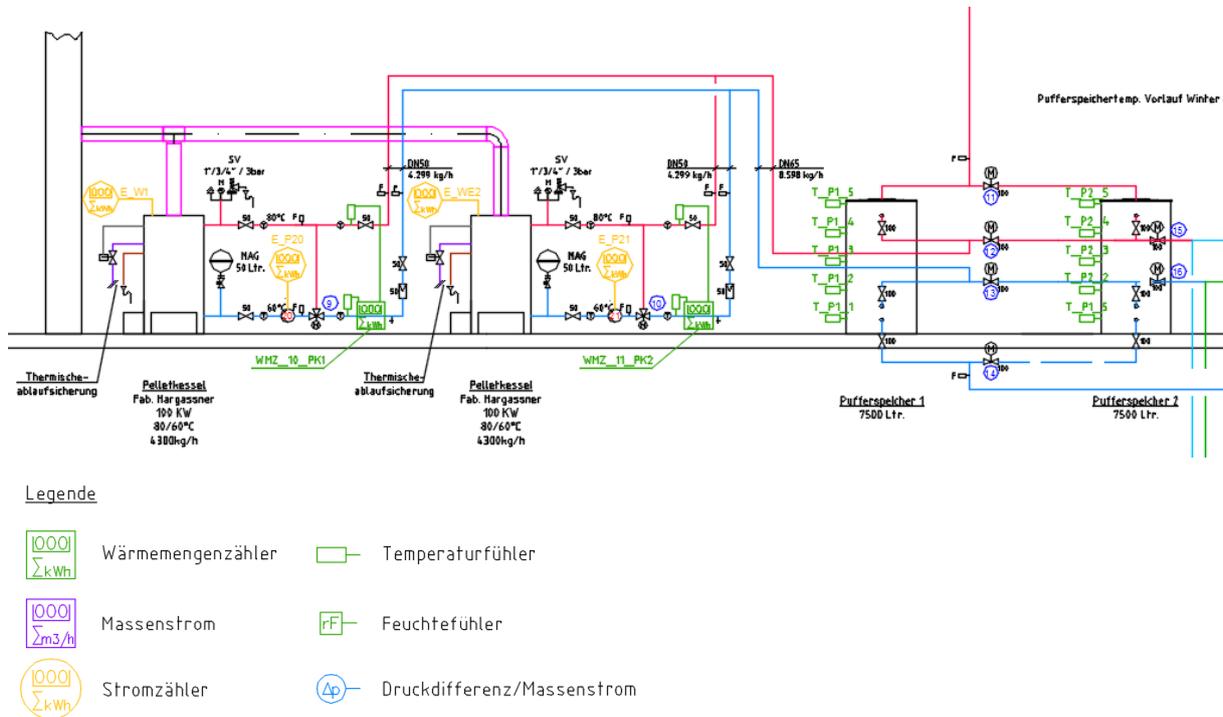


Abbildung 2.3-24: Positionierung der Sensorik an den Wärmeerzeugern

Kälteerzeuger

Kälte wird über einen Kompakt-Kaltwassersatz erzeugt. Dabei wählt das Gerät in Abhängigkeit von den Außenluftbedingungen und dem Bedarfsprofil jeweils den energetisch günstigsten Betriebsmodus, angefangen von der freien Kühlung über die adiabatische Verdunstungskühlung bis hin zur reinen Kompressionskältemaschine. Zwischenstufen und Kombinationen der Kühlungsarten sind gerätetechnisch möglich. Zur Bilanzierung aller Energieströme und der Bestimmung des charakteristischen EER-Wertes sind die Zu- und Abluftbedingungen (Lufttemperatur und rel. Feuchte) sowie der Massenstrom der freien Kühlung notwendig. Dieser wird aus den internen Daten des Kälteerzeugers ausgelesen, weil eine separate Erfassung kostentechnisch nicht darstellbar gewesen wäre. Zusätzlich werden der Stromverbrauch der Anlage und sein Kaltwasserverbrauch gemessen. Vervollständigt wird die Datenaufzeichnung mit einem Kältemengenzähler (KMZ) an Ausgang des Kaltwassersatzes und einem Stromzähler der Umwälzpumpe. Alle beschriebenen Messpunkte sind in Abbildung 2.3-25 dargestellt.

Über eine Bus-fähige Schnittstelle stellt der Hersteller seine internen Daten für eine Auswertung zur Verfügung.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

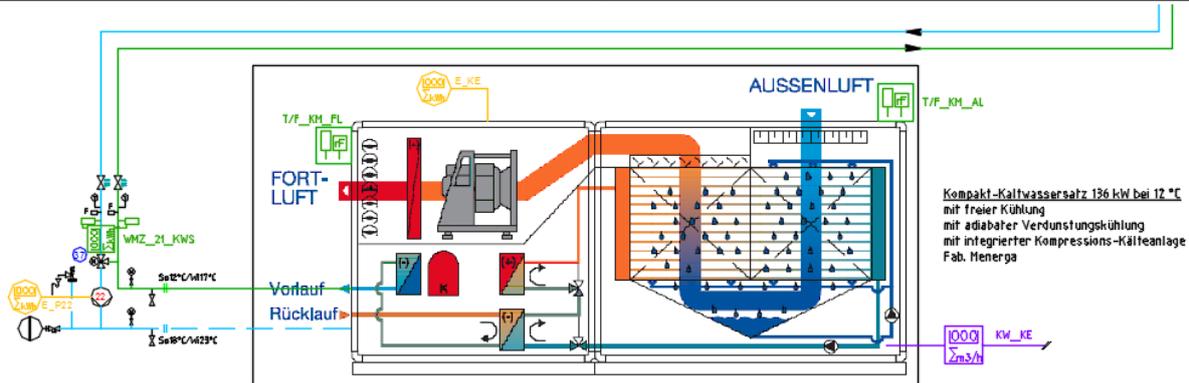


Abbildung 2.3-25: Positionierung der Sensorik am Kälteerzeuger

Pufferspeicher, Verteiler, Nacherhitzer und -kühler und Frischwasserstationen

Beide Pufferspeicher sind mit fünf auf die Höhe gleichmäßig verteilten Temperatursensoren ausgestattet.

Alle Abgänge der Heiz- und Kälteverteiler werden separat vermessen. Zusätzlich erfolgt eine redundante Erfassung der Energie am Eingang des Verteilers.

Die Energien, die für die Nacherhitzer und -kühler der Lüftungsanlage aufgewendet werden müssen, werden separat über Energiezähler erfasst.

Alle Umwälzpumpen werden separat vermessen.

Alle Frischwasserstationen werden mit einem Kaltwasserzähler sowie einem Sensor zur Bestimmung der Zapftemperatur ausgestattet.

Lüftungsanlage

Die zentrale Lüftungstechnik besteht aus zwei separaten Anlagen, die identisch mit Sensorik ausgestattet werden. Die Wärmerückgewinnung (WRG) erfolgt über ein Kreislaufverbundsystem der Firma SEW, die im Abluftkanal ebenfalls eine adiabate Kühlung installiert hat (siehe Abbildung 2.3-26). Zur energetischen Bilanzierung der WRG werden die Luftkonditionen (Temperatur und rel. Feuchte) jeweils am Ein- und Auslass der Anlage mithilfe von Mittelwerttemperaturfühlern und redundant mit Kombifühler für Feuchte und Temperatur erfasst. Zwischen der adiabaten Kühlung und dem Wärmeübertrager der WRG ist ein zusätzlicher Kombisensor montiert.

Die über das WRG-System übertragene Energie wird über einen WMZ erfasst. Die Hilfsstromverbräuche für die Medienförderung (Ventilatoren, Pumpen) werden mithilfe von Stromzählern erfasst. Hinzu kommt die Messung des Kaltwasserverbrauchs für die adiabate Kühlung.

Der geförderte Luftvolumenstrom wird über einen Differenzdrucksensor am Ventilator mithilfe ihrer Kennlinie bestimmt. Redundant erfolgt eine Ermittlung über den kalibrierten Frequenzumrichterwert.

Eine Übersicht aller Sensoren der zentralen Lüftungstechnik ist in Abbildung 2.3-26 dargestellt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

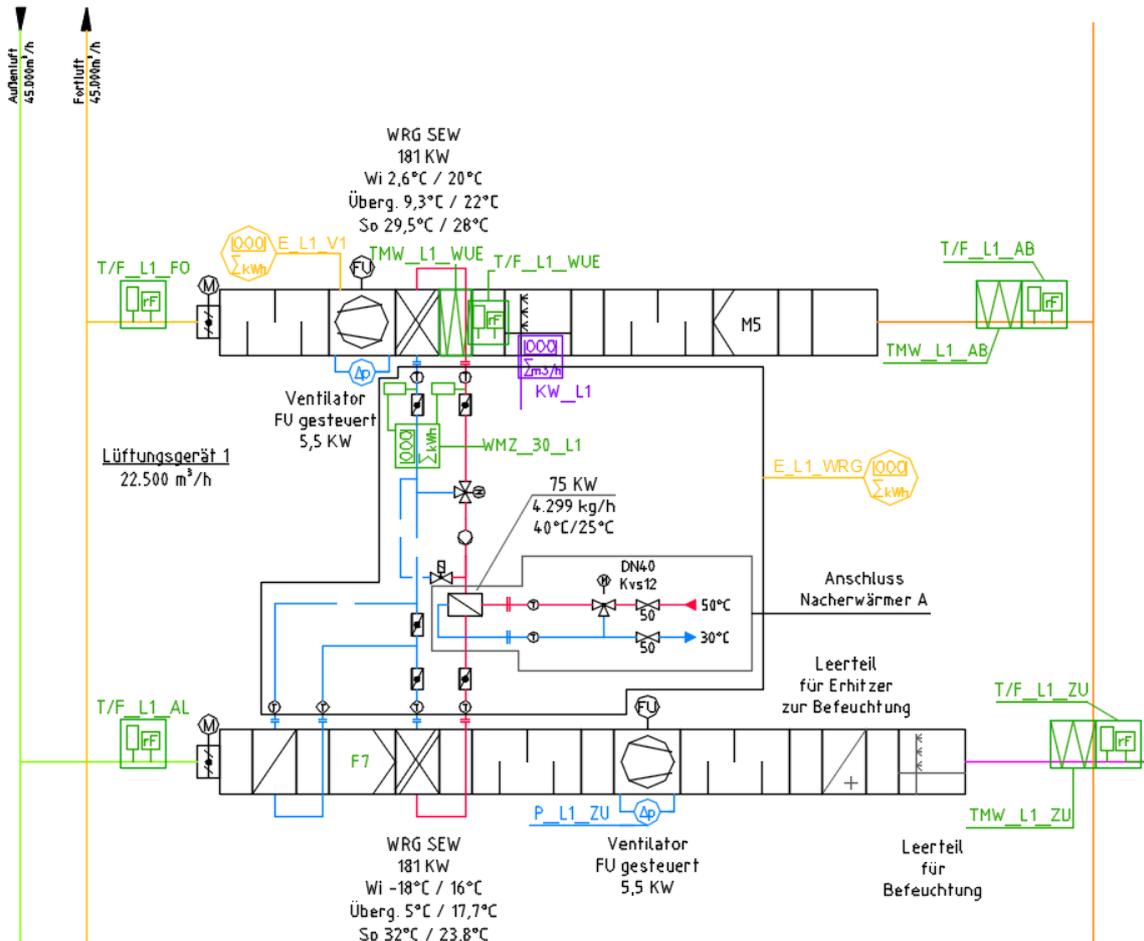


Abbildung 2.3-26: Positionierung der Sensorik in der zentralen Lüftungsanlage

2.3.7.5 Monitoring der Klimabedingungen am Standort

Für einen effizienten Gebäudebetrieb ist die Erfassung von klimatischen Bedingungen direkt am Standort unerlässlich. Wichtige haustechnische Funktionen der Wärme- und Kälteerzeugung, Lüftung oder Verschattung werden in Abhängigkeit von Außenlufttemperatur und -feuchte oder Windgeschwindigkeit und Sonnenstand gesteuert. Außerdem laufen einige sicherheitsrelevante Algorithmen wie z. B. das Hochfahren der Verschattungseinrichtungen bei Sturm über eine Wetterstation. Auch für die energetische Bilanzierung im Rahmen des Monitorings (z. B. klimabereinigter Heizenergieverbrauch) wird eine professionelle Aufnahme von meteorologischen Parametern benötigt.

Auf jedem Dach der vier Einzelgebäude ist eine einfache Wetterstation der Firma Elsner Elektronik vom Typ P03-Modbus aufgeständert auf einem kurzen Mast installiert. Sie werden hauptsächlich für die Verschattungssteuerung eingesetzt. Des Weiteren existieren separate Kombifühler für Außenlufttemperatur und -feuchte (Thermokon FTA54VS) für die Steuerung der Wärme- und Kälteerzeuger (siehe Abbildung 2.3-29). Eine zentrale kompakte Wetterstation mit höherer Präzision (Clima Sensor US von Thies Clima, siehe Abbildung 2.3-27) ergänzt die Sensorik.

Bei der Wetterdatenerfassung gab es hauptsächlich zwei Gründe, warum es nicht möglich war mehrere Funktionen und Gewerke auf einen Sensor aufzuschalten. Zum einen lässt sich die Haftungsfrage (z. B. bei einem Sturmschaden der Verschattungsbehänge) dann nicht mehr zweifelsfrei klären und zum anderen benötigen die unterschiedlichen Gewerke definierte Parameter in unterschiedlicher Genauigkeit (siehe Tabelle 2.3-6). Im Monitoring soll u. a. die Frage geklärt werden, ob aus technischer

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Sicht eine Wetterstation ausreichend gewesen wäre und welche Spezifikationen diese besitzen müsste.

Tabelle 2.3-6: Genauigkeiten der verschiedenen Klimasensoren (Auszug)

| | P03-Modbus | Clima Sensor US | Thermokon FTA54VS |
|---|------------|-----------------|-------------------|
| Genauigkeit Lufttemperatur bei 20 °C | ±1,5 °C | ±0,5 °C | ±0,13 °C |
| Genauigkeit Windgeschwindigkeit bei v < 5 m/s | mind. 15 % | max. 5 % | - |

Zur Bilanzierung und Analyse strahlungsrelevanter Aspekte (Ertrag PV-Anlage, solare Einstrahlung durch Verglasungsflächen, sommerliche Überhitzung) wurden vier orientierungsabhängige Pyranometer in Fassadenebene (GSM 10.7) montiert. Komplettiert werden sie durch zwei Strahlungssensoren in PV-Ebene (CMP 11) und auf die Horizontale (GSM 10.7).



Abbildung 2.3-27: Wetterstation Clima Sensor US auf dem Auladach

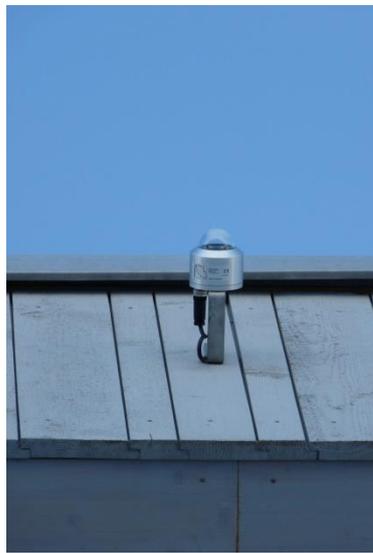


Abbildung 2.3-28: Pyranometer GSM 10.7 in Fassadenebene Nord



Abbildung 2.3-29: Außenlufttemperatur und -feuchtefühler Thermokon FTA54VS

2.3.7.6 Monitoring der elektrischen Energieverbräuche

Die Erfassung der elektrischen Energie und Leistung erfolgt mit Standardstromzählern. Die Schwerpunkte liegen zum einen auf den Stromflüssen innerhalb des Gesamtgebäudes. So liegt der erste Messpunkt direkt am Eingang der Trafostation, gefolgt von den vier Hauptverteilungen der Gebäude Aula, Sporthalle, Klassenhaus Nord und Ost bis hin zu den einzelnen Gebäudeverteilern. Zum anderen werden alle stromrelevanten Sondernutzungen wie PV-Anlage, Server, Außenbeleuchtung, Küche oder GLT separat aufgezeichnet. Im Bereich der Haustechnik sind soweit möglich alle wesentlichen Komponenten mit eigenen Zählern ausgestattet. Dazu gehören z. B. die Umwälzpumpen, Wärme- und Kälteerzeuger, Ventilatoren der Lüftungsanlage oder die Splitgeräte der Serverkühlung. Schlussendlich erfolgt eine detaillierte nutzungsspezifische Auslesung der Stromflüsse in den fünf Referenzräumen (Beleuchtung, Verschattungsanlage, Steckdosen).

2.3.7.7 Spezifikation der Monitoringsensoren

Alle Sensoren werden im Rahmen des normalen Planungsprozesses öffentlich ausgeschrieben. Dazu ist es wichtig, dass die Qualitäten ausschreibungskonform und detailliert in den Leistungsverzeichnissen festgehalten werden. Dazu sind im Wesentlichen vier Aspekte zu berücksichtigen, die auch in der DIN 1319 „Grundlagen der Messtechnik“ beschrieben sind:

- Der Messbereich

Der Messbereich der Fühler ist an die Gegebenheiten des Mediums anzupassen. Für Raumtemperaturmessungen sind Sensoren von einem Messbereich zwischen 0 °C und 40 °C ausreichend. Ein vergrößerter Messbereich führt zu unnötig hohen Kosten und geht zu Lasten der Genauigkeit. Bei zu kleinem Messbereich besteht die Gefahr unbrauchbarer Messergebnisse und einer Zerstörung des Fühlers.

- Das Messprinzip

Für viele Messgrößen gibt es unterschiedliche Methoden, den Messwert zu ermitteln. Auswahlkriterien sind z. B. erzielbare Genauigkeit, Einsatzbedingungen, Investitionskosten, Wartung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit. So werden z. B. bei der Durchflussmessung mit höchster Genauigkeit in kleinen Nennweiten magnetisch-induktive Messumformer verwendet. In vorliegendem Fall reichen jedoch Ultraschallsensoren aus, die deutlich billiger sind.

- Die Messgenauigkeit bei definierten Bedingungen

Die Abweichung eines Messwertes vom wahren Wert wird als Messfehler bezeichnet. Dabei sind absoluter und relativer Fehler als Bezug von absolutem Fehler zum Messwert zu unterscheiden. Insbesondere bei Verwendung von Messwerten für Rechenoperationen (z. B. Energiebilanzen) ist auf hohe Messgenauigkeit zu achten. Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz wird z. B. bei der Multiplikation von Messwerten die Messungenauigkeit addiert. Der Fehler ist immer abhängig von bestimmten Randbedingungen wie z. B. der Umgebungstemperatur oder dem Einsatzbereich. Somit sind Messgenauigkeiten immer in Bezug zu relevanten Randbedingungen anzugeben (z. B. 2 % bei 25 °C und 40 %rF).

- Das Auslesen von Messwerten

Beim Projekt Diedorf werden alle Sensoren über die Bus-Systeme ausgelesen. Dabei ist es wichtig, dass die Größen als Momentanwerte in einem hohen Zeittakt (1 min) generiert werden und über die GLT abgerufen werden können.

Die für das Monitoring und für den Gebäudebetrieb notwendigen Sensoren wurden über die LVs der Gewerke HLS und Elektro ausgeschrieben. Dabei ist die Beschreibung der Qualitäten auf Vorgaben des ZAE Bayern zurückzuführen. Die aufgrund der Einbausituation notwendigen Größen wie z. B. Fühlerlänge und Querschnittsangaben von Durchflusssensoren wurden von den Fachplanern ergänzt. Die notwendige Spezifikation ergibt sich immer unter Berücksichtigung von messtechnischen, planerischen, wirtschaftlichen und produktbezogenen Aspekten.

Messgenauigkeit von Temperatursensoren

Meist werden Widerstandsthermometer aus korrosionsbeständigen Metallen wie Platin oder Nickel eingesetzt, um Absoluttemperaturen zu bestimmen. Das Messprinzip beruht dabei auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands von Leitern. Gemäß der aktuell gültigen Norm DIN EN 60751 aus dem Jahre 2009 muss jeder Temperatursensor so gekennzeichnet werden, dass der Anwender die wesentlichen Informationen zu Nennwiderstand, Genauigkeitsklasse, Anschlussart und Einsatzgrenzen erhält, wie folgendes Beispiel zeigt:

Kennzeichnung

Pt 100 / A / 4 / -150 / +500

Bedeutung

- Platin Nennwiderstand bei 0 °C R = 100 Ω
- Genauigkeitsklasse A
- 4-Leiter-Anschluss
- Unterer / Oberer Temperaturbereich: -150 °C/500 °C

Die Genauigkeit wird in Klassen eingeteilt. Die Grenzabweichung für z. B. Klasse A definiert sich zu: $\pm 0,15 + 0,002 \times T$ (für z. B. T=20 °C ergibt sich eine Abweichung von $\pm 0,19$ °C). Eine graphische Übersicht über die gängigsten Genauigkeitsklassen ist Abbildung 2.3-30 zu entnehmen.

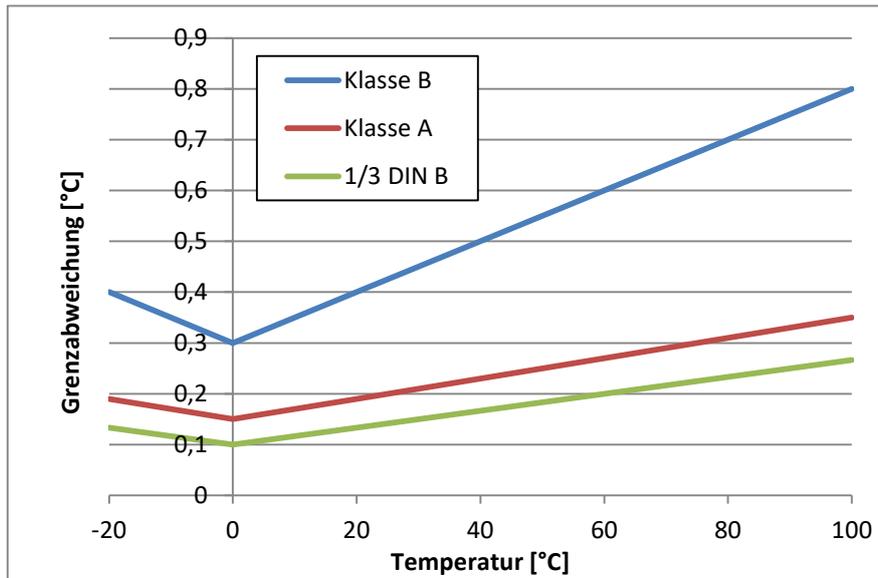


Abbildung 2.3-30: Grenzabweichung verschiedener Klassen bei Platinsensoren nach DIN EN 60751

Messgenauigkeit von elektrischen Sensoren

Die Genauigkeitsklassen von elektrischen Messgeräten geben den maximal zulässigen Fehler in Prozent vom Messbereichsendwert an. Die Definition ist in DIN 1319-1 Kapitel 5.12 beschrieben. Gängige Klassen sind hierbei:

- K 1 Anzeigefehler maximal 1 % vom Messbereichsendwert
- K 1,5 Anzeigefehler maximal 1,5 % vom Messbereichsendwert
- K 3 Anzeigefehler maximal 3 % vom Messbereichsendwert

Ein Strommesser mit Messbereich 0 mA bis 100 mA in Klasse 1 hat demnach einen maximal zulässigen Fehler von 1 mA.

Spezifikation der Monitoringsensoren

Alle Monitoringsensoren sind in einer sogenannten Sensorliste zusammengefasst, die im Anhang 25 zu finden ist. Dort sind Angaben zu Einbauort, Messgenauigkeit, Einsatzbereich sowie die Produktbezeichnung der verbauten Fühler zu finden. Im Folgenden wird hier kurz auf die wichtigsten Anwendungen eingegangen:

- Raumluftsensoren
 Die Lufttemperatur aller Räume wird mit einem Sensor der Genauigkeitsklasse B nach DIN EN 60751 in einem Einsatzbereich von -20 °C bis 60 °C erfasst. Die CO₂-Konzentration kann bis auf ± 5 % vom Messwert in einem Bereich von bis zu 2000 ppm angezeigt werden.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Die Oberflächentempersensoren werden ebenfalls mit einer Genauigkeit der Klasse B erfasst. Der Einsatzbereich vergrößert sich auf -30 °C bis 105 °C.

- Flüssige Medien in heizungstechnischen Anlagen
Thermische Energien und Temperaturen in heizungstechnischen Anwendungen werden über WMZ bzw. bei Kälteanwendungen über KMZ erfasst. Grundsätzlich sind zwei Systeme zu unterscheiden. In standardisierten Anwendungen ohne erhöhte Anforderungen (Lufterhitzer, BWV-Verteiler) werden Kompakt-Ultraschallzähler vom Typ Amtron Sonic mit einer Genauigkeit der Temperaturdifferenzmessung von 0,1 K und Klasse 2 nach DIN EN 1434 bei der Durchflussermittlung eingesetzt. Insbesondere KMZ zur Erfassung der Kühlleistung über die FBH erfordern eine höhere Genauigkeit, weil im Auslegungsfall kleine Temperaturdifferenzen von < 3 K angestrebt werden. Hier kommen präzise Splitgeräte aus Rechenwerk (Caltec St), Volumenstrommesser (Amflo MAG nach Klasse 2 DIN 1434) und Temperaturfühler (PLC 100 nach Klasse B nach DIN EN 60751) von Aquametro zum Einsatz.

In den Pufferspeichern wird die Wassertemperatur über Pt1000 Stabfühler der Firma S+S mit einer Genauigkeit nach Klasse B (DIN EN 60751) erfasst.

Alle Temperatursensoren wurden mit Hilfe von Tauchhülsen eingebaut.

- Gasförmige Medien in Lüftungstechnischen Anlagen
Bei kleinen Kanalquerschnitten wird mit einem Stabfühler der Firma Sauter in Kanalmitte gemessen. Dabei werden Genauigkeiten der Klasse ½ DIN B (Temperatur) und ±3,5 % (Feuchte bei 55 %rF und 23 °C) erreicht. Bei der zentralen Technik sind aufgrund der geforderten geringen Luftgeschwindigkeiten Querschnitte von bis zu H = 2,4 m x B = 2,1 m vorzufinden. Um hier die Bedingungen der Luftströmung annähernd genau mit vertretbarem Aufwand zu erfassen, werden Mittelwerttemperaturfühler mit einer Länge von 11 m eingesetzt, die fünfmal im Querschnitt verzogen werden können. Sie erfassen den Messwert mit einer Genauigkeit der Klasse B nach DIN EN 60751. Die Feuchte wird über einen Kombistabfühler im Querschnitt ermittelt, der auch redundant zur Temperaturmessung herangezogen wird.

Auch die Erfassung des Volumenstromes bzw. des Massenstromes mit vertretbarem Aufwand gestaltet sich schwierig. An der zentralen Anlage ist ein Differenzdrucksensor der Firma Thermokon, der eine Genauigkeit von ±1,5 % vom Messwert über den Einsatzbereich aufweist, am Ventilator montiert. Mit Hilfe der Ventilator Kennlinie des Herstellers lässt sich dann der Volumenstrom abschätzen.

Der Zuluftvolumenstrom der Referenzräume wird mit einer anderen Messmethode kostengünstig erfasst. Dort wird ein Hitzedrahtanemometer verwendet. Das Messprinzip beruht hier auf einem Sensorelement, das elektrisch beheizt wird und dessen elektrischer Widerstand von der Temperatur abhängt. Durch die Umströmung findet ein Wärmetransport in das Strömungsmedium statt, der sich mit der Strömungsgeschwindigkeit verändert. Durch Messung der elektrischen Größen kann so auf die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen werden. Unter Berücksichtigung der geometrischen Größen des Kanals errechnet sich dann der Volumenstrom. Allerdings ist diese Methode mit einer mindestens zweistelligen Abweichung (> 10 %) nicht besonders genau, für eine Abschätzung allerdings hinreichend.

- Elektrische Parameter
Für die Erfassung der elektrischen Parameter sind in der Regel die momentane Wirkleistung sowie die akkumulierte Energie ausreichend, um Aussagen zur Effizienz, Wirtschaftlichkeit und der Stromverteilung innerhalb des Gebäudes zu machen. Nur für die Betrachtung der PV-Anlage wird das Spektrum erweitert, indem alle internen Daten der Wechselrichter ausgelesen werden. Der Anzeigefehler beträgt maximal 1 % vom Messbereichsendwert.

2.3.7.8 Detailplanung, Bauausführung, Abnahme und Mängelbeseitigung

Sowohl der Einbau der Standardsensoren für den Gebäudebetrieb als auch die Montage der zusätzlich notwendigen Monitoringfühler erfolgte durch die ausführenden Firmen der Gewerke Elektro und HLS. Bedingt durch den engen Zeitplan und die dadurch notwendige baubegleitende Planung, musste auch die Planung der Sensorik laufend an die neuen Bedingungen bzw. die Änderungen der anderen Gewerke angepasst werden, wie folgendes Beispiel zeigt.

In den Referenzräumen wird der Zuluftvolumenstrom mit Hilfe eines Hitzedrahtanemometers ermittelt. Um bei der Vermessung von Gasen und Fluiden optimale Messverhältnisse und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, muss eine laminare Anströmung des Sensors vorliegen. Hierzu sollte vor der Messstelle eine ungestörte, gerade Anströmstrecke von mind. dem 10-fachen Kanaldurchmesser vor und mind. dem 5-fachen Durchmesser nach der Messstelle vorliegen. In den ersten Planungsphasen sollte das Hitzedrahtanemometer in den vertikalen oder horizontalen Zuluftkanälen jeweils eine Etage unter dem entsprechenden Referenzraum eingebaut werden. Jedoch stellte sich im Dialog mit dem Planungsteam im weiteren Projektverlauf heraus, dass diese Kanäle mit einer F-30 Brandschutzverkleidung versehen werden. Eine Installation an dieser Stelle wäre somit mit erhöhten Kosten verbunden. Zudem wäre eine nachträgliche Wartung oder Revision des Sensors praktisch unmöglich. In Absprache mit dem HLS-Planer wurde eine alternative Messstelle gesucht. Da jeder Raum aus dem Technikgeschoss durch eine eigene Zuluftleitung angefahren wird, kann die Volumenstrommessung auch im Keller erfolgen. Dort fehlte zunächst allerdings eine ausreichend lange Messstrecke, die dann nachträglich installiert wurde. Sie ist in Abbildung 2.3-31 zu sehen. Ein Rückbau nach Abschluss des Monitorings ist denkbar.



Abbildung 2.3-31: Messstrecke für die Volumenstromermittlung der Zuluft für die Referenzräume

Die Erfahrung hat gezeigt, dass alle Überlegungen Messgrößen möglichst genau zu erfassen (z. B. Definition von Genauigkeit und Montagestandort, Auswahl Sensorprodukt) konterkariert werden können, wenn die Sensoren nicht wie geplant eingebaut werden. Deshalb ist im Rahmen der Abnahme bzw. der Qualitätssicherung darauf zu achten, dass eine fehlerfreie Montage durchgeführt wird. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die ausführenden Firmen auf dem Gebiet des Monitorings keine ausreichenden Kenntnisse haben, um Fehler zu erkennen. Dies soll das folgende Beispiel verdeutlichen, welches im Rahmen der Qualitätssicherung detektiert wurde.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Der zur Bestimmung des Volumenstroms notwendige Differenzdrucksensor an der zentralen Lüftungsanlage wurde nur einseitig angeschlossen und die Positionierung erfolgte nicht in der Nähe des Ventilators, sodass nur der statische Druck innerhalb der Anlage gemessen wurde. Hier fehlte bei den montierenden Mitarbeitern das Verständnis, wozu dieser Fühler eigentlich gebraucht wird. Als Folge ist im weiteren Projektverlauf darauf geachtet worden, dass die Kommunikationstiefe erhöht wird. Schlussendlich ist der Sensor versetzt worden, dass jeweils ein Anschluss vor und einer nach dem Ventilator erfolgte.

Gerade bei dem Einbau der zusätzlichen Monitoringfühler, die nicht für den normalen Gebäudebetrieb notwendig sind, hat sich in der Bauausführung herausgestellt, dass etliche Sensoren falsch oder gar nicht eingebaut worden sind. Die Nachinstallation zog sich über Monate hin, weil die Firmen nach Inbetriebnahme des Gebäudes nur noch sporadisch auf der Baustelle zu greifen waren. Einen Auszug über die wesentlichen Sensoren, die in der Schule verbaut wurden, ist dem bebilderten Anhang 26 zu entnehmen.

2.3.7.9 Datenbankerstellung, Messdatentransfer und Onlinevisualisierung

Die für das Monitoring notwendigen Messwerte von Sensoren, Aktoren, Regelparametern und Betriebszuständen werden über die Bus-Systeme der Gewerke HLS und Elektro erfasst und auf Servern zusammengefasst. Per csv-Datei erfolgt der Datenexport zu einem unabhängigen Server des ZAE Bayern, der für die Leittechnik vor Ort nicht benötigt wird. Dabei werden Tagesdateien mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute erzeugt. Großer Vorteil dieser Systemarchitektur ist, dass es weiterhin klare Zuständigkeiten für Funktionalität und Gewährleistung der einzelnen Server gibt. Die Datenaufnahme erfolgt unabhängig und ohne Zugriff auf die für den Gebäudebetrieb notwendigen Server für HLS und Elektro. Die Weiterleitung zur Datenbank am ZAE Bayern erfolgt über eine gesicherte Internetverbindung. Dort werden diese Daten in einer Datenbank abgelegt, auf Plausibilität geprüft und vorausgewertet. Auf diese Weise sind eine hohe Datenverfügbarkeit und eine rasche Auswertung gewährleistet. Weiterhin wird das am ZAE Bayern entwickelte Web-Browser-basierte Softwarepaket Medview2 eingesetzt, das die graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der in der Datenbank abgelegten Messdaten erlaubt. So können ohne großen Aufwand aktuelle und historische Daten miteinander verglichen werden. Ebenso ist eine tabellarische Auswertung für z. B. Energiebilanzen oder eine Implementierung von Rechenkanälen möglich, in denen eine mathematische Verknüpfung und Berechnung von sekundären Werten erfolgt (z. B. 24h-Mittelwerte der Bauteilfühler). Des Weiteren kann eine Zugangsberechtigung für im Projekt beteiligte Personen eingerichtet werden, mit der jederzeit von einem externen Rechner Einsicht in die in der Datenbank gespeicherten Messdaten genommen werden kann. Ein Schema des gesamten Messdatentransfers ist Abbildung 2.3-32 zu entnehmen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

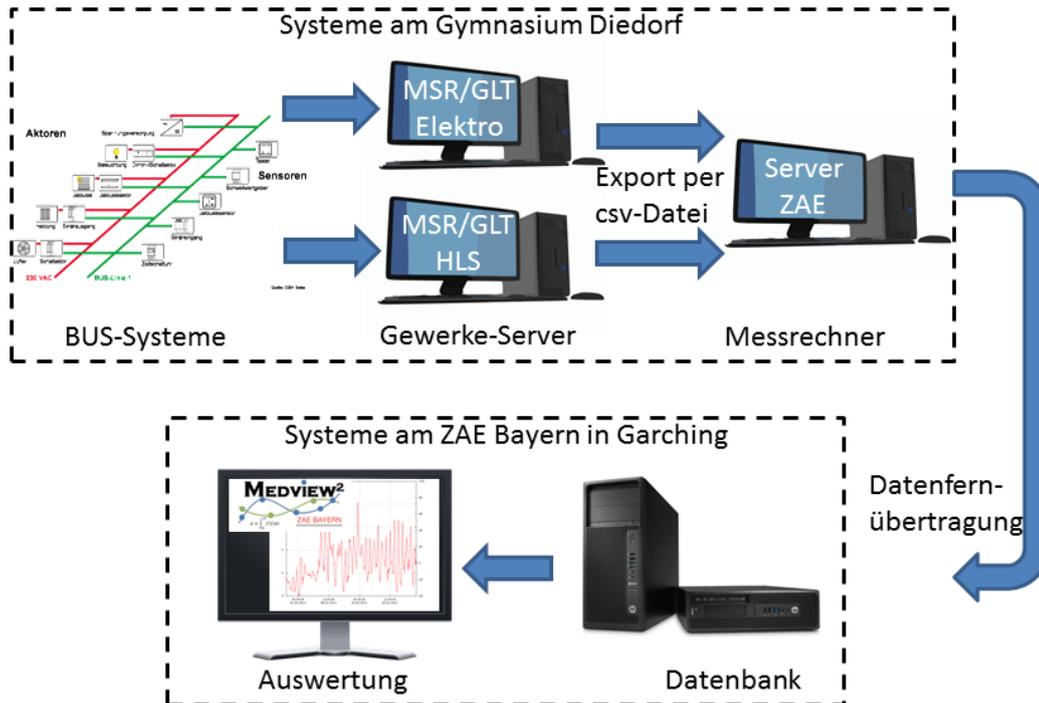


Abbildung 2.3-32: Schematische Darstellung des Datenexports für das Monitoring

Die Umsetzung erfolgt bis zur Erstellung der csv-Datei durch die ausführenden Firmen, die Konfiguration des Messrechners sowie den Aufbau der Datenbank fallen in die Verantwortlichkeit des ZAE Bayern.

2.3.7.10 Fazit und Ausblick

Das größte Problem beim Aufbau der Messdatenerfassung war, dass die zusätzliche Monitoringssensorik und der gesamte Datentransfer nicht für den normalen Gebäudebetrieb notwendig sind und somit für die Planer und insbesondere für die ausführenden Firmen eine untergeordnete Priorität besaßen. Das führte dazu, dass Leistungen zu spät, nicht in der nötigen Qualität oder gar nicht ausgeführt wurden. Insbesondere die Bereitstellung des für eine automatisierte Auswertung notwendigen einheitlichen Datenformats stellte die Firmen vor besondere Herausforderungen.

Weitgehend problemlos ist die Ausstattung der technischen Anlagen mit Wärmemengen- bzw. Kältemengenzählern sowie Temperatur- und Feuchtesensoren verlaufen. Bei der Strommessung von technischen Komponenten wie Umwälzpumpen oder Wärme- und Kälteerzeuger kam es vereinzelt zu Schnittstellenproblemen zwischen den Planern HLS und Elektro. Diese konnten aber schnell gelöst werden. Ein besonderes Augenmerk ist noch auf die Stromlaufpläne zu richten. Dort müssen bezüglich des Monitorings einigen Änderungen umgesetzt werden. Teilweise ist die Verkabelung nicht entsprechend den Vorgaben ausgeführt worden. So lässt sich z. B. die Beleuchtung in den Referenzräumen nicht separat betrachten. Auf der entsprechenden Phase sind zusätzlich Steckdosen der Tafel aufgeklemmt.

Um mehrere tausend Datenpunkte aus dem Gebäudebetrieb effizient auswerten zu können, ist eine automatisierte Datenverarbeitung notwendig. Diese basiert auf einem einheitlichen Dateiformat, welches von den Gewerke-Servern ELT und HLS geliefert wird. Dazu müssen Vorgaben bezüglich Zahlen- und Buchstabenformat in bestimmter Zeilen- und Spaltensystematik umgesetzt werden. Die Umsetzung stellte die ausführenden Firmen vor unerwartet große Probleme, sodass ein vollumfängliches Monitoring nicht wie geplant zum 01.01.2016 beginnen konnte.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Für das Monitoring sind interne Herstellerparameter von z. B. Kältemaschine oder WRG sehr hilfreich. Dabei ist man allerdings auf eine entsprechende Bus-fähige Schnittstelle zum Auslesen der Daten angewiesen. Festzustellen ist, dass die Hersteller sehr unterschiedlich reagieren, wenn man interne Daten zur Analyse und Optimierung abgreifen will. Manche sind sehr an den Ergebnissen interessiert und stellen die Daten unentgeltlich zur Verfügung, andere verlangen hohe Schutzkosten, die ein Auslesen nahezu unmöglich machen (z. B. WRG).

Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass insbesondere mit den ausführenden Firmen Inhalte, Ziele und Arbeitspunkte des Monitorings noch frühzeitiger besprochen werden müssen. Es sollten Fristen für die Erledigungen bestimmter Arbeiten fixiert werden. Der Bauherr muss dann entsprechend für eine fristgerechte Umsetzung sorgen. Dem Planer des Monitoring müssen frühzeitig detaillierte Unterlagen zu den technischen Gewerken zur Verfügung gestellt werden (z.B. Stromlaufpläne), sodass eine Erfolgskontrolle und Mängelbeseitigung zeitnah möglich ist.

2.3.8 Qualitätssicherung

2.3.8.1 Ausgangssituation, Motivation, Zielsetzung

Komplexe und innovative Bauvorhaben mit vielen Projektbeteiligten bergen die Gefahr, dass die im Vorfeld gesteckten Projektziele nicht oder nur zum Teil erreicht werden. Die Folge können Bauschäden, eingeschränkte Nutzbarkeit, ein unwirtschaftlicher Betrieb oder ungenügende Komfortbedingungen im Gebäude sein. Eine Möglichkeit solche Fehlentwicklungen zu minimieren, ist die Umsetzung einer Qualitätssicherung. Dabei ist es wichtig, dass von Beginn an externe Berater hinzugezogen werden, da gerade in den frühen Planungsphasen wichtige Systemscheidungen getroffen werden, die später gar nicht oder nur mit großem Aufwand wieder rückgängig gemacht werden können (siehe Abbildung 2.3-33).

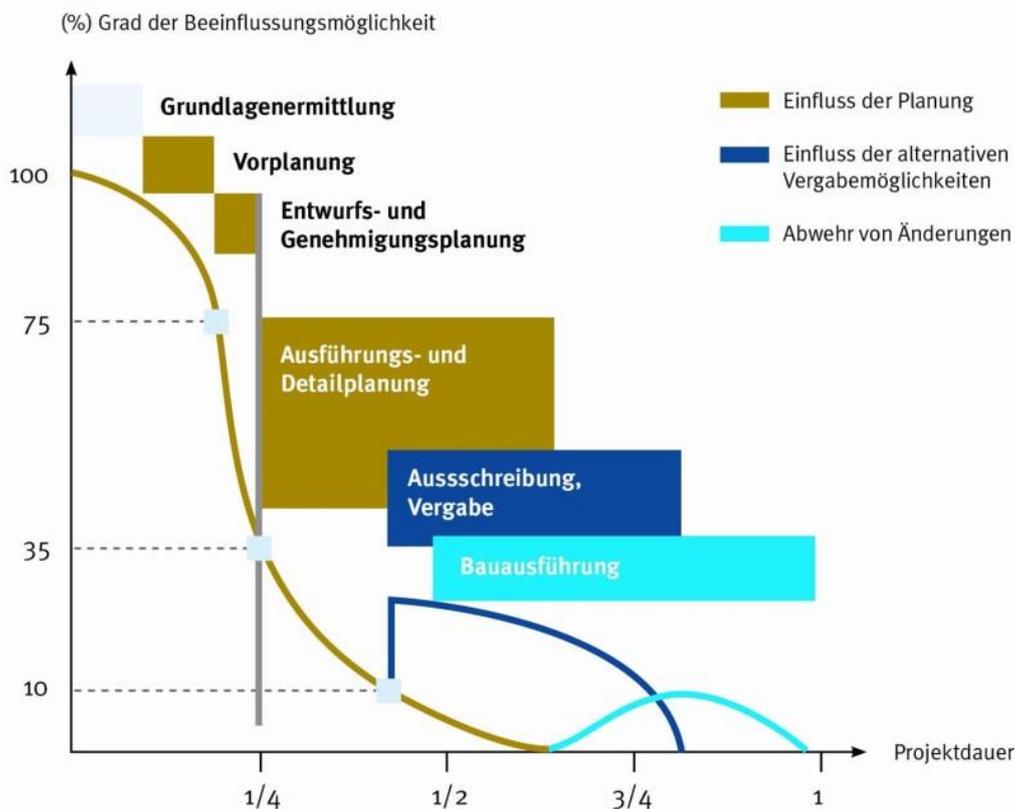


Abbildung 2.3-33: Einflussmöglichkeiten im Planungs- und Bauprozess.

Grafik: Drees & Sommer AG

Beim Neubau des Gymnasiums Diedorf wurden innovative Ziele bezüglich Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Nutzungs- und Lernkomfort sowie Baustoffwahl und gesundheitliche Aspekte verfolgt. Die zahlreichen beteiligten Planer brachten eine hohe Anzahl an fehleranfälligen Schnittstellen mit sich, und damit die Gefahr, die gesteckten Projektziele für sich und aufeinander abgestimmt zu verfehlen. Aus diesem Grund hat man sich entschieden, eine Qualitätssicherung durchzuführen. Somit lässt sich auch die Kontinuität und Konsistenz über alle Projektphasen erhalten.

Der Umfang einer Qualitätssicherung ist abhängig von den handelnden Personen, der Komplexität der Baumaßnahme sowie den gesteckten Projektzielen. Dem Architektenteam kommt dabei eine große Bedeutung zu. Es hat die Aufgabe Anforderungen zu definieren und deren Eigenschaften sicher zu stellen. In besonders sensiblen Bereichen ist eine Umsetzung des 4-Augen-Prinzips bei grundsätzlichen Systemscheidungen wie z. B. einem funktionierenden Gesamtkonzept Heizen / Kühlen / Belüften zielführend. Dabei sind externe Experten, die nicht direkt an der Planung beteiligt sind, hinzuzuziehen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Darüber hinaus sind zusätzliche Maßnahmen zur Qualitätssicherung notwendig. Dazu gehören Blower-Door-Tests zur Sicherstellung einer leckagefreien Gebäudehülle oder der Aufbau von Mustersystemen vor der Systementscheidung oder der Bauausführung.

Im Projekt Diedorf konnte aufgrund eines Kostendeckels keine ganzheitliche Qualitätssicherung über alle Gewerke umgesetzt werden. Die Schwerpunkte lagen im Bereich der Energieeffizienz sowie des Nutzungskomforts, wobei beide Bereiche eng miteinander verzahnt sind. Die Herausforderung besteht darin, einen möglichst geringen Energieverbrauch bei hohen Raumkomfortwerten zu gewährleisten. Energieeinsparungen zu Lasten raumklimatischer Parameter sind leicht umzusetzen, wie z. B. der Verzicht auf eine Kühlung im Sommer oder geringere Frischluftvolumenströme.

Erster Schritt der Qualitätssicherung war die Identifikation der maßgeblichen Inhalte, Schnittstellen und Meilensteine (z. B. die Erstellung der LVs). Im Fokus stand dabei ein nachhaltiges Versorgungskonzept für die Bereiche Heizen, Kühlen, Lüften bei vorheriger Minimierung der Energiebedarfe für Kälte und Wärme durch eine lückenlose und hoch dämmende Gebäudehülle mit geringer Infiltration und einer effizienten Verschattungsanlage. Auch eine Reduktion aller nutzungsspezifischen und anlagentechnischen Stromverbräuche ist Grundlage, um die hohen Projektziele in Bezug auf den Plusenergiestandard zu erreichen. Durch die Umsetzung der offenen LernLandschaften erhielt der Aspekt Raumakustik eine zentrale Bedeutung, ein angenehmes Lernumfeld zu schaffen. Dazu ist ein externer Berater zu Rate gezogen worden. Des Weiteren sind Wandaufbauten im Schalllabor messtechnisch untersucht worden. Auch eine Einbringung von ausreichend Frischluft mit angenehmer Zulufttemperatur sowie ganzjährig akzeptable Raumlufttemperaturen sind wichtige Bedingungen für ein zufriedenstellendes Raumklima.

Im Folgenden werden die wesentlichen Arbeitsschwerpunkte der Qualitätssicherung detailliert beschrieben.

2.3.8.2 Revision und Optimierung der Anlagentechnik

Auslegungsleistung Wärmeerzeuger

Basierend auf dem Konzept der Gebäudehülle sowie der Nutzung bzw. den Komfortbedingungen für die Raumluft ist eine erste Abschätzung der benötigten Heizlast nach DIN EN 12831 erstellt worden. Dabei mussten einige Eingangsparameter wie z. B. Luftdurchlässigkeit, Luftwechselrate und der Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung (WRG) an den Planungsstand angepasst werden. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Brauchwarmwasserbereitung (BWW), dem Speicherkonzept, den Gleichzeitigkeitsfaktoren und den Wechselwirkungen mit der Lüftungsanlage ergab sich die Auslegungsleistung der Wärme- und Kälteerzeuger. Auch hier waren Anpassungen auf Basis eines ganzheitlichen Konzeptes nötig, mit dem Ziel eine in Bezug auf Kosten (Investition und Betrieb) und Energieeffizienz optimierte Lösung zu erreichen. Die konventionellen Ansätze der Fachplaner beinhalten unnötig hohe Leistungsreserven, die bei detaillierterer Betrachtung deutlich abgesenkt werden können. Dies führte zu geringeren Investitionskosten und einer besseren Auslastung der Systeme. Die schlussendliche Nennwärmeleistung der Wärmeerzeuger ergab sich zu 200 kW.

Auslegungsleistung Kälteerzeuger

Grundgedanke in der Konzeptphase war es, die niedrigen Außentemperaturen nachts für die Erzeugung der Kälte zu nutzen, um so einen besseren Wirkungsgrad (EER = energy efficiency ratio) zu erhalten. Die Zwischenspeicherung erfolgt in einem Kältespeicher sowie in der Gebäudemasse. Dazu wurde der thermisch aktivierbare Fußbodenaufbau auf 9 cm Estrichdicke vergrößert. Eine aktive Kühlung während der Hauptbetriebszeit ist nicht vorgesehen, tagsüber wird nur moderat die Zuluft konditioniert. Diese Randbedingungen sind in der Standard-Kühllastberechnung nach VDI 2067 nur unzureichend abbildbar und würden nicht zu geeigneten Auslegungen führen. Aus diesem Grund wurde eine vereinfachte thermisch-dynamische Simulation erstellt, um die maximale Ladeleistung in der

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Nacht über die Fußbodenheizung (FBH) zu ermitteln. Bezogen auf das Gesamtgebäude wurde dabei eine Nennkälteleistung von 135 kW bzw. eine spezifische Leistungen von 20 W/m² bestimmt.

Entscheidungsmatrix zur Wärme- und Kälteerzeugung

Nachdem die maximale Nennleistung für Wärme und Kälte ermittelt wurde, können in einer umfangreichen Varianten- und Sensitivitätsuntersuchung verschiedene Erzeugungsvarianten miteinander verglichen werden. Das Projektteam hat sich für das Gymnasium Diedorf das Ziel gesetzt, die Aspekte Primärenergieaufwand, CO₂-Emissionen und annuisierte Kosten in einer Lebenszyklusbetrachtung zu minimieren. Leider ist diese Vorgehensweise in der Praxis kaum verbreitet. Somit fehlt vielen Planern das notwendige Know-how, eine ganzheitliche, aussagekräftige und fehlerfreie Vergleichsrechnung durchzuführen. Grundsätzlich ist es Aufgabe des Fachplaners für Technische Gebäudeausstattung sowie des Energieberaters eine entsprechende Vergleichsmatrix aufzustellen. Im Rahmen der Qualitätssicherung sind insbesondere folgende Aspekte untersucht und optimiert worden:

- Randbedingungen zu Betrachtungszeitraum (15 a), mittleren Energiepreisen über den Betrachtungszeitraum, CO₂-Emissionsfaktoren, Primärenergiefaktoren und den wärmetechnischen Energien und Leistungen
- Beschreibung einer einheitlichen Bilanzgrenze (Betrachtung von Wärme und Kälte kombiniert)
- Definition von technisch sinnvollen Versorgungsvarianten (Variante 0 bis Variante 8)
- Dokumentation der Varianten
- nachvollziehbare Rechenwege
- Definition der Jahresnutzungsgrade
- Deckungsanteile der Erzeugungsvarianten (Betrachtung durch eine Sensitivitätsanalyse)
- Ergebnisdarstellung und -analyse

Die untersuchten Varianten, die berücksichtigten Randbedingungen sowie eine Ergebnisdarstellung mit Systemauswahl werden intensiv in Kapitel 2.2.2 Heizungstechnik beschrieben.

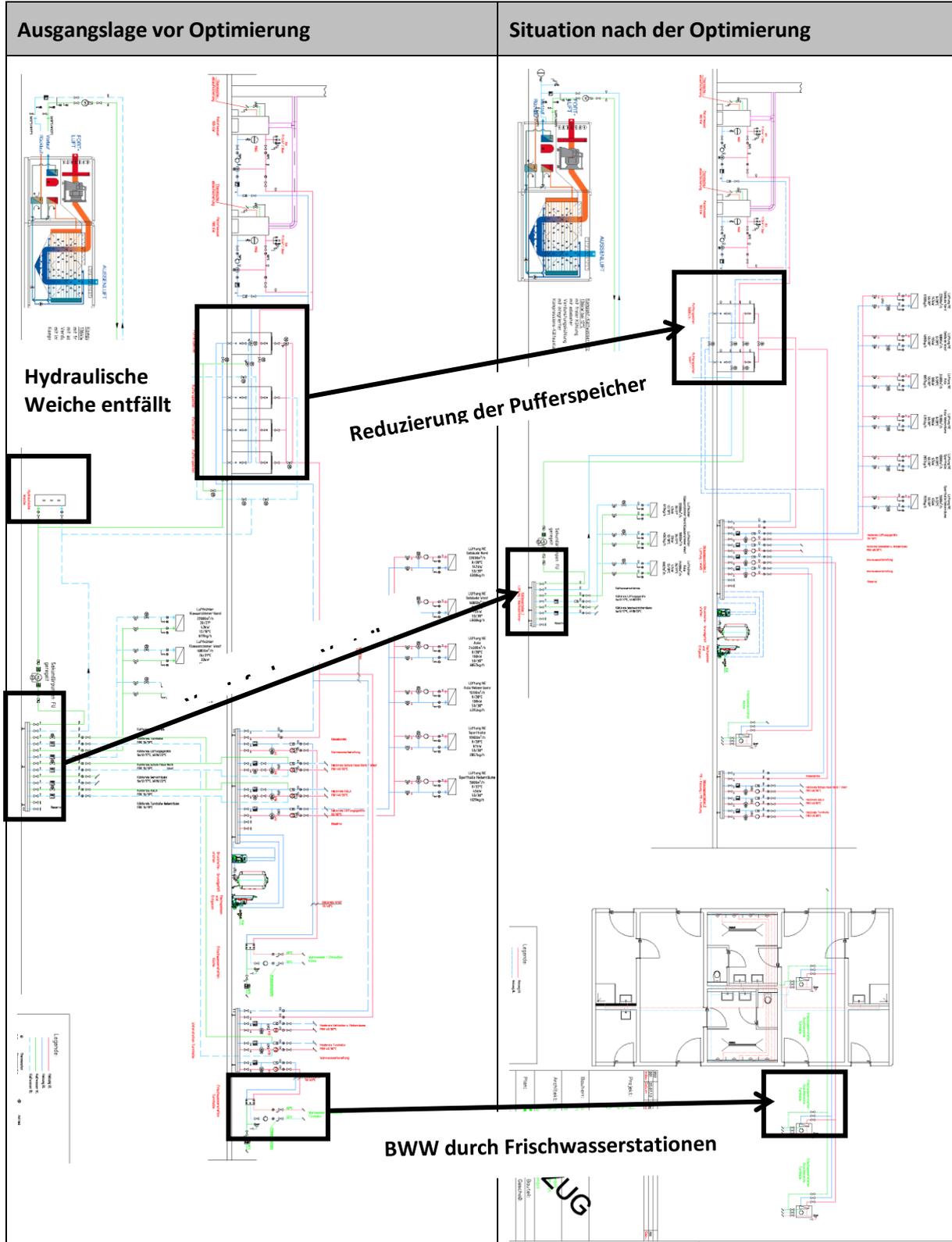
Funktionsschema Heizen / Kühlen

Im Funktionsschema Heizen / Kühlen sind die zentralen Komponenten der Haustechnik inklusive ihrer hydraulischen Anbindung dargestellt. Im Rahmen der Qualitätssicherung ist dieser Plan insbesondere in Bezug auf Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und Vereinfachung optimiert worden, ohne dabei die Versorgungssicherheit zu gefährden oder den Nutzungskomfort einzuschränken. In Abbildung 2.3-34 ist das Schema vor und nach der Optimierung dargestellt. Wesentliche Änderungen waren dabei:

- Die Brauchwarmwasserversorgung der Sporthalle wird mittels Frischwasserstationen ohne kosten- und energieintensive Zirkulation umgesetzt.
- Die Reduzierung auf insgesamt zwei Pufferspeicher für Kälte und Wärme. Ursprünglich waren für den Winterfall zwei Brauchwarmwasserspeicher (BWW-Speicher) und für den Sommerfall ein BWW-Speicher für Brauchwasser und ein Pufferspeicher für Kaltwasser vorgesehen.
- Die Vereinfachung und Zusammenfassung der Verteiler mit konsequenter Zuordnung nach Temperaturniveau. Dabei wird ein Verteiler komplett kalt oder warm durchströmt, Zwischenlösungen kommen nicht vor)
- Der Verzicht auf eine separate hydraulische Weiche. Aktuell wird ein Speicher als Weiche genutzt.
- Reduzierung des Temperaturniveaus der gesamten Wärmeversorgung zur Minimierung der Wärmeverluste
- Optimierung der Pumpenanzahl und Regelvorrichtungen

Im Laufe des Planungsprozesses ist das dargestellte Funktionsschema noch leicht verändert worden, sodass die Abbildung nicht exakt den umgesetzten Standard darstellt.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung



*Abbildung 2.3-34: Funktionsschema Heizen / Kühlen vor und nach der Optimierung
 Die wichtigsten Änderungen sind graphisch markiert.*

2.3.8.3 Revision der Planunterlagen zur Gebäudehülle

Luftdichtheit

Neben einer effizienten Anlagentechnik, ist eine Reduzierung der Verluste über die wärmeumfassenden Hüllflächen die zweite Säule zur Erreichung des Passivhaus- bzw. des Plusenergiestandards. Die wesentlichen Anforderungen an die Außenbauteile sind im Energetischen Pflichtenheft hinterlegt. Dabei gehen die Anforderungen über die gesetzlichen Bestimmungen wie z. B. die EnEV hinaus. Inhaltlich sind im Wesentlichen Grenzwerte für Bauteil-U-Werte, Fenster- und Verglasungskennwerte sowie eine Gebäudedichtheit mit einem n_{50} -Wert $< 0,4 \text{ h}^{-1}$ und eine Minimierung von Wärmebrücken enthalten. Aufgabe der Qualitätssicherung war, die Sicherstellung dieser Anforderungen in der Planung zu überprüfen.

Eine sorgfältige Planung der Luftdichtheitsebene spielt besonders bei komplexen Fassadenkonstruktionen wie dem Holzbau eine wichtige Rolle. Gerade hier ist das Potential von Leckagen groß. Die Abbildung 2.3-35: Luftdichtheitsebene der Fassadenbrüstung im Regelschnitt zeigt die Berücksichtigung der farblich gekennzeichneten Dichtebene in einem Regelschnitt der Fassade.

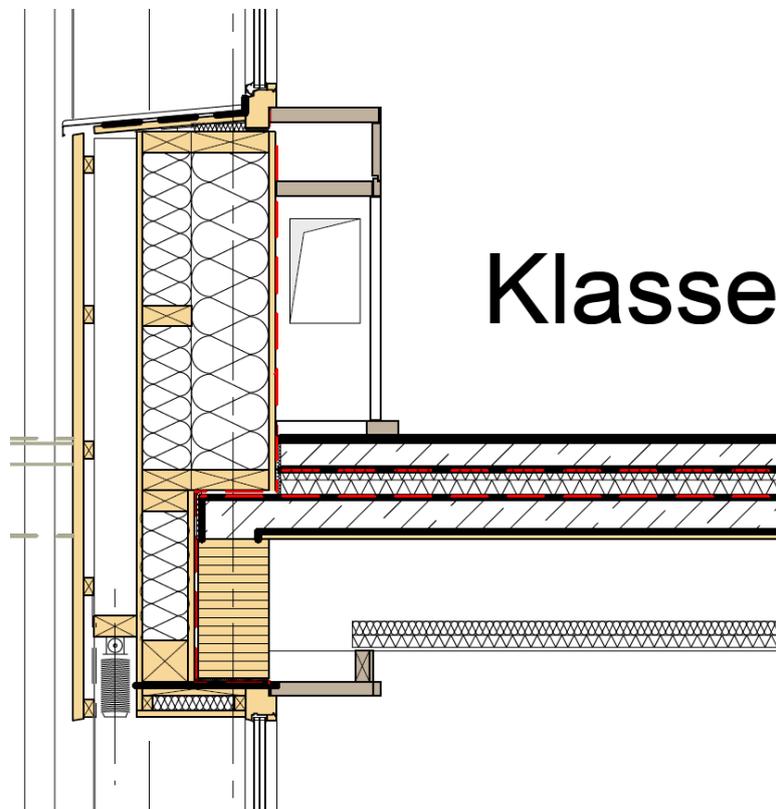


Abbildung 2.3-35: Luftdichtheitsebene der Fassadenbrüstung im Regelschnitt

Die Luftdichtheitsebene ist als rote gestrichelte Linie zu erkennen

In der Bauphase ist darauf zu achten, dass die Dichtebene fehlerfrei ausgeführt wird. Dabei spielt das Know-how der ausführenden Firma eine große Rolle. Da die Fassadenelemente als Fertigteile auf die Baustelle kamen, wurde die Dichtebene schon im Werk der Firma Kaufmann Bausysteme eingebaut. Eine Fertigung unter industriellen Randbedingungen erhöht das Potential einer qualitativ hochwertigen Ausführung. Die Firma ist spezialisiert auf nachhaltige Holzbauten, sodass dort eine hohe Sensibilität bezüglich Leckagefreiheit vorhanden war und der Einbau der Dichtebene professionell vorgenommen wurde. Auf der Baustelle wurden nur noch die Schnittstellen zwischen den Fertigteilelementen mit Folien verklebt. Nach Fertigstellung der Hülle ist mittels eines Blower-Door-Tests (siehe

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Kapitel 2.3.8.6) eine Qualitätssicherung im Rohbauzustand vorgenommen worden. Vereinzelt Undichtigkeiten, die in Gebäudedecken und Schnittstellen zwischen Fertigelemente mittels Thermographie und Anemometer detektiert wurden, konnten anschließend abgedichtet werden. Ein nochmaliger Blower-Door-Test nach Inbetriebnahme (Verfahren B) bescheinigt dem Gebäude eine exzellente Luftdichtheit von $0,21 \text{ h}^{-1}$.

Verschattungssysteme

Bei Gebäuden mit hoch gedämmter und nahezu luftdichter Außenhülle besteht im Sommer die Gefahr der Überhitzung. Verschärft wird dieser Trend bei einer Nutzung als Schulgebäude durch hohe interne Gewinne in Form von dichter Personenbelegung und einer starken Nutzung von strombetriebenen Geräten. Ein zentraler Baustein Übertemperaturen zu verhindern, ist ein automatisierter Sonnenschutz, der die solaren Wärmegewinne bei hohen Einstrahlungswerten auf ein Optimum reduziert. Der Sonnenschutz steht dabei im Zielkonflikt mit Aspekten wie natürlicher Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung, Sichtverbindung nach außen sowie hohe Nutzerzufriedenheit und architektonischen Belangen. Aus diesem Grund sind in der Konzept- und Planungsphase detaillierte Randbedingungen für den Sonnenschutz definiert worden, die einen Kompromiss aller Aspekte darstellt.

Folgende Spezifikationen sind dabei wichtig:

- Hoher Reflektionsgrad insbesondere der Lamellenoberseite zur Ausblendung der Direktstrahlung und zur Lichtlenkung von Diffusstrahlung in die Raumtiefe
- Jedes der vier Gebäude erhält eine eigene einfache Wettersensorik zur Steuerung der Verschattungsanlagen
- Der Lamellenwinkel muss präzise auf $< 2^\circ$ einstellbar sein, um die komplexen Anforderungen zu erfüllen. Der minimale Stellwinkel beträgt -10° .
- Einsatz von präzise steuerbaren und mit KNX-Bus koppelbaren SMI-Motoren
- Zulassung des Behangs für Windgeschwindigkeiten bis zu 14 m/s
- FC-Wert des Sonnenschutzes liegt unter $0,2$
- Hoher Automatisierungsgrad der Steuerung zur Optimierung der Wirksamkeit. Grundlage ist eine Steuerung nach Cut-Off-Winkel (d. h. es gelangt keine Direktstrahlung in das Gebäude).
- Einbindung der Verschattungssteuerung in die zentrale GLT und Abgleich mit anderen Gewerken bzw. Betriebsmodi (z. B. Kühl- und Heizbetrieb, Lüftung, Beleuchtung).
- Möglichkeit der raumweisen, zeitbegrenzten, manuellen Übersteuerung durch einen beschränkten Personenkreis. Dazu müssen die Nutzer eine Einweisung bekommen, um Fehlbedienungen und negative Auswirkungen auf das energetische Konzept zu vermeiden.
- Alle Fahrvorgänge der Behänge müssen geräuschlos ausgeführt werden können. Sonstige Beeinträchtigungen des Nutzers sind auf ein Mindestmaß zu beschränken. So soll die Lammelenwinkel-nachführung in kleinen und für den Nutzer kaum wahrnehmbaren 2° Schritten erfolgen.
- Der primäre Zweck des Sonnenschutzes ist die Reduzierung der solaren Einträge über die transparenten Flächen. Er dient nicht der Verdunkelung oder des Blendschutzes, hierfür sind gesonderte Systeme notwendig. Eine Zweckentfremdung ist technisch allerdings möglich. Primär aus Kostengründen ist ein flächendeckender Blendschutz nicht realisiert worden, obwohl er sinnvoll wäre.

In den ersten Betriebswochen ist es zu einer häufigen Übersteuerung des Automatikmodus durch die Lehrer gekommen. Grund dafür war, dass die im Unterricht benutzten Whiteboards sonst kaum lesbar waren. Da ein separater Blendschutz bzw. Verdunkelung fehlt, sind die außenliegenden Behänge genutzt worden. Erste Abhilfe konnte eine Erhöhung des Lamellenwinkels im Automatikmodus schaffen. Allerdings reduziert sich so der Tageslichteintrag und es kommt unter Umständen zu einem erhöhten Kunstlicheinsatz.

Dieser Thematik wird in der Optimierungsphase des Monitorings im Sommer 2016 besonderer Bedeutung geschenkt, um ein Optimum zwischen Nutzeraspekten und technischen Belangen zu erreichen.

2.3.8.4 Stichpunktartige Revision der haustechnischen Ausschreibungsunterlagen

Die Leistungsverzeichnisse (LVs) sind die technische und vertragliche Grundlage zwischen Bauherr, Planer und ausführender Firma. Umso wichtiger ist, dass sich die in der Planung erarbeiteten Lösungen detailliert in der Leistungsbeschreibung wiederfinden. Oft wird eine fehlerhafte und qualitativ schlechte Ausführung durch lückenhafte LVs begünstigt. Eine nachträgliche Beseitigung der Mängel oder die Ausführung von zusätzlichen Leistungen ist oft mit Mehrkosten und einem großen Kommunikations- und Motivationsaufwand verbunden. Somit ist die Prüfung von LVs ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung.

Aufgrund der Masse an textlicher Beschreibung konnte nur eine stichpunktartige Revision vorgenommen werden. Sie konzentrierte sich auf energetisch relevante Bereiche der Haustechnik, bei denen im Vorfeld besonderer Planungs- und Diskussionsaufwand notwendig war. Im Einzelnen waren dies: Gebäudeautomation (GA), Heizung / Kälte, Lüftung und Dämmung. Die Ergebnisse wurden in einem detaillierten Bericht zusammengefasst, das Wichtigste wird folgend aufgelistet.

- Teilweise fehlten in der Beschreibung der MSR-Technik, die für ein effizientes Monitoring und für einen fehlerfreien Gebäudebetrieb notwendig ist, Kennwerte (z. B. Genauigkeit, Einsatzbereich) oder genaue Erläuterungen. So sind viele der ausgeschriebenen Temperaturfühler wegen ihrer zu großen Ungenauigkeit für die Regelung ungeeignet. Es sollte min. Klasse A nach DIN EN 60751 gefordert werden.
- In den Vorbemerkungen der LVs sollte das Monitoring nach Inbetriebnahme beschrieben werden, um die ausführenden Firmen auf die Durchsetzung von hohen Qualitätsstandards hinzuweisen.
- Es wurden energetische Optimierungen am Pufferspeicher vorgeschlagen. Dazu zählen die Reduzierung der Speicheranschlüsse und die Erhöhung der Dämmstärke. Ebenso sollten alle Verteiler aus Energieeffizienzgründen thermisch getrennt ausgeführt werden.
- Es wurden in mehreren Punkten Abweichungen vom Energetischen Pflichtenheft festgestellt (Dämmstärken, Druckverluste, Effizienzklassen Pumpen). Der Planer des energetischen Konzeptes muss dazu stärker in die Planung einbezogen werden und sicherstellen, dass seine Vorgaben auch wirklich umgesetzt werden. Möglich ist auch eine Anpassung des Kriterienkataloges an den aktuellen Planungsstand.
- Das Kapitel über die Lüftungsgeräte wurde offensichtlich aus 2 Standardausschreibungstexten von der Firmen Robatherm und SEW zusammengesetzt. Der Text sollte aber das tatsächlich geplante technische System beschreiben. Die Schnittstellen zwischen den beiden Teilen sind oft unklar (Baulängen und Auslegungsdaten stimmen nicht überein).
- Die Luftherhitzer und -kühler wurden diskussionswürdig ausgelegt. Hier bestand noch ein finanzielles Einsparpotential.
- Einige Positionen konnten wegen Doppelung entfallen (z. B. Außentemperatursensoren)
- Teilweise war die Beschreibung zu präzisieren (z. B. fehlende Leitfähigkeiten bei der Ausschreibung von Dämmung oder Korrektur der Speicherabmessungen, die nicht zum Volumen passen)
- Das Gesamtdesign von GLT / MSR wurde auf die Gewerke Elektro und Heizung-Lüftung-Sanitär in zwei LVs verteilt, entsprechende Schnittstellenprobleme sind bereits aufgetreten. Eine wesentlich genauere konzeptionelle Beschreibung, wie der Gebäudebetrieb eigentlich ablaufen und funktionieren soll, wäre nach Einschätzung sehr hilfreich. Die Gebäudeautomation(GA)-Funktionslisten bilden nicht Regelkonzepte oder benötigte Funktionen ab, sondern sollen stellvertretend für diese nur die Gesamtanzahl von Funktionen abbilden.
- Die Konzeption der Einzelraumregelung wurde nicht ausreichend genau beschrieben. Unklar sind genaue Funktionsweise, Anforderungen und Montageposition der Fühler.
- Die Abnahme der Gebäudeautomation wurde sehr standardisiert beschrieben (2 Wochen Probebetrieb und formelle Abnahme). Es wurde vorgeschlagen, hier möglichst etwas mehr bezüglich Einregelung, Abnahme durch genaue Funktionsprüfung, Vorabmitteilung von Terminen etc. zu verlangen.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

- Hinweise oder gar Spezifikationen zu Energieeffizienz und Stromverbrauch von GA-Komponenten fanden sich so gut wie gar nicht. Dies ist allerdings auch nicht einfach, da hierfür sinnvolle Wege eruiert und idealerweise z. B. über Spezifikationen von Stand-by-Stromverbräuchen festgelegt werden müssen.

Während der Erstellung der LVs führte ein großer Teil der Anmerkungen aus der Qualitätssicherung zu Verbesserung, jedoch wurden bei Weitem nicht alle Vorschläge umgesetzt.

2.3.8.5 Detailbetrachtung von Systemkomponenten

Auslegung der zentralen Lüftungsgeräte

Die Konzeption und Auslegung des Lüftungssystems ist einer der wichtigste Bausteine, um ganzjährig guten Raumkomfort in Schulgebäuden zu gewährleisten. Dabei spielt die ausreichende Versorgung mit Frischluft bei gleichzeitig effizienter Betriebsweise und zugfreier Einbringung eine große Rolle. Oft werden im Auslegungsfall zu geringe Frischluftmengen angesetzt, was meist zu hohen CO₂-Konzentrationen innerhalb der Räume führt. Eine zusätzliche manuelle Lüftung der Lastspitzen erfolgt oft viel zu spät und wird durch unklare Zuständigkeiten erschwert. Aus diesem Grund hat man sich beim Gymnasium dazu entschlossen eine vollautomatisierte Lüftungsanlage umzusetzen. Grundlage für die Auslegung der gesamten Lüftungstechnik (Kanalnetz, zentrale Lüftungsgeräte) ist die in der Konzeptphase definierte maximale Frischluftmenge pro Person von 28,5 m³/h. Abweichend davon ist die tatsächliche Verbrauchsleistung zu sehen, die am Gymnasium bedarfsgerecht über CO₂-Sensoren zur Verfügung gestellt wird.

Für die Bestimmung der Auslegungsleistung der zentralen Lüftungsgeräte ist eine Dimensionierung auf Grundlage des Gebäudekanalnetzes bzw. der maximalen Raumbedarfe nicht zielführend. Vielmehr ist eine Berücksichtigung von Lastkombinationen und Gleichzeitigkeitsfaktoren nötig, um ein Optimum in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz zu erreichen. Bedingt durch die automatisierte Regelung der Lüftungsanlage durch CO₂-Sensoren, werden nur die Bereiche mit Frischluft versorgt, die auch wirklich genutzt werden. Wechselt eine Klasse in die Sporthalle oder in einen Fachraum, wird ihr regulärer Klassenraum im Normalfall nicht mehr mit Frischluft versorgt. Somit muss das Kanalnetz auf das Maximum ausgelegt werden, die zentrale Lüftungsanlage hingegen nicht. Vielmehr sind komplexe Untersuchungen zu machen, welche Lastfälle miteinander zu kombinieren sind. Hinzu kommt, dass aus hygienischen Gründen einige Räume unabhängig der Personenbelegung gespült werden müssen (Sanitär-, Lager-, Besprechungs- und Technikräume oder die Bibliothek). Des Weiteren ist für außergewöhnliche Belastungsspitzen immer eine definierte Reserve bereitzustellen.

In Zusammenarbeit mit dem Planer der Lüftungstechnik konnte die erste Auslegungsleistung der zentralen Geräte von 76.000m³/h auf 50.000 m³/h reduziert werden. Eine zweite Optimierungsphase brachte eine weitere Reduktion auf schließlich 45.000 m³/h. Wichtig ist hierbei, dass eine Reduktion keinerlei Einschränkungen im Raumkomfort bedeuten. Die Frischluftmenge liegt im Auslegungsfall immer bei 28,5 m³/h pro Person. Die untere Grenze, die allerdings nur theoretischer Natur ist, ergibt sich aus maximaler Belegungszahl der Schule multipliziert mit der Auslegungsmenge 28,5 m³/h zu 28.000³/h.

Art und Effizienz der Wärmerückgewinnung (WRG)

Eine WRG ist heute Stand der Technik und wird in fast jedem Neubau mit Lüftungsanlage eingebaut. Dazu steht dem Planer eine Vielzahl von Systemen zur Verfügung, die je nach Randbedingungen und Zielstellung geeignet sind. Die gängigsten Techniken sind:

- Rekuperatur (Plattenwärmeübertrager)
- Kreislaufverbundsystem
- Rotationswärmeübertrager
- Wärmeübertrager mit Speicherpaketen

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Technisch lassen sich mit allen WRG-Systemen mittlerweile hohe Rückwärmezahlen um die 80% erreichen.

In der Planungsphase hat das zuständige Büro für Haustechnik eine Variantenuntersuchung erstellt. Im Ergebnis ist das Kreislaufverbundsystem (KVS) gewählt worden. Gründe dafür waren eine gute Rückwärmezahl, die Möglichkeit einer kompakten Bauweise mit getrennter Kanalführung von Zu- und Abluft im beengten Kellergeschoss sowie der Umstand, dass keine Gerüche und Feuchte übertragen werden.

Im nächsten Schritt ist die Rückwärmezahl des KVS optimiert worden. Mit steigenden Wirkungsgraden nehmen die Investitionskosten immer mehr zu, bei nur noch geringerem energetischem Vorteil. Hinzu kommt, dass das KVS eine Umwälzpumpe benötigt, wohingegen Wärme über den zentralen Erzeuger (Pelletkessel) primärenergetisch sehr günstig bereitgestellt werden kann. Somit lassen sich die folgenden Aussagen nicht verallgemeinern, sondern sind nur speziell auf dieses Vorhaben anwendbar.

Bei der anschließenden Betrachtung sind folgende Begrifflichkeiten von Bedeutung, die normentechnisch in der DIN EN 13053 „Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungsdaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten“ hinterlegt sind:

Temperaturübertragungsgrad / Rückwärmezahl (η_t):
$$\eta_t = \frac{(t_{22} - t_{21})}{(t_{11} - t_{21})}$$

mit $t_{21}=5\text{ °C}$ (Außenluft), $t_{11}=25\text{ °C}$ (Abluft), t_{22} =Temperatur am Austritt WRG

Leistungsziffer (ϵ):
$$\epsilon = \frac{Q_{WRG}}{P_{el}}$$

mit Q_{WRG} = Leistung der WRG [kW]

P_{el} = El. Leistungsaufnahme durch Druckverluste und Hilfsenergien [kW]

Die Effizienz (η_e) wird beschrieben als:
$$\eta_e = \eta_t \times \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right)$$

Als WRG-Referenzsystem ist ein KVS der Firma SEW ausgewählt worden. Im Rahmen der Ausführungsplanung sind unterschiedliche Rückwärmezahlen von 73 %, 77 % und 80 % untersucht worden. Dabei wurde über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren eine ökonomische (Investitions- und Betriebskosten) und ökologische (Primärenergieaufwand) Bewertung erstellt. Das Ergebnis ist in folgender Tabelle kurz zusammengefasst:

Tabelle 2.3-7: Variantenvergleich verschiedener Rückwärmezahlen der WRG

| | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
|------------------------------|------------|------------|------------|
| Rückwärmezahl | 73 % | 77 % | 80 % |
| Primärenergieaufwand | 14,6 MWh/a | 17,1 MWh/a | 19,9 MWh/a |
| Annuierte Jahresgesamtkosten | 15.600 €/a | 18.200 €/a | 20.200 €/a |

Als Ergebnis ist ein Systemaustauschgrad von 73 % gewählt worden. Die Energieeffizienz nach obiger Definition ergibt sich somit zu 71 %. Entgegen der Erwartung führen hier höhere Wirkungsgrade sogar zu einer schlechteren Energiebilanz, weil der notwendige Nacherhitzer durch den primärenergetisch günstigen Pelletkessel gespeist wird. Höhere Wirkungsgrade werden in erster Linie durch einen größeren Wärmeübertrager generiert, der die Druckverluste im Luftkanal und somit den Stromverbrauch für

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

den Ventilator vergrößert. Dieser Einfluss überlagert hier die Einsparungen bei der Wärmeenergie. Zudem steigen die Kosten bei höheren Wirkungsgraden deutlich an. Eine weitere Untersuchung kleinerer Rückwärmezahlen wurde nicht vorgenommen, da bei Pilotvorhaben im Plusenergiestandard Mindestwirkungsgrade vorausgesetzt werden.

Verschattung der PV-Anlage

Aufgabe einer Qualitätssicherung ist es auch, den gesamten Planungsstand bzw. fortschritt kritisch zu hinterfragen. Die regelmäßig stattfindenden Planerbesprechungen in interdisziplinärer Zusammensetzung bieten dafür eine gute Gelegenheit. Folgendes Beispiel verdeutlicht dies anschaulich.

Bei Sichtung von Unterlagen zum Jour Fixe ist aufgefallen, dass die geplante Bepflanzung zu bestimmten Tageszeiten im Jahr Teile der PV-Module verschattet. Insbesondere an der Süd-West-Ecke der Aula (in Abbildung 2.3-36 durch den roten Kreis markiert) stehen die Bäume zu nah am Gebäude. Der Minderertrag wird allerdings als minimal und nicht kritisch in Bezug auf das Plusenergieziel eingestuft.



Abbildung 2.3-36: Schattenstudie zu verschiedenen Tageszeiten am 21. September

(nach ver.de Stand 02-2013)

Entscheidender ist dabei, dass es durch ungünstige Teilverschattungen einzelner PV-Module zur Ausbildung sogenannter Hot Spots kommen kann, wodurch die Dauerhaftigkeit beeinträchtigt und die Lebensdauer verkürzt wird.

Das zuständige Büro hat die Planung modifiziert und die Teilverschattung deutlich reduziert. Des Weiteren wird der Hausmeister bei der zukünftigen Beschneidung der Bäume ein besonderes Augenmerk auf eine mögliche Verschattung legen.

Reduzierung des Gebäude-Stand-by-Verbrauchs

Gebäude mit hohem Automatisationsgrad, wie das Gymnasium Diedorf, reduzieren den Nutzereinfluss und sollen zu geringeren Energieverbräuchen bei besserem Raumkomfort führen. Beispielhaft sei hier die nach CO₂-Konzentration gesteuerte Quelllüftung in den Klassenräumen genannt, die eine manuelle Fensterlüftung unnötig machen sollte und eine kontrollierte, dauerhafte Frischluftzufuhr gewährleistet. Dieses Konzept erfordert allerdings eine höhere technische Ausstattung des Gebäudes mit Sensorik und Gebäudeautomation, was zu komplexeren und investigativ teureren Systemen führt. Zusätzlich verbrauchen viele Sensoren und Stellantriebe sowie die ganze Steuerung Strom, die in der Gesamtbilanz aufgrund der Vielzahl der im Gebäude verbauten Einheiten nicht unerheblich ist. Somit muss es ein Ziel sein, diesen Hilfsstromverbrauch zu minimieren. Diesen Trend hat auch die Industrie erkannt

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

und stellt immer neue Produkte zur Verfügung, die energieeffizient sind. Ziel des Planungsteam war es, diese innovativen Systeme zu prüfen und bei Eignung auch einzubauen.

Das zuständige Elektroplanungsbüro Ingenieurbüro Herbert Mayr ist auf das ZAE Bayern mit einem neu auf den Markt gekommenen, elektronischen Bauteil zugekommen. Es handelt sich um ein KNX / DALI Gateway, welches die Kommunikation zwischen DALI-Aktoren der Beleuchtung und der Gebäudesystemtechnik KNX ermöglicht. Der herstellerübergreifende DALI-Bus (DALI = Digital Addressable Lighting Interface) ist ein System zur Ansteuerung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) in der Beleuchtungstechnik. DALI ermöglicht dabei nicht nur das Empfangen von Schalt- und Dimmbefehlen, sondern kann auch Statusinformationen zum Beleuchtungswert oder Fehlerstatus, wie z. B. den Ausfall eines Leuchtmittels oder eines EVG, melden. KNX ist ein Feldbus zur Gebäudeautomation über den die ganze Kommunikation zur Regelung des Gebäudes erfolgt.

Der größte Vorteil des KNX / DALI Gateway Twin Plus für das energieeffizientes Pilotgebäude besteht darin, dass der Stand-by-Verbrauch der EVGs abgeschaltet werden kann, wenn die Leuchten nicht in Betrieb sind. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die jährlichen Stromkosten und den Primärenergieverbrauch aus, sondern dient auch als Vorbild mit Multiplikationseffekt für weitere energieeffiziente Gebäude. Als Nachteil stehen die erhöhten Anschaffungskosten zu Buche. Eine vereinfachte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt hierzu:

- Einsparung des jährlichen Stromverbrauchs: 5424 kWh/a
(mit: min. Vollaststundenzahl Stand-by=6780 h/a, 1600 EVG, Stand-by-Verbrauch von 0,5 W)
- Einsparung der jährlichen Stromkosten (netto): 1535 €/a
(mit: angenommene mittlere Stromkosten (netto) über 15 a von 28,3 ct/kWh)
- Die Investitionsmehrkosten für das Projekt: 8900 €
(mit: EP Gateway Plus von ca. 211 € netto, Anzahl im Gesamtgebäude von 42 Stück)

Somit haben sich die Zusatzkosten statisch nach ca. 5,8 Jahren amortisiert.

Wenn man zusätzlich noch berücksichtigt, dass man eigentlich weniger PV-Module installieren müsste, um den Plusenergiestandard zu realisieren, kommt man auf zusätzliche einmalige Einsparungen von 11.335 € (Kosten PV=2165 € netto/kW_p; 1036 kWh/kW_p). Die Einsparungen summieren sich zu einer Reduzierung der PV-Leistung von ca. 5,2 kW_p bzw. 31,8 m² (bei aktueller Planungsauslegung der PV-Anlage von 166,6 kW_p/m²).

Im Ergebnis sind die neuen KNX / DALI Gateways im Gebäude verbaut worden.

2.3.8.6 Wissenschaftliche Begleitung der Blower-Door-Tests

Beim Gymnasium Diedorf sind hohe Ziele in Bezug auf den Primärenergieverbrauch zu erreichen. Dafür ist die Sicherstellung einer luftdichten Gebäudehülle ein wesentlicher Baustein. In den ersten Projektphasen sind hierzu die Architektenpläne auf die Existenz einer lückenlosen Luftdichtheitsebene geprüft worden. Zur Bestätigung der intakten und schadensfreien Ausführung wurden insgesamt vier Blower-Door-Tests nach DIN EN 13829 durchgeführt und durch das ZAE Bayern wissenschaftlich begleitet.

Dabei wird mit einem in einer Gebäudeöffnung eingebauten Ventilator ein Differenzdruck von 50 Pascal zwischen innen und außen aufgebracht. Der dafür notwendige Luftvolumenstrom in Bezug zum Innenluftvolumen ergibt den charakteristischen n₅₀-Wert. Der zu unterschreitende Grenzwert ist dabei abhängig vom energetischen Standard:

$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ Anforderung der EnEV2009 bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen

$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ Anforderung des Passivhausinstituts bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen.

Beim Gymnasium Diedorf sind die gängigen Werte nochmal deutlich unterschritten worden, sodass folgender Anforderungswert projektintern als Zielmarke gesetzt wurde:

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

$n_{50} \leq 0,4 \text{ h}^{-1}$ Anforderung des Energetischen Pflichtenheftes für das Gymnasium Diedorf.

Im letzten Quartal 2014 sind abhängig vom Baufortschritt drei separate Blower-Door-Tests durchgeführt worden. Ein weiterer Test fand nach der Inbetriebnahme des Gebäudes im Dezember 2015 statt. Tabelle 2.3-8 zeigt die Ergebnisse der vier durchgeführten Messungen.

Tabelle 2.3-8: Die Ergebnisse aller Blower-Door-Tests im Vergleich

Es wurden insgesamt vier Messungen durchgeführt. Drei davon, Sporthalle, Klassenhaus 1 sowie Klassenhaus 2 / Aula im Verbund, erfolgten noch während der Bauphase. Detektierte Leckagen in der Luftdichtheitsebene wurden anschließend behoben. Eine weitere Messung fand nach der Fertigstellung des Gebäudes statt.

| | Sporthalle | Klassenhaus 1 | Klassenhaus 2 + Aula | Alle Gebäude im Verbund |
|------------------------------------|------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Datum | 03.12.2014 | 17.10.2014 | 12.12.2014 | 28.12.2015 |
| Projektphase | Bauphase | Bauphase | Bauphase | Nutzung |
| Innenluftvolumen [m ³] | 18.590 | 15.063 | 31.813 | 61.942 |
| Temperatur innen / außen [°C] | 11 / 4 | 16 / 14 | 15 / 4 | 20 / 15 |
| Windstärke [Bft] | 3 | 2 | 3 | 1 |
| $n_{50} [\text{h}^{-1}]$ | 0,08 | 0,15 | 0,32 | 0,21 |

Drei der Tests fanden noch während der Bauphase statt. Dabei wurde die gesamte Schule in drei Luft-räume unterteilt, um dem Bauzeitenplan und dem unterschiedlichen Baufortschritt der Gebäudeteile Rechnung zu tragen. Die Trennung erfolgt durch provisorische Abdichtungen. Zu dieser Zeit war die Gebäudehülle incl. Luftdichtheitsebene fertiggestellt, von innen aber noch zugänglich. Detektierte Leckageströme durch z. B. Fugen konnten genau lokalisiert und im Nachgang mit geringem Aufwand gezielt nachgebessert werden. Jedoch waren zu diesem Zeitpunkt teilweise die Außentüren und Fenster noch nicht installiert, sodass provisorische Abdichtmaßnahmen erfolgen mussten. Diese Maßnahmen wurden in den Prüfberichten (siehe Anhang 27, Anhang 28, Anhang 29) dokumentiert.

Alle drei Messungen während der Bauphase erfüllen das Planungsziel und unterschreiten den projekt-internen hohen Anforderungswert von $n_{50} \leq 0,4 \text{ h}^{-1}$. Das äußerst gute Abschneiden der Sporthalle mit $n_{50} = 0,08 \text{ h}^{-1}$ ist auf die im Verhältnis zur Fassadenfläche vergleichsweise geringe Anzahl an Fenster und Türen sowie auf die einfachere Baukonstruktion mit wenigen Schnittstellen zurück zu führen. Im Vergleich zu Klassenhaus 1 ($n_{50} = 0,15 \text{ h}^{-1}$) zeigte das Ergebnis von Klassenhaus 2 und Aula ($n_{50} = 0,32 \text{ h}^{-1}$) trotz ähnlicher Randbedingungen einen rund doppelt so hohen Wert. Dies ist folgendermaßen zu erklären.

Am Testtag herrschten ungünstige Randbedingungen. Die einzige erfolgreiche Messung konnte am frühen Morgen als Testmessung durchgeführt werden. Im Tagesverlauf frischte der Wind merklich auf, sodass keine DIN und messkonformen Randbedingungen (natürliche Druckdifferenzen von max. 5,0 Pa) mehr erreicht werden konnten. Allerdings waren nach der morgendlichen Messreihe noch einige Leckagen wie ein geöffnetes Fenster und eine nicht abgedichtete Bautüre festgestellt worden, die das Ergebnis negativ beeinflusst haben. Der tatsächliche n_{50} -Wert dieses Tests ist aus diesem Grund sicherlich deutlich besser anzunehmen als der angegebene von $n_{50} = 0,32 \text{ h}^{-1}$.

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

Um die Luftdichtheit nach der Inbetriebnahme im Nutzungszustand beurteilen zu können, wurde ein vierter Test nach Fertigstellung des Gebäudes durchgeführt (siehe Abbildung 2.3-37). Damit der Schulbetrieb nicht gestört wird, fand dieser während der Weihnachtsferien 2015 statt.



Abbildung 2.3-37: Installation des Blower-Door-Messgerätes

Bei dem letzten Blower-Door-Test am 28.12.2015 wurde für die Anbringung der Ventilatoren und der Messtechnik eine der beiden Außentüren von Klassenhaus 2 zum Innenhof gewählt. Dieser Einbauort stellt einen relativ zentralen Punkt zu allen vier Gebäudeteilen dar.

Diese Messung ergab einen n_{50} -Wert von $0,21 \text{ h}^{-1}$ (vgl. Prüfbericht im Anhang 30). Die Anforderung des Energetischen Pflichtenheftes für das Gymnasium Diedorf von $n_{50} \leq 0,4 \text{ h}^{-1}$ wurde damit um rund die Hälfte unterschritten. Aus den Messungen der Bauphase und der Annahme, dass der Wert für die dritte Messung aus oben genannten Gründen besser hätte ausfallen müssen, hätte man zunächst einen noch besseren Wert für den abschließenden Blower-Door-Test erwarten können. Dass dem nicht so ist, lässt sich durch die Vielzahl an provisorischen Abdichtmaßnahmen während der ersten drei Messungen erklären. Vor allem die undichten zweiflügligen Außentüren erwiesen sich bei dem abschließenden Blower-Door-Test als großer Einflussfaktor. Diese Türen waren während der ersten drei Tests größtenteils noch als Bautüren ausgeführt und im Messbetrieb abgeklebt.

2.3.8.7 Revision und Optimierung der Regelstrategien für die HLSK-Anlagentechnik

Neben der Revision und Optimierung der Anlagentechnik wurde im Rahmen der Qualitätssicherung ebenfalls ein großes Augenmerk auf das Regelungskonzept der Heizung-Lüftung-Sanitär-Klima Anlagentechnik (HLSK) gelegt. Sowohl die Regelstrategie einzelner Teilsysteme, aber auch das Zusammenspiel der Teilsysteme im Gesamten hat wesentlichen Einfluss auf einen energieeffizienten Anlagenbetrieb und damit auch auf das Erreichen des Plusenergiestandards. Eine optimierte Anlagentechnik alleine kann keinen optimierten Gebäudebetrieb gewährleisten. Die Regelstrategie spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

In einem iterativen Prozess wurde der erste Entwurf der Regelbeschreibung analysiert, Schwachstellen wurden detektiert und Optimierungsvorschläge erarbeitet und diskutiert. Neben der ganzheitlichen Optimierung aller Teilsysteme für Heizung, Lüftung, Brauchwarmwasserbereitung (Sanitär) und Kühlung, wurden folgende Aspekte schwerpunktmäßig bearbeitet:

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

- Definition von Gebäude- und Anlagenbetriebsmodi inkl. Umschaltkriterien: Implementierung einer Regelhierarchie. Als oberste Ebene geben die Gebäudebetriebsmodi (Frühling, Sommer, Herbst, Winter) einzelne Teilsysteme (z. B. die Kältemaschine oder die Fußbodenheizung) frei. Definiert werden die Gebäudebetriebsmodi über den zeitlich gemittelten Temperaturwert der Bauteilfühler.
- Regelstrategie zur Umschaltung Heizen / Kühlen des Pufferspeichers 2: Aus Energieeffizienzgründen soll der Pufferspeicher 2 nur einmal pro Jahr von Heizen auf Kühlen und umgekehrt umgeschaltet werden. Der Umschaltzeitpunkt wird ebenfalls über den zeitlich gemittelten Temperaturwert der Bauteilfühler definiert. Für den Umschaltvorgang wurde eine Regelstrategie entwickelt, um die gespeicherte Energie möglichst vollständig zu nutzen, bevor der Speicher auf dem geänderten Temperaturniveau betrieben wird.
- Pufferspeicherlademanagement:
Optimierung der Temperaturniveaus und der Speicherladeregelung, um Wärmeverluste zu minimieren.
- Zusammengehörigkeit und Regelung der Volumenstromregler: Zuordnung von Zuluft- und Abluftvolumenstromreglern, insbesondere innerhalb offener LernLandSchaften, und Definition von stetig und konstant regelnden Volumenstromreglern.
- Nachtauskühlung über die Fußbodenheizung: Festlegung von Ein- und Ausschaltkriterien sowie Freigabezeiten für die Fußbodenkühlung.
- Zulufttemperaturregelung:
Entwicklung einer Zulufttemperaturkurve für die einzelnen Versorgungszonen und Erarbeitung einer zentralen Regelstrategie für die Wärmerückgewinnung, die nicht zonenweise geregelt werden kann.

Im Rahmen der Optimierung wurde schnell deutlich, dass in vielen Bereichen noch keine tiefergehenden Überlegungen zur Regelstrategie angestellt wurden. Auch ist im Rahmen der Planung die Komplexität der Anlagentechnik und damit verbunden der Regelung nicht umrissen worden. Als Beispiel können hier die Volumenstromregler genannt werden: Im Planungsprozess wurden zwar durchaus Überlegungen zu den Luftwegen und den Luftbilanzen pro Geschoss und Gebäude angestellt, jedoch war die genaue Zuordnung der Zuluft- und Abluftvolumenstromregler weder überlegt noch dokumentiert. In diesem Zusammenhang fehlte auch ein schlüssiges und ganzheitliches Konzept zur Regelung. Dies wurde im Zuge der Qualitätssicherung sowohl erarbeitet, als auch dokumentiert und umgesetzt.

2.3.8.8 Fazit

Mit welchem Aufwand eine Qualitätssicherung grundsätzlich zielführend ist, hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab. Zum einen steigt der Bedarf mit der Komplexität der Baumaßnahme. Dies kann sich sowohl auf die Größe oder die komplizierten Randbedingungen des Projektes als auch auf ehrgeizige Zielvorstellungen beziehen. Auf der anderen Seite ist abzuwiegen, ob die handelnden Personen der Aufgabe gewachsen sind und sie Aufgabenstellungen solcher Größenordnung schon mal erfolgreich gelöst haben.

Im Projekt Diedorf ist die Frage nach der Sinnhaftigkeit der vorgenommenen Qualitätssicherung auf jeden Fall mit „Ja“ zu beantworten. Insbesondere im Bereich der anlagentechnischen Systeme war kaum Erfahrung mit hoch innovativen Lösungen vorhanden, was oft zu konventionellen und wenig energieeffizienten Komponenten geführt hat. Des Weiteren kam hinzu, dass bei der Systemfindung anfangs keine ganzheitliche, ökologische und ökonomische Variantenuntersuchung benutzt wurde. Die Randbedingungen und Werkzeuge waren wenig bekannt oder wurden falsch angewendet. Insbesondere aus Sicht des Bauherrn sollte auf eine derartige Vorgehensweise bestanden werden. Dabei sind innovative Lösungen in der Baubranche meist einzelfallbezogen und lassen sich selten von anderen Vorhaben übertragen. Dies führt zu erhöhtem Aufwand, den viele Planer nicht bereit sind zu erbringen (auch weil er meist nicht bezahlt wird). Umso wichtiger ist, dass bei komplexen Vorhaben das

2.3 Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung

4-Augen-Prinzip angewendet wird. Dabei kann es zielführend sein, nur bestimmte sensible Bereiche einer Qualitätssicherung zu unterziehen, um deren Kosten zu senken.

Die Erfolge einer Qualitätssicherung sind vielfältig. Zum einen lassen sich die Investitionskosten aufgrund der Vermeidung von Überdimensionierung oder ganz unnötigen Komponenten erheblich reduzieren. Dazu ist für das Projekt Diedorf eine einfache Abschätzung erstellt worden. Allein im Bereich der zentrale Heizungs- und Lüftungstechnik sind Nettokosten von mindestens 40.000 € eingespart worden. Dabei entfielen 15.000 € auf den Wegfall von Komponenten (2 Pufferspeicher, hydraulische Weiche), 18.000 € auf eine optimierte Dimensionierung der zentralen Lüftungsanlage und der Rest auf sonstige Mindermassen an Verteilern und Leitungen. Hinzukommen nicht berücksichtigte Minderkosten in Wartung und Betrieb der Anlagen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Qualitätssicherung ist es, die Systeme so einfach wie möglich zu machen, um einen fehlerhaften, ineffizienten und störanfälligen Betrieb zu vermeiden. Auch hier ist das 4-Augenprinzip sinnvoll. Dies bezieht sich sowohl auf die verbauten Komponenten und Systeme als auch auf die Steuerung der Systeme. Hier ist ebenfalls ein großer Schwachpunkt konventioneller Planung festzustellen. Oft wird eine hochwertige Technik eingebaut, deren Potential aber aufgrund von ineffizienten Regelstrategien nicht ausgeschöpft werden kann. Dabei sollte möglichst schon in den frühen Planungsphasen ein Regelkonzept für die technischen Lösungen erstellt werden und nicht erst durch die ausführenden Firmen.

Bei Forschungsprojekten trägt eine Qualitätssicherung oft auch dazu bei, das wissenschaftliche Profil zu schärfen, insbesondere wenn die Revision von erfahrenen Personen im Bereich von Pilotprojekten erfolgt. Dies äußert sich in der Wahl der Untersuchungsmethoden, der wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung oder der Strukturierung und Verfassung der notwendigen Berichte.

Damit eine Qualitätssicherung auch erfolgreich umgesetzt werden kann, sind einige strukturelle Randbedingungen nötig:

- Der Zugang zu allen wichtigen Dokumenten und die Teilnahme an allen relevanten Projekttreffen müssen gewährleistet sein. Nur so kann eine Revision aller wesentlichen Entscheidungen vorgenommen werden. Teilweise haben einzelne Fachplaner wenig Interesse mit den Revisoren zusammen zu arbeiten, weil sie einen erhöhten Arbeitsaufwand und „Gesichtsverlust“ fürchten, wenn Systementscheidungen hinterfragt werden. Vielmehr sollte im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit die Suche nach einer optimalen Lösung im Sinne des Projektes und des Bauherrn im Vordergrund stehen.
- Zwischen den handelnden Personen muss ein Vertrauensverhältnis bestehen. Die Fachplaner müssen die gefundenen Lösungen mittragen, umsetzen und im späteren Verlauf auch eine Gewährleistung übernehmen.
- Der Bauherr muss die Arbeit der Qualitätssicherung vollumfänglich unterstützen. Dies soll verhindern, dass Systementscheidungen der Fachplaner hinter dem Rücken der Qualitätssicherung gemacht werden, die im Nachhinein aus den verschiedensten Gründen nicht mehr rückgängig gemacht werden können. Dazu hat sich die Vorgehensweise bewährt, dass vom Bauherrn bei jeder relevanten Entscheidung erfragt wird, ob die Lösung in Zusammenarbeit mit der Qualitätssicherung erarbeitet wurde. Nur bei positiver Rückmeldung kann der Vorschlag auch umgesetzt werden.

Für das Projekt Diedorf lässt sich festhalten, dass insgesamt gute Randbedingungen vorlagen, um eine sinnvolle und zielführende Qualitätssicherung mit zufriedenstellendem Ergebnis umzusetzen.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

2.4.1 Erarbeitung und Darstellung eines Integralen Planungsprozesses im Einklang mit den öffentlichen Vergaberichtlinien

2.4.1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Die komplexen Anforderungen an den zukunftsorientierten Schulbau können mit den derzeit üblichen Planungsprozessen nicht oder nur sehr schwer erfüllt werden. Die realisierten Projekte der letzten Jahre zeigen, dass die bei Projektbeginn formulierten Zielsetzungen meist nicht oder nur sehr unvollständig umgesetzt werden konnten. Ein Hauptgrund dafür liegt im herkömmlichen Vergabeverfahren. Wettbewerbsverfahren, die den öffentlichen Vergaberichtlinien unterliegen, bieten in den seltensten Fällen die Möglichkeit einer durchgehenden integralen Projektentwicklung von Beginn bis zur Umsetzung und Inbetriebnahme.

Bei den herkömmlichen öffentlichen Verfahren werden bereits die Zieldiskussion über das zugrunde gelegte Anforderungsprofil der Nutzer und der nachhaltigen Projektziele nicht fundiert genug und in den Varianten diskutiert und entwickelt. Selbst wenn jedoch die quantitativen und qualitativen Ziele durch den Bauherrn formuliert wurden, werden diese oft bereits in Wettbewerbsentscheidungen mangels belastbarer Entscheidungsgrundlagen und durchgängiger Qualität in den verschiedenen Anforderungen nicht erreicht.

Das grundsätzliche Defizit liegt dabei in dem späten Zeitpunkt der Zusammensetzung des gesamten Planungsteams. Meist geschieht dies erst nach Durchführung des Ideenwettbewerbs, also wenn schon viele Entscheidungen getroffen sind und der Spielraum für eine nachhaltige Projektentwicklung stark eingengt ist. Die Vergabe der Planungsleistungen an Sonderfachleute erfolgt darüber hinaus in der Regel nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip und weniger nach der Eignung für besondere innovative Konzepte. Die dadurch erschwerte Teamleistung und Kooperationsbereitschaft generiert unnötige Reibungsverluste im Planungsprozess, die mögliche Potentiale ungenutzt lassen. Nach wie vor wird auch die Einbindung der Nutzer, insbesondere bei Schulprojekten, kontrovers diskutiert. Sie ist jedoch zu einem frühen Planungsstadium bereits zur Entwicklung des Raumkonzepts erforderlich und bietet die Chance einer maßgeschneiderten und trotzdem flexiblen Lösung, vor allem für die neue pädagogische Überlegung, und damit eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine hohe Nutzerzufriedenheit und Zukunftsfähigkeit des Projektes.

Vor diesem Hintergrund haben sich die Berichterstatter zur Aufgabe gemacht, das Planungsteam schon zu Beginn der Planungsphasen zu installieren, Aufgabenstellung und Zieldefinitionen zu vervollständigen. Die Zielsetzungen sollten auf ihre Reichweite hinsichtlich der angestrebten Wirtschaftlichkeit laufend überprüft und die laufende Einbindung der Nutzer organisiert werden, um damit ein unter den gegebenen wirtschaftlichen Voraussetzungen maximal umweltverträgliches und nachhaltiges Projekt zu generieren. Das setzt voraus, dass das Ziel in einer sehr frühen Planungsphase definiert werden musste und vom Planungsteam innerhalb eines integrierten Planungsprozesses zu entwickeln war. Das Ergebnis und die dabei gewonnenen Erfahrungen aus dem Prozess sollten dazu beitragen, die gesteckten, nicht nur umweltrelevanten und nachhaltigen Projektziele durch die frühzeitige Installation des Planungsteams und der Einbindung der Nutzer zu erreichen.

2.4.1.2 Arbeitsschritte, Methoden und Ergebnisse

Die wesentlichen Schwierigkeiten beim Projektstart lagen in der Auswahl des Planungs- und Forschungsteams. Aufgabe des Teams war zunächst, das Projekt zu definieren und anschließend auf der Basis der Projektdefinition die Umsetzung darzustellen. In Abstimmung mit dem Bauherren wurden für die Architektur das Architekturbüro Prof. DI Hermann Kaufmann, A-6858 Schwarzach, für die Bauphysik das Büro ip5 (Ingenieurpartnerschaft) Dipl.-Ing. Klaus Rohlfes, Karlsruhe, für Umwelt und Nachhaltigkeit das Büro Ascona GbR, 82194 Gröbenzell, und für die DBU-Konformität und die ersten

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

wirtschaftlichen Überlegungen das Büro kplan®AG, 93326 Abensberg, ausgesucht. Die VOF-Konformität dieser Vergaben wurde mit der Regierung von Schwaben abgestimmt. Sie folgte hier der Argumentation des Bauherrn (Landkreis Augsburg), dass mit dieser ersten Vergabe nicht die Vergabe von weiteren Leistungen verbunden ist, sondern dass das Ziel dieser ersten Leistung war, festzustellen, ob die wissenschaftlichen Ziele einerseits und die Finanzierbarkeit durch die DBU andererseits möglich waren

Der Nachweis wissenschaftlicher Forschungsinhalte war Voraussetzung, dass die bereits vorab eingesetzten Architekten und Ingenieure nach § 100, Abs. 4 Ziff. 2 GWB, zuletzt geändert am 25.05.2009, problemlos – vom Wettbewerbsverfahren befreit – weiter beauftragt werden konnten. Da die Beurteilung des gesamten Verfahrens einem gewissen Ermessensspielraum unterworfen ist, hat der Bauherr (der Landkreis Augsburg) von Anfang an die VOB-Stelle der Regierung von Schwaben in den gesamten Entwicklungs- und Entscheidungsprozess des Projektes auch bei den Forschungs- und Förderzielen mit einbezogen. Damit konnte die Regierung letztlich von der wissenschaftlichen Werthaltigkeit der Arbeit überzeugt werden und bestätigte mit Schreiben vom 23.04.2012, dass das Projekt als Forschungsprojekt anerkannt wird und damit die Architekten- und Ingenieurleistungen ausschreibungsfrei sind.

Nachdem in einem zweiten Schritt – auch für die Fachingenieure in Abstimmung mit der Regierung von Schwaben – im Wesentlichen eine freihändige Vergabe erfolgen konnte, war dieser juristische Aspekt im Bereich der Dienstleistungsvergaben weitgehend abgeschlossen. Es muss allerdings angemerkt werden, dass im vorliegenden Fall, auch bei freihändigen Vergaben, pro Disziplin jeweils drei Büros, die für die Forschungsarbeit in Frage kamen, ausgesucht wurden und sowohl einen Befähigungsnachweis erbringen als auch ein Honorarangebot machen mussten. Die freihändige Vergabe war also in keinem Fall eine Umgehung der wirtschaftlichen Voraussetzungen der Vergabe der Dienstleistung, sondern ausschließlich die Möglichkeit, das für das wissenschaftliche Ziel am besten geeignete Büro auswählen zu können.

Sehr schnell entwickelte sich aber in der Phase des Projektentwurfes ein zweites Problem: Es mussten in einigen Bereichen, insbesondere im Bereich des Holzbaus, aber auch im Bereich der Vorfertigung, vor der Ausschreibung Spezialfirmen mit ihrem Wissen herangezogen werden, die selbstverständlich auch später an der Ausschreibung teilnehmen wollten. Wesentlicher Grund für den Einsatz der Spezialfirmen war die Lösung des energetischen Problems der Forderung nach Speichermassen einerseits und dem wenig speicherfähigen Holzbau andererseits. Unter Prüfung dieser Parameter wurde in enger Zusammenarbeit mit einer ausführenden Firma die Elementplanung durchgeführt. Dabei wurde untersucht, welche Elemente in welcher Dimensionierung, unter Berücksichtigung der Anforderung an die Gestaltung, eingesetzt werden sollten.

Ein zweiter Aspekt war die Frage der einzusetzenden Verbindungsmittel und Verbindung der Details, insbesondere unter Berücksichtigung des Problems der speziellen Deckenkonstruktion. Kernstück der Forschung war hier die Konzeption einer Decke, die einerseits statisch vernünftig (Gewicht, Dimension) war, andererseits energetisch den Anforderungen an ausreichende Speichermassen entsprach.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einsatz von ausführenden Firmen bei der Konzeption im vorliegenden Fall möglich war. Die für den Forschungsauftrag an die Firmen bezahlte Summe in Höhe von 5.000,00 € war vergleichsweise bescheiden und konnte nicht als Wettbewerbsverzerrung betrachtet werden. Voraussetzung war allerdings, dass die beteiligten Firmen bereit waren, die für die Ausarbeitung des Projektes den Architekten zur Verfügung gestellten eigenen Unterlagen für die Ausschreibung freizugeben und damit auch Konkurrenzfirmen zugänglich machten. Es kam auch in diesem Zusammenhang zu keinen Vergabebeschwerden, was letztlich auch damit zusammenhing, dass die an der Projektentwicklung beteiligten Firmen letztlich nur die Vergütung für ihre Forschungsarbeit erhielten, aber nicht an der Ausschreibung teilgenommen haben, was vermutlich vor allem mit der konjunkturellen Auslastung zusammenhing.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Der mit Abstand sicher augenscheinlichste Erfolg des integrierten Verfahrens, insbesondere im Bereich des Holzfertigteilbaus, war letztlich die Tatsache, dass damit eine Bauzeitverkürzung von fünf Monaten erreicht werden konnte.

Die haustechnischen Gewerke, insbesondere Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung, nehmen insbesondere bei Projekten mit hohem Energieeinsparstandard eine Schlüsselposition ein. Hier hat sich zunächst gezeigt, dass die in Zusammenhang mit dem Holzbau einerseits und dem Niedrigstenergiestandard andererseits entstehenden Probleme durch das eingesetzte Ingenieurbüro nur mit Unterstützung einer weiteren Fachinstitution (nämlich das ZAE Bayern - Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V.) bewältigt werden konnte. Das liegt daran, dass selbst gute Fachingenieurbüros nicht über Mitarbeiter mit entsprechender wissenschaftlicher Ausbildung verfügen, um die mit der Forschung verbundenen Fragen zu lösen.

Für zukünftige Projekte wird deshalb dringend empfohlen, auf diesen Gesichtspunkt besonders zu achten, um gegebenenfalls von vorne herein Forschungsk Kooperationen vorzuschreiben. Es darf nicht übersehen werden, dass in einem sehr komplexen Forschungsprojekt der Ausfall oder die Minderleistung auch nur eines einzigen Forschungspartners das gesamte Projektgefüge, sowohl terminlich als auch vom wirtschaftlichen Aufwand her, in erhebliche Schwierigkeiten bringen kann.

Ein weiteres gutes Beispiel war die planerische Bearbeitung der Photovoltaik-Anlage. Dieser Anlage kam, insbesondere im Hinblick darauf, dass durch sie ein Plusenergiestandard erreicht werden sollte, eine wesentliche Bedeutung zu. Auch hier hat sich herausgestellt, dass das durchschnittliche Planungsbüro selbstverständlich die Bearbeitung der Photovoltaik-Anlagen beherrscht, aber bei besonderen technischen Problemen und Fragen, viele Fragen schneller und zielführender von einem von Firmen unabhängigen Spezialplaner lösbar gewesen wären. Auch wenn im vorliegenden Projekt durch das hohe Engagement des dafür zuständigen Fachingenieurs alle Fragen gelöst wurden.

Erhebliche Schwierigkeiten ergaben sich vor allem durch den Zeitfaktor. Die Fertigstellung des Projektes war selbst ohne Forschung und Entwicklung sehr ambitioniert. Forschung und Entwicklung einerseits und Zeitknappheit andererseits sind aber Faktoren oder Komponenten, die sich nicht vertragen. Immer wieder kam es dadurch zu Problemen, dass eine Reihe von Planungen bereits sehr weit durchgearbeitet waren und letztlich durch andere Disziplinen, die neue Ergebnisse und Erkenntnisse brachten, dazu gezwungen wurden, ihre Planung teilweise neu zu überdenken und zu konzipieren. Integrierte Planung einerseits ist durchaus in der Lage, forschungsbedingten zeitlichen Mehraufwand zu kompensieren bzw. den dafür notwendigen Zeitaufwand im Vergleich zu herkömmlichen Projekten nicht zu überschreiten, ja teilweise sogar zu unterschreiten. Wenn aber – wie im vorliegenden Fall – die zur Verfügung stehende Zeit selbst für konventionelle Projekte sehr kurz bemessen ist, führt das entweder zu Zeit- oder zu wirtschaftlichen Problemen, weil die vom Verfahren betroffenen Ingenieurbüros erheblichen zusätzlichen Aufwand leisten mussten und diesen nicht ohne Weiteres bezahlt erhielten.

Die Phase der Ausschreibung und Vergabe – also des Verfahrens, in dem die Planungserkenntnisse in die Ausschreibung einfließen und auf dem Markt angefragt wurden – verlief erstaunlich problemlos. Das mag u. a. darauf zurückzuführen sein, dass ein Teil der beteiligten Büros bereits die Ausschreibungsverfahren für die FOS / BOS in Erding mitgemacht und aus den dort begangenen Fehlern gelernt haben. Insbesondere im Bereich Gesundheit und Nachhaltigkeit mussten – ohne die Vergaberegulierung zu verstoßen – ökologische und nachhaltige Ausschreibungskriterien in die Texte mit aufgenommen werden. Diese waren außerordentlich wichtig, weil bei vergleichbaren anderen Bauvorhaben erst nach Submission mit den einzelnen Firmen mit sehr unterschiedlichen Folgen darüber verhandelt wurde, inwieweit ökologisch einwandfreie und nachhaltige Produkte angeboten wurden. Es ist naheliegend, dass Firmen, die kurz davor sind, einen Auftrag zu erhalten, sich mit allen Mitteln dagegen wehren diesen Auftrag mangels Einhaltung ökologischer und nachhaltiger Kriterien zu verlieren. Andererseits

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

ist aber ein Ausschreibungsfehler / Vergabeverstoß dann zu sehen, wenn die geforderten Kriterien nicht eindeutig im Ausschreibungstext enthalten sind.

Auch die Bedenken hinsichtlich der Ausschreibung der Beschichtung der Holzfassaden haben sich im Laufe des Verfahrens bestätigt. Ausgangspunkt war, dass es für die Beschichtung der Holzfassaden – wenn sie weitgehend naturbelassen sein sollen – im Prinzip nur drei Produkte gibt, davon zwei von der Firma Keim und eines von der Firma Finn Long Life Farben. Eine ökologische Überprüfung hat dann ergeben, dass letztlich das Produkt der Firma Keim Lingosil® Verano das ökologisch unbedenklichste Produkt ist. Dieses Produkt wurde dann als Richtprodukt bei der Ausschreibung der Fassadenbeschichtung eingesetzt. Alle Angebote haben auf der Basis dieses Produktes angeboten. Es gab keine Vergabebeschwerden.

Insgesamt ist festzustellen, dass trotz der komplizierten und hochwertigen Anforderungen an die Fähigkeiten der einzelnen Fachfirmen die meisten Ausschreibungen form- und fehlerfrei beantwortet wurden. Das gesamte Vergabeverfahren konnte ohne Vergabebeschwerden abgewickelt werden.

2.4.1.3 Die Umsetzung des integralen Planungsprozesses in der Bauphase

Nach dem integralen Planungsprozess mussten die Ergebnisse dieses Prozesses in der Bauphase umgesetzt werden. Im Rahmen der Bauausführung ging es insbesondere darum, ob die planerisch definierten Forschungsziele in der Bauphase erreicht werden bzw. in den Fällen, in denen die Forschungsziele nicht oder nicht voll erreicht werden, diesen Tatbestand zu dokumentieren und zu evaluieren.

Im Interesse der Forschungsziele ging es insbesondere um die Umsetzung der Schlüsselgewerke in Zusammenhang mit dem Holzbau. Hierzu wurden die entsprechenden „Schlüsselfirmen“ gebeten, ihre Erfahrungen mit der Umsetzung der Planung auf der Baustelle zu schildern, einerseits die Schwierigkeiten und Probleme, andererseits die positiven Aspekte und Arbeitserleichterungen, damit alle Beteiligten aus diesem Bauvorhaben für zukünftige Projekte lernen können.

Umfangreiche Kommentare wurden von der Firma Graule Gebäudetechnik GmbH & Co. KG (Elektroinstallation), der Firma Liebelt Haustechnik GmbH (Sanitärinstallation), der Firma Schuster Klima Lüftung GmbH & Co. KG (Lüftungsarbeiten) sowie der Firma Heidel Haustechnik (Heizungsarbeiten) vorgelegt. Einige Firmen haben es u. a. mit dem Verweis auf den Aufwand etc. abgelehnt, Stellung zu nehmen. Bei zukünftigen Projekten sollte darauf geachtet werden, dass in den Vorbemerkungen der Ausschreibung die Verpflichtung der Firmen festgehalten wird, zu den forschungsrelevanten Themen bei der Umsetzung auf der Baustelle fundiert Stellung zu nehmen.

Vereinfacht zusammengefasst können die Anmerkungen der Firmen zur Umsetzung ihrer Gewerke auf der Baustelle, insbesondere im Zusammenhang mit einem Holzfertigteilbau, wie folgt dargestellt werden:

Einmütig wurde festgestellt, dass die Installation als solche leichter – auf jeden Fall nicht schwerer – als bei einem konventionellen Bau, sei es aus Beton oder Mauerwerk, abzuwickeln ist. Nachteilig wurde empfunden, dass es bei den technischen Installationen zusätzliche Probleme bei der Umsetzung des Brandschutzes, der Luftdichtigkeit, den Dampfsperren etc. gab. Aus allen Anmerkungen ist jedoch zu erkennen, dass im Gegensatz zum Betonfertigteilbau der Holzfertigteilbau in Abwicklung und Bearbeitung noch hinter der allgemeinen Entwicklung im Bauwesen zurückhängt.

Insbesondere die Firma Heidel-Haustechnik berichtet, dass, da es keine standardisierten Lösungen im Holzbau gibt, immer wieder neue Lösungen auf der Baustelle gefunden werden mussten. Verbunden mit dem straffen Zeitplan wurde dies als nachteilig empfunden.

Interessant war auch die Anmerkung der Installateur-Firma (Firma Liebelt) für Wasser und Abwasser. Hier wurde festgestellt, dass man in Zukunft nicht nur auf die Umweltverträglichkeit der verbauten

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Materialien schauen, sondern sich auch intensiv mit der sanitären Ausstattung (Armaturen, Keramik etc.) befassen sollte. Ein überlegter Einbau sanitärer Einrichtungsgegenstände könnte z.B. zu einer starken Reduzierung von Reinigungsmitteln führen. Von zwei Firmen wurde die sogenannte 3D-Planung kritisiert. Der Handwerker auf der Baustelle braucht klare, lesbare und nicht mit Informationen überfrachtete Pläne.

Kritisch anzumerken ist, dass der Fokus bei Projekten wie dem Neubau des Gymnasiums Diedorf auf der integralen Planungsprozessphase liegt. Bei der konkreten Abwicklung wird jedoch meistens der Blick auf den integralen Bauablauf im Hinblick auf die Umsetzbarkeit der Ergebnisse des integralen Planungsprozesses vernachlässigt. Gerade aber diese Beurteilung bzw. die Bewertung der Qualität der Bauabwicklung und die Abweichungen bei der Umsetzung von Planungszielen sind entscheidend für das Projektergebnis. Der Bauablauf des Gymnasiums Diedorf mit seinen sehr kurzen, durch die Politik bedingten Ausführungszeiten (darüber wurde bereits früher berichtet) bietet ein anschauliches Beispiel dafür.

So wurden in der Baudurchführungsphase Termindefizite, die beim integralen Planungsprozess durch die Beteiligten noch aufgefangen werden konnten, sichtbar, die im Bauablauf nicht mehr zu kompensieren waren, was zu wirtschaftlichen Auswirkungen für den Bauherrn führte. Beim vorliegenden Projekt gab es für die Ausschreibung der Wandverkleidung, die in der Kalkulation mit ca. 1,163 Mio. € brutto veranschlagt war, nur ein Angebot, das bei ca. 2,5 Mio. € lag und damit um mehr als 100 % über dem Kostenansatz. Vor diesem Hintergrund stellte sich für den Landkreis Augsburg angesichts der anstehenden Fertigstellungstermine die sehr kostenrelevante, aber auch vergaberechtliche Frage, wie man mit diesen Mehrkosten umgeht. Bei einem normalen, nicht unter Zeitdruck laufenden Projekt gibt es jederzeit die Möglichkeit, die bestehende Ausschreibung aufzuheben – auch wenn nur ein Bieter angeboten hat – und neu auszuschreiben.

2.4.1.4 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend hat gerade das Projekt Diedorf sehr deutlich gezeigt, dass das Handwerk und die ausführenden Firmen, aber vor allem aber auch für den Bau produzierenden Firmen nicht im Gleichschritt mit den energetischen Forderungen gehen, sondern dass sich hier – vielleicht auch unter dem zurzeit herrschenden Auftragsdruck – ein immer größer werdendes Gefälle ergibt. Ein Vorschlag, an der Verringerung dieses Gefälles zu arbeiten, ist u. a., dass Deutsche staatliche Institutionen, die sich mit der Förderung energetisch hochwertiger Projekte befassen (z. B. DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt) darüber Gedanken machen, wie man Firmen auszeichnet, die sich auf den Einsatz und die Anwendung der neuen Techniken spezialisieren und diese auch in der Praxis umsetzen, z. B. bei der Lüftung der Klassenzimmer mit der MSR-Technik, mit den entsprechenden Steuerungsventilen etc.. Gegebenenfalls setzt man für gute Arbeit und Einsatz solcher Firmen sogar einen Preis aus.

Festzuhalten ist, dass bei der Vorgabe Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Komfort die Planungs-umsetzung der Ziele weniger ein Problem der Architekten und Ingenieure sind, sondern mehr ein Problem der Industrie, die zu den gesetzten Zielen noch keine entsprechende Technik oder zu wenig erfahrenen Leute hat.

2.4.2 DBU Verfahrensbetreuung

2.4.2.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Im Vergleich zur konventionellen Bauart sollte der Neubau des Gymnasiums Diedorf als Modellprojekt für ein zukünftiges Lern- und Lehrumfeld umgesetzt werden. Dazu bedurfte es einer zentralen Projektbegleitung, die die Zielsetzung im Hinblick auf den Modellcharakter und vor dem Hintergrund des Interesses des Landkreises Augsburg sicherstellt, Problempunkte, Schwachstellen und ggf. erforderliche Kompromisslösungen erkennt, systematisiert, mit den Projektbeteiligten und dem Landkreis diskutiert und Lösungsvorschläge mit erarbeitet und dokumentiert. Um diese Zielsetzung zu erreichen, wurde eine übergeordnete Projektkoordination mit einem interdisziplinär erfahrenen Fachmann, der einerseits die Schnittstelle zum Bauherrn, andererseits aber vor allem die Abstimmung mit dem Fördergeber, der DBU, garantiert. Es ging darum, dass während des gesamten Verfahrens die Förder- und Forschungsziele nicht aus den Augen verloren werden durften und allfällige Anpassungen und Änderungen mit den Forschungs- und Förderzielen abzustimmen waren. In diesen Aufgabenbereich fielen auch die Behandlung und die Maßnahmen, die bei Schlecht- oder Nichterfüllung im Besonderen einzelner Beteiligter, zu ergreifen waren. Die Projektbegleitung, die nicht identisch mit einer Vollprojektsteuerung war, sollte die erfolgreiche Umsetzung des Prozesses und die Zielerreichung sicherstellen.

2.4.2.2 Die einzelnen Arbeitsschritte

Die Auswahl der Architekten und Ingenieure für das Projekt in Diedorf wurde in weitgehender Abstimmung mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt durchgeführt. Auch Informationen über die Qualifikation der Ingenieure aus anderen Projekten wurde in die Auswahl mit einbezogen. Im Nachhinein war die Auswahl von Architekten und Ingenieuren im kommunalen Bereich – oftmals validiert durch politische Gremien – auch im Fall Diedorf nicht ganz unproblematisch. Den Entscheidungsträgern, vor allem im politischen Bereich, ist schwer zu vermitteln, dass bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten Qualifikationen der Projektteilnehmer nachgewiesen werden müssen, die lokal nicht vorhanden sind.

Das hängt sicher zum einen damit zusammen, dass der ganze Umfang und die ganze Problematik des Forschungsprojektes nicht ohne Weiteres den politischen Gremien vermittelt werden können und auch vermittelt werden sollten, um zu verhindern, dass aufgrund der Problematik das Projekt nicht durchgeführt wird. Andererseits kann die falsche Auswahl eines Projektteilnehmers das Gesamtprojekt in Gefahr bringen. Das hängt dann oft nicht mit der guten Qualifikation zusammen, sondern damit, dass das Planungsbüro selbst noch keine Erfahrung mit Forschungs- und Entwicklungsprojekten hat. Wenn es sich dann noch um eines der Schlüsseldisziplinen handelt, führt eine falsche Auswahl nicht nur zu Reibungsverlusten im Projektteam, sondern auch zu Verzögerungen im Gesamtprojekt, die nur durch Doppel- und Mehrarbeit wieder aufgeholt werden konnten. Diese Schwachstelle wurde im vorliegenden Fall dadurch gelöst, dass ein hochqualifiziertes Team des Zentrums für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), das anerkannterweise bereits bei einem anderen DBU-Projekt gute, nicht nur im Bereich des Monitorings, sondern auch der Qualitätssicherung nach Abschluss des Projektes Arbeit geliefert hatte, dem örtlichen Büro beigestellt wurde.

Für zukünftige Projekte ist daraus abzuleiten, dass die Auswahl der mit der Forschung zu beauftragenden Büros nur dann Erfolg haben kann, wenn die einzelnen Büros auch Arbeiten und Leistungen – sei es als Büro, sei es durch abgestellte Mitarbeiter – im Bereich Forschung und Entwicklung nachweisen können. Gerade bei zentralen Themen, wie Energie, führen – und haben auch im vorliegenden Fall dazu geführt – leistungsbedingte Schwächen dazu, dass das Forschungsvorhaben mangels innovativer Elemente im HLS-Bereich keine oder nur geringe Förderung erfahren konnte. Das reibungslose Zusammenspiel der teilweise bis zu 20 Architekten und Ingenieure hat sich erst nach einem Zeitraum von fast zehn Monaten mit Ende der Entwurfs- und Genehmigungsplanung eingestellt.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Ein zweiter Aspekt, der bei der Zusammenstellung des Planungsteams nicht bedacht wurde und zu Schwierigkeiten bei der Organisation der Umsetzung des Projektes geführt hat, ist die Frage der Koordination des Forschungsvorhabens.

Nach allen bisherigen Erfahrungen hat der Einsatz eines Generalplaners dabei deutliche Vorteile gegenüber Einzelbeauftragungen, die durch einen Projektsteuerer terminlich, technisch, organisatorisch und wirtschaftlich koordiniert werden.

Die Tatsache, dass die politischen Gremien des Landkreises Augsburg eine zusätzliche Projektsteuerung einerseits nicht wünschten, andererseits kein Generalplaner gefunden werden konnte, hat dazu geführt, dass nach einer Ersatzlösung gesucht werden musste, die insbesondere im Anfangsstadium des Projektes die Forschung und die Abstimmung mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt koordiniert und darüber gewacht hat, dass die Forschungsziele und die Regeln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt eingehalten wurden.

Mit der Beauftragung des Büro kplan®AG, das bereits zwei Projekte für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt mit Erfolg durchgeführt hatte, konnte diese Systemschwäche anfangs nur teilweise ausgeglichen werden. Erst mit Abschluss der Entwurfsplanung und Beginn der Genehmigungsplanung zeigte sich, dass die organisatorischen Schwächen durch die gut organisierte Architektengemeinschaft der Professoren Nagler und Kaufmann teilweise ausgeglichen werden konnten.

Ein letzter entscheidender Punkt im Berichtszeitraum war die Frage der Wirtschaftlichkeit. Forschung und Entwicklung auf der einen Seite und Wirtschaftlichkeit auf der anderen Seite haben, wie aufgrund von Erfahrungen mit anderen Projekten zu erwarten war, auch beim vorliegenden Projekt zu einem großen Problem geführt, vor allem weil die wirtschaftlichen Daten / Investitionskosten durch die politischen Gremien bereits vorgegeben waren

Diese Tatsache und die Tatsache, dass fast alle Beteiligten zunächst in erster Linie den Forschungs- und Entwicklungscharakter und nicht das Thema Wirtschaftlichkeit im Auge hatten, haben dazu geführt, dass im Juni / Juli 2012 das Forschungskonzept im Bereich der Architektur nochmals aufgelegt werden musste. Hier hat sich gezeigt, dass es sehr wichtig war bei dem Projektablauf von Anfang an die Funktion der Wirtschaftlichkeits-, Lebenszyklusbetrachtung und Kostensteuerung mit einzubauen und der Ansatz, ein DBU-erfahrenes Büro, das bereits einige DBU-Projekte durchgeführt hatte und damit über Benchmarking eine größere Zahl von Vergleichsprojekten zur Beurteilung und weiteren Bearbeitung heranziehen konnte, gut war.

Insgesamt betrachtet, muss aber bei Bauvorhaben, die Forschung und Entwicklung beinhalten, immer das tendenzielle Auseinanderdriften des Wunsches nach einem optimalen Forschungsergebnis einerseits und der Wirtschaftlichkeit andererseits berücksichtigt und entsprechende Steuerungsinstrumente überlegt und eingesetzt werden.

Die eingangs geschilderten Probleme haben sich auch beim Übergang von der Vor- in die Entwurfsphase nicht vollständig gelöst. Da trotz Unterstützung durch ein Partnerbüro eine Reihe von Fragen noch nicht gelöst waren, hat die Kooperation zwischen dem HLS-Partner und den Architekten zunächst zu Problemen und Kompromissen geführt. Hauptproblem war die Entscheidung über die sommerliche Kühlung, sei es durch Grundwasser, sei es durch konventionelle Kühlgeräte, die insbesondere im Hinblick auf ihren wirtschaftlichen Einsatz in dieser Phase noch nicht abschließend geklärt war. Auch im Bereich der Photovoltaikanlage hat sich herausgestellt, dass das Thema zu spät aufgegriffen wurde, d. h., dass keine frühzeitige Abstimmung zwischen Architektur- und Solaranlagenplaner stattgefunden hat. So ergaben sich zum Beispiel Probleme der Dachdurchdringung durch die Solaranlagen. Auch Fragen der Leistung bzw. Leistungssteigerung der Solaranlagen wurden erst zu einem sehr späten Zeitpunkt thematisiert. Das Gleiche gilt für das Thema Speichermassen.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Ein besonderes Thema war, wie bereits bei einem früheren DBU-Projekt (FOS / BOS Erding), der Sonnenschutz. Die Zahl der Anbieter auf dem Markt ist begrenzt. Die Forschung in Zusammenarbeit mit dem Anbieter musste ebenfalls unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Wettbewerbsverzerrung vorsichtig angegangen werden und nahm viel Zeit in Anspruch.

Konzepte der Mess- und Regeltechnik mussten ebenfalls parallel mit der Konzeption der technischen Anlagen, und zwar im Querschnitt, abgestimmt und mit allen Ingenieuren aufgelegt werden.

Im Bereich der Architektur muss in Zukunft noch mehr darauf geachtet werden, dass schon bei der Planung technische Fragestellungen im Hinblick auf Forschungsziele frühzeitig thematisiert werden. Aufgrund der Spartenverantwortung – das gilt für alle Gewerke – müssen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, die Grundlagen der jeweils gewählten Lösungen sind, – und auch das gilt für alle Gewerke – erst zu einem späten Zeitpunkt durchgeführt werden.

Sie hingen von verschiedenen Berechnungsannahmen ab, bei denen sich in einer Reihe von Fällen bei konkreter Hinterfragung herausstellte, dass diese fehlerhaft bzw. unzureichend angesetzt waren, wobei die Ursache hierfür häufig noch fehlende Informationen bzw. Detailkenntnisse waren.

Für zukünftige Projekte ergibt sich daraus als Konsequenz, dass entsprechende Berechnungen und darauf aufbauende Entscheidungen nicht zu früh erfolgen, sondern erst fundiert nach Anpassung der tatsächlichen Gegebenheiten getroffen werden dürfen.

Beim Projekt Diedorf hat sich auch deutlich bei der Qualität der Ergebnisse gezeigt, dass eine am Projekt beteiligte Gruppe (Architekten, Tragwerksplaner, Brandschutzplaner, Schallschutzplaner, Freianlagenplaner und Tageslichtplaner) durch gute Erfahrungen aus anderen Projekten und entsprechend intensive Zusammenarbeit sehr gute Lösungen und Erfolge – auch bei Zielkonflikten – erzielen konnten, aber andererseits die technischen Lösungen noch nicht integriert waren, was deshalb zu teilweise umfangreichen Umplanungen und Anpassungen führte.

Erst an der Schnittstelle von Entwurfs- zu Genehmigungsplanung bzw. Ausführungsplanung konnte insbesondere im Bereich HLS sowie Mess- und Regeltechnik das Defizit durch den Einsatz des ZAE Bayern (Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.) deutlich gemindert werden, so dass die ins Auge gefassten Forschungsziele auch in diesem Bereich erreicht wurden. Das bereits angesprochene Problem des Sonnenschutzes konnte nicht im Sinne einer innovativen Lösung (z. B. PCM) geregelt werden. Hier hat der Faktor Zeit und der Zwang der Projektfertigstellung eine wesentliche Rolle gespielt.

Ein wesentliches Problem beim Gesamtprojekt stellt der Nachweis der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Forschungsalternativen dar. Unter dem beim Projekt vorhandenen Termindruck konnten erst bis kurz vor der Ausschreibung die Zahlen zur wirtschaftlichen Evaluierung der einzelnen Projektlösungen dargestellt werden, die dann zur Evaluierung der Gesamtwirtschaftlichkeit führen konnten. Das heißt im vorliegenden Fall nicht, dass nicht die jeweils beste Lösung im Einzelfall getroffen wurde, sondern dass im Gesamtzusammenhang nicht ausgeschlossen werden kann, dass die optimale wirtschaftliche Lösung in einem Gewerk nicht zu schlechteren Lösungen in einem anderen Gewerk geführt hat.

Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt ganz klar gemachte und nicht nur im Ansatz richtige Vorgabe, dass Forschungsergebnisse immer auch wirtschaftlichen Kriterien standhalten müssen, muss bei den nächsten Projekten mit mehr Aufmerksamkeit, sowohl bei der Aufgabenstellung als auch bei der Organisation des Projektablaufes, bearbeitet werden.

Zwei weitere Aspekte, die beim vorliegenden Projekt nicht mehr in vollem Umfang berücksichtigt werden konnten – in Zukunft aber wohl berücksichtigt werden müssen – ist die frühzeitige Einbeziehung des SiGeKo in den Forschungsprozess und die Einbeziehung des Themas Sicherheit an Schulen. Vor allem im Rahmen der pädagogischen Architektur werden hier eine Reihe von Fragestellungen und Probleme auftreten, die gelöst werden müssen.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

In der Phase der Baudurchführung gab es einen wesentlichen Aspekt, dem in Zukunft mehr Augenmerk geliefert werden muss. Es ist der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu verdanken, dass sie nicht nur Forschungs- und Entwicklungsthemen bei Projekten fördert, sondern auch die damit verbundene Ergebniskontrolle nach Projektabschluss – das Monitoring.

Um die Ergebniskontrolle nach Projektabschluss aber effizient zu gestalten, muss das Büro / Institution, die mit dem Monitoring beauftragt wird, spätestens nach Abschluss bzw. Verabschiedung der Forschungsthemen, was spätestens in der Entwurfsphase erfolgt, mit einbezogen werden. Monitoring erfordert Mess- und Regeltechnik, die in das Projekt in der Bauphase mit eingebracht werden muss, aber auch Fragen der Ergebnisprüfung, der Prüfung der pädagogischen LernLandSchaft oder auch der Öffentlichkeitsarbeit müssen im Rahmen des Monitorings frühzeitig thematisiert werden.

In der Ausführungsphase tauchten einige neueste und noch nicht in das Projekt aufgenommene Forschungsergebnisse auf, die das Projekt betrafen und zur Diskussion darüber führten, inwieweit sie noch in das Projekt eingeführt werden sollen. Eine Antwort auf diese Frage kann in der Regel nur eine Wirtschaftlichkeitsanalyse ergeben, die auch die Komponenten Zeit und Korrekturaufwand im Rahmen des Projektes mit berücksichtigt.

Schließlich – und das gilt nicht nur für diese Planungsphase – bereitet es auch immer wieder Probleme, die Planungsbeteiligten zu motivieren und den Weg von der Aufgabenstellung, dem Lösungsansatz und der im Abschluss der Planung gewonnenen Ergebnisse, die umgesetzt wurden, zeitnah darzustellen. Diese zeitnahe Darstellung ist jedoch erforderlich bei einer Beschäftigung mit dieser Verfahrenskette nach Abschluss des Projektes nicht nur den Zeitraum Vergessensfaktor, sondern auch dem Einfluss neuer Aspekte unterworfen ist.

Man wird beim Abschluss der Verträge mit den einzelnen Planungs- und Forschungsbeteiligten in Zukunft entsprechende Kautelen in den Vertrag mit aufnehmen müssen, die z.B. eine Rechnungsstellung von der rechtzeitigen Ablieferung des Zwischenberichtes abhängig machen.

In der Endphase des Projektes stellte sich dann noch die Frage, in welchem Umfang moderne LED-Technik für die Beleuchtung zum Einsatz kommen sollte. Die LED-Technik hatte in den letzten Monaten, auch noch während der Bau-/ Planungsphase erhebliche Fortschritte gemacht. Die wirtschaftliche Analyse ergab, dass sich die Mehrkosten für LED-Leuchten, welche aus Gründen der Nachhaltigkeit (Quecksilberthematik) bevorzugt werden, zumindest während des Lebenszyklus von 50 Jahren amortisieren. Der Landkreis Augsburg hat sich im Sinne der Nachhaltigkeit, trotz des nur knappen Erreichens des Break-Even-Points für das moderne System der LED-Technik entschieden. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass das Auswechseln von Leuchtstoffröhren, die im Lebenszyklus zur ersetzen sind, nicht nur Kosten für Ersatzröhren berücksichtigen musste, sondern auch Arbeitszeit, um diese Röhren wieder einzusetzen.

2.4.2.3 Fazit und Ausblick

Vor dem Hintergrund der Erreichung der Forschungsziele wurde die Thematik des anstehenden Monitorings aufgegriffen. Das Projekt Gymnasium Diedorf soll nach seiner Fertigstellung einem dreijährigen Monitoringprozess unterzogen werden. Die Zielerreichungsgrade sollen fachübergreifend analysiert und konkrete Optimierungsvorschläge im Betrieb erarbeitet werden. Hierfür wurden im Zuge des Projektfortschrittes zusätzliche Themen bzw. Zielstellungen festgelegt, die im Monitoring überprüft werden sollen. Insbesondere das Thema Qualitätssicherung im Hinblick auf die Holzkonstruktion im Bereich aller konstruktiven Verbindungen sowie der Einfluss des Holzbaus und des pädagogischen Konzepts auf die Lernqualität und Nutzerakzeptanz sind wichtige, neuartige Fragestellungen, die bei diesem Monitoringprojekt Berücksichtigung finden und evaluiert werden.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Insgesamt kann abschließend zu der Fragen der Verfahrensbetreuung festgestellt werden, dass diese – ebenso wie der integrierenden Projektprozesse – im Rahmen der Forschung von der Aufgabenstellung noch zu sehr auf die Planungsphase und zu wenig auf die Ausführungsphase fokussiert waren. Bei zukünftigen Projekten soll gerade unter dem Aspekt der Forschungsverfahrensbetreuung der Bau- durchführungsphase mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

2.4.3 Öffentlichkeitsarbeit und Dokumentation der Forschungsergebnisse als Fachbuch

Insbesondere der Einsatz von Holz im Schulbau ist für viele Bauherrn Neuland. Durch das Forschungsprojekt soll die weitere Verbreitung des Holzbaus im Schulbau sowohl durch die Entwicklung beispielhafter konstruktiver Lösungen, optimierter Vorfertigung als auch durch die überzeugende gestalterische Qualität gefördert werden. Hinzu kommt, dass Schulen erfahrungsgemäß besonders im Licht der Öffentlichkeit stehen. Dadurch kann auch ein besonderer Multiplikatoreffekt bei der jüngeren Generation erreicht werden. Vor diesem Hintergrund ist die Verbreitung der Forschungsergebnisse verbunden mit der Möglichkeit, das Forschungsprojekt vor Ort zu erleben, ein wesentliches Ziel der Öffentlichkeitsarbeit beim Projekt Diedorf.

Bereits während der Planungsphase ist das Projekt Diedorf auch auf internationaler Ebene auf großes Interesse gestoßen. Zahlreiche Fachvorträge haben in dieser Zeit bereits stattgefunden bzw. wurden angefragt. In der Bauphase hat die Resonanz des Fachpublikums nochmals deutlich zugenommen. Insbesondere sind einige interessante Veröffentlichungen in Fachzeitschriften zu nennen, sowie Fernsehbeiträge von ZDF Tivi und dem Bayerischen Rundfunk. Auch eine Werksbesichtigung des Holzfertigteilherstellers Kaufmann-Bausysteme in Bregenz, war für alle Beteiligten (Vertreter Schule, Architekten, Fachingenieure, Bauherrenschaft) äußerst lehrreich und interessant. Einzelaspekte wie die ökologische Qualität des Projekts wurden bereits im Rahmen von Fachveranstaltungen erläutert.

Eine Übersicht zu Presseartikeln, Veranstaltungen, Fachzeitschriften und Filmbeiträgen ist nachfolgend dargestellt:

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Tabelle 2.4-1: Die Tabelle zeigt eine Übersicht zu Presseartikeln, die zum Projekt Diedorf in der Planungs- und Bauphase veröffentlicht wurden.

| Übersicht Presseartikel, Fachzeitschriften, Fachveranstaltungen, Filmbeiträge | | |
|---|---|--------------------------|
| Neubau Schmuttertal-Gymnasium Diedorf | | |
| Stand: 09.12.2015 | | |
| Zeitungsartikel / Presseartikel | | |
| Datum | Titel | Quelle |
| 24.01.2013 | Pressemitteilung DBU - Übergabe Fördermittelübergabe | DBU |
| 14.09.2013 | Spatenstich - Schmuttertall-Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 22.01.2014 | Pionierarbeit auf einer Schulbaustelle | Augsburger Allgemeine |
| 25.09.2014 | Das Gersthofen Gymnasium braucht noch mehr Platz | Augsburger Allgemeine |
| 16.10.2014 | Halbzeit auf der Rekordbaustelle | Augsburger Allgemeine |
| 22.10.2014 | Richtfest / Stadtzeitung | Stadtzeitung |
| 22.10.2014 | Zweifel am Konzept der neuen Schule | Augsburger Allgemeine |
| 30.10.2014 | Eine Lösung für jedes Problem | Augsburger Allgemeine |
| 07.11.2014 | Münchner planen Fahrt nach Diedorf | Augsburger Allgemeine |
| 07.11.2014 | Vom Landkreis lernen | Augsburger Allgemeine |
| 19.12.2014 | Finanzminister beschert Städte und Gemeinden - Schlüsselzuweisungen | Augsburger Allgemeine |
| 13.01.2015 | Der Landkreis baut auf neue Schulden | Schwabmünchner Allgemein |
| 23.01.2015 | Durch den Bahntunnel direkt in die Schule | Augsburger Allgemeine |
| 23.01.2015 | Pläne für schnelle Bahn bremsen Umfahrung aus | Augsburger Allgemeine |
| 27.01.2015 | Kreis korrigiert Kosten nach oben | Augsburger Allgemeine |
| 11.02.2015 | Schulbauten sorgen wieder für Streit | Augsburger Allgemeine |
| 17.02.2015 | Ärger am Diedorfer Gymnasium Estrich | Augsburger Allgemeine |
| 17.02.2015 | Ärger am Diedorfer Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 25.02.2015 | Sicherheit für die Schüler | Stadtzeitung |
| 03.03.2015 | Im Wettlauf mit der Zeit | Augsburger Allgemeine |
| 04.03.2015 | Eltern sollen draußen bleiben | Augsburger Allgemeine |
| 04.03.2015 | Im September geht das Gymnasium in Betrieb | Augsburger Allgemeine |
| 07.03.2015 | Einblick vor dem Übertritt aufs Gymnasium Diedorf | Augsburger Allgemeine |
| 10.03.2015 | Schmuttertall-Gymnasium wirft neue Fragen auf | Augsburger Allgemeine |
| 21.03.2015 | Die Container sind schon verplant | Augsburger Allgemeine |
| 25.03.2015 | Wir können uns diese Schulden leisten | Stadtzeitung |
| 20.04.2015 | Endspurt fürs Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 28.04.2015 | Bushaltestelle fürs Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 16.06.2015 | Schule mit direktem Zugang zum Bahnhof | Augsburger Allgemeine |
| 19.06.2015 | Noch mehr Unterstützung fürs Schmuttertall-Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 10.07.2015 | Schule geht auch anders | Augsburger Allgemeine |
| 27.07.2015 | Schule in Holzbauweise u. Plusenergiestandard/Regio Augsburgs Wirtschaft GmbH | |
| 29.07.2015 | Offene Lernlandschaften | Stadtzeitung |
| 31.07.2015 | Diedorfer Schüler bilden eine lange Umzugskette | Augsburger Allgemeine |
| 05.08.2015 | Stuhl für Stuhl, Tisch für Tisch | Stadtzeitung |
| 25.08.2015 | Unterirdisch zum neuen Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 27.08.2015 | Eine Schule füllt sich | Augsburger Allgemeine |
| 07.09.2015 | Auf der Zielgeraden | Augsburger Allgemeine |
| 09.09.2015 | Gut geschützt zum Unterrichts | Augsburger Allgemeine |
| 12.09.2015 | Schule als Wohlfühlort | Augsburger Allgemeine |
| 16.09.2015 | Das Diedorfer Gymnasium startet als Baustelle | Augsburger Allgemeine |
| 16.09.2015 | Die Vorzeigeschule vom Land | Augsburger Allgemeine |
| 16.09.2015 | Wer kann, der muss | Augsburger Allgemeine |
| 16.09.2015 | Dieser Applaus war echt | Augsburger Allgemeine |
| 17.09.2015 | Bullenmast neben Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 21.09.2015 | Landwirt plant Bullenmast neben neuem Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 23.09.2015 | Politiker trifft Künstler / Allg. Kunst am Bau | |
| 23.09.2015 | Schmuttertall-Gymnasium im Fernsehen | Augsburger Allgemeine |
| 24.09.2015 | Ist es politischer Neid oder Zorn auf Bildung | Augsburger Allgemeine |
| 25.09.2015 | Freie Fahrt am Diedorfer Gymnasium | Augsburger Allgemeine |
| 25.09.2015 | Nachbesserungen am Gymnasium geplant | Augsburger Allgemeine |
| 30.09.2015 | Kreisausschuss in SMÜ vom 29-09-2015 | Augsburger Allgemeine |
| 30.09.2015 | Der 100-Millionen-Euro-Baustellen-Bericht | Augsburger Allgemeine |
| 02.10.2015 | Die dunkle Seite des Schmuttertalls | Augsburger Allgemeine |
| 07.10.2015 | Warum das Gymnasium eine Hauptschule ist | Augsburger Allgemeine |
| 20.10.2015 | 150 Millionen Euro auf einen Blick | Augsburger Allgemeine |
| 20.10.2015 | Die Suche nach Freibier | Augsburger Allgemeine |
| 21.10.2015 | Schmuttertall-Gymnasium bundesweit im Fernsehen | Augsburger Allgemeine |
| 22.10.2015 | Eine Tour durch die Hightech-Schule | Augsburger Allgemeine |
| 22.10.2015 | Tücken für die Technik | Augsburger Allgemeine |
| 28.10.2015 | Erfolgreich auf dem Holzweg | Stadtzeitung |
| 30.10.2015 | Lernen in pädagogisch sinnvoller Architektur | Bayerische Staatszeitung |

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Tabelle 2.4-2: Die Tabelle zeigt eine Übersicht zu Veranstaltungen, Fachzeitschriften und Filmbeiträgen, die im Projektzeitraum veröffentlicht bzw. besucht wurden.

| Übersicht Presseartikel, Fachzeitschriften, Fachveranstaltungen, Filmbeiträge | | |
|--|---|--|
| Neubau Schmuttertal-Gymnasium Diedorf | | |
| Stand: 09.12.2015 | | |
| Publikationen/ Filmbeiträge | | |
| Datum | Titel - Inhalt | Quelle |
| 23.09.2015 | Dokumentation zu Diedorf - Die Vorzeigeschule vom Land | Bayer. Rundfunk |
| 24.10.2015 | logol!: Schule aus Holz - Dokumentation über das SGD | ZDF tivi - Im Rahmen der Sendung logol! |
| Fachzeitschriften | | |
| Datum | Titel | Quelle |
| Jun. 15 | zuschnitt 58, Projektdokumentation S. 14, Schmuttertal-Gymnasium | zuschnitt 58 |
| 08.10.2015 | Bayer. Gemeindezeitung 66. Jahrgang Nr. 19 Comeback des Holzbaus - Schmuttertal-Gymnasium | Bayer. Gemeindezeitung 66. Jahrgang Nr. 19 |
| Nov. 15 | dbz Deutsche Bauzeitung - Projektdokumentation Schmuttertal-Gymnasium, Seite 48-55 | DBZ |
| Nov. 15 | didacta-Magazin Vom Containerbau zur Traumschule | didacta-Magazin Ausgabe 4/ 2015 |
| Fachveranstaltungen | | |
| Datum | Titel | Ort |
| 19.01.2015 | BAU 2015 - Messestand Pro Holz Bayern | München |
| 18.11.2015 | Holzbauzentrum S.H. - Vortrag Herr König - Nachhaltigkeit des Holzbaus | Hamburg |
| 19.11.2015 | Fachtagung Holzbau in Baden-Württemberg | Stuttgart |

Auch die Anfragen für Besucherführungen auf der Baustelle waren enorm (vgl. Tabelle 2.4-3). Dabei gab es interessanterweise auch Anfragen von Konkurrenzunternehmen der beauftragten Holzbaufirmen, die sich für das Fertigteilkonzept und die Holzverbundkonstruktion interessierten. Derartige Anfragen wurde allerdings aus Wettbewerbsgründen nicht stattgegeben.

Um den laufenden Baustellenbetrieb nicht zu stark zu behindern, mussten die Führungen insgesamt während der Bauphase begrenzt werden. Hervorzuheben sind Führungen für interessierte Eltern von angemeldeten Schülern sowie ein Tag der offenen Baustelle für die Einwohner von Diedorf.

Tabelle 2.4-3: Die Tabelle zeigt eine Liste der durchgeführten und bereits für Anfang 2016 geplanten Baustellenführungen

| Besucherführungen/Baustellenbesichtigungen | |
|---|---|
| Neubau Schmuttertalgymnasium Diedorf | |
| Stand: 18.11.2015 | |
| Datum | Besucher |
| 02.07.2014 | Schüler und Lehrer des Schmuttertalgymnasiums Diedorf |
| 21.10.2014 | Rechnungsprüfungsausschuss LRA |
| 24.10.2014 | Netzwerk Holzbau München |
| 11.11.2014 | Stadt München, Mitglieder des Baureferates |
| 28.11.2014 | Gebäudemanagement LRA Augsburg |
| 18.12.2014 | Staatliches Bauamt Augsburg |
| 23.03.2015 | Hochschule Würzburg |
| 27.03.2015 | Gemeinde Diedorf - Tag der offenen Baustelle |
| 12.06.2015 | ADIB Franche Comte |
| 26.06.2015 | Handwerkervereinigung Bau im Lot, Augsburg |
| 01.07.2015 | Stadt Augsburg |
| 02.07.2015 | Stadt Kaufbeuren |
| 10.07.2015 | Region A3 Augsburg Wirtschaft GmbH |
| 30.07.2015 | Stadt Hohenbrunn u. Stadt Kelsterbach |
| 31.07.2015 | Feuerwehr+Polizei |
| 10.09.2015 | Baureferat München |
| 14.09.2015 | Herr König mit Delegation japanischer Architekten |
| 09.10.2015 | Bundestagsabgeordneter Cajus J. Caesar, mit Delegation Mitglieder Deutscher Forstzertifizierungsrat (DFZR) des PEFC auf Vorschlag des Bunds Heimat und Umwelt e.V. (BHU); Bund Deutscher Forstleute (BDF) |
| 11.10.2015 | Bloch Success Bau |
| 14.10.2015 | Wirtschaftsraum A3 Regio Augsburg-Netzwerk Holzbau |
| 15.10.2015 | LRA Neu-Ulm |
| 30.10.2015 | Holzforum Allgäu |
| 12.11.2015 | Tagung der Gymnasien mit offenen LernLandSchaften |
| 16.11.2015 | Tagung der Verbindungslehrer schwäbische Gymnasien |
| 17.11.2015 | Handwerkskammer Augsburg |
| 26.11.2015 | Arch.büro Benisch |
| 02.12.2015 | Lessing Gym. Neu-Ulm |
| 15.12.2015 | Regierung von Schwaben, Bauabteilung |
| 24.02.2016 | Justus v. Liebig-Gymnasium, Neusäß |
| 29.02.2016 | Rotary-Club Lech-Schmuttertalgymnasium |
| 11.04.2016 | ARGE der Elternbeiräte Region Augsburg |
| Mrz 16 | Stadt Ingolstadt |

Neben der Verbreitung der Ergebnisse des Forschungsprojektes bestand ein wesentliches Ziel der Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt darin, die notwendige Akzeptanz und das Verständnis für das neuartige Konzept der offenen LernLandSchaften und der Plusenergieschule bei der Schulleitung, den Lehrern und Schülern zu erreichen.

2.4 Planungsmethodik und Öffentlichkeitsarbeit

Während des gesamten Planungs- und Bauprozesses wurde die Schulleitung und der Hausmeister in das Projektteam integriert und im Rahmen von Planungssitzungen über wesentliche Details informiert bzw. bei wesentlichen Themen und Fragestellungen in den Diskussions- und Entscheidungsprozess im Planungsteam mit einbezogen. Bereits Anfang 2014 wurde das Forschungsprojekt erstmals offiziell interessierten Eltern, Schülern und Lehrern im Detail im Rahmen einer Elternbeiratssitzung vorgestellt. Es folgten weitere Informationsveranstaltungen und mit Fertigstellung des geschlossenen Rohbaus konnten Schulklassen die Baustelle vormittags mit ihren Lehrern begehen. Durch Einbezug von Schülern in Namensgebungen, Umzug, Entwicklung der Wertvorstellungen etc. konnte eine hohe Akzeptanz für das neue Lernkonzept und das neue Schulgebäude aus Holz erreicht werden.

Insgesamt ist der ambitionierte Neubau des Gymnasiums bei Schülern, Lehrern und Eltern sehr gut aufgenommen worden. Für das Schuljahr 2015/16 haben sich mit 133 neuen Fünftklässlern mehr Kinder angemeldet, als an jedem anderen Gymnasium im Landkreis Augsburg. Diese Zahlen sprechen bereits für sich.

Informationen zum Projekt waren und sind in prägnanter Form auf der Homepage des Landkreises und auf der eigenen Homepage des Schmuttertal-Gymnasiums zugänglich. Zusätzlich ist eine Broschüre „Schmuttertal-Gymnasium Diedorf – Lernen in pädagogischer Architektur“ über das Landratsamt Augsburg erhältlich. Sie ist eine wertvolle Veröffentlichung, die grundsätzliche Fragen und Lösungsansätze zur Planungs- und Bauaufgabe thematisiert. Aufgrund der regen Nachfrage gibt es bereits die zweite Auflage.

Der Baustellenfortschritt bzw. die Entwicklung des Neubaus mit Holzfertigteilen wurde durch eine Webcam, die auf der Baustelle installiert war, und deren Bilder auf der Homepage des Landkreises fortlaufend eingestellt wurden, dokumentiert und konnte daher von Interessierten jederzeit verfolgt werden. Zur besseren Dokumentation des Holzbaus wurde im Laufe der Bauphase eine zweite Webcam installiert. Geplant ist noch eine Fotoreihe aus dem vorhandenen Bildmaterial zu generieren, um das extrem schnelle Fortschreiten des Holzbaus im Bauablauf sichtbar zu machen.

Das Ziel der Verbreitung der Forschungsergebnisse insbesondere in Fachkreisen konnte durchaus überzeugend erreicht werden. Auch die Akzeptanz des Projektes beim Fachpublikum und bei den Nutzern der Schule ist bislang sehr positiv. Dennoch hinkte die Öffentlichkeitsarbeit oftmals dem Projektfortschritt hinterher und konnte dem großen Interesse nicht immer gerecht werden. Dies war mit Sicherheit auch dem zeitlichen Druck des Projektes geschuldet.

Im Rahmen der nächsten Schritte wird es wichtig sein, dass die neuen LernLandSchaften aber auch die räumliche, funktionale und ökologische Qualität der Schule im Zuge des laufenden Unterrichtsbetriebs erprobt werden. Dies muss sowohl im Rahmen des im Januar startenden Monitorings evaluiert werden als auch durch Dokumentation des neuen Unterrichtskonzepts und der Qualität der neuen Schule z.B. im Rahmen eines Filmbeitrags oder durch Unterrichtsbesuche.

Für 2016 ist zudem bereits die Vorstellung des Forschungsprojekts im Rahmen der Woche der Umwelt geplant. Außerdem sind weitere Fachveranstaltungen wie z.B. die Fortbildung / Tagung zum Thema "Nachhaltiger Schulhausbau – Das Schmuttertal Gymnasium" vorgesehen. Ein Fachbuch wird unter Federführung der Architekten entstehen und voraussichtlich bis Mitte 2016 verfügbar sein.

3 Bauphase

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion

3.1.1 Umsetzung Gewerk Architektur

Das Schmuttertal-Gymnasium in Diedorf ist eine Schule mit Modellcharakter. Sie erreicht die Ziele der Nachhaltigkeit und Pädagogik mit den ureigenen Mitteln der Architektur: Vielfältig zu nutzende Räume bieten Platz für selbständiges Lernen, die klare Struktur des Holzskelettbbaus erlaubt es, auch in Zukunft auf neue pädagogische Konzepte flexibel zu reagieren. Um die akustische Behaglichkeit zu steigern, wurden die Oberflächen der Räume in einem aufwändigen Prozess entwickelt. Als Plusenergiehaus erzeugt das Gymnasium Diedorf mehr Energie, als sein Betrieb benötigt.

LernLandSchaften bilden das didaktische Grundgerüst, in dem die Jugendlichen das Lernen selbst erlernen. Damit erwerben sie Methoden, sich Wissen anzueignen und aktiv am Unterricht teilzunehmen – ein ganzes Leben lang. Die Teilhabe begann schon bei der Planung: In einem partizipativen Prozess haben die Lernenden und Lehrenden die Gestalt ihrer Schule mitbestimmt.

Um diese hochgesteckten Ziele zu erreichen, stehen Architektur und Technik im Einklang: Die Grundlage dafür bildet die integrale Planung, die räumliche, statische und technische Aspekte unter ein Dach bringt.

3.1.1.1 Planungsverlauf

Grundsätzlich wurde im Planungsteam mit dem Bauherren vereinbart, dass die Gewerke einzeln vergeben werden und im Bereich des Holzbaus eine Teilgeneralunternehmerlösung gesucht wird (Konstruktion, Gebäudehülle komplett inkl. Fenster und Verglasungen sowie Notdach). Daher war ein sehr hoher Detaillierungsgrad in der Ausführungsplanung des Architekten notwendig, um reelle Angebote zu bekommen, die auch vergleichbar sind und um zu vermeiden, dass durch Varianten die Detailplanungen zu einem späten Zeitpunkt wieder verändert werden müssen, was auf Grund der knappen Termine nicht möglich gewesen wäre. Diese Strategie hat sich als grundsätzlich richtig erwiesen, die Ausschreibungsergebnisse des Holzbaus waren einheitlich, es gab keine Spekulationsangebote und die Firmen hielten sich in der Ausführung an die gegebenen Planungen.

Für die gesamte Ausführungsplanung der Architekten wurde jedoch zu wenig Vorlaufzeit bzw. Kapazität eingeplant. Das Gymnasium Diedorf ist zwar statisch klar aufgebaut – das gesamte Schulhaus durchzieht ein konsequenter Raster von 2,70 m von Osten nach Westen, in der Gegenrichtung variiert die Breite des Rasters je nach Nutzung – jedoch die Entscheidung zur sichtbaren Konstruktion und die Vermeidung von abgehängten Decken bedingte einen sehr aufwendigen Abstimmungsbedarf innerhalb der einzelnen Planungsgewerke. Keines der vier Gebäude ist gleich wie das andere, auch kaum ein Klassenzimmer ist genau gleich wie das Nächste. Der Planungsaufwand, welcher auch die Festlegung der Elementierung des Holzbaus beinhaltete und bis zur Detaillierung des gesamten Innenausbaus reichte, führte dazu, dass die Ausführungsplanung bei der Übergabe der Pläne an den Holzbauunternehmer nicht mit den Gewerken der Haustechnik fertig abgestimmt war. Das führte zu aufwendigen Planungsänderungen und Adaptierungen, die parallel zur laufenden Werksplanung erfolgen mussten.

Gerade im vorgefertigten Holzbau benötigt man entweder eine angemessene Planungszeit oder genug Planungskapazität des gesamten Planungsteams, welche aber durch die raschere Bauzeit wieder kompensiert werden kann.

Nachfolgend sind der gesamte Planungsverlauf, sowie der Aufwand der Architekten grafisch dargestellt:

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion

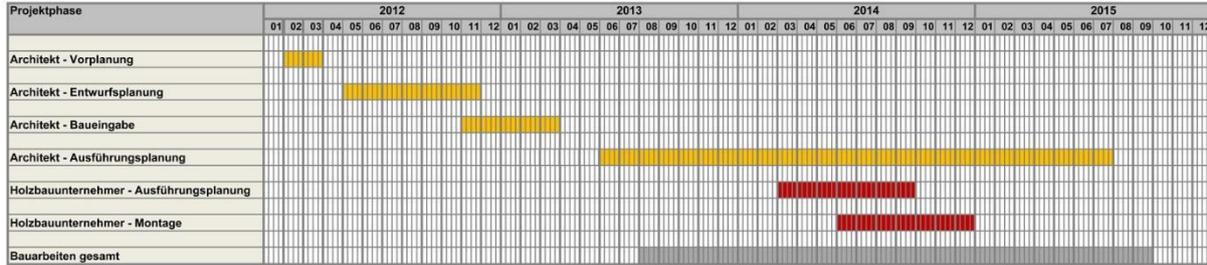


Abbildung 3.1-1: Planungsverlauf, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann

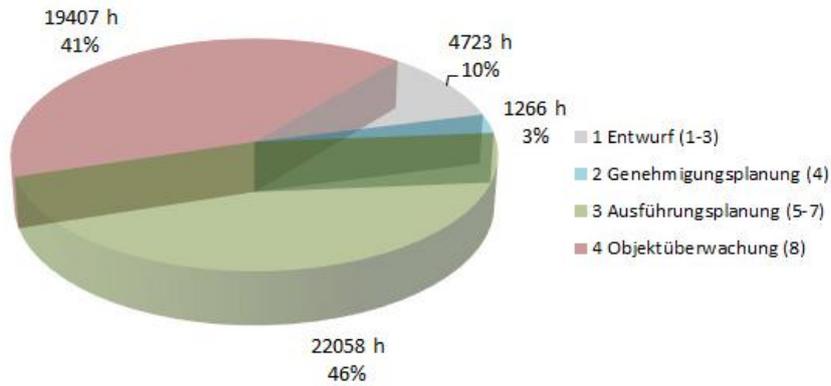


Abbildung 3.1-2: Aufwand der Architekten in Stunden und Prozenten dargestellt, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann

Der tatsächliche Aufwand der Architekten in den Bereichen der Ausführungsplanung und Bauleitung konnte bei diesem Projekt nicht mit den in der Honorarordnung für Architekten festgelegten Sätzen abgedeckt werden. Für das Gymnasium Diedorf wurde die Honorarzone 4 (Mindestsatz) herangezogen. Dies wurde auch bei der folgenden Grafik berücksichtigt:

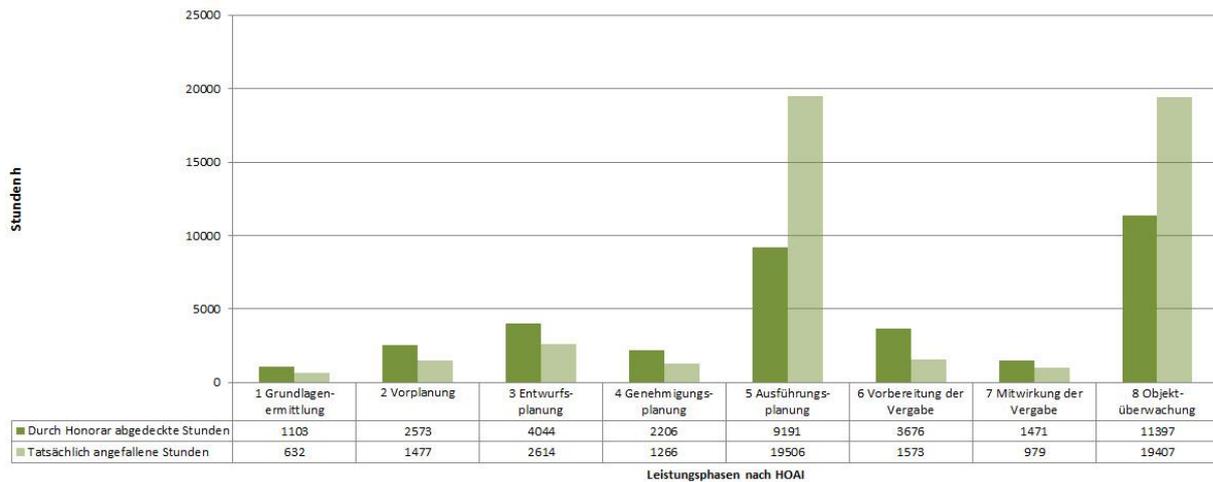


Abbildung 3.1-3: Aufwand im Vergleich zur Honorarverordnung, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann

3.1.1.2 Vergaben

Holzbau

Alle Gewerke wurden gemäß dem geltenden Vergaberecht als Einzelgewerke ausgeschrieben und vergeben. Lediglich das Vergabeverfahren für den Holzbau wurde als zweistufiges Verfahren nach Abstimmung mit der Vergabebehörde durchgeführt. In der ersten EU weit ausgeschrieben Stufe konnten sich die Anbieter bewerben. Diese Bewerbungen wurden anhand eines vom Landkreis Augsburg zusammen mit den Architekten festgelegten Punktekatalogs bewertet, vgl. Punkt 2.1.2.3).

Anhand der Bewertung wurden 10 Firmen für die zweite Stufe ausgewählt. Aus diesen 10 Angeboten wurde der Billigstbieter beauftragt. Aufgrund dieser Ausschreibung war es möglich, einzelne Baulose zu vergeben. Das führte dazu, dass der Auftrag getrennt wurde, das Turnhallegebäude wurde separat zu den Schulgebäuden vergeben.

Restliche Gewerke

Da es sich bei den meisten Gewerken um große Angebotsvolumina mit knappen Zeitvorgaben handelte, war es teilweise schwierig überhaupt Angebote zu bekommen. So mussten die Ausschreibungen teilweise neu verschickt werden wie z.B.:

- Tischlerarbeiten: nach der 1. Ausschreibung ist nur ein Angebot eingegangen. Nach erneuter Ausschreibung bekamen wir je LV 2 Angebote
- Holzlattendecke für die Sporthalle: diese musste 3x ausgeschrieben werden bis 2 Angebote einlangten
- Dachdecker: nach einem formalen Fehler des Erstbieters legte dieser Beschwerden ein. Das LV musste aufgehoben werden und erneut verschickt werden.
- Raumakustische Maßnahmen: die Ausschreibung wurde aufgehoben da kein Angebot, das in dem mehrstufigen Wertungsverfahren bis zur Beurteilung der Preise kam, einen angemessenen Preis aufwies. Das LV musste erneut verschickt werden.

Bei folgenden Ausschreibungen erhielten wir nur wenig Angebote:

- Stahltüren
- Ausstattung Kunst und Werken
- Sportgeräte
- Sauberlauf

3.1.1.3 Firmenkündigungen

Das öffentliche Vergaberecht – der „Billigste“ und nicht der „Beste“ erhält den Auftrag – kann zu unnötigen Problemen auf der Baustelle führen. So mussten diverse Firmen gekündigt werden:

- Trockenbauarbeiten: Aufgrund von unzureichenden Leistungen wurden hier nicht nur eine Firma sondern drei Firmen bis zur Fertigstellung gekündigt.
- Schlosser: die Schwierigkeiten von der Firma eine vernünftige Werkplanung zu erhalten zogen sich weiter bis zur Qualität der Ausführung und terminlichen Umsetzung. Nachfolgende Gewerke wurden behindert.
- Estrich: Aufgrund diverser Bedenken der nachfolgenden Firma wurde dieser geprüft und begutachtet. Es stellte sich heraus, dass die geforderten 65 mm Überdeckung der Heizrohre nicht überall vorhanden sind. Der Estrich im Marktplatz des 2. OG im Klassenhaus 1 muss entfernt und erneut eingebracht werden. Die bereits verlegte Dämmung im 2. OG des 2. Klassenhauses muss ausgebaut und mit weniger Ausgleichsdämmung neu eingebracht werden. Die Estrichsanierung inkl. Dehnfugen, sowie die weiterführenden Estricharbeiten für Teilbereiche des Klassenhauses 2 und auch Aula wurden neu ausgeschrieben. Dies kostete zusätzlich kostbare Zeit.

3.1.1.4 Beschleunigungsmaßnahmen

Entgegen den eindeutigen Empfehlungen der ARGE hat sich der Bauherr entschieden den extrem knapp bemessenen Terminplan umzusetzen. Die von den Architekten vorgeschlagene Bauzeit von 32 Monaten wurde auf 24 Monate reduziert. Dies führte neben den bereits genannten Schwierigkeiten bei der Planung auch zu Beschleunigungsmaßnahmen in verschiedenen Bereichen:

- Tischlerarbeiten: da sich durch die 2. Ausschreibungsrunde die Vergabe verzögert hatte, konnte die Firma den Fertigstellungstermin nicht einhalten. Um jedoch den Einzug der Schüler zu dem geforderten Termin halten zu können wurden Teilbereiche der Aula an eine weitere Firma vergeben.
- Bodenbelag – mineralische Beschichtung: hier musste eine weitere Firma als Subunternehmer für die Fertigstellung hinzugezogen werden

3.1.1.5 Fazit

- Vorgefertigter Holzbau braucht mehr Planungsvorlauf oder verstärkte Planungskapazität in der Ausführungsplanung des gesamten Planungsteams verglichen mit einem konventionell gebauten Gebäude.
- Der erhöhte Planungsaufwand des gesamten Planungsteams verglichen mit einem konventionellen Gebäude ist in den diversen Gebührenordnungen nicht dezidiert berücksichtigt.
- Sämtliche Fachingenieure müssen sich auf die Besonderheiten des vorgefertigten Holzbaus einstellen. Der Detaillierungsgrad ist höher wie bei konventionellen Bauweisen. Erfahrung damit ist Grundvoraussetzung für einen reibungsfreien Planungsablauf.
- Die Koordination sämtlicher Haustechnikplanungen muss unbedingt in hoher Detailtiefe und vollständig vor Übergabe der Ausführungsplanung an die Holzbaufirma abgeschlossen sein. Nachträgliche Änderungen stören den Planungsablauf massiv.
- Eine rechtzeitige Einbindung des Holzbauunternehmens in die Ausführungsplanung ermöglicht Arbeitsteilungen und erspart Planungsaufwände.

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 3.1-4: Blick vom Marktplatz in den Klassenraum, Foto von Stefan Müller-Naumann



Abbildung 3.1-5: Klassenraum, Foto von Stefan Müller-Naumann

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 3.1-6: 2-geschossiger Marktplatz im OG 1 unter der Oberlichtverglasung, Foto von Stefan Müller-Naumann



Abbildung 3.1-7: Blick vom Pausenhof Richtung Osten, Foto von Stefan Müller-Naumann

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 3.1-8: Blick in den Pausenhof, Foto von Stefan Müller-Naumann

3.1.2 Umsetzung Holzbetonverbunddecke

3.1.2.1 Aufbetonqualität

Besonders im Zusammenhang mit dem Aufbeton kam es im Zuge der Bauausführung zu einigen Problemen die nachfolgend kurz beschrieben werden.

In der Angebotsphase und in den zugehörigen Aufklärungsgesprächen wurden keinerlei Probleme im Hinblick auf den Aufbeton bekannt oder gar benannt. Nach Beauftragung des Unternehmers wurden in der monatelangen Phase der Arbeitsvorbereitung ebenfalls keine Probleme mit der Aufbeton-Position angedeutet. Erst mit Beginn der zur Montage notwendigen Baustelleneinrichtung meldete der Unternehmer, dass der ausgeschriebene Beton nicht ohne weiteres zu bekommen sei. Eine eingeschaltete Spezialfirma könne aber den verlangten Beton liefern und würde dabei folgende Leistungen erbringen:

1. Beratung
2. Entwicklung der Betonrezeptur
3. Prüfung und Lieferung des verlangten Betons (Beton nach Zusammensetzung)
4. Vorgabe der Einbaubedingungen einschließlich Nachbehandlung
5. Intensive Überwachung aller Betonierarbeiten und der Betonnachbehandlungen

Die ausführende Unternehmung gab auch zur Kenntnis, dass die Kosten für diese Leistungen keinesfalls mit dem angebotenen Einheitspreis für den Aufbeton abgegolten wären. Sie vertrat weiter die Ansicht, dass der ausgeschriebene Beton nicht beschaffbar sei (kein Betonwerk aus der Region hätte ein Lieferangebot gemacht) und hier somit eine nicht erbringbare Leistung ausgeschrieben worden sei. Vor diesem Hintergrund sei es nur folgerichtig, wenn der Auftraggeber die Mehrkosten trage, die für die Beschaffung des verlangten Betons über die Spezialfirma entstehen würden. Neben hohen Mehrkosten für den Aufbeton hätte die Beauftragung der Spezialfirma nicht bezifferte – in jedem Falle aber erhebliche Zeitverzögerung im Bauablauf bedeutet (Langzeit-Betonversuche im Labor), die den Gesamtfertigstellungstermin ernsthaft gefährdet hätte.

Vor diesem Hintergrund haben die Tragwerksplaner den Beteiligten davon abgeraten, der Beauftragung einer Spezialfirma zuzustimmen. Alternativ wurde vom Tragwerksplaner angeboten, in Zusammenarbeit mit Betonwerken im Einzugsgebiet von Diedorf einen geeigneten Beton nach Eigenschaften zu bestimmen und zur Verwendung vorzugeben.

Das Vorgehen war wie folgt:

1. Bestimmung eines geeigneten Betons nach Eigenschaften
2. Berechnung des Beton-Schwindmaßes nach EC 2 (Nachweisführung gegenüber Ansätzen in der statischen Berechnung)
3. Verschärfung der Betonnachbehandlung (eine gute Betonnachbehandlung hat auf das Schwindmaß einen mindestens ebenso großen Einfluss wie die richtige Rezeptur!)
4. Wegen fortgeschrittener Zeit und der Notwendigkeit von zeitraubenden Eignungsprüfungen für den ausgeschriebenen Stahlfaserbeton: Klassenhaus 1 mit Stabstahlbewehrung, erst ab Klassenhaus 2 mit Stahlfaserbewehrung

Vorteile bei dieser Vorgehensweise:

- Keine Mehrkosten
- Keine Bauzeitverschiebung
- Keine Gefährdung des Fertigstellungstermins

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion

Nachteile bei dieser Vorgehensweise:

- Der Anteil des Beton-Schwindmaßes, der über die Rezeptur beeinflussbar ist, wird nicht im Versuch nachgewiesen, sondern rechnerisch bestimmt. Insofern gibt es bezüglich dieser Größe keinen Beweis zum tatsächlichen Verhalten des Betons. Zur Kompensation dieser Ungenauigkeit werden aber die Maßnahmen bei der Betonbehandlung maximiert.
- Es ist nicht auszuschließen, dass die Verformungen der HBV-Decken etwas größer sein werden, als sie es bei Verwendung eines bezüglich Schwindmaß mit Versuch bestimmten Betons mit der gleichen verschärften Betonnachbehandlung gewesen wären. Die wirkliche Gebrauchstauglichkeit wird davon aber keinesfalls eingeschränkt sein. Allenfalls könnte ein im Gebrauch bedeutungsloser Normwert nicht ganz eingehalten sein.

Als Ergebnis dieses Vorgehens kann festgehalten werden, dass mit der gewählten Vorgangsweise keine Mehrkosten und keine Terminüberschreitungen entstanden sind. Die Qualitätssicherung liegt im baupraktischen Bereich. Zur Gewährleistung der notwendigen Standsicherheit, der realen Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit der Konstruktion ist diese jedoch in jedem Falle ausreichend.

3.1.2.2 Ausführung der Holz-Beton-Verbunddecke

Während die Vorfertigung und die Montage der Holzkomponenten ohne Problem ausgeführt wurden, gab es auch beim Einbringen des Betons erhebliche Startschwierigkeiten, die vor allem auf eine schlechte Arbeitsvorbereitung der beauftragten Bauunternehmung zurückzuführen waren. In der Folge sind die wichtigsten Punkte stichwortartig aufgeführt.

- Schlechte Taktung der vom Betonwerk angelieferten Betonmenge mit der Verarbeitungsleistung vor Ort. Es mussten darum eine erhebliche Menge Beton entsorgt werden, da er nicht mehr verarbeitet werden konnte.
- Die geringe Verarbeitungsleistung vor Ort hatte verschiedene Ursachen, wie defekter Rüttler, fehlende Hilfsmittel zum Bewegen des Schlauches innerhalb des Gebäudes, Personal ohne Erfahrung, nicht abgestimmte Dicke des Pumpschlauches.
- Die relativ flüssige Zementschlemme zum Anfahren der Pumpe wurde nicht kontrolliert nach außen in die Umgebung abgeführt. Das führte zu einem Wasseraustritt an der Deckenunterseite und zu Verunreinigungen, die sofort entfernt werden mussten.

Der erste Betonierabschnitt musste aus diesen Gründen nach etwa einem Drittel der vorgesehenen Größe abgebrochen werden. Um die Qualität sicherzustellen wurde der Beton nach dem Einbau vom Lieferwerk auf die geforderten Festigkeitswerte geprüft. Nachdem die Prüfungen zufriedenstellend verlaufen waren, musste die Oberfläche des gesamten Betonierabschnitts von einer Fachfirma nachbearbeitet werden um die großen Maßtoleranzen auszugleichen und Fehlstellen auszubessern. Das Betonieren der folgenden Abschnitte erfolgte ohne Probleme.

Beim zweiten Klassenhaus und der Aula kam anstelle einer konventionellen Bewehrung ein Faserbeton zu Einsatz. Der Betoniervorgang, diesmal von einer anderen Firma ausgeführt, ging bei allen Abschnitten problemlos von statten. Mit 4-5 Mann wurde jeweils ein Betonierabschnitt von ca. einem Drittel der Grundfläche (ca. 500 m²) in ca. 5 Stunden eingebaut.

Die angeordnete Nachbehandlung des Betons mit Sprühfolie und stark gewässerten Jutematten hat sich bewährt. Durch das konsequente Verkleben der Schalung gab es nur an wenigen Stellen Wasseraustritte unterhalb der Schalung. Obwohl die Gebäude schon vor dem Betonieren allseitig geschlossen waren, kam es nicht zu negativen Auswirkungen der eingebrachten Feuchte.

Erste Messungen der Deckenverformungen wurden durchgeführt. Die gewonnenen Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung mit den prognostizierten Werten.

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion

3.1.3 Umsetzung Vorgefertigter Holzbau

3.1.3.1 Umsetzung der Elementierung laut Ausführungsplanung

Bei den Klassenhäusern und der Aula wurden die Wand- und Deckenelemente lt. Planvorgabe eingeteilt (vgl. Abbildung 3.1-10, Abbildung 3.1-11). Lediglich die Dachelemente (vgl. Abbildung 2.3-11) wurden auf ihre maximale Länge optimiert, d.h. die Elemente reichen von der Traufe bis zum Giebel – das entspricht einer Größe von ca. 16,8/2,7 Meter. Dadurch konnte der Montageaufwand so gering wie möglich gehalten werden und die Fugenteile der Notabdichtung wurden minimiert. Die Fassadenelemente der Nord- und Südseiten der 3 Häuser wurden entgegen der Planung der Architekten verkleinert und auf die Achsen abgestimmt. Durch die exakten Detailpläne der Firma Kaufmann Bausysteme (vgl. Abbildung 3.1-9) konnten die Montageabläufe noch weiter verfeinert werden.

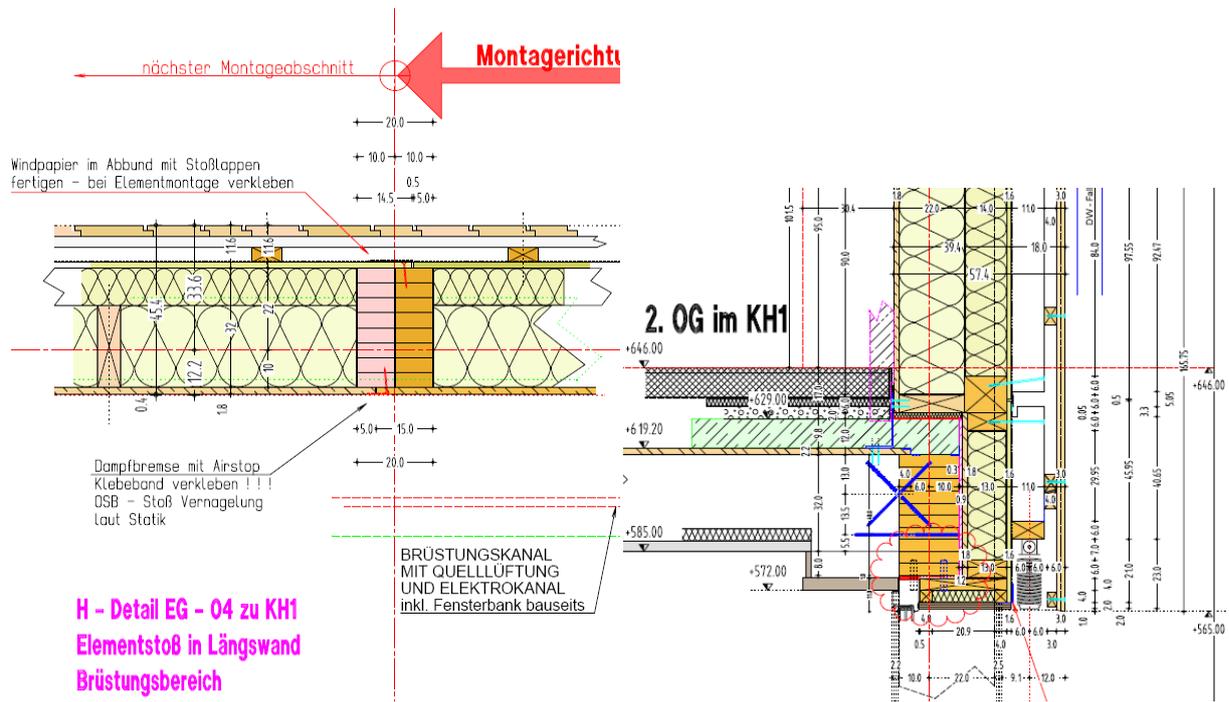


Abbildung 3.1-9: beispielhafte Darstellungen der Detailpläne der Firma Kaufmann Bausysteme

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



Abbildung 3.1-10: Einheben Deckenelement Klassenhaus 1



Abbildung 3.1-11: Einheben Dachelement Klassenhaus 1, Foto von Stefan Müller Naumann

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



*Abbildung 3.1-12: Verladen und Transport der Wandelemente mit bereits montierten Fenstern Klassenhaus 1,
Foto von Norman A. Müller*

Auch die Fima Merk Timber GmbH folgte bei der Werkplanung der Sporthalle der fixierten Elementteilung durch die Ausführungsplanung der Architekten. Lediglich bei der Südfassade entschieden sie sich für deutlich größere Elemente (ca. 16,5 / 2,9 Meter), damit die Montage vor Ort zügiger erfolgen konnte. Allerdings wurde bei der Turnhalle darauf verzichtet, die Montage der Fenster bereits im Werk vorzunehmen. Sind Fenster im Element montiert, können diese nur noch stehend transportiert werden. Bei den geänderten Elementgrößen der Turnhalle hätte dies nur mittels relativ aufwendigen Sondertransporten erfolgen können. Entgegen dem in der Planung angenommenen Montageablauf wurde bei der Sporthalle an der Ost-, West- und Nordfassade die Fassadenschalung gleich im Werk montiert. Da bei diesen drei Fassaden die Wandelemente vom Sockel bis zur Attika durchlaufen, ist kein Verkleben von horizontalen Elementstößen auf der Baustelle notwendig. Leider wurde dabei die Sockelabdichtung zu wenig durchdetailliert. Durch die bereits montierte Fassadenschalung konnte der geforderte Abdichtungshochzug nicht mehr ausgeführt werden. Die Holzschalung musste noch einmal gelöst werden, was schlussendlich ein erheblicher Mehraufwand war.

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion

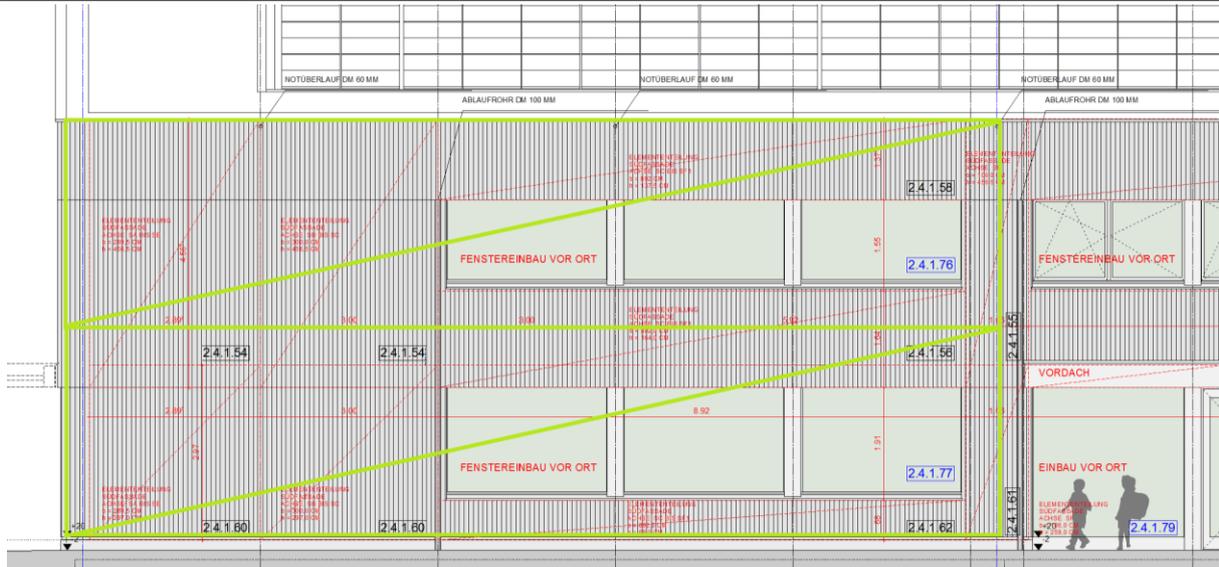


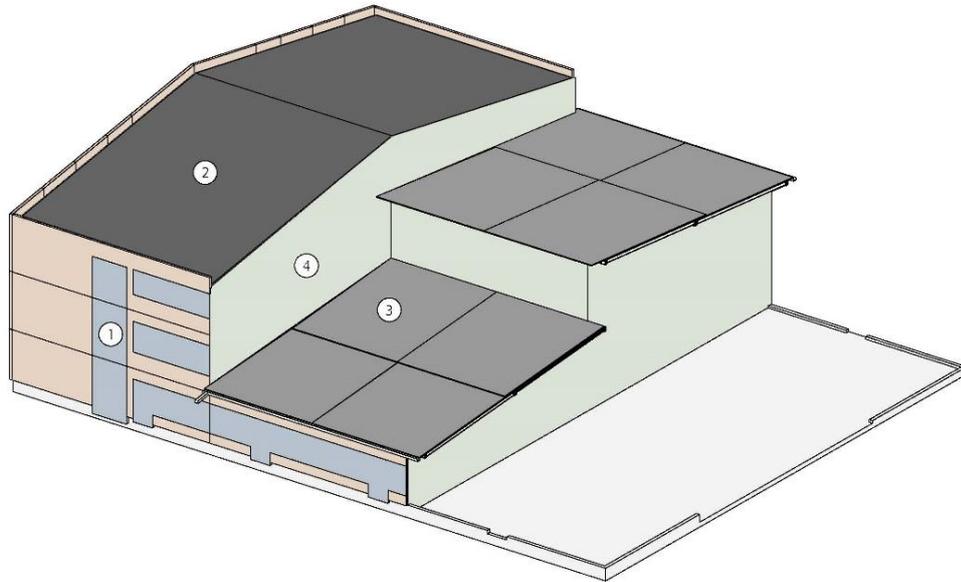
Abbildung 3.1-13: Sporthalle Vergleich Elemententeilung: rot geplant / grün ausgeführt

3.1.3.2 Witterungsschutz und dadurch erhöhte Ausführungsqualität

Ein großer Vorteil der maximalen Vorfertigung ist die witterungsgeschützte Fertigung der Elemente, wodurch die Langlebigkeit des Holzbaus erhöht wird – siehe dazu auch die Erkenntnisse des Endberichtes der 1. Förderungsphase unter Pkt. 4.4 [KAU12].

Doch auch das Schützen des errichteten Holzbaus während der Bauphase und die Planung der Montageabläufe gehört zu einer exakten Vorausplanung. Der Vorschlag der Tragwerksplaner und Architekten, der vorgefertigten Notdächer, wurde von der ausführenden Firma für das Klassenhaus 1 übernommen. Diese stellten sich jedoch als unpraktisch und schwer umsetzbar heraus. Beim Klassenhaus 2 und auch bei der Aula wurde dann auf die Schutzmaßnahme mittels Auflegen von Folien auf die Deckenelemente umgeschwenkt. Das Thema Notdach kam für die Sporthalle nicht in Frage, da hier keine Zwischendecken waren, die geschützt werden mussten. Es wurden von Anfang an die einzelnen Binder mittels Folie eingepackt.

3.1 Umsetzung Architektur und Gebäudekonstruktion



- ① Fenster und/oder temporärer Abschluss Fassade
- ② Definitive Abdichtung (Dampfsperre)
- ③ Notdach-Elemente temporär
- ④ Notfassade temporär

Abbildung 3.1-14: Beispiel temporärer Wetterschutz mit Notdächern



Abbildung 3.1-15: Versetzen eines vorgefertigten Holzelementes inkl. Fassadenschalung und Schützen der Binder mittels Folie, Foto von Stefan Müller Naumann

3.1.3.3 Verkürzte Bauzeit

Das unbeständige Wetter im Sommer 2014 bereitete Schwierigkeiten, die eine Verzögerung im Bauablauf bewirkten. So wurde zum Beispiel die bereits aufgerichtete hohe Giebelwand der Turnhalle durch einen nächtlichen Gewittersturm aus ihrer Lage gedrückt.

Die Montagezeiten vor Ort waren und sind wetterabhängig. Probleme während des Aufrichtens des Holzbaus sowie bei der Verarbeitung des Aufbetons (vgl. 2.1.1) können die Bauzeiten verlängern. Dennoch wurden alle Holzelemente der 4 Gebäude inklusive Aufbeton, Notdach und eingebauten Fenstern in einer beachtlich kurzen Zeit von nur 25,5 Wochen versetzt.

Dies zeigt, dass durch einen vorgefertigten Holzbau im Vergleich zu einer herkömmlichen Bauweise die Bauzeit stark verkürzt werden kann, jedoch muss für die exakte Vorausplanung wesentlich mehr Kapazität und Zeit mit eingerechnet werden. Dies gilt besonders für die Bereiche integrale Ausführungsplanung der Architekten und Fachplaner.

3.1.4 Umsetzung Gewerk integrative Freiraumgestaltung

Aus wirtschaftlichen Gründen wurden die vorbereitenden Erdarbeiten von den tatsächlichen Landschaftsbauarbeiten getrennt und als Vorleistung im Frühjahr / Frühsommer 2014 durch die Fa. Steiner ausgeführt. Die Landschaftsbauarbeiten wurden im Sommer 2014 durch die Fa. Kutter begonnen.

Das mit der Landschaftsbaufirma vertraglich vereinbarte Soll für die Fertigstellung (Ende Juli 2015) konnte nicht erreicht werden. Dies lag zunächst (bis Frühjahr 2015) an der sporadischen und dünnen Baustellenbesetzung durch die Firma Kutter, danach an Behinderungen durch andere Gewerke bzw. nicht zur Verfügung stehende Flächen. Die Fertigstellung für das Gewerk Landschaftsbauarbeiten wurde daraufhin zweimal (auf Anfang September 2015, dann Anfang November 2015) seitens des LRA-A verlängert.

Die Freianlagen inkl. der Sportflächen konnten jedoch so fertig gestellt werden, dass der Schulbeginn mit dem Schuljahr 2015/2016 planmäßig erfolgen konnte. Von Mitte September bis Mitte November 2015 wurde der Parkplatz ausgeführt, der bis Mitte September als Baustellenanlieferung und als Lagerfläche für alle anderen am Bau beteiligten Gewerke fungierte.

Mit Ausnahme von Restarbeiten (z.B. Schrankenanlage) wurden die Landschaftsbauarbeiten Mitte November fertig gestellt und am 08.12.2015 abgenommen. Im nächsten halben Jahr erfolgt noch die Fertigstellungspflege für die Vegetation und die Vegetationsflächen, die mit der Abnahme (voraussichtlich im Juni / Juli 2016) des Anwuchsergebnis abgeschlossen wird.

Die Entwicklungs- und Unterhaltungspflege erstreckt sich im Anschluss über einen Zeitraum von ca. zwei Jahren.

Aufgrund der verlängerten Fertigstellung liegt beim Gewerk derzeit noch keine Teilschlussrechnung vor. Die tatsächliche Schlussrechnung liegt erst nach der geleisteten Entwicklungs-/ Unterhaltungspflege (voraussichtlich im 3. / 4. Quartal 2018) vor.

3.2 Umsetzung Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

3.2.1 Umsetzung Gewerk HLS

3.2.1.1 Heizungs- und Kältetechnik

Auftragnehmer: Fa. Heidel Haustechnik aus Gundremmingen

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| Kostenberechnungssumme brutto: | 909.500,00 € |
| Auftragssumme brutto: | 928.327,06 € |
| Abrechnungssumme brutto: | ca. 1.000.000,00 € |

Die Arbeiten an den Heizungs- und Kälteanlagen wurden von der Fa. Heidel pünktlich und ohne nennenswerte Mängel ausgeführt. Da die Kellerbereiche vor dem eigentlichen Holzbau fertiggestellt worden war du der Keller wasserdicht abgedichtet worden war, konnten die Arbeiten schon im März 2014 im Keller beginnen. Lediglich bei den Installationen der Fußbodenheizung gab es stellenweise Unklarheiten über die Höhe des Fußbodenaufbaus. In Abstimmung mit den Architekten und dem Estrichleger wurden diese jedoch beseitigt.

Als Rohrmaterial für die Heizungs- du Kältetechnik wurde in der Regel schwarzes Rohr und verzinktes gepresstes Stahlrohr verwendet. Die Fußbodenheizung ist aus PE – Rohr. Die Heizungszentrale, bestehend aus den beiden 100 kW Pelletkesseln, den beiden 7.500 ltr. großen Pufferspeichern sowie den Verteilern für Heizung und Kälte, wurde im Winter vorab in Betrieb genommen und als Belegreifheizung für die Fußbodenheizung sowie als Baubeheizung für die übrigen Gewerke verwendet.

Auf Grund der dichten und hochgedämmten Bauweise, gab es im Winter nie das Problem zu kalter Räumlichkeiten. Alle Handwerker konnten während der Wintermonate durcharbeiten.

Die VOB – Abnahme hat stattgefunden, alle Anlagen sind derzeit ordnungsgemäß in Betrieb.

Die Schlussrechnung liegt noch nicht vor.

Dämmarbeiten

Auftragnehmer: Fa. Mock - Isoliertechnik GmbH aus Bad Langensalza

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Kostenberechnungssumme brutto: | 339.500,00 € |
| Auftragssumme brutto: | 358.220,49 € |
| Abrechnungssumme brutto: | ca. 303.450,00 € |

Die Arbeiten zu den Dämmarbeiten wurden von der Fa. Mock so ausgeführt, dass andere Gewerke nicht in ihrer Weiterarbeit behindert waren. Die kompletten Arbeiten wurden allerdings erst Ende Dezember abgeschlossen. Da die Kellerbereiche vor dem eigentlichen Holzbau fertiggestellt worden war du der Keller wasserdicht abgedichtet worden war, konnten die Arbeiten schon im März 2014 im Keller beginnen.

Als Dämmmaterial wurde zu 90 % Steinwolle und bei der Fort- und Außenluft sowie an den Kälteleitungen Armaflex verbaut. Alle Rohrdurchführungen in den F 90 und F 30 Decken wurden mit Conlit – Schalen ausgeführt.

Die VOB – Abnahme hat noch NICHT stattgefunden.

Die Schlussrechnung liegt noch nicht vor.

3.2.1.2 Lüftungstechnik

Auftragnehmer: Fa. Schuster Klima Lüftung GmbH & Co. KG aus Friedberg (Bay)

Kostenberechnungssumme brutto: 3.550.915,00 €

Auftragssumme brutto: 3.379.243,50 €

Abrechnungssumme brutto: ca. 3.153.500,00 €

Die Arbeiten an den Lüftungsanlagen wurden von der Fa. Schuster pünktlich und ohne Mängel ausgeführt. Da die Kellerbereiche vor dem eigentlichen Holzbau fertiggestellt worden war du der Keller wasserdicht abgedichtet worden war, konnten die Arbeiten schon im März 2014 im Keller beginnen. Die Lüftungskanäle sind ausnahmslos aus verzinktem Stahlblech, die Lüftungsgeräte sind von der Fa. Robotherm. Das Einbringen der voluminösen Lüftungsgeräte über den Fortluftkanal hat problemlos funktioniert. Die Wärmerückgewinnung als Kreislaufverbundsystem wurde von der Fa. SEW eingebaut. In den Klassenräumen und im Bereich der Verwaltung wurden wie geplant Quellauslässe verbaut. Der Einbau der Brandschutzklappen in der Decke zwischen UG und EG war unproblematisch (diese wurden in der Betondecke verpresst), ein Einbau von Brandschutzklappen im Holzbau oder im Trockenbau war nicht notwendig.

Durch die konsequente Umsetzung der geringen Luftgeschwindigkeiten bei den Lüftungsgeräten und bei den Verteilkanälen war eine groß dimensionierte Lüftungszentrale und ebensolche Verteilerkanäle unter den Häusern im Bereich der Flure notwendig.

In den Obergeschossen der Häuser wurden die Lüftungskanäle (außer bei der Aula) in der Holzkonstruktion untergebracht und dort bauseits F 30 verkleidet.

Die VOB – Abnahme hat stattgefunden, alle Anlagen sind derzeit ordnungsgemäß in Betrieb.

Die Schlussrechnung liegt noch nicht vor.

3.2.2 Umsetzung Gebäudeleittechnik

Auftragnehmer 1 bis Januar 2015, dann wurde er gekündigt: Fa. Profax GmbH, Frangart Italien

Auftragnehmer 2 ab Februar 2015: Fa. Sauter-Cumulus GmbH, Niederlassung Augsburg

| | |
|---------------------------------|------------------|
| Kostenberechnungssumme brutto: | 552.000,00 € |
| Auftragssumme brutto Sauter: | 409.858,46 € |
| Abrechnungssumme brutto Sauter: | ca. 535.500,00 € |
| Abrechnungssumme brutto Profax: | 20.515,93 € |

Bei der Gebäudeleittechnik ging aus der europaweiten Ausschreibung die Fa. Profax als preisgünstigster Anbieter hervor. Nachdem die Fa. Profax jedoch im Januar 2015 immer noch keine brauchbare Werkplanung vorgelegt hat, und auch bei den Arbeiten auf der Baustelle weit hinter dem Terminplan zurücklag, wurde der Fa. Profax nach mehreren vorangegangenen Aufforderungen zur Leistungserbringung gekündigt.

Nachdem schon im Vorfeld Gespräche mit der Fa. Sauter Cumulus geführt worden waren, wurde diese im Februar 2015 als neuer Auftragnehmer für die Gebäudeleittechnik beauftragt. Dies vor allem in Hinblick darauf, dass die Fa. Profax schon Komponenten der Fa. Sauter eingebaut hatte.

Die Fa. Sauter hatte nun die Aufgabe innerhalb von 8 Monaten die Gebäudeleittechnik so zu planen und umzusetzen, dass der Schulbeginn am 15.9.2015 nicht gefährdet war. Dies ist nahezu gelungen, am 15.9.2015 war zwar nur ein Teil der Anlagen im Regelbetrieb, die restlichen Anlagen konnten jedoch ohne Regelung betrieben werden, so dass der Schulbetrieb nicht gefährdet war.

Mitte Oktober wurden dann alle Anlagen über die Automationsstationen in Regelbetrieb betrieben. Was jetzt noch folgt ist die Datenübergabe an das ZAE, dies sollte bis Ende des Jahres abgeschlossen sein. Anschließend wird bis Ende Februar noch die Visualisierung, also die Gebäudeleittechnik programmiert.

Die VOB-Abnahme hat noch NICHT stattgefunden. Die Schlussrechnung liegt noch nicht vor.

3.2.3 Umsetzung Gewerk Elektro

3.2.3.1 Fremdversorgung

In einer vorgezogenen Baumaßnahme wurde die für die Grundversorgung des Gymnasiums geplante kundeneigene 630kVA Trafostation errichtet. Dadurch konnten die für die Baustromversorgung benötigten hohen Leistungen (Kräne, Pumpen für Wasserhaltung, ...) baustellennah zur Verfügung gestellt werden und die Kosten für die Baustromversorgung deutlich reduziert werden.

3.2.3.2 Energieerzeugung durch PV-Anlagen

Aus architektonischen Gründen wurde eine möglichst nahtlose Integration der Photovoltaikmodule in die Dachkonstruktion gewählt (vgl. Abbildung 3.2-1).

Um eine durchdringungslose Befestigung der PV-Anlagen auf den begrünten Foliendächern zu erreichen, wurde ein neuartiger selbsttragender Schienensatz für PV-Anlagen, mit partieller Ballastierung eingebaut.

Die gesamte Konstruktion wurde an den Firsten verankert und so gegen Abrutschen gesichert. Durch eine partielle Ballastierung, gem. Windauftriebsberechnung, wurden die Anlagen gegen Windauftrieb gesichert und gleichzeitig die Dachlast erheblich reduziert, was sich wiederum positiv auf die Statik auswirkte. Von Vorteil war auch, dass das komplette Tragschienensystem blitzstromtragfähig war und es deshalb in die Blitzschutzanlage als Ableitung voll integriert werden konnte. Dies ersparte die zusätzliche Verlegung von Rundleitern bzw. hochspannungsisolierten Leitungen auf dem Dach. Die Auffangeinrichtung der Blitzschutzanlage konnte dadurch mit nur wenigen Auffangspitzen realisiert werden und fügte sich so nahtlos ins anspruchsvolle architektonische Gesamtkonzept ein.

Die Wechselrichter wurden alle im Untergeschoss der jeweiligen Gebäude untergebracht. Von den PV-Modulen auf den Dächern erfolgt die Gleichspannungsverkabelung in Rohren und Schächten bis zu den Technikräumen im UG. Über die Technikflure im UG wurden die PV-Anlagen wechsellspannungsseitig zusammengefasst und auf die Niederspannungshauptverteilung im UG von Klassenhaus 2 geführt. Von dort erfolgt die Einspeisung in das Niederspannungsnetz für den Eigenverbrauch. Der darüber hinaus erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz gespeist.

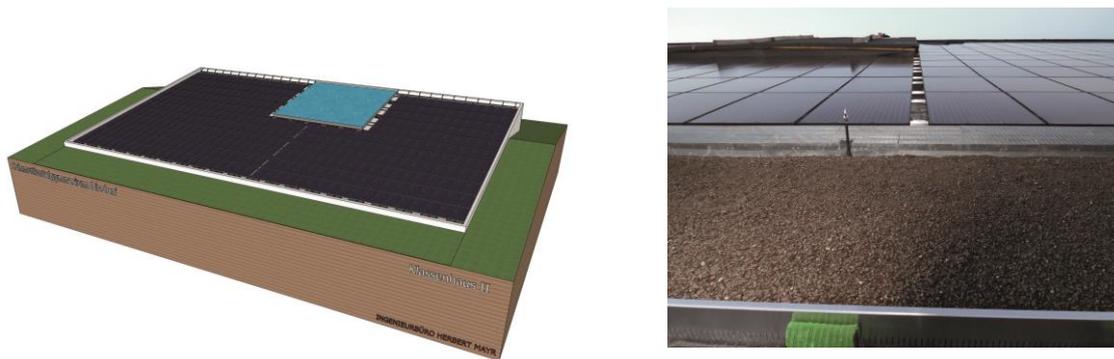


Abbildung 3.2-1: Die PV-Anlage: links in Planung, rechts bereits im Bau

3.2 Umsetzung Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

Folgender Tabelle sind die Kenngrößen der PV-Anlagen zu entnehmen:

Tabelle 3.2-1: Kenngrößen PV-Anlage

| | PV-Dachfläche [m²] | Anlagengröße [kWp] | Voraussichtlicher jährlicher Generator- Ertrag [MWh] |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| Klassenhaus 1 | 533,62 | 86,92 | 653,09 |
| Klassenhaus 2 | 393,70 | 64,13 | 481,87 |
| Sport | 933,83 | 152,11 | 1.142,92 |
| Aula | 777,65 | 126,67 | 951,77 |
| Summe | 2638,8 | 429,83 | 3229,65 |

3.2 Umsetzung Technische Ausstattung und Plusenergiestandard

3.2.3.3 Installation

Um den Verkabelungsaufwand, aus vorgenannten Gründen, auf das Notwendigste zu reduzieren, wurden schließlich dezentrale Installationskonzepte umgesetzt. Auf Etagenverteiler wurde bewusst verzichtet. Dafür wurde jeder Unterrichtsraum und auch Marktplatz mit einer eigenen kleinen Unterverteilung, der sogenannten Mediensäule (vgl. Abbildung 3.2-2), ausgestattet, in welcher die Leitungen auf kurzem Wege zusammengefasst wurden, und zugleich die senkrechten Hauptleitungswege zwischen den Etagen ermöglichten.

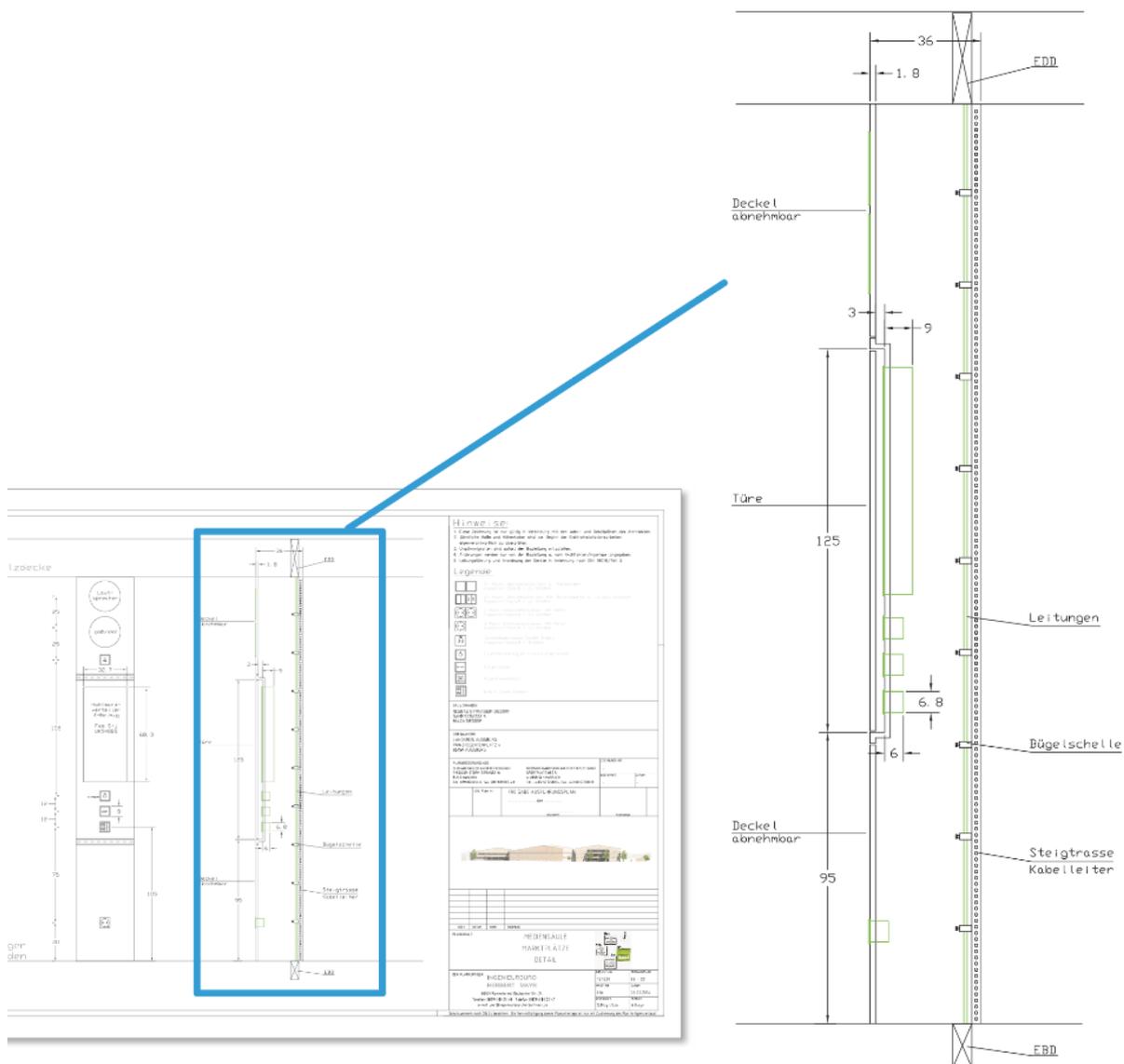


Abbildung 3.2-2: Mediensäule (Ansicht und Schnitt)

Die Verteilungen beinhalten auch die erforderlichen Leitungsabsicherungen und intelligenten Bauteile zur Regelung / Steuerung des Kunst- sowie des Tageslichtes, etc.. Verbunden wurden die Unterverteilungen über KNX-Bus-Leitungen.

In den Etagen erfolgte die Leitungsführung entweder in Boden-, Brüstungskanälen oder Wand-, Deckenverkleidungen. In den obersten Etagen in denen aus architektonischen Gründen keine Verkleidungen vorhanden sind, wurden Sichtinstallationen mit Aufputz-Leitungsführungskanälen oder -rohren ausgeführt.

Bus- und Steuerungskonzepte

In Abstimmung mit dem ZAE Bayern wurden die von uns vorgeschlagenen Bus-Systeme und -Komponenten weiter verfolgt und eingebaut.

Als übergreifendes Bus-System für die komplette Elektroanlage kam der KNX-Bus zum Einsatz. Untergeordnete Anlagen, wie Beleuchtung kommunizieren über den DALI-, Verschattungsanlagen über den SMI-Bus. Alle untergeordneten Bussysteme kommunizieren über erst kürzlich auf den Markt gekommene Gateways mit dem übergeordneten KNX-Bus, welcher dann auch die erforderlichen Daten z.B. an die GLT oder an das ZAE Bayern weiterleitet.

Elektroinstallation für die Beleuchtung

DALI (DIGITAL ADDRESSABLE LIGHTING INTERFACE) ist ein bewährtes Bussystem zur Steuerung von lichttechnischen Betriebsgeräten (EVG, elektronische Leistungsdimmer, ...). Durch die Entwicklung neuer KNX-DALI Gateways wurde es möglich, ein strukturiertes Lichtmanagement aufzubauen.

Durch eine KNX-Wetterstation auf den jeweiligen Dächern wird ein optimales Zusammenspiel von Kunst- und Tageslicht gesteuert. Mit den dort erfassten Wetterdaten und intelligenten Präsenzmeldern in den Räumen wird das Licht in diesen stufenlos präsenz- und tageslichtabhängig geregelt.

Dank der DALI-Technologie kann auch der Status jeder Leuchte abgefragt und ausgewertet werden. Diese Daten (z.B. ein Leuchtendefekt) können durch das Gateway an den KNX-Bus weitergegeben und an eine zentrale Leitstelle (z.B. Hausmeister, ...) zur Anzeige und Protokollierung (z.B. für die Sicherheitsbeleuchtung) gesendet werden.

Elektroinstallation für die Verschattungsanlagen

Das STANDARD MOTOR INTERFACE kurz SMI genannt wurde für den Anschluss von Antrieben, wie z.B. Rollladen- oder Jalousieanlagen entwickelt. Damit ist es möglich, Telegramme über die einheitliche Schnittstelle von der Steuerung zum Antrieb und umgekehrt, auszutauschen.

Dies ermöglicht ein präzises, stufenloses Auf-/ Abfahren der Jalousien, um so den gewünschten Tageslichteinfall zu bestimmen. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist die Reduzierung des Verkabelungsaufwandes.

Der SMI-Bus ermöglicht es auch die exakten Positionen der Jalousieanlagen abzufragen, auszuwerten und an das ZAE Bayern weiterzuleiten.

3.3 Baukosten

Tabelle 3.3-1: Baukosten

| Errichtungskosten - Brutto | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | Kostenbezeichnung | |
| KG 200 | Herrichten und Erschließen | 250.070,00 |
| KG 300 | Bauwerk Baukonstruktionen | 21.530.790,00 |
| KG 400 | Bauwerk Technische Anlagen | 9.113.823,00 |
| KG 500 | Außenanlagen | 2.618.282,00 |
| KG 600 | Ausstattung und Kunstwerke | 1.318.046,00 |
| KG 700 | Baunebenkosten | 6.968.989,00 |
| KG 200-700 | Errichtungskosten brutto | 41.800.000,00 |

4 Fazit und Ausblick

Von allen Projektbeteiligten ist der integrale Planungsansatz als sehr positiv aufgenommen worden. Gerade bei komplexen Gebäuden mit ambitionierten Zielstellungen sind regelmäßige und interdisziplinär zusammen gesetzte Projekttreffen schon ab der Konzeptphase von großer Bedeutung. So können wichtige Aspekte der Fachplaner schon im Gebäudekonzept der Architekten berücksichtigt werden. So sind z. B. die Gebäude in der Konzeptphase um 90° gedreht worden, um eine erhöhte Energieeffizienz und besseren Raumkomfort zu erzielen. Auch im Hinblick auf die Vorfertigung des Holzbaus ist ein intensiver Austausch unter den Planer zwingend notwendig. Diese vertiefte Planung verhindert im Optimalfall u. a. die doppelte Planung von Architekten und ausführenden Firmen sowie baubegleitende Planung. Allerdings wird speziell beim Holzbau im Vorfeld ein erheblich größeres Zeitfenster für die Planung benötigt als beim konventionellen Massivbau, um die Vorteile von Vor- und Serienfertigung sowie rascher Montage optimal zum Einsatz zu bringen. Dieses Zeitfenster hat beim Projekt Diedorf gefehlt. Der extrem eng getaktete Terminplan konnte nur durch überdurchschnittlichen Einsatz aller Beteiligten und der herausragende Arbeit der ortsansässigen, ausführenden Firmen gehalten werden. Ein Jahr mehr Planungs- und Bauzeit hätte dem Projekt hinsichtlich folgender Aspekte gut getan:

- Vor- u. Serienfertigung: Zeit für vertiefte Detaillierung in einer frühen Planungsphase unter Mitwirkung speziell der TGA-Fachplaner (Festlegung von Kabelführungen, Bohrungen etc.)
- Vermeidung von baubegleitender Planung mit kostentreibenden Folgen wie Nachträgen für Anpassungen während der Montage und Einzel- statt Serienfertigung, Verschiebung von Folgegewerken etc.
- Genaue Detailvorgaben in der Ausschreibungsphase zur Vermeidung doppelter Planung von Architekten und ausführenden Firmen. Sinnvoll, vergaberechtlich aber nicht möglich, wäre hier eine frühe Hinzuziehung der ausführenden Firma (integrale Planung).
- Ausreichend Puffer bei ergebnisloser Submission bzw. längerer Vorlauf zwischen Vergabe und Ausführung für mehr Wettbewerb (z.B. Bildung von ARGes, Planung Mitarbeiterinsatz)
- Verhandlungsspielraum für flexible Lösungen bei Engstellen in der Ausführung (Beispiel Schreinerarbeiten)

Generell ist in der Architektur im Gegensatz zur Automobilindustrie eine Standardisierung nur bis zu einem gewissen Grad möglich. Letztlich ist jedes Gebäude wieder ein Prototyp.

Insbesondere für die Fachplaner für ELT und HLS erforderte der vorgefertigt Holzbau im Gegensatz zum herkömmlichen Massivbau eine neue Herangehensweise an die Planung. So müssen Details bereits in einer möglichst frühen Planungsphase geplant und festgelegt werden, da in der Ausführung nicht unbegrenzt angepasst, nachgebessert oder verzogen werden kann. Z. B. sind Bohrungen in Holzelementen kaum möglich und der Verzicht auf abgehängte Decken schränkt die nachträgliche Änderung von Versorgungssträngen fast völlig ein.

Die Einbindung der beratenden Fachplaner (Akustik, Bauphysik, Qualitätssicherung, Lichttechnik, Energieplaner) in den gesamten Planungs- und Bauablauf erfolgte vorbildlich. Ihre Empfehlungen konnten weitestgehend umgesetzt werden. Des Weiteren waren sie bei allen wichtigen Projektentscheidungen involviert und würden als gleichberechtigte Partner im Planungsteam wahrgenommen. So konnte die hohen Anforderungswerte in Bezug auf Energiebedarfswerte und akustische Parameter umgesetzt werden. Auch die ständige Einbeziehung von nicht-technischen-Planern (pädagogische Architektur) sowie den Nutzern (Schulleiter, Hausmeister) brachten andere Herangehensweisen und neue Blickwinkel mit sich, die zu konstruktiven und zielorientierten Lösung für das Gesamtprojekt führten.

Mit dem Bezug der Schule ist die Arbeit noch nicht erledigt. Die technischen Systeme müssen einreguliert und Kinderkrankheiten abgestellt werden. Auch das neue Lernkonzept erfordert in der erste Zeit noch einen regen Austausch aller Beteiligten, um Lehren für die Zukunft zu ziehen.

4 Fazit und Ausblick

In der Bevölkerung stieß der Neubau auf großes Interesse. So wurden nicht nur unzählige Beiträge in lokalen und überregionalen Zeitschriften veröffentlicht sondern auch Filmbeiträge im Bayerischen Fernsehen sowie im KiKA-Kanal über das Pilotprojekt ausgestrahlt. Zu Eröffnung waren Mitglieder des Bayerischen Kabinetts vertreten und viele Interessierte besuchten die Baustelle bei Führungen.

Ausblick

Im Rahmen der Konzept- und Planungsphase sind die wesentlichen Weichenstellungen zur Erreichung der Projektziele gestellt worden. Das Gebäude besteht aus einer hochwertigen Hülle mit umweltverträglichen und schadstoffarmen Materialien. Das Nutzungskonzept verbindet den pädagogischen Ansatz der LernLandSchaften mit den Bedürfnissen der Nutzer. Eine Ausstattung der Schule mit effizienter Anlagentechnik bietet eine gute Basis für einen hohen Raum- und Nutzungskomfort bei hoher Energieeffizienz. Diese Aspekte können aber nur ihre volle Wirkung entfalten, wenn die Schule auch im Sinne der Projektziele betrieben wird. Oft werden die ersten Jahre der Nutzungsphase mit ihrer Bedeutung für den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes und ihrem großen Optimierungspotential unterschätzt. Ziel muss demnach eine Analyse und Bewertung der ersten Phase des Gebäudebetriebs mit anschließender Optimierung sein. Dieser Prozess wird als Monitoring bezeichnet.

Als Beispiel wird hier die Versorgung der Schule mit Kälte angeführt. Die Kühlung wird mittels einer Kompaktkälteanlage realisiert, die vier Hauptbetriebsmodi beinhaltet. Dabei können Betriebsmodi zwischen den beiden Extremen in Bezug auf Energieeffizienz „freie Kühlung“ (hoher EER) und „Kompressionskälte“ (niedriger EER) gefahren werden. Die technischen Voraussetzungen bieten gute Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb. Allerdings muss auch sichergestellt werden, dass die Maschine im jeweils effizientesten Modus gefahren wird.

Aus diesen Gründen wird beim Schmuttertalgymnasium Diedorf ein mehrjähriges umfangreiches Gebäudemonitoring zur Sicherstellung der ambitionierten Projektziele durchgeführt. Die DBU hat unter dem Titel „Umfassendes Monitoring und Qualitätssicherung des Holzbau-Demonstrationsvorhabens Gymnasium Diedorf einschließlich Betriebsoptimierung, Dokumentation und Ergebnisverbreitung“ eine dritte Förderphase bewilligt, die ab dem 01.01.2016 für eine Dauer von drei Jahren umgesetzt wird.

Das Gebäudemonitoring beginnt mit einer umfangreichen Datenauswertung über den gesamten Monitoringzeitraum von drei Jahren. Anschließend werden die Informationen aufbereitet, in geeigneter Form visualisiert und schlussendlich ausgewertet. Auf dieser Basis erfolgt eine Betriebsoptimierung, in der Defizite detektiert, analysiert und Vorschläge und Empfehlungen zur Verbesserung gemacht werden. Nach Abstimmung mit allen Beteiligten werden geeignete Maßnahmen umgesetzt und mit einer Erfolgskontrolle abgeschlossen. Am Ende der Monitoringphase erfolgt eine Evaluierung der Ergebnisse in Bezug auf die Projektziele.

Dabei werden nicht nur technische sondern auch sozialwissenschaftliche Aspekte im Hinblick auf die Wirkungen des pädagogischen Konzepts und des Einflusses des Holzbaus auf das Lern- und Leistungsverhalten der Schülerinnen und Schüler sowie deren Akzeptanz beleuchtet.

Wesentliche Inhalte der Monitoringphase sind:

- Energieeffizienz von Systemen und Komponenten, Jahresgesamtenergiebilanzen im realen Betrieb
- Raum- und Nutzungskomfort im realen Betrieb
- Einfluss des Holzbau und des pädagogischen Konzepts auf die Lernqualität und die Nutzerakzeptanz
- Erreichte Gesundheit- bzw. Innenraumluftqualität
- Visuelle Behaglichkeit insbesondere in den Klassenräumen
- Bewertung der akustischen Qualität
- Aspekte der Nachhaltigkeit und des Lebenszyklus mit abschließende Kostenbetrachtung
- Empfehlungen für zukünftige Projekte

5 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 2.1-1: Schematischer Schnitt durch die Decke..... | 25 |
| Abbildung 2.1-2: Bauablauf der Klassenhäuser und Aula, Plan Kaufmann Bausysteme..... | 29 |
| Abbildung 2.1-3: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung in Ansichten, Grundriss und Querschnitt des KH I..... | 30 |
| Abbildung 2.1-4: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung in Ansicht West der Sporthalle..... | 31 |
| Abbildung 2.1-5: beispielhafte Darstellungen der Elementeteilung der Decken des KH I im Grundriss, Quer- und Längsschnitt..... | 31 |
| Abbildung 2.1-6: Zeitaufwand der ausführenden Zimmermannsbetriebe in Stunden und Prozent, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann..... | 33 |
| Abbildung 2.1-7: Idealbild „Jeder folgt aufmerksam dem Lehrer“ (links) und Realität „Viele sind entweder unterfordert oder resignieren aus Überforderung“ (rechts) im Frontalunterricht..... | 36 |
| Abbildung 2.1-8: Der Lehrer kann in seiner Rolle als Moderator und Begleiter punktgenau und effizient agieren. Währenddessen beschäftigen sich die anderen Schüler selbstständig und in ihrem Tempo – mit Umwegen inklusive..... | 36 |
| Abbildung 2.1-9: Flexibilisierung innerhalb der Klassenräume als Schlüssel zu mehr Abwechslung in den Unterrichtsformen. Dreieckstische können von den Schülern leicht und leise in neue Formationen gebracht werden und lassen sie sich wie rechts zu sehen leicht aufstapeln, um eine Reflexionsrunde zu ermöglichen..... | 37 |
| Abbildung 2.1-10: Innen zu wenig Spielraum, ein leer Gang, kaum Gelegenheit für Begegnung und Austausch – eine typische Flurschule..... | 37 |
| Abbildung 2.1-11: Kleine Änderungen erlauben es, aus einem Flur eine vielseitig nutzbare Begegnungs- und Arbeitsfläche zu machen, die den Alltag von Schülern UND Lehrern verbessert..... | 37 |
| Abbildung 2.1-12: Eine doppelte, gespiegelte Anordnung von LernLandSchaften aus Überlegungen zur Effizienz stehen der Funktion nicht entgegen. Vielmehr kann z.B. der Lehrerstützpunkt (grün markiert) gemeinsam genutzt werden und damit die Kommunikation im Kollegium weiter verbessert werden..... | 38 |
| Abbildung 2.1-13 Umsetzung im Grundriss..... | 39 |
| Abbildung 2.1-14: Innenliegender Marktplatzbereich als klar strukturierter Arbeits- und Kommunikationsort, bestens mit Tageslicht versorgt. (Bild von Fotografin Frau Carolin Hirschfeld)..... | 39 |
| Abbildung 2.1-15: Mit der Integration von Transparenz, Stauraum und Haustechnik sind die Wände zwischen Klasse und Marktplätzen ein Beispiel für gelungene integrale Planung. (Bild von Fotografin Frau Carolin Hirschfeld)..... | 40 |
| Abbildung 2.1-16: Türportal mit umlaufender Schattenfuge als dauerhafte Öffnung für den Luftwechsel. Sie erlaubt eine Vereinfachung der Lüftungstechnik, ohne dass man bei der Akustik Probleme befürchten müsste. (Bild von LernLandSchaften)..... | 40 |
| Abbildung 2.1-17: Rettungswegführung für das 1. Obergeschoss im Klassenhaus I..... | 45 |
| Abbildung 2.1-18: Klassenzimmer, 1. OG, Grundriss (ohne Maßstab)..... | 48 |
| Abbildung 2.1-19: Angestrebte Nachhallzeit T in den Unterrichtsräumen im besetzten Zustand..... | 49 |
| Abbildung 2.1-20: Schematische Darstellung der Deckenabsorber..... | 49 |
| Abbildung 2.1-21: Grundriss Klassenzimmer, Deckenabsorber (rot markiert)..... | 50 |
| Abbildung 2.1-22: Nachhallzeit Unterrichtsraum 1. OG. Prognostizierte Nachhallzeit T mit 40 mm breiten und 200 mm hohen Baffeln..... | 51 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 2.1-23: Nachhaltigkeitsuntersuchung Unterrichtsräume 1. OG Prognostizierte Nachhaltigkeit T mit flächigen Absorbern zwischen den Holzbalken (Holzwolleleichtplatten mit Mineralwolleauflage)..... | 52 |
| Abbildung 2.1-24: Lageplan Freianlagen, Stand: September 2015 | 58 |
| Abbildung 2.1-25: Pausenhofbereich Innenhof | 59 |
| Abbildung 2.1-26: Blick über das Rasenspielfeld nach Westen | 62 |
| Abbildung 2.2-1: Tabellarische und grafische Darstellung des erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfs ohne nutzerinduzierte Bedarfe | 65 |
| Abbildung 2.2-2: Tabellarische und grafische Darstellung des erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfs unter Einbezug der nutzerinduzierten Bedarfe..... | 65 |
| Abbildung 2.2-3: Zur Erreichung des Plusenergiestandards erforderliche und mögliche Eigenerzeugung aus PV (nur Gebäudedächer; P50-Werte angenommen; Leistungsverminderung durch Degradation um 7,5 % angenommen)..... | 66 |
| Abbildung 2.2-4: Zur Erreichung der CO ₂ -Neutralität erforderliche und mögliche Vermeidung von CO ₂ -Emissionen durch Eigenerzeugung aus PV (nur Gebäudedächer; P50-Werte angenommen; Leistungsverminderung durch Degradation um 7,5 % angenommen) | 66 |
| Abbildung 2.2-5: Untersuchter Klassenraum 1. OG | 71 |
| Abbildung 2.2-6: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C) .. | 72 |
| Abbildung 2.2-7: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C) | 73 |
| Abbildung 2.2-8: Untersuchter Klassenraum 2. OG | 74 |
| Abbildung 2.2-9: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C) .. | 75 |
| Abbildung 2.2-10: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C) | 76 |
| Abbildung 2.2-11: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C) | 77 |
| Abbildung 2.2-12: Grafische Auswertung Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß gewichteter Überschreitungshäufigkeit 27°C) | 78 |
| Abbildung 2.2-13: Untersuchter Marktplatz 2. OG | 79 |
| Abbildung 2.2-14: Grafische Auswertung Simulation Marktplatz 2. OG | 80 |
| Abbildung 2.2-15: Grafische Auswertung Simulation Marktplatz 2. OG (gewichtete Überschreitungshäufigkeit 27°C) | 81 |
| Abbildung 2.2-16: Ranking der Erzeugungsvarianten Wärme / Kälte mit ausgewogener Gewichtung | 82 |
| Abbildung 2.2-17: Regelschema Gebäudeleittechnik | 95 |
| Abbildung 2.2-18: Sonderleuchte Pendelleuchte Aula Diese Leuchte wurde entwickelt um die Kriterien LED-Leuchtmittel, 2 Lichtfarben, Ausblendung über Reflektoren, hoher Lichtstrom und schlichtes Design zu verbinden. | 108 |
| Abbildung 2.2-19: Mikrosonnenschutzraster als horizontales Tageslichtsystem Dieses richtungsselektive Inlet wurde in allen horizontalen Oberlichtern in den 3-Scheiben Isolierglasverbund eingesetzt um einen niedrigen G-Wert bei gleichzeitig hohem Transmissionsgrad zu gewährleisten..... | 109 |
| Abbildung 2.2-20: 3D-Simulation des Tageslichteintrages in den Marktplatz In den Tageslichtsimulationen konnten die verschiedenen Gebäudevarianten lichttechnisch geprüft werden..... | 110 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 2.2-21: 3D-Simulation des Tageslichteintrages in das Gebäude In den Tageslichtsimulationen konnten die verschiedenen Gebäudevarianten der Geschosshöhen lichttechnisch geprüft werden. | 110 |
| Abbildung 2.2-22: Tageslichtsimulationen Klassenhaus Die Simulation der Tageslichtquotienten ermöglichte die Bewertung der Varianten der Tageslichtöffnungen, ihrer Größe und der eingesetzten Tageslichtsysteme | 112 |
| Abbildung 2.2-23: Untersuchung Transmissionsgrad Sparrenlage (8/30 cm Achsabstand 30 cm) Die Untersuchung der Transmissionsgrade der Sparrenlage unter den Oberlichtern stellte die Nachteile der Tageslichtabschwächung dar. Tau=35% | 114 |
| Abbildung 2.2-24: Untersuchung verbesserter Transmissionsgrad Sparrenlage (6/44 cm Achsabstand 45 cm) Die veränderte Dimensionierung der Sparrenlage verbessert den Transmissionsgrad und sorgt für bessere Tageslichtautonomen. Tau=47,3% | 115 |
| Abbildung 2.2-25: Tageslichtsimulation Zielkonflikt Oberlichter Sporthalle Variante1 Hier wurden 2 Oberlichtbänder simuliert. | 116 |
| Abbildung 2.2-26: Tageslichtsimulation Zielkonflikt Oberlichter Sporthalle Variante2 Hier wurden 1 Oberlichtband und ein Fensterband simuliert. Die Gegenüberstellung wurde als Entscheidungsgrundlage verwendet | 116 |
| Abbildung 2.2-27: Tageslichtsimulation Oberlichter Korridore | 117 |
| Abbildung 2.2-28: Tageslichtuntersuchung Aula, Oberlichter TQ-Wert-Gebirgedarstellung | 118 |
| Abbildung 2.2-29: Tageslichtuntersuchung Aula, Oberlichter TQ-Wert-Falschfarbendarstellung..... | 118 |
| Abbildung 2.2-30 Tageslichtuntersuchung Okalux SIII | 119 |
| Abbildung 2.2-31: Tageslichtuntersuchung Mikroraster Die Gegenüberstellung wurde als Entscheidungsgrundlage verwendet. Okalux SIII ist gemäß dieser Untersuchung nicht einsetzbar. | 120 |
| Abbildung 2.2-32: Nachgeführte Tageslichtsimulation nach Ergebnis Produktvergleich Die aktualisierten Tageslichtsimulationen der Ausführungsplanung zeigen in etwa das heutige gebaute Ergebnis. | 121 |
| Abbildung 2.2-33 Sonnenstandsdiagramme Relevanz Blendschutz Die Beurteilung der Relevanz eines Blendschutzes konnte anhand von Sonnenstanddiagrammen mit eingetragenen Nutzungszeiten dargestellt und als Entscheidungsgrundlage aufbereitet werden. | 125 |
| Abbildung 2.2-34: Kunstlichtsimulation LED für Klassenräume und Marktplatz Diese Simulationen zeigten, dass die LED-Spiegelrasterleuchten, welche anstelle der geplanten T5- Leuchtstofflampenleuchten eingesetzt werden, nur in den Klassenräumen verwendet werden können | 126 |
| Abbildung 2.2-35: Kunstlichtsimulation des Außenbereich | 127 |
| Abbildung 2.3-1: Übersicht der Grundflächen a in m ² | 131 |
| Abbildung 2.3-2: Baukostenübersicht KGR 300-400 Variante A-C netto..... | 133 |
| Abbildung 2.3-3: Herstellungskosten netto bezogen auf den m ² | 134 |
| Abbildung 2.3-4: Endenergiebedarf in kWh/a bezogen auf den m ² Energiebezugsfläche | 135 |
| Abbildung 2.3-5: Folgekosten statisch in €/a | 136 |
| Abbildung 2.3-6: Folgekosten statisch in €/a bezogen auf den m ² BGF..... | 137 |
| Abbildung 2.3-7: Folgekosten dynamisiert, und abgezinst in €/a..... | 138 |
| Abbildung 2.3-8: Barwert Lebenszykluskosten in €/a m ² BGF..... | 139 |
| Abbildung 2.3-9 Vergleich mit BKI 2014..... | 140 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 2.3-10 Vergleich mit BKI 2015..... | 140 |
| Abbildung 2.3-11 Vorteile Holzbau..... | 145 |
| Abbildung 2.3-12: Gewicht des eingesetzten Materials in kg/m ² BGF..... | 147 |
| Abbildung 2.3-13: Gewicht des eingesetzten Materials in kg absolut | 148 |
| Abbildung 2.3-14: PE nicht erneuerbar in kWh absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung..... | 149 |
| Abbildung 2.3-15: PE erneuerbar in kWh absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung..... | 150 |
| Abbildung 2.3-16: Klimagaspotenzial in kg CO ₂ absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung..... | 151 |
| Abbildung 2.3-17: Klimagaspotenzial in kg CO ₂ absolut über 50 a, aufgeteilt in den Gebäudeanteil und den Bedarf für die Versorgung..... | 152 |
| Abbildung 2.3-18: inkorporierter Kohlenstoffanteil in den Gebäuden in kg C für die Herstellungsphase | 152 |
| Abbildung 2.3-19: Verschiedene Formaldehydgrenzwerte..... | 155 |
| Abbildung 2.3-20: Unterlagenabfrage für ein Bauprodukt..... | 156 |
| Abbildung 2.3-21: Ergebnis der TVOC-Messung in Diedorf..... | 158 |
| Abbildung 2.3-22: Ergebnis der Formaldehyd-Messung in Diedorf..... | 158 |
| Abbildung 2.3-23: CFD-Simulation der CO ₂ -Konzentration in einem Klassenraum mit Quelllüftung | 162 |
| Abbildung 2.3-24: Positionierung der Sensorik an den Wärmeerzeugern | 165 |
| Abbildung 2.3-25: Positionierung der Sensorik am Kälteerzeuger | 166 |
| Abbildung 2.3-26: Positionierung der Sensorik in der zentralen Lüftungsanlage | 167 |
| Abbildung 2.3-27: Wetterstationen Clima Sensor US auf dem Auladach..... | 168 |
| Abbildung 2.3-28: Pyranometer GSM 10.7 in Fassadenebene Nord..... | 168 |
| Abbildung 2.3-29: Außenlufttemperatur und -feuchtefühler Thermokon FTA54VS..... | 168 |
| Abbildung 2.3-30: Grenzabweichung verschiedener Klassen bei Platinsensoren nach DIN EN 60751 | 170 |
| Abbildung 2.3-31: Messstrecke für die Volumenstromermittlung der Zuluft für die Referenzräume | 172 |
| Abbildung 2.3-32: Schematische Darstellung des Datenexports für das Monitoring | 174 |
| Abbildung 2.3-33: Einflussmöglichkeiten im Planungs- und Bauprozess. | 176 |
| Abbildung 2.3-34: Funktionsschema Heizen / Kühlen vor und nach der Optimierung | 179 |
| Abbildung 2.3-35: Luftdichtheitsebene der Fassadenbrüstung im Regelschnitt | 180 |
| Abbildung 2.3-36: Schattenstudie zu verschiedenen Tageszeiten am 21. September..... | 185 |
| Abbildung 2.3-37: Installation des Blower-Door-Messgerätes..... | 188 |
| Abbildung 3.1-1: Planungsverlauf, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann..... | 206 |
| Abbildung 3.1-2: Aufwand der Architekten in Stunden und Prozenten dargestellt, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann..... | 206 |
| Abbildung 3.1-3: Aufwand im Vergleich zur Honorarverordnung, Grafik aus leanWOOD, Professur für Entwerfen und Holzbau, Hermann Kaufmann | 206 |
| Abbildung 3.1-4: Blick vom Marktplatz in den Klassenraum, Foto von Stefan Müller-Naumann..... | 209 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abbildung 3.1-5: Klassenraum, Foto von Stefan Müller-Naumann..... | 209 |
| Abbildung 3.1-6: 2-geschossiger Marktplatz im OG 1 unter der Oberlichtverglasung, Foto von Stefan Müller-Naumann | 210 |
| Abbildung 3.1-7: Blick vom Pausenhof Richtung Osten, Foto von Stefan Müller-Naumann..... | 210 |
| Abbildung 3.1-8: Blick in den Pausenhof, Foto von Stefan Müller-Naumann | 211 |
| Abbildung 3.1-9: beispielhafte Darstellungen der Detailpläne der Firma Kaufmann Bausysteme | 214 |
| Abbildung 3.1-10: Einheben Deckenelement Klassenhaus 1..... | 215 |
| Abbildung 3.1-11: Einheben Dachelement Klassenhaus 1, Foto von Stefan Müller Naumann | 215 |
| Abbildung 3.1-12: Verladen und Transport der Wandelemente mit bereits montierten Fenstern Klassenhaus 1, Foto von Norman A. Müller | 216 |
| Abbildung 3.1-13: Sporthalle Vergleich Elementeinteilung: rot geplant / grün ausgeführt..... | 217 |
| Abbildung 3.1-14: Beispiel temporärer Wetterschutz mit Notdächern | 218 |
| Abbildung 3.1-15: Versetzen eines vorgefertigten Holzelementes inkl. Fassadenschalung und Schützen der Binder mittels Folie, Foto von Stefan Müller Naumann | 218 |
| Abbildung 3.2-1: Die PV-Anlage: links in Planung, rechts bereits im Bau..... | 223 |
| Abbildung 3.2-2: Mediensäule (Ansicht und Schnitt)..... | 225 |

6 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 2.1-1: Auszug aus der Auswertung Anschluss Rippe / Querträger | 26 |
| Tabelle 2.2-1 Rechenblatt zur Gesamtenergiebilanz des Gebäudes (Endenergie und Primärenergie)..... | 64 |
| Tabelle 2.2-2: Strömungsgeschwindigkeiten Lüftungskanäle..... | 67 |
| Tabelle 2.2-3: Druckverluste Zu-/ Abluftanlagen | 67 |
| Tabelle 2.2-4: Gesamtdruckverlust Abluftanlagen | 68 |
| Tabelle 2.2-5: Ventilator-Systemwirkungsgrade..... | 68 |
| Tabelle 2.2-6: Hilfsenergien Pumpen | 69 |
| Tabelle 2.2-7: spezifisch installierte Leistung Kunstlicht | 69 |
| Tabelle 2.2-8: Vorgaben U-Werte | 70 |
| Tabelle 2.2-9: Wertetabelle Simulation Klassenraum 1. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C) | 72 |
| Tabelle 2.2-10: Wertetabelle Simulation Klassenraum 1. OG (Untersuchung der Auswirkungen kürzerer Nutzungszeiten) | 73 |
| Tabelle 2.2-11: Wertetabelle Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)..... | 75 |
| Tabelle 2.2-12: Wertetabelle Simulation Klassenraum 2. OG (absteigend geordnet gemäß Ü27°C)..... | 77 |
| Tabelle 2.2-13: Wertetabelle Simulation Marktplatz 2. OG | 80 |
| Tabelle 2.2-14: Übersicht der Lüftungsvarianten unter dem Aspekt spez. Ventilatorleistung..... | 92 |
| Tabelle 2.2-15: Ergebnisse des Variantenvergleichs | 92 |
| Tabelle 2.2-16: Luftmengenbilanzen Gesamtanlage optimiert | 93 |
| Tabelle 2.3-1: Energetischer Vorteil Passivhausstandard..... | 142 |
| Tabelle 2.3-2: Energetischer Vorteil Plusenergieschule | 142 |
| Tabelle 2.3-3: Annuitätischer Gewinn einzelner Maßnahmen ausgehend von einem mittleren zukünftigen Preisniveau..... | 143 |
| Tabelle 2.3-4: Standardsensorik und Sensorik in den Referenzräumen..... | 163 |
| Tabelle 2.3-5: Lage und Charakteristika der fünf Referenzräume | 164 |
| Tabelle 2.3-6: Genauigkeiten der verschiedenen Klimasensoren (Auszug)..... | 168 |
| Tabelle 2.3-7: Variantenvergleich verschiedener Rückwärmehzahlen der WRG..... | 184 |
| Tabelle 2.3-8: Die Ergebnisse aller Blower-Door-Tests im Vergleich | 187 |
| Tabelle 2.4-1: Die Tabelle zeigt eine Übersicht zu Presseartikeln, die zum Projekt Diedorf in der Planungs- und Bauphase veröffentlicht wurden..... | 201 |
| Tabelle 2.4-2: Die Tabelle zeigt eine Übersicht zu Veranstaltungen, Fachzeitschriften und Filmbeiträgen, die im Projektzeitraum veröffentlicht bzw. besucht wurden. | 202 |
| Tabelle 2.4-3: Die Tabelle zeigt eine Liste der durchgeführten und bereits für Anfang 2016 geplanten Baustellenführungen | 203 |
| Tabelle 3.2-1: Kenngrößen PV-Anlage..... | 224 |
| Tabelle 3.3-1: Baukosten..... | 227 |

7 Literaturverzeichnis

- [AMEV06] 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.
- [Dob14] DOBLER, D.: *Entwicklung einer praxisorientierten Bemessungshilfe für Holz-Beton-Verbunddecken auf Basis realisierter Objekte*. Masterthesis Technische Universität, Wien, 2014
- [Dür07] DÜRKOP J.; HORN, W.; Englert, N.; PLEHN, W.: *Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden*. 2007, unter: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_weitere_leitfaeden/bauprodukte-schadstoffe-gerueche.pdf (abgerufen am 18.07.2016)
- [Kau12] KAUFMANN, H.; NAGLER, F.; ROHLFFS, K.; KÖNIG, H.; MAYR, H.; MERZ, K.; WIMMER, F.; BÖHLER, J.; GRÖZINGER, B.; BUSCH-MAASS, R.; PETER, M.; ROBRECHT, A.; DOBERER, K.; WENK, R.; MANHARDT, G.; KREIL, A.; KIRCHMANN, H.-P.: *Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes für den Neubau des Gymnasiums Diedorf bei Umsetzung des Plusenergiestandards in Holzbauweise und Entwicklung neuer Lösungen für offene LernLandschaften mit umfassendem Monitoring und Dokumentation*. Abschlussbericht DBU zur 1. Förderphase, Augsburg/Abensberg, 2012.
- [Kli06] KLIMA M.; REIß, J.; ERHORN, H.; FLUCH, M.: *Gebäude sanieren – Schulen*. In: Bine Informationsdienst I/06, 2006, unter: http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2006/themen0106internetx.pdf (abgerufen am 23.05.2016).
- [SAa08] STADT AACHEN, Gebäudemanagement: *Energiemanagement, Energiekennzahlen Schulen 2007*. 2008, unter: http://www.aachen.de/de/stadt_buerger/umwelt/pdf/EnergiekennzahlenSchulen.pdf (abgerufen am 23.05.2016).
- [VDI03] VDI: Richtlinie 2067 über die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Köln, 2003.
- [Vog13] VOGELMANN, M.: *Optimierung von ausgewählten Aspekten der Holz-Beton-Verbundbauweise am Beispiel des Gymnasiums Diedorf*. Masterthesis HTWG, Konstanz, 2013.