

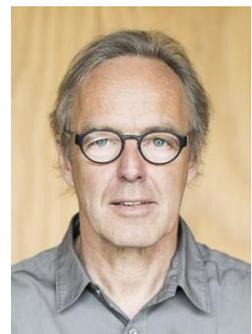
Plusenergie-Pilotprojekt: Schmuttertäl-Gymnasium in Diedorf

Plus-energy pilot project:

High school Schmuttertäl in Diedorf

Projet pilote de bâtiment à énergie positive :
le lycée Schmuttertäl à Diedorf

Prof. Hermann Kaufmann
Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
Schwarzach, Österreich



Plusenergie-Pilotprojekt: Schmuttertal-Gymnasium in Diedorf



Abbildung 1: BG Diedorf (© Foto: Stefan Müller-Naumann)

1. Angewandte Forschung – Gymnasium Diedorf

Das einzig Konstante ist der Wandel. Diese Binsenwahrheit hat weitreichende Auswirkungen auf die Architektur von Schulhäusern: Die Planer müssen die Zukunft der Pädagogik voraussehen und trotzdem klare Strukturen und präzise zugeschnittene Räume für die Gegenwart entwerfen. Als öffentliches Gebäude soll ein Schulhaus darüber hinaus Anforderungen an energetische und soziale Nachhaltigkeit erfüllen. All diese Vorgaben erfüllt das Gymnasium in der Marktgemeinde Diedorf im Landkreis Augsburg als Holzbau mit einer starken und schlüssigen Struktur.

Die Zusammenhänge durchleuchten

Flexibilität und Vielfalt in der Nutzung entscheiden wesentlich über die Nutzungs- und Lebensdauer eines Gebäudes. Wenn sich eine Schule mit einfachen Mitteln an veränderte Rahmenbedingungen anpassen lässt, bleibt sie länger stehen und spart dadurch die Energie, die für einen Ersatzbau nötig wäre. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) hat das Schmuttertal-Gymnasium in Diedorf als Forschungsvorhaben ausgewählt, um folgende Projektziele zu untersuchen:

- Die Planung ist integral und zukunftsweisend
- Die Konstruktion erfolgt als Plusenergiestandard in Holzbauweise
- Lernlandschaften bilden das pädagogische Grundgerüst des Hauses
- Alle Ziele werden gemessen und untersucht



Abbildung 2: BG Diedorf (© Foto: Carolin Hirschfeld)

Vier Baukörper, ein Prinzip

Das Gymnasium besteht aus vier Gebäuden: Zwei Klassenhäuser, eine Turnhalle und ein Trakt für zentrale Nutzungen. Dadurch fügt sich das beachtliche Volumen von rund 80'000 m³ verträglich in die sensible Landschaft am Rand des Naturparks Augsburg ein. Die Kombination von großen Volumen mit leicht geneigten Dächern zitiert die landwirtschaftlichen Bauten in der Region – die dreigeschosseigen Bauten wahren die Proportionen der Scheunen, auf die sie sich beziehen, auch wenn sie um einiges größer sind.

Die gesamte Schulanlage durchzieht ein Raster von 2.70 m von Osten nach Westen. Dieser Rapport verbindet die vier Häuser als kleinste, durchgehende Einheit. In der Gegenrichtung variiert die Breite des Rasters je nach Nutzung. So sind zum Beispiel die Klassenzimmer aus neun Feldern bei einer Feldgröße von jeweils 2,70 m x 2.70 m aufgebaut (3 auf 3). Größere Räume wie Lernlandschaften und Aula hingegen erstrecken sich über mehrere Felder, die je nach Spannweite über entsprechend höhere Träger verfügen.



Abbildung 3: BG Diedorf (© Foto: Stefan Müller-Naumann)

Die beiden Klassenhäuser (im Norden und Westen) sind in Schichten organisiert: Die Klassenräume bilden die äußerste Schicht im Süden und Norden, in der Mitte liegen im Erdgeschoss Nebenräume, während sich in den oberen Stockwerken die Lernlandschaften mit Lufträumen abwechseln. In dieser anregenden Schnittfigur dringt das Tageslicht über Oberlichter und schedartige Dachfenster tief ins Gebäude ein. Ein Mikrosonnenschutzraster, der auf den horizontalen Fensterflächen liegt, reflektiert direktes Sonnenlicht, während er das diffuse, weiße Tageslicht durchlässt. Besonders die Marktplätze profitieren dadurch von blendfreiem Tageslicht.

Die schichtweise Anordnung im Grundriss findet eine Entsprechung im Abschluss der Klassenräume gegen innen. Eine raumhaltige Wand mit verschiedenen Funktionen trennt sie vom Zentrum ab. Zum Teil sind darin Möbel wie Regale, Schränke oder Trinkbrunnen untergebracht. In diesen Trennwänden liegen aber auch die zentralen Steigschächte der Haustechnik. Dank großer Verglasungen sind die Klassenzimmer mit den Lernlandschaften verbunden.

Das zweigeschossige Haus im Süden beherbergt die gemeinsam genutzten Räume wie Bibliothek, Musikräume, Mensa, Pausenhalle und Verwaltung. Die Aula wird auf drei Seiten von einem Kranz aus Zimmern gefasst. Im Osten steht die Dreifachturnhalle mit südlich gelegenen Nebenräumen. Wegen der größeren Spannweiten sind die Träger stärker ausgebildet.

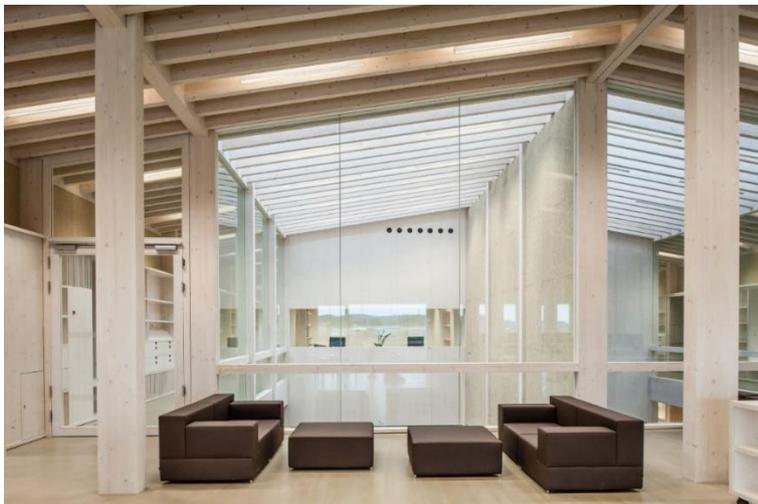


Abbildung 4: BG Diedorf (© Foto: Carolin Hirschfeld)

Modularität – zukunftsweisende Planung

Der Holzbau nutzt eine durchgehende digitale Datenkette von der Planung über die Fertigung bis zur Montage auf der Baustelle. Diese Entwurfs- und Herstellungsmethode bietet eine effiziente und rationale Fertigung mit sehr kurzer Bauzeit. Dank modularer Bauweise entstand ein Gebäude, das bereits im Rohbau die Qualitäten des fertigen Schulhauses aufweist. Darin liegt der Grund für die Flexibilität – die Holzkonstruktion bietet einen Rahmen für unterschiedliche Räume und verschiedene pädagogische Konzepte.

Die Effizienz dieses Ansatzes baut auf der präzisen Planung der Schnittstellen auf. Wie die Zahnräder eines Uhrwerks greifen Planung, Fertigung und Montage ineinander: Auf der Baustelle fügen sich die Teile zu einem schlüssigen Ganzen. Struktur und Raum bilden eine Einheit, denn das sichtbare Tragwerk bildet die Grundlage für die räumliche Vielfalt des Hauses.



Abbildung 5 und 6: BG Diedorf (© Foto: Carolin Hirschfeld)

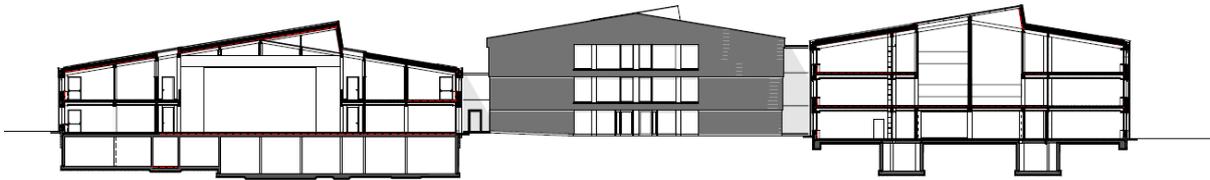


Abbildung 7: Längsschnitt



Abbildung 8: Erdgeschoss

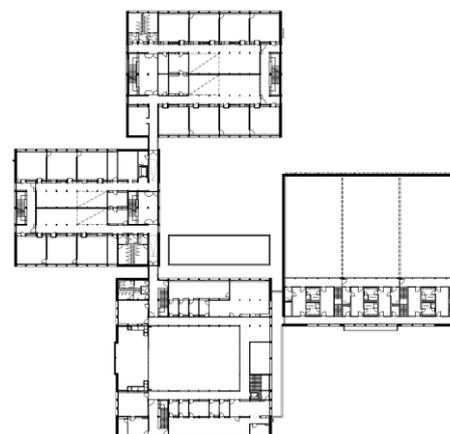


Abbildung 9: 1.Obergeschoss

Pädagogik – Landschaften des Lernens

Das großzügig dimensionierte Tragwerk aus Holz bildet eine optimale Struktur für neue Formen der Wissensvermittlung. Außerhalb der Klassen können die Schülerinnen und Schüler die Räume nutzen, um sich die Methoden des Lernens anzueignen. Diese Lernlandschaften bieten die räumliche Basis für zukünftige pädagogische Entwicklungen und sie helfen den Jugendlichen, ihr Wissen lebenslang zu aktivieren.

Die oben erwähnten Ziele des Projekts erscheinen auf den ersten Blick sehr technisch – doch der Modellcharakter des Gymnasiums geht weit darüber hinaus: Die Nachhaltigkeit spiegelt sich nicht nur in einer ausgeklügelten Technik wieder. Es rücken vielmehr die ureigenen Mittel der Architektur in den Mittelpunkt, um Antworten auf die drängenden Probleme nach Energie und Mäßigung zu finden. Statt diese Fragen an die Haustechnik zu delegieren, gelingt es den Entwerfern im Gymnasium Diedorf, durch eine leistungsfähige Struktur und intelligent gesetzte Räume ein Haus für Generationen zu bauen.



Abbildung 10: Montage der Dachelemente



Abbildung 11: HB Verbunddecke mit Schubkernen kurz vor Einbringung des Ortbetons

Energie

Die Energieplanung zielt beim Bauen auf einen guten Nutzungskomfort und einen niedrigen Verbrauch an nicht-regenerativen Ressourcen ab. Sie entwickelt bei Zielkonflikten tragfähige Kompromisse, so z. B. beim üblichen Wunsch nach einem guten Tageslichtangebot bei gleichzeitig niedrigen sommerlichen Wärmelasten. Hinzu kommt beim vorliegenden Projekt eine umfangreiche Eigenerzeugung aus regenerativen Energien zur Erreichung des Plusenergieziels.

Klaus Rohlfss, Ip5 Ingenieurpartnerschaft

Analysiert man Schulgebäude in Deutschland hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihres Nutzungskomforts, so muss man für beide Themenbereiche 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. Im Fall des neuen Gymnasiums Diedorf waren gesicherte Kenntnisse hinsichtlich Energieverbrauch und Raumklima mit neuen Ansprüchen aus ungewöhnlicher Nutzung – offener Lernlandschaft – und unüblicher Konstruktion – Schulbau in Holzbauweise – in Einklang zu bringen.

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.

Die Energieplanung wurde unter Verwendung der folgenden Planungswerkzeuge umgesetzt:

1. Thermisch-dynamische Simulationsrechnung
2. Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP)
3. Erzielbare Primärenergiebilanz
(Haustechnik und nutzerinduzierte Bedarfe)
4. Detailliertes Energetisches Pflichtenheft.

Dabei war vor dem Hintergrund der voranschreitenden Planung zu prüfen, inwiefern die komfort- und energiebezogenen Planungsziele erreichbar sind. Die entsprechenden Untersuchungen bzw. Dokumente wurden daher jeweils an neue Planungsstände angepasst. Ggf. nahm die Energieplanung dies zum Anlass, auf Modifikationen des baulichtechnischen Energiekonzepts hinzuwirken. Wie vorher mündeten die sich ergebenden komfort- und energierelevanten Diskussionsthemen im Planungsteam daraufhin in neue Berechnungen.

Für Bauwerk wie Betrieb 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. Die Systemfindung basierte in der Regel auf der Abstimmung zwischen dem Energieplaner und den übrigen energie- und komfortrelevanten Gewerken. Beispielsweise führte der Wunsch des Energieplaners nach geringen Druckverlusten im Bereich der Lüftungsanlagen zu relativ großen Zentralgeräten und Rohrnetzen mit großen Querschnitten. Zusammen mit dem Planer der Lüftungstechnik und dem Architekten wurde eruiert, ob dies mit vernünftigem Aufwand realisierbar sei. Falls nicht, wurden tragbare Kompromisslösungen entwickelt, die mit dem Plusenergieziel vereinbar waren. 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 mit wählbaren Gewichtungsfaktoren für jährliche Kosten, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen ausgewählt.

Unter Zuhilfenahme einer vorläufigen Flächenermittlung des IB Müller-BBM wurde mittels des Passivhaus-Projektierungs-Pakets (PHPP) eine erste Version einer Passivhaus-Wärmebedarfsberechnung generiert. Das PHPP wurde vom Passivhaus-Institut in Darmstadt speziell für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs von Passivhäusern entwickelt, da andere Verfahren (etwa die DIN V 18599, welche der EnEV zugrunde liegt) hierfür nicht geeignet sind. Die Berechnung gemäß PHPP führt im Jahresverfahren und unter Verwendung des Standardklimas Deutschland zu einem spezifischen Heizwärmebedarf von 13,9 kWh/(m²a). Das Passivhaus-Ziel eines spezifischen Heizwärmebedarfs von max. 15,49 kWh/(m² a) wäre damit erfüllt, auch wenn dieses Ziel beim vorliegenden Projekt nicht explizit angestrebt wird.

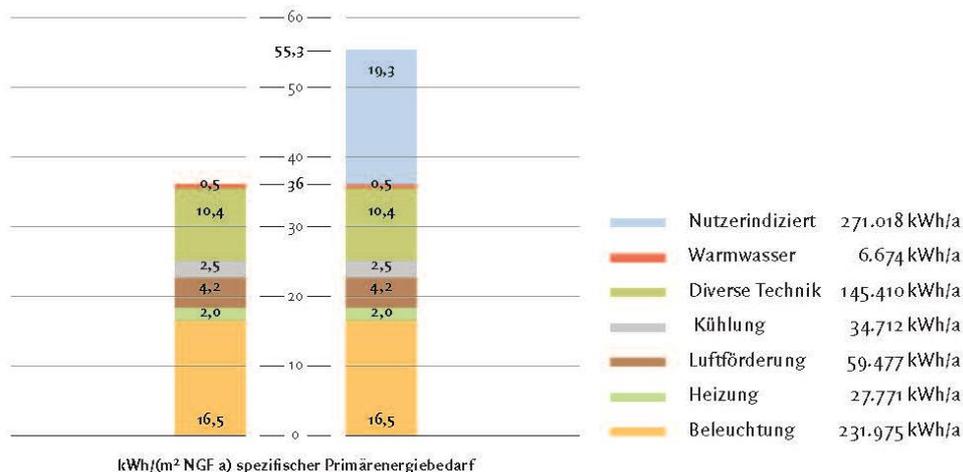


Abbildung 12: Darstellung des erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarfs mit und ohne nutzerinduziertem Bedarf

Erzielbare Primärenergiebilanz

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Projekt-Abschlussberichts stellte sich die rechnerische Prognose des erzielbaren Primärenergiebedarfs des Gebäudes wie nachfolgend dokumentiert dar. Dabei wurde folgende Definition zugrunde gelegt: Der Primärenergiebedarf [...] eines Systems umfasst zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf an einem Energieträger die Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers benötigt wird – das ist Rohstoff, Wärmeverluste, Transport. Außerdem wird heute üblicherweise nur der nichtregenerative Anteil bilanziert.

Basierend auf umfangreichen Berechnungen ergaben sich die in Abbildung 1 dargestellten, spezifischen Primärenergiebedarfe.¹

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.²

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.

¹ Nutzerinduzierte Bedarfe umfassen sämtliche vom Nutzer verursachte Bedarfe wie z. B. jene durch PCs, Kaffeemaschinen, Kühlschränke, Küchengeräte etc.

² siehe z. B.: www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2006/themen0106internetx.pdf und www.aachen.de/de/stadt_buerger/umwelt/pdf/Energiekennzahlen_Schulen.pdf sowie www.enob.info/fileadmin/media/Publikationen/EnSan/bildungsgebaeude.pdf

Energetisches Pflichtenheft

Aus der aufgestellten Primärenergiebilanz kann der Energieplaner ein energetisches Pflichtenheft ableiten, welches in für die übrigen Planer transparente Weise energierelevante Zielwerte zusammenfasst. Das energetische Pflichtenheft wurde im Zuge der Planung vom Energieplaner mit den betroffenen Fakultäten auf Umsetzbarkeit hin geprüft und erforderlichenfalls fortgeschrieben.

Plusenergie-Standard

Die projektspezifische Zielsetzung gab vor, das Schmuttertäl Gymnasium solle ein «Plusenergiegebäude» mit hervorragendem Nutzungskomfort darstellen und somit in den Disziplinen Energie und Komfort zu den besten der Welt gehören. Da keine allgemein akzeptierte Definition oder Norm für das Plusenergiehaus existiert, bleibt unklar, ob auch der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung, Haushaltsstrom etc. zu bilanzieren, also auszugleichen ist. Es wurde daher eine projektbezogene, anspruchsvolle Definition des «Plusenergiegebäudes» entwickelt. Aspekte des sommerlichen thermischen Komforts werden in den Ausführungen zur thermisch-dynamischen Simulationsrechnung thematisiert. 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.

Erreichbarkeit des Plusenergiestandards

Die oben dokumentierten Berechnungen des Primärenergiebedarfs können nun der möglichen Eigenerzeugung gegenübergestellt werden. Auf diese Weise kann ermittelt werden, ob der Plusenergiestandard erreicht werden kann. Die Gegenüberstellung ist der Abbildung 13 zu entnehmen. Es ist ersichtlich, dass der angestrebte Plusenergiestandard realisierbar ist.

Für die CO₂-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild; die CO₂-Vermeidung durch eine PV-Anlage bei Ausnutzung aller geeigneten Dachflächen übersteigt die aus dem Gebäudebetrieb resultierenden CO₂-Emissionen um ca. 27 t/a. Auch dieses Kriterium für den Plusenergiestandard kann also erfüllt werden. (siehe Abbildung 14)

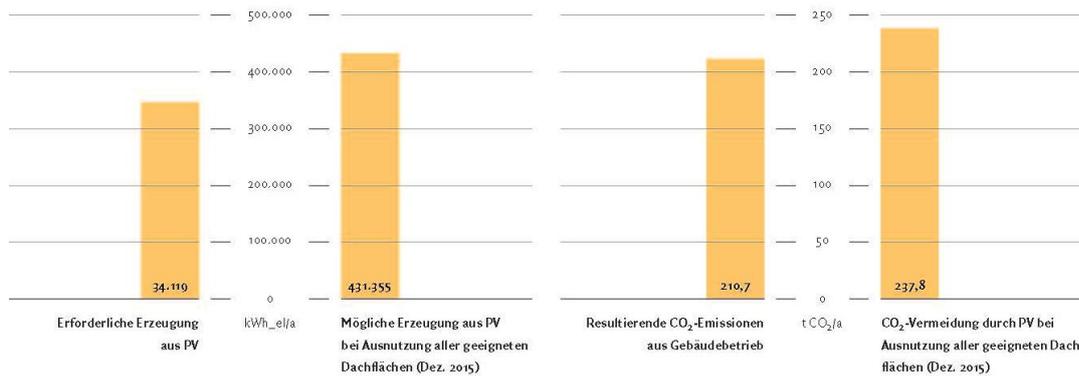


Abbildung 13: zur Erreichung des Plusenergiestandards erforderliche und mögliche Eigenerzeugung aus PV (nur Gebäudedächer; P50-Werte angenommen; Leistungsverminderung durch Degradation um 7,5% angenommen)

Abbildung 14: 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)

Thermischer Komfort

Für den thermischen Komfort wurden als substanzielle Ziele formuliert: In Klassenzimmern und anderen Hauptnutzbereichen ohne erhebliche interne Lasten soll ein guter sommerlicher thermischer Komfort ohne aktive Kühlung gewährleistet werden (Ausnahmen: aktive Zuluftankühlung; Nachtauskühlung über Außenluft oder Fußbodenkühlung im Free-Cooling-Modus; Brunnenkühlung). Die operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur) soll gemäß Abstimmung im Planungsteam bei normalen klimatischen Bedingungen einen Wert von 27 °C während nicht mehr als 5 % der Nutzungszeit überschreiten.

Maßnahmen zur Sommertauglichkeit

Zur Erzielung einer guten Sommertauglichkeit des Gebäudes wurden im Zuge der Planung mittels thermischdynamischer Simulationsrechnung die Auswirkungen verschiedener baulicher und technischer Ausführungen auf den sommerlichen thermischen Komfort überprüft. Dabei wurde selbstverständlich ein effizienter variabler Sonnenschutz vorgesehen. Zwar wurde vermutet, die Holzbauweise führe – insbesondere in Kombination mit den umfangreichen raumakustischen Maßnahmen – zu einer zu geringen wirksamen thermischen Masse, um das sommerliche Komfortziel (max. 5 % der Nutzungszeit über $T_{op} = 27$ °C) ohne umfangreiche aktive Klimatisierungsmaßnahmen zu erreichen. Dies hat sich jedoch nicht bewahrheitet, wie die Ergebnisse der thermischdynamischen Simulationsrechnung zeigen. Demnach können die Klassenräume mit einer Kombination aus:

- einer durch indirekte adiabate Kühlung (Abkühlung der Abluft durch Verdunstung von Wasser; Vorkühlung der Außenluft durch Kontakt mit der so abgekühlten Abluft mittels Wärmetauscher) unterstützten aktiven Zuluftankühlung, die für ein definiertes 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 $T_{op} = 27$ °C) gehalten werden.

Offensichtlich stellt die 10 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 Raumbooberfläche, die an den Raum thermisch gut angekoppelt ist, oft schon einen zufriedenstellenden sommerlichen thermischen Komfort ermöglicht. Das Gebäude selbst dient damit als Kältesenke – darüber hinausgehende, evtl. aktive thermische Kältespeicher erzielen kaum weitergehende Vorteile und wurden daher nicht vorgesehen.

Fazit aus Sicht der Energieplanung

Beim vorliegenden Projekt konnten die 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 prinzipbedingten, im Schnitt relativ geringen thermisch wirksamen Masse des Gebäudes – vereinfachend: die Speichermasse – 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 größeren Querschnitte von Bauteilen – so die Sparren und Balken des Dachtragwerks – mussten zudem teilweise Abstriche bei der Tageslichtnutzung in Kauf genommen werden, was sich in verringerten Tageslichtautonomien und damit erhöhten Energiebedarfen für Kunstlicht niederschlägt. Die genannten Einschränkungen schmälern das hervorragende Gesamtergebnis jedoch nicht wesentlich.

Haustechnik

Ein gutes Klima ist wesentlich für gutes Lernen. Klingt banal, doch der Teufel steckt im Detail: Welche Energiequelle passt, wie wird die Wärme im Haus verteilt, wie wird Heizung, Kühlung und Lüftung gesteuert, was geschieht automatisch, wo soll der Nutzer eingreifen? Nur auf neueste Technik zu setzen würde das Potenzial intelligenter Planung unterschätzen.

Jörg Böhler, Wimmer-Ingenieure GmbH

Gutes Klima schaffen. Temperierung und Lüftung des Schmuttertäl Gymnasiums

Das Ziel «Plusenergieschule» war neben «Pädagogischer Architektur» und dem Holzbau die große Herausforderung für das Planungsteam Diedorf. Besonders betroffen ist davon die technische Gebäudeausrüstung, denn hier gilt es in besonderer Weise den Energieverbrauch, der für die Beheizung und Entlüftung benötigt wird, zu minimieren. Dabei ist nicht zuletzt der Einsatz von Energieträgern mit einem besonders niedrigen Primärenergiefaktor, wie zum Beispiel Holz, für eine optimale Energiebilanz relevant.

Um das zu erreichen, wurde eine Entscheidungsmatrix zur Wärme- und Kälteerzeugung erstellt. Damit wurde der Bauherr an der Entscheidung beteiligt, welche Art der Beheizung bzw. Kühlung sowohl vom Energieeinsatz, als auch von Seiten der Betriebs- und Wartungskosten für ihn am günstigsten ist.

Des Weiteren war die Gesundheit von Lehrern und Schülern sowie die Innenraumhygiene ein zentrales Thema. Eine komplette mechanische Installation der Be- und Entlüftung aller Räumlichkeiten wurde daraufhin untersucht. Es wurde insbesondere geprüft, ob es sinnvoller ist, von einer Lüftungszentrale aus alle Räumlichkeiten mit Luft zu versorgen, oder ob ein dezentrales Lüftungssystem die bessere Wahl wäre.

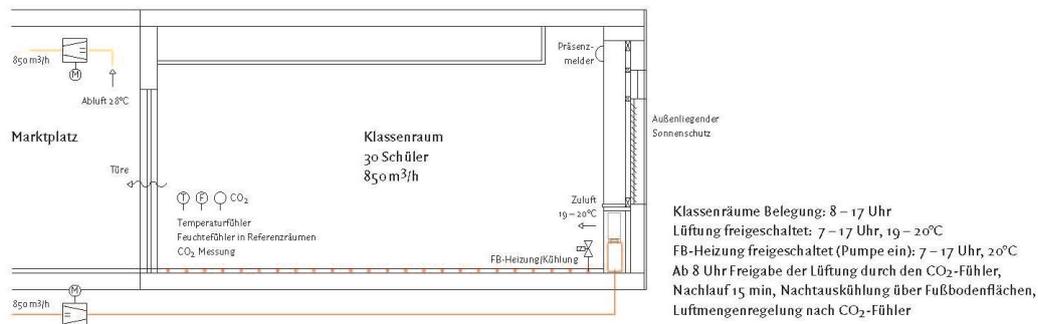
All diese Überlegungen standen immer unter der Prämisse der Errichtung einer Plusenergieschule, ohne jedoch den Blick auf die Investitions- und Betriebskosten zu verlieren.

Wärmeversorgung

Das Ergebnis der Entscheidungsmatrix zur Wärmeversorgung war eindeutig. Die Wärmeversorgung des Gymnasiums Diedorf, unter Berücksichtigung aller Parameter wie Investitionen, Betriebskosten und Wartung, erfolgt über zwei 100 kW- Pelletskessel mit zwei nachgeschalteten Pufferspeichern mit je 7.500 ltr. Wasser. Die auf dem Dach der Schule installierte Photovoltaikanlage versorgt die Ventilatoren der Lüftungsanlage und die Pumpen der Heizungsanlage mit Strom; sie trägt jedoch nicht durch Umwandlung von Strom in Wärme zur Beheizung der Gebäude bei. Sämtlicher Strom wird entweder zur Eigenstromversorgung verwendet oder bei Überschuss ins öffentliche Netz geleitet. In diesem Zusammenhang wurde auch der Einsatz einer Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung untersucht. Vor allem auf Grund des besseren Primärenergiefaktors der Pellets fiel die Entscheidung zu Gunsten der Beheizung der Schule mit Pellets.

Rechnerisch wäre eine Kesselleistung von ca. 475 kW für die Lüftung, 142 kW für die Beheizung und 580 kW für die Warmwasserbereitung notwendig gewesen. Das sind insgesamt 1.197 kW (ohne Gleichzeitigkeit) gegenüber 200 kW installierter Leistung. Der innovative Ansatz, die Anlage mit einem Sechstel der errechneten Leistung zu betreiben, besteht in der Unterdimensionierung der Kesselanlage in Zusammenhang mit großzügiger Speicherung. Die in den beiden Pufferspeichern verfügbare Wärme kann kurzfristige Lastspitzen abdecken. Andererseits sind die beiden Kessel stundenlang zur Aufheizung der beiden Pufferspeicher in Betrieb. Das verhindert ein zu häufiges Ein- und Ausschalten der Kessel. Es liegt auf der Hand, dass mäßige Taktung und lange Laufzeit viele mechanische Bauteile schont. Außerdem minimiert dies Schadstoffemissionen beim Anfahren eines Pelletskessels. Schließlich sind die beiden Kessel derart in Folge, also nacheinander geschaltet, dass die Kesselaufzeit optimiert, also verlängert wird.

Auf diese Weise können die Pelletskessel Temperaturen bis 80°C erzeugen und diese Temperatur auch an die Pufferspeicher abgeben. Die Heizkreise der Lüftungsgeräte benötigen maximal 50°C, die Heizkreise der Fußbodenheizung maximal 40°C und die Frischwasserstationen maximal 60°C Vorlauftemperatur. Das bedeutet, dass die Pufferspeicher um mindestens 20 K abgekühlt werden können, bevor wieder eine Beladung notwendig wird.



Wärmeverteilung

Den beiden Pufferspeichern nachgeschaltet sind Heizungsverteiler, welche die Wärmeenergie für die Fußbodenheizung, die Lüftungsgeräte und die Warmwasserbereitung der wenigen Frischwasserstationen verteilen. Die Regelung erfolgt über eine Mischregelung. Der Heizkreisverteiler Fußbodenheizung wird im Sommer von der Heizungsanlage getrennt. Dann werden die Leitungen als Kälteverteiler zur Nachtauskühlung der Fußböden in den Klassenräumen genutzt.

Die Raumtemperierung erfolgt in der gesamten Schule über Fußbodenheizungen. In den Klassenräumen ist, wie in allen Räumen der Schule, eine Einzelraumregelung vorgesehen, mit welcher sich die einzelnen Heizkreise absperren lassen. So ist sichergestellt, dass die Heizung nur dann in Betrieb ist, wenn die jeweiligen Räume genutzt werden.

In einer Plusenergieschule besteht immer das Problem, dass die inneren Lasten in den Klassenräumen im Sommer die Verluste (es geht so gut wie keine Wärme verloren) übersteigen. Das Leitungssystem im Fußboden wird im Winter zur Heizung, im Sommer zur Kühlung genutzt (ca. 20 W/m). Dann wird es nur in der Nacht mit Kaltwasser beschickt. Der Grund dafür liegt darin, dass die kühle Außentemperatur nachts herangezogen wird, um die Kältemaschine, welche neben einer strombetriebenen Kältemaschine auch mit freier Kühlung arbeitet, die kühle Nachtluft zur Bereitstellung von kaltem Wasser nutzt. Der Einsatz der strombetriebenen Kältemaschine wird dann nur ganz selten erforderlich. Tagsüber nimmt dann der gekühlte Fußboden (beschichteter Estrich ohne Fußbodenbelag) die Wärme des Raumes wieder auf.

Warmwasserversorgung

Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels sogenannter Frischwasserstationen. Bei einer Frischwasserstation wird das warme Brauchwasser im Durchlaufprinzip mittels Heizungswasser erzeugt. Warmwasser über die Frischwasserstationen wird grundsätzlich nur für die Duschbereiche der Sporthalle sowie für die Küche erzeugt. In allen sonstigen Bereichen der Schule wird auf Warmwasser weitgehend verzichtet. Wo es doch notwendig ist, wie

z. B. in Teeküchen oder Putzmittelräumen, wird dieses elektrisch mittels Kleinstdurchlauf-erhitzer erzeugt. So ist sichergestellt, dass praktisch keine Wärmeverluste entstehen, denn das warme Wasser muss nicht im gesamten Gebäude umgewälzt werden. Als weiterer Nebeneffekt ist von Vorteil, dass praktisch keine Legionellen entstehen können.

Fazit Wärmeversorgung

Nach einem halben Jahr Betrieb lässt sich festhalten: Die Heizungsanlage war den ganzen Winter über ohne Probleme in Betrieb. Lediglich Anfang Januar ist ein Pelletskessel eine Woche lang auf Grund einer fehlenden Pelletsversorgung außer Betrieb gegangen. Dank der Pufferspeicher haben die Schüler nichts davon mitbekommen, die Temperatur in den Pufferspeichern ist bis auf ca. 25°C abgesunken. Lediglich die Warmwasserversorgung der Küche und der Duschen war beeinträchtigt.

Lüftungskonzept

Um sowohl die Luftqualität und die Behaglichkeit in den Klassenräumen zu verbessern, als auch die gewünschte Nutzungsflexibilität der Marktplätze entsprechend dem Konzept «neue Lernlandschaften» sicher zu stellen, musste dem Lüftungskonzept für das Pilotprojekt besondere Beachtung geschenkt werden.

Beim Neubau des Gymnasiums wurde in alle Räumen eine energieeffiziente mechanische Zu-/Abluftanlage installiert. Gemäß DIN/EN 13779 wurde dabei die Luftmenge pro Schüler von 28 m³/h zu Grunde gelegt. Mit diesem Wert lässt sich im Klassenraum ein CO₂ Gehalt von unter 1.000 ppm halten, für Schulen empfohlen sind CO₂ Werte unter 1.200 ppm. Der CO₂ Wert 1.000 ppm gibt an, wie viele Teile pro Millionen (parts per million) sich pro Luftvolumen befinden. Aus unserer Erfahrung an anderen Schulen haben sich geringere Luftmengen nicht bewährt.

Die Zuluftversorgung erfolgt unterhalb der Fenster der Klassenzimmer über sogenannte Quellauslässe. Prinzipiell ist gemäß «offener Lernlandschaften» der Übergang zu den zentral gelegenen Marktplätzen offen. Aus den Klassenräumen strömt die frische Luft zu den Marktplätzen über, so dass die Schüler, die sich dort aufhalten auch mit Luft versorgt werden. Steigt der CO₂ Wert in den Marktplätzen über 1.000 ppm, wird über einen eigenen Luftauslass zusätzliche Luft eingebracht. Grundsätzlich aber ist es so, dass zur Minimierung der Luftmenge, die Luft nur in den Räumlichkeiten eingeblasen wird, in welchen der CO₂ Gehalt über 1200 ppm liegt. Morgens werden alle Räumlichkeiten für eine halbe Stunde mit frischer Luft gespült.

Eine natürliche Be- und Entlüftung über Fenster ist eingeschränkt möglich, je ein Fenster pro Klassenraum lässt sich nur mit einem Spezialschlüssel des Lehrers öffnen. Zusätzlich sorgen Fensterkontakte dafür, dass das geöffnete Fenster der Gebäudeleittechnik angezeigt wird und die Fußbodenheizung und die Be- und Entlüftung des Klassenraumes abgeschaltet werden. Mit einem Blick kann so der Hausmeister auf der Gebäudeleittechnik erkennen, ob alle Fenster geschlossen sind. Nach über einem halben Jahr Schulbetrieb gab es bisher keine nennenswerten Beschwerden der Schüler oder Lehrer über die geschlossenen Fenster was für eine gute Raumluftqualität spricht.

Funktionsweise Lüftung

Die mechanische Be- und Entlüftung erfolgt über zwei zentrale Luftaufbereitungsanlagen für Zu- und Abluft mit einem Auslegungs-Volumenstrom von je 22.500 m³/h. Die Aggregate der Ventilatoren, Filter, Schalldämpfer und der Wärmerückgewinnung sind zentral aufgestellt. Die Lüftungsgeräte sind ca. 2,60 m hoch, 2,30 m breit und ca. 14 m lang. Von den Lüftungsgeräten gibt es jeweils zwei Zuluft- und zwei Abluftgeräte. Die Lüftungsgeräte sind ungewöhnlich groß dimensioniert, um die Luftgeschwindigkeit in den Lüftungsgeräten zu minimieren.

Damit verringert sich die benötigte elektrische Antriebsenergie. Die dafür benötigte Lüftungszentrale wurde damit 34 m lang, 25 m breit und 4 m hoch. Den Lüftungsgeräten nachgeschaltet sind die Nachbehandlungseinheiten mit Erhitzer und Kühler zur Konditionierung der Zuluft in den einzelnen Klassenhäusern bzw. der Aula und Sporthalle.

Über Lüftungskanäle wird die Zu- und Abluft im speziell dafür vorgesehenen Untergeschoß der Schule zu den beiden Klassenhäusern sowie der Sporthalle transportiert. Die Aula und die Verwaltung befinden sich direkt über der Lüftungszentrale. Bei der Dimensionierung

der Lüftungskanäle wurde wieder zur Minimierung der Kanalreibungsverluste auf eine niedrige Luftgeschwindigkeit geachtet. Die Lüftungskanäle haben Abmessungen bis zu 2,00 m x 2,00 m.

Die Luftgeschwindigkeiten in den Lüftungsgeräten bewegen sich bei 1,2 m/s, in den Verteilkanälen unter 3,0 m/s. Von den Kanälen im Untergeschoß wird die Luft über Volumenstromregler und Brandschutzklappen zu den einzelnen Klassenräumen geführt. Auf Grund der Einstufung in die Gebäudeklasse 3 müssen die Lüftungskanäle oberhalb der Kellerdecke in F 30 Qualität verkleidet werden, zusätzliche Brandschutzklappen gibt es oberhalb der Kellerdecke dann aber nicht mehr, weil die Verteilung im UG erfolgt. Sämtliche Wartungsarbeiten können somit im Untergeschoss der Schule, ohne den Unterricht der Schule zu stören, durchgeführt werden.

Die Zuluft wird über Quellauslässe im Fensterbereich in die Klassenräume eingebracht. Die Luftmenge wird über variable Volumenstromregler und CO₂-Fühler auf max. 1.200 ppm geregelt. Die offenen Räume der neuen Lernlandschaften wurden dafür genutzt, die in den Klassenräumen eingebrachte Zuluft in Richtung der Marktplätze überströmen zu lassen. In den Marktplätzen befindet sich die Abluft und wird zentral abgesaugt. Dadurch kann zum einen die Luftmenge reduziert, zum anderen jedoch auch sichergestellt werden, dass dort, wo Personen sich aufhalten, immer genügend frische Luft zur Verfügung steht.

Technische Daten der Lüftungsanlagen

Für die Wärmerückgewinnung kommt ein Kreislaufverbundsystem mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 73 % zum Einsatz. Das bedeutet, dass maximal 73 % der Wärme der Fortluft auf die Außenluft übertragen werden kann. Zwar sind höhere Wärmerückgewinnungsgrade möglich, dieser Wert wurde jedoch bewusst gewählt, da ein höherer Wirkungsgrad mit einem höheren Energiebedarf für den Pumpenstrom und die Überwindung des höheren Druckverlusts im Lüftungsrohrnetz verbunden wäre. Insbesondere waren dabei auch primärenergetische Überlegungen maßgeblich: Auf Grund des guten Primärenergiefaktors bei der Wärmeerzeugung (Pellets) hätte eine Erhöhung des Wärmerückgewinnungsgrades netto zu einem erhöhten Primärenergiebedarf geführt, da die zusätzlich aufzuwendende elektrische Energie (s. o.) die geringe Primärenergieeinsparung im Bereich Wärme überkompensiert hätte. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten war weder der Einsatz eines Rotors noch der Einsatz eines Gegenstromwärmetauschers möglich.

Die theoretisch notwendige Außenluftmenge (Gleichzeitigkeit 1,0, das wäre die volle Belegung aller Bereiche) beträgt 93.400 m³/h. In grundsätzlichen Überlegungen des Planungsteams wurde gründlich hinterfragt, wo wird tatsächlich Luft benötigt, wo halten sich die Schüler und Lehrer auf. Anhand dieser Überlegungen konnte die Luftmenge auf 45.000 m³/h verringert werden ohne Abstriche bei der Luftqualität. Das bedeutet, dass die Luftmenge immer nur dorthin gefördert wird, wo sich auch Personen aufhalten. In den Klassenräumen erfassen CO₂-Fühler die Luftqualität. Liegt die CO₂-Konzentration der Raumluft unter 1000 ppm, wird dorthin auch keine Luft gefördert. Die Aula erhält nur dann Frischluft, wenn darin eine Veranstaltung stattfindet. Die Sporthalle erhält nur dann Luft, wenn die Luftqualität sich in Hinblick auf den CO₂ Wert verschlechtert. Das Ziel ist es, nur die hygienisch notwendige Luftmenge zu fördern, um den Energieeinsatz für Luftförderung und -konditionierung möglichst gering zu halten.

Um das große Problem der Aufheizung der Klassenräume im Sommer in den Griff zu bekommen, wird neben der Nachtauskühlung über die Fußbodenheizung die Fortluft der Lüftungsgeräte mittels Befeuchtung heruntergekühlt. Die dabei entstehende Kälte wird über den Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen, so dass diese sich bei 32°C Außentemperatur auf ca. 26°C herunterkühlt. Schließlich sind Kältemaschinen vorgehalten, um die Lufttemperatur zu kühlen, falls die Lufttemperatur in den Klassenräumen trotz der zuvor genannte Kühlmethode (Nachtauskühlung mit der Fußbodenheizung und die Kühlung der Fortluft durch Befeuchtung) über 26°C ansteigt. Auf eine mechanische Nachtauskühlung mittels Luft wurde aus Gründen der zu hohen elektrischen Verbrauchswerte und des zu geringen Nutzens verzichtet.

Im dargestellten Regelschema zum Klassenraum erkennt man die über einen Volumenstromregler geregelte Zuluft, welche als Quellaft ausströmt, den außenliegenden Sonnenschutz, die Fußbodenheizung, welche auch zur Nachtauskühlung eingesetzt werden kann, sowie die Überströmung der Luft zu den Marktplätzen.

Fazit Be- und Entlüftung

Seit nunmehr über einem halben Jahr ist nun die Schule in Betrieb. Die Luft sowohl in den Klassenräumen als auch in den sonstigen Räumlichkeiten der Schule wird als angenehm frisch beurteilt. Weder von Seiten der Lehrerschaft noch von Seiten der Schüler sind Klagen bekannt. Sämtliche Lüftungsgeräte haben bisher ohne Störung gearbeitet. Zurzeit findet das Monitoring statt, welches die Energieströme seit dem 1.1.2016 aufzeichnet. In einigen Monaten wird man mit Gewissheit sagen können, ob auch die benötigte Energiemenge geringer ist, als die durch die Photovoltaikanlage auf dem Dach erzeugte Energie.

2. Projektdaten

Bauherr

Landkreis Augsburg, vertreten durch Landrat Martin Sailer

Pilotprojekt im Rahmen der Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU und aus Mitteln des Freistaates Bayern nach dem Finanzausgleichsgesetz (FAG)

Termine

Baubeginn
09/2013

Fertigstellung
Beginn Schuljahr 2015/2016

Daten

HNF 7816 m², NGF 14.048 m²,
BGF 16.046 m², BRI 81.390 m³

Energie

Primärenergiebedarf ohne
nutzerdiszierte Verbräuche 39,7 kWh/m²a

Primärenergiebedarf einschl.
nutzerindizierte Verbräuche 62,9 kWh/m²a

CO₂ Verbrauch 199 t

Installierte Leistung PV-Anlage 440 kWp

Planung I Bauleitung

Hermann Kaufmann ZT GmbH & Florian Nagler Architekten GmbH
ARGE «Diedorf»

Theodor-Storm-Straße 16, 81245 München, Deutschland
www.nagler-architekten.de, www.hermann-kaufmann.att

Projektleitung

Dipl.Arch. (FH) Claudia Greussing, DI Stefan Lambertz

Mitarbeit

DI Annette Heilmann, B.Sc. Alina Beck, DI Bartosz Puzkarczyk,
DI Carola von Gostomski, B.Sc. Carina Hörberg, DI Corinna
Bader, B.Sc. Dominik Herrlinger, B.Sc Arch. Erwin Scheuhammer,
DI Jan Lindschulte, B.Sc. Johannes Bäuerle, Martin Rümmele,
M.Sc. Sascha Löffler, DI Sebastian Filutowski, DI Thomas
Horejschi, DI Valentin Tschikof, DI Wolfgang Schwarzmann,
DI Werner Plöckl

Kostenplanung

DI Roland Wehinger

Beteiligte Planer

Projektsteuerung:	Hochbauverwaltung Landratsamt Augsburg, vertreten durch den lfd. BD Frank Schwindling
Tragwerk:	merz kley partner GmbH, Dornbirn
HLS-Planung:	Wimmer Ingenieure GmbH, Neusäß
Elektroplanung:	Ingenieurbüro Herbert Mayr, Rommelsried
Lichtplanung:	Lumen3 GbR, München
Brandschutz:	Bauart Konstruktions GmbH & Co.KG, München
Energiekonzept:	ip5 Ingenieurpartnerschaft, Karlsruhe
Bau- und Raumakustik; Thermische Bauphysik:	Müller-BBM GmbH, Planegg
Landschaftsplanung:	ver.de landschaftsarchitekten GbR, Freising
Projektbegleitung und Koordination:	kplan AG, Abensberg
Monitoring und Qualitätssicherung:	ZAE Bayern, Garching
Pädagogisches Konzept:	LernLandSchaft, Röckingen
Riskostoffe, Ökobilanz, Lebenszykluskosten:	Ascona GbR, Gröbenzell
Sicherheitskoordination:	InterQuality Service AG, Augsburg