
Entwicklung eines Konzeptes für den Neubau der Karl-Treutel-Grundschule mit offenen Lernlandschaften unter Einsatz eines netzdienlichen Plusenergiekonzeptes mit nachhaltiger Energieerzeugung und Schaffung einer gesunden Lernumgebung im Dialog mit Nutzern und Entscheidungsträgern



Abschlussbericht der 1. Förderphase

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem AZ 33093/01

Kelsterbach, Juni 2017

Bearbeiter

Architekt Hans Gruber, kplan®AG

Dipl.-Kffr. Andrea Kreil, kplan®AG

Dr.-Ing. Norbert Burger, BBI Ingenieure GmbH

Landschaftsarchitekt Manfred Semler, kplan®AG

Dipl.-Ing. Michael Wengert, Pfeil & Koch Ingenieurgesellschaft GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Hubert Derichs, Raible + Partner GmbH

Dipl.-Phys. Klaus Rohlfes, ip5 GmbH

Dipl.-Ing. Architekt Holger König, Ascona Ges. für ökologische Projekte König-Jama-GbR


Dipl.-Ing. Bernd Steinhofer, Steinhofer Ingenieure GmbH

Dipl.-Ing. Bernd Grözinger, Müller-BBM GmbH

Dipl.-Ing. Andreas Robrecht, ZAE Bayern

Korbinian Meitinger, LernLandSchaft

Peter Wankerl, kdata AG & Co. KG

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	33093_01	Referat	25	Fördersumme	125000
Antragstitel		Entwicklung eines Konzeptes für den Neubau der Karl-Treutel-Grundschule mit offenen Lernlandschaften unter Einsatz eines netzdienlichen Plusenergiekonzeptes mit nachhaltiger Energieerzeugung und gesunder Lernumgebung			
Stichworte		Neubau, Plusenergie, Schule, innovatives Energiekonzept, Netzdienlichkeit			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
21		Oktober 2015		Juli 2017	
Projektphase(n)		1			
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		Stadt Kelsterbach Magistrat Herr Bürgermeister Manfred Ockel Mörfelder Straße 33 65451 Kelsterbach			Tel 06107 / 773-381 Fax Projektleitung Herr Faltermann Bearbeiter
Kooperationspartner		kplan AG IP5 Müller BBM ZAE			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Angesichts knapper werdender Ressourcen und des gleichzeitig steigenden Bedarfs an Ausgleichsmöglichkeiten für die Fluktuation regenerativer Energieerzeuger müssen Strategien für eine zukunftsweisende Energieversorgung für öffentliche Gebäude entwickelt werden. Insbesondere Kinder sind die Ressourcen unsere Zukunft. Schulen haben daher hierbei eine Vorbildfunktion für energieeffiziente und nachhaltige Gebäude in der Zukunft inne.</p> <p>Der Neubau der Karl-Treutel-Schule will sich dazu nicht nur pädagogisch von konventionellen Schulen abheben, sondern soll als erste nachhaltige Plusenergieschule mit einem Stromspeicher zum Zwecke der Netzdienlichkeit ausgestattet werden. Dafür werden insbesondere Speichertechnologien für z. B. Strom sowie mittels Strom erzeugter Wärme oder Kälte vorgesehen sowie in späteren Phasen die Bedarfe benachbarter Gebäude (z.B. der IGS) in Betracht gezogen. Neben diesen anspruchsvollen Zielen werden Innovationen im Bereich der mechanischen Lüftungsanlagen (Fassadenintegrierte Zuluft Einheit mit dezentralen KVS-Wärmetauschern) angestrebt. Im Hinblick auf einen zukunftsorientierten, d.h. generationenbewussten Umgang mit Ressourcen, wird neben einer schadstoffreduzierten Bauweise der Einsatz ökologischer und recycelter Baustoffe angestrebt. Durch einen konsequenten kontinuierlichen Dialog zwischen Nutzer, Bauherr und dem Planungsteam soll hierfür ein alltagstaugliches Schulgebäude entstehen, das Grundschulkindern eine heimelige Wohlfühlatmosphäre schafft.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Die wesentlichen Arbeitspakete lassen sich wie folgt beschreiben:					
1. Pädagogisches Konzept					
Erarbeitung eines Raumfunktionskonzeptes in Zusammenarbeit mit den Nutzern und Abstimmung mit dem Raumprogramm. Verwirklichung von Lernlandschaften im Unterrichtsalltag unter spezieller Be-					

- rücksichtigung von Ganztagsangeboten. Einarbeitung in die Grundrisse. Zukunftsfähige Raumgestaltung.
2. Planungskonzept und Architektur
Erforschung und Entwicklung von verschiedenen Lösungsansätzen/ Varianten und Gegenüberstellung in Form eines Stärke- und Schwächeprofils unter besonderer Berücksichtigung des Zielkonfliktes Kompaktheit – räumliche Differenziertheit – optimale Belichtung. Entwicklung von Lösungen bei der Integration innovativer haustechnischer Systeme. Formulierung eines Anforderungsprofils als Vorbereitung auf die Erforschung evtl. notwendiger neuer Produkte im Bereich Lüftungskonzeption.
 3. Entwicklung Speicherkonzepte
Entwicklung eines schlüssigen Speichermanagements zur Gewährleistung der Netzdienlichkeit mit akzeptablen Kosten. Erhöhung des Eigenverbrauchsgrads des selbst erzeugten Stroms.
 4. Bauphysik / Entwicklung baulich technischer Energiekonzepte
Entwicklung der Gebäudehülle unter Einbeziehung der Ergebnisse aus thermisch-dynamischen Simulationsberechnungen und tageslichttechnischer Berechnungen. Auswirkungen auf den thermischen Komfort ermitteln. Erarbeitung von Anregungen zur Raumorganisation. Handlungsempfehlungen zur Erreichung einer Plus-Energie-Schule unter Berücksichtigung des Aspekts der Netzdienlichkeit.
 5. Entwicklung technisches Anlagenkonzept
Entwicklung eines innovativen Systems, das Wärme-, Kälte- und Luftversorgung verbindet und auf eine aufwendige Zuluftverteilung verzichtet. Variantenuntersuchung zur Wärme- und Kälteversorgung im Hinblick auf unterschiedliche Kriterien. Einbindung in vorhandene Bedarfs- und Angebotsstrukturen am Standort zur möglichen Optimierung der Dimensionierung und des Nutzungsgrads von Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen. Kunstlichtkonzept mit wenig Energiebedarf.
 6. Schallschutz / Akustik
Entwicklung von raumakustischen Anforderungen für die Lernlandschaften unter Berücksichtigung von nicht Muttersprachlern, Untersuchung des Potentials des Zusammenwirkens von aufeinander abgestimmten raumakustischen Maßnahmen und der Möblierung.
 7. Lichtplanung
Anpassung der Kunst-/Tageslichtplanung an die pädagogischen / architektonischen Konzepte. Tageslichtkonzeptentwicklung bezüglich des Plusenergiekonzeptes. Anpassung der Kunstlichtplanung und Kunstlichtsteuerung an das Plusenergiekonzept.
 8. Brandschutz
Machbarkeitsstudie und Prüfung innovativer Grundrisskonzepte, insbesondere im Hinblick auf Lernlandschaften. Untersuchung innovativer Konzepte der Haustechnik hinsichtlich des Brandschutzes.
 9. Entwicklung Medienkonzept
IuK-Integration an der Grundschule unter Berücksichtigung der Anforderungen der Lernlandschaften.
 10. Kostenberechnung
Kostentechnische Überprüfung der Baukonstruktionen in Kombination mit energetischen und bauökologischen Überprüfungen parallel zu den jeweiligen Entwicklungen, um Kostensicherheit zu erzielen.
 11. Lebenszykluskosten und Wirtschaftlichkeitsberechnung
Ganzheitlichen Ansatz zur Minimierung der Summe aus Kapital-, Betriebs- und Umweltfolgekosten über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Einsatz von Wirtschaftlichkeitsberechnungen.
 12. Ökobilanz
Zusätzliche Variantenuntersuchungen zur Grundkonstruktion des Tragwerks und zur Fassadenausführung mittels Ökobilanz.
 13. Risikostoffe für die lokale Umwelt und Innenraumhygiene
Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Materialwahl.
 14. Integraler Planungsprozess
Die Forschungsziele werden definiert und zeitlich wie finanziell quantifiziert und qualifiziert. Lösungsansätze werden unter Einhaltung der wirtschaftlichen und zeitlichen Zielvorgaben erarbeitet.
 15. Monitoring
Erstellung eines Monitoringkonzeptes für eine durchgehende Qualitätssicherung in allen Projektphasen. Genaue Vermessung von 4 Referenzräumen.

Ergebnisse und Diskussion

Im Zuge der Gebäudeplanung wurde ein „alltagstaugliches“ Schulgebäude entwickelt, das es den kleinen Kindern einer Grundschule ermöglicht, Schutz, Zugehörigkeit und Identifikation zu finden. Dazu sieht das architektonische Konzept drei verschiedene „Schulhäuser“ vor, die durch einen Marktplatz (Pausenhalle) und eine „Dorfstraße“ verbunden werden. Die drei Schulhäuser bestehen aus einem Klassenhaus, einem Haus mit Klassen (OG) und Kreativ- und Förderbereich (EG) sowie einem Haus mit Verwaltung, offenem Angebot und den zwei Horten. Der Neubau der Sporthalle wird getrennt an das bestehende Umkleidegebäude am Standort angebaut. Die Sporthalle stellt einen eigenständigen und unabhängigen Baukörper dar. Ziel war hier eine möglichst leichte Konstruktion, die zudem ein umlaufendes Lichtband für eine natürliche Belichtung ermöglicht.

Der notwendige Brandschutz wird aufgrund des neuen pädagogischen Konzepts insbesondere durch ein alternatives Rettungswegekonzept erreicht. Dabei führt ein Rettungsweg über den – hier nicht mehr notwendigen – „Flur“. Der zweite Rettungsweg wird jedoch, anders als in klassischen Schultypen üblich, durch direkte Ausgänge aus den Klassen-/ Gruppenräumen ins Freie bzw. über Fluchtbalkone und Außentreppe geführt. Unterstützt wird diese Rettungswegekonzeption durch die Bildung von „Nutzungsbereichen“ und einer vollflächigen Brandmeldeanlage mit Rauchmeldern und Alarmierung über eine Sprachalarmierungsanlage.

Laut dem aktuellen Stand der Energiebilanzierung liegt der erzielbare Primärenergiebedarf der KTS bei sehr niedrigen 55 kWh/(m²a). Der Bedarf einer vergleichbaren Schule nach EnEV 2016 Standard liegt fast doppelt so hoch. Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung einer dachgestützten PV-Anlage das Plusenergieziel derzeit in der Prognose mit einiger Sicherheit erreicht werden kann. Durch den Einsatz von geeigneten Speichertechnologien kann zudem nach ersten Abschätzungen der prozentuale Eigenverbrauchsanteil signifikant von ca. 37,5% auf ca. 58,7% gesteigert werden. Als effizientes Energiekonzept soll ein neu entwickeltes System, welches Wärme-, Kälte- und Luftversorgung in einem System verbindet und ohne ein aufwändiges Zuluftkanalsystem auskommt, umgesetzt werden. Die Zuluft wird dazu über raumweise Fassadengeräte eingebracht, die Abluft dagegen zentral abgesaugt. Der Abluft wird zentral über ein Kreislaufverbundsystem die Wärme entzogen. Soweit notwendig, erfolgt eine Restwärmeerzeugung z.B. über eine Abluftwärmepumpe. Die so erzeugte Wärme wird über ein Wasser-Glykol-Gemisch den dezentralen Zuluftgeräten zugeführt, an denen die Zuluft vor Einbringung in den Raum vorgewärmt wird. Neben der hohen Effizienz bietet dieses innovative Energiekonzept den Vorteil, dass es strombasiert ist und somit im Hinblick auf den im Zusammenhang mit der Energiewende stark zunehmenden Anteil an regenerativen Energien sehr zukunftssicher ist. Die Umsetzung der geplanten Maßnahmen in ein ressourcenschonendes Energiekonzept können somit bei langfristiger Betrachtung insgesamt als wirtschaftlich bezeichnet werden. Im weiteren Projektverlauf wird hierfür ein erster Prototyp entwickelt und das Speichermanagement weiterentwickelt.

Da an die neu zu errichtende KTS nicht nur hohe energetische, sondern auch hohe komforttechnische Anforderungen gestellt werden, soll durch geeignete Maßnahmen während der Anwesenheitszeit eine maximale gewichtete Überschreitungshäufigkeit über einer Empfindungstemperatur von 27 °C von 100 Kh/a nicht überschritten werden. Hierfür wurden Untersuchungen mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung durchgeführt, um zu ermitteln, inwieweit möglichst ohne aktive Kühlung ein guter sommerlicher thermischer Komfort gewährleistet werden kann. Durch effiziente Sonnenschutzmaßnahmen und eine Entwärmung mit Außenluft mit mindestens 1,5- bis 2,0-facher Luftwechselrate kann der gewünschte thermische Komfort erreicht werden. Es wurden zudem umfassende Tageslichtsimulationen durchgeführt, um insbesondere die Auswirkungen des Dachüberstandes der Fluchtbalkone auf die Tageslichtversorgung der Lerncluster zu bewerten und geeignete Maßnahmen zur Optimierung der Lichtverhältnisse wie helle Innenoberflächen (d. h. Reflektionsgrade Wand 60 %, Decke 80 %, Boden 40 -50 %) und eine Reduktion der Sturzhöhe abzuleiten.

Aus den untersuchten Varianten für Konstruktion und Baustoffe wurde unter Bewertung und Berücksichtigung aller Teilaspekte das Schottensystem in Stahlbetonbauweise als die für die Zielsetzung günstigste Ausführung herausgefiltert. So ergibt sich bei dieser Konstruktion eine große aktivierbare Speichermasse

bei gleichzeitig hoher Transparenz für ein hohes Maß an natürlicher Belichtung. Der Wärmeschutz kann über eine leichte Außenhülle gewährleistet werden. Mit Blick auf die Ökobilanz sind die Unterschiede zum Skelettsystem relativ klein. Das Schottensystem ist ca. 2,6% leichter und der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PE nichterneuerbar) um ca. 6.6% reduziert. Die Tragkonstruktion hat jedoch wegen des hohen Gewichts und den enthaltenen Rohstoffen (Beton und Stahl) einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis der Ökobilanz des Gebäudes. Jede erfolgreiche Reduktionsstrategie bedeutet einen wichtigen Faktor für die Umweltentlastung. Ein Einsatz von bindemittelreduziertem Beton bzw. eine Reduktion von Masse und Bewehrung wäre noch zu prüfen. Die Ausführung der Fassade mit einem hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen birgt ebenfalls ein hohes Entlastungspotenzial für die Umwelt. Möglicherweise kann die Mineralwolle zusätzlich durch Zellulosedämmstoff ersetzt werden. Im weiteren Projektverlauf wird im Hinblick auf einen generationenbewussten Umgang mit Ressourcen neben einer schadstoffreduzierten Bauweise der Einsatz ökologischer und recycelter Baustoffe angestrebt.

In den Lernclustern sind die Anforderungen insbesondere an Sprachverständlichkeit und Verringerung des Schallpegels höher, da hier unterschiedliche Unterrichtsmethoden wie Gruppenarbeit oder Einzelarbeit parallel möglich sein sollen, wodurch Kommunikation auf kurze und lange Distanz sowie mehrere Sprechen gleichzeitig funktionieren muss. Dazu darf die Nachhallzeit 0,4 Sekunden nicht überschreiten. Dies kann durch die spezielle Anordnung und Verteilung der schallabsorbierenden Flächen (Decke, Seitenwände, Stirnwand) sowie durch akustisch aktiviertes Mobiliar (zum Beispiel Sideboards und Staufächer) erreicht werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die politischen Gremien konnten sich in der ersten Projektphase zweimal mit den Planungsständen detailliert befassen. Da die Grundsatzbeschlüsse zum Vorentwurf erst zum Abschluss der 1. Projektphase erfolgen sollten, wurde in dieser ersten Phase ein zurückhaltender Umgang mit den Planungs-Zwischenständen in der Öffentlichkeit geübt. Im Laufe der nächsten Monate werden die offiziellen Gremien der Schule und die Eltern über die Pläne im Detail informiert. Außerdem soll ein gemeinsamer öffentlicher Termin stattfinden, über den dann auch die örtliche Presse berichtet, so dass die breite Öffentlichkeit davon Kenntnis nehmen kann. Über den Fortgang der Planungen und den Bauprozess wird die Öffentlichkeit zukünftig fortlaufend über die Homepage der Stadt unterrichtet.

Fazit

Auf dem Weg zu einer vollständigen Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien ist insbesondere die Entwicklung eines netzdienlichen und nachhaltigen Energiekonzepts für den Neubau der Karl-Treutel-Schule ein weiterer wesentlicher Schritt in Richtung Umweltverträglichkeit und aktiver Klimaschutz.

Eine wesentliche Herausforderung dieses Schulbauprojekts lag darin, dass die hier angestrebten ambitionierten Zielstellungen nicht einfach aufoktroiert werden, sondern im Dialog und mit Blick auf den zu bewältigenden schulischen Alltag von Grundschulkindern in eine funktionierende Schule umgesetzt werden. Die fortwährende Abstimmung mit der Schulleitung und kritische Prüfung der angestrebten und geplanten Lösungen und Klärung der Auswirkungen auf den schulischen Ablauf war Teil des intensiven Planungsprozesses.

Voraussetzungen zur Umsetzung und zum Gelingen dieses integralen Prozesses waren neben einem offenen, erfahrenen und engagierten Bauherrn und Nutzer eine adäquat bemessene Bearbeitungszeit, die es ermöglicht haben, ergebnisoffen Varianten und Lösungsansätze zu prüfen und auszuarbeiten, um fundierte Entscheidungen zu treffen. Ein konkretes Anforderungsprofil mit Zielen und Planungsparametern haben es ermöglicht, deren Erfüllung bzw. notwendige Abweichungen im Planungsprozess zu prüfen und kritisch zu hinterfragen.

Abschlussbericht 1. Förderphase

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung des Gesamtvorhabens	16
2.	Aufgabenstellung und Zielsetzungen	17
3.	Grundlagen	19
3.1	Standortentscheidung	19
3.2	Standort Neubau	21
3.3	Schülerzahlenentwicklung	22
3.4	Pädagogisches Konzept	23
3.5	Verkehrskonzept	25
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand	27
4.1	Pädagogische Konzepte	27
4.2	Energieeffizienz im Schulbau	27
4.3	Optimierung Ressourcenverbrauch	27
5.	Einfluss pädagogischer und ökologischer Nutzungskonzepte und Qualitäten auf die Gesamtgestaltung des Schulneubaus	29
5.1	Pädagogisches Konzept im Spannungsfeld von Innovation und schulischem Alltag	29
5.1.1	Nachhaltige Lern- und Nutzungsqualität des pädagogische Konzeptes	29
5.1.2	Entwicklung Gebäudekonzept	37
5.1.3	Naturnahe Außenraumgestaltung	37
5.1.4	Entwicklung Brandschutzkonzept	38
5.1.5	Entwicklung Akustikkonzept	39
5.1.6	Entwicklung Medienkonzept	39
5.2	Energieeffizientes Schulgebäude - Entwicklung Netzdienliches Plusenergiekonzept mit nachhaltiger Energieerzeugung	41
5.2.1	Projektspezifische Definition des netzdienlichen Plusenergiekonzepts	41
5.2.2	Qualität der Gebäudehülle hinsichtlich Wärmeschutz und Luftdichtigkeit	42
5.2.3	Tageslichtoptimierung	42
5.2.4	Entwicklung energieeffiziente Gebäudetechnik	49
5.2.5	Intelligente Gebäudetechnik	57
5.2.6	Entwicklung Speicherkonzepte	58

5.2.7	Einsatz Photovoltaik	67
5.2.8	Erzielbare Primärenergiebilanz, Endenergiebedarfe und Erreichbarkeit des Plusenergieziels	68
5.2.9	Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung	72
5.3	Ressourcenschonende Gebäudeplanung	88
5.3.1	Analyse der Rahmenbedingungen	88
5.3.2	Zukunftsfähige Raumgestaltung und Ausstattung	90
5.3.3	Entwicklung Primärkonstruktion - Tragwerk.....	91
5.3.4	Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	102
5.3.5	Ergebnisse Ökobilanz.....	110
5.3.6	Schaffung einer gesunden Lernumgebung.....	129
5.4	Nachhaltigkeit durch integrales Planungskonzept.....	133
6.	Umweltrelevanz und Innovationscharakter des Gesamtprojekts.....	135
7.	Ergebnis Planungskonzept.....	136
7.1	Schule	136
7.1.1	Architektur.....	136
7.1.2	Baukonstruktion	147
7.1.3	Akustik	149
7.1.4	Brandschutz	154
7.1.5	Haustechnik	157
7.1.6	Digitales Medienkonzept.....	162
7.2	Sporthalle	165
7.3	Gebäudekomplex	169
7.3.1	Freianlagenplanung.....	169
7.3.2	Schallschutz	173
7.4	Kostenschätzung.....	175
8.	Ökonomische Qualität des geplanten Schulneubaus.....	179
8.1	Entwicklung Monitoringkonzept	179
8.1.1	Ausgangssituation und Zielstellung.....	179
8.1.2	Definition von Projektzielen für das Monitoring.....	180
8.1.3	Erstellung Monitoringkonzept.....	181
8.1.4	Ausblick.....	185

8.2	Entwicklung Qualitätssicherungskonzept	185
8.2.1	Ausgangssituation und Zielstellung	185
8.2.2	Konzeptionelle Überlegungen	185
8.2.3	Themenschwerpunkte Konzeptphase	187
8.2.4	Ausblick	189
8.3	Lebenszyklusanalyse	190
8.3.1	Allgemein	190
8.3.2	Baukosten modelliert	190
8.3.3	Nutzungskosten	192
8.3.4	Ermittlung der Wirtschaftlichkeit	197
8.3.5	Darstellung Kosteneffizienz ganzheitliches Plusenergiekonzept	202
9.	Einbindung Nutzer und Öffentlichkeitsarbeit	206
9.1	Einbindung Nutzer	206
9.2	Öffentlichkeitsarbeit	208

Anlage 1	Planungskonzept
Anlage 2	Grobmatrix Energie
Anlage 3	Lüftungssysteme
Anlage 4	Matrix Stufe 1
Anlage 5	Matrix Stufe 2
Anlage 6	Bemessung Luftmenge Schule
Anlage 7	Tabelle Risikostoffe
Anlage 8	Wirtschaftlichkeit PV-Anlage

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Standorte.....	19
Abbildung 2: Vergleich der Standorte	20
Abbildung 3: Bestand neuer Standort KTS	22
Abbildung 4: Skizze Gestaltung Schulgebäude.....	24
Abbildung 5: Beispiel Fahrradüberdachung	25
Abbildung 6 Äußere Erschließung	26
Abbildung 7: Exemplarische Lernlandschaft im Haus 3	31
Abbildung 8: Exemplarische Klassenräume in einer Lernlandschaft.....	32
Abbildung 9: Exemplarisches Foyer in einer Lernlandschaft	33
Abbildung 10: Exemplarischer Lehrerstützpunkt in einer Lernlandschaft	34
Abbildung 11: Exemplarischer Marktplatz in einer Lernlandschaft	36
Abbildung 12: Bewertung der Tageslichtversorgung im Raum gem. DIN 5034-1.....	43
Abbildung 13: Simuliertes Klassenzimmer(rot markiert)	44
Abbildung 14: Simulationsergebnisse bei Variation der Sturzhöhe.....	45
Abbildung 15: Simulationsergebnisse bei Variation des Tageslichttransmissionsgrades Verglasung ..	46
Abbildung 16: Simulationsergebnisse bei Variation des Reflektionsgrades der Innenoberflächen	47
Abbildung 17: Simulationsergebnisse bei Berücksichtigung des angrenzenden Flurbereichs	48
Abbildung 18: Systemschnitt Variante 0	50
Abbildung 19: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Lüftungsvarianten	52
Abbildung 20: Vergleich Umweltkennwerte der Lüftungsvarianten	52
Abbildung 21: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonzepte	54
Abbildung 22: Vergleich Umweltkennwerte der Gesamtkonzepte	55
Abbildung 23: Vergleich Einsatz PV-Anlage bei den Gesamtkonzepten	55
Abbildung 24: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonzepte unter Berücksichtigung einer PV-Anlage.....	56
Abbildung 25: Gewähltes Tagesprofil zur Untersuchung der Netzdienlichkeit	60
Abbildung 26: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei Variation der Akkumulatorkapazität (kein thermischer Speicher)	61
Abbildung 27: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei Variation des Speicherinhalts (kein Akkumulator).....	62

Abbildung 28: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei verschiedenen Speichergrößen und -kombinationen	63
Abbildung 29: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur Akkumulator).....	64
Abbildung 30: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur Akkumulator); Detail	65
Abbildung 31: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur thermischer Speicher)	66
Abbildung 32: Erzielbarer spezifischer Primärenergiebedarf der KTS	69
Abbildung 33: Erste Berechnungen zum erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes gemäß EnEV 2016 und der aktuellen Planung	70
Abbildung 34: Zur Erreichung des Plusenergieziels erforderliche und mögliche Erzeugung aus der dachgestützten Photovoltaikanlage.....	71
Abbildung 35: Aus dem Gebäudebetrieb resultierende CO ₂ -Emissionen und mögliche CO ₂ -Vermeidung durch die dachgestützte Photovoltaikanlage	72
Abbildung 36: Mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung untersuchte Klassenräume.....	74
Abbildung 37: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die untersuchten Klassenraumtypen, grafische Auswertung.....	75
Abbildung 38: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sporthalle.....	77
Abbildung 39: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sporthalle; Detail; angestrebter Maximalwert durch gestrichelte Linie gekennzeichnet	77
Abbildung 40: Einfache Überschreitungshäufigkeiten und Maximaltemperaturen für die Sporthalle	78
Abbildung 41: Mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung untersuchter Sekretariatsraum	79
Abbildung 42: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C.....	82
Abbildung 43: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C (Detail).....	82
Abbildung 44: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C (Detail; Obergrenze der gewichteten Überschreitungshäufigkeit markiert)	83
Abbildung 45: Einfache Überschreitungshäufigkeiten und Maximaltemperaturen für das Sekretariat	83
Abbildung 46: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten einer operativen Raumtemperatur von 27 °C für die freiliegende und die zu 50 % akustisch wirksam belegte Decke ..	86

Abbildung 47: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten einer operativen Raumtemperatur von 27 °C für die freiliegende und die zu 50 % akustisch wirksam belegte Decke; Detail	86
Abbildung 48: Schottensystem: Haus A - EG	96
Abbildung 49: Skelettsystem: Haus A - EG	97
Abbildung 50: Vergleich Baustoffe für Konstruktionen	98
Abbildung 51: Konstruktionsvarianten Fluchtbalkon.....	101
Abbildung 52: Übersicht Primärkonstruktion der untersuchten Bauteilachsen	106
Abbildung 53: LCA-Stoffmasse und Primärenergie nicht erneuerbar	109
Abbildung 54: LCA-S Treibhausgas- und Versauerungspotenzial.....	109
Abbildung 55: Flächenvergleich der Varianten (grün = NF; gelb = BGF und rot = NGF)	112
Abbildung 56: Endenergiebedarf der vier Modelle in kWh/m ² a.....	113
Abbildung 57: Modulare Struktur der umweltbezogenen Informationen nach EN 15978.....	116
Abbildung 58: schematischer Fassadenaufbau Variante Massiv und Variante Nawaro.....	121
Abbildung 59: Ergebnis Fassadenvergleich Stoffmasse und PE nicht erneuerbar	122
Abbildung 60: Ergebnis Fassadenvergleich PE erneuerbar und PE gesamt	122
Abbildung 61: Ergebnis Fassadenvergleich Anteil nachwachsende Rohstoffe	123
Abbildung 62: Vier Gebäudemodelle und Stoffmasse	124
Abbildung 63: Vier Gebäudemodelle Indikator PE nicht erneuerbar	125
Abbildung 64: Vier Gebäudemodelle Indikator PE erneuerbar	126
Abbildung 65: Vier Gebäudemodelle Indikator Klimagaspotenzial	127
Abbildung 66: Vier Gebäudemodelle Indikator Überdüngungspotenzial	128
Abbildung 67: Grenz- und Zielwerte des BNB-Steckbriefs „Innenraumlufthygiene“	129
Abbildung 68: Liste der Risikostoffe	130
Abbildung 69: Unterschiedliche Grenzwerte für Formaldehyd	132
Abbildung 70: Überblick Umsetzung Raumprogramm	136
Abbildung 71: Variante 1.....	138
Abbildung 72: Variante 2.....	140
Abbildung 73: Variante 3.....	142
Abbildung 74: Vorentwurf – EG und OG	145
Abbildung 75: Vorentwurf.....	146

Abbildung 76: Akustisches Modell eines Klassenraums mit optimierten baulichen Schallabsorptionsflächen (blau).	151
Abbildung 77: Bauliche Schallabsorptionsflächen in m ² für die 60 m ² großen Klassenräume, die zum Erreichen der erhöhten raumakustischen Anforderungen gemäß Zielvereinbarung erforderlich sind.	152
Abbildung 78: Berechnete Nachhallzeiten im besetzten Klassenraum.....	153
Abbildung 79: Entwicklungsskizze - Prinzip des Brandschutzes (Erdgeschoss).....	156
Abbildung 80: Energieschema Schulgebäude	160
Abbildung 81: Beispiel WLAN Planung: Ekahau Site Survey/ Spectrum Analyzer ©Ekahau Inc.	164
Abbildung 82: Vorentwurf Sporthalle	167
Abbildung 83: Energieschema Sporthalle	169
Abbildung 84: Freianlagenplanung	172
Abbildung 85: Darstellung der Immissionsorte und der derzeitigen Bebauungs- und Spielfeldsituation. Copyright Google: Luftbild erstellt mit lizenzierter Version von Google Earth Pro.	173
Abbildung 86: Darstellung der geplanten Bebauung und Spielfeldsituation. Copyright Google: Luftbild erstellt mit lizenzierter Version von Google Earth Pro.....	174
Abbildung 87: Vorgeschlagene Referenzräume des Monitoringkonzeptes.....	183
Abbildung 88: Vier Gebäudemodelle Herstellungskosten KGR 300/400	191
Abbildung 89: Vier Gebäudemodelle Herstellungskosten KGR 300/400/m ² BGF.....	192
Abbildung 90: Vier Gebäudemodelle Folgekosten statisch berechnet €/a	194
Abbildung 91: Vier Gebäudemodelle Folgekosten statisch berechnet €/m ² BGF a.....	195
Abbildung 92: Vier Gebäudemodelle Barwert berechnet €/m ² BGF a	196
Abbildung 93: Vergleich mit BKI.....	197
Abbildung 94: Skizze Referenzschule	200
Abbildung 95: Beispiel Handskizze auf Transparentpapier: Technikfläche/ Garderobebereich/ Lehrerstützpunkt	208

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der betrachteten Varianten	53
Tabelle 2: Vergleich der Energieträger	54
Tabelle 3: Ausschnitt aus dem Excel-Berechnungswerkzeug zur Speicherdimensionierung und zur Untersuchung der Netzdienlichkeit.....	60
Tabelle 4: Endenergiebedarf in kWh/a und jährliche Energiekosten	71
Tabelle 5: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die untersuchten Klassenraumtypen	74
Tabelle 6: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sporthalle.....	76
Tabelle 7: Untersuchte Fälle für das Sekretariat	80
Tabelle 8: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für das Sekretariat; zulässige Werte für den thermischen Komfort sind rot eingerahmt.	81
Tabelle 9: Vergleich verschiedener Sonnenschutz-Steuerstrategien für die Entwärmung mit zweifachem Außenluftwechsel	84
Tabelle 10: Vergleich verschiedener Sonnenschutz-Steuerstrategien für die Entwärmung mit dreifachem Außenluftwechsel	85
Tabelle 11: Lastannahmen für Bauteile.....	91
Tabelle 12: Vor- und Nachteile Baustoffe	99
Tabelle 13: Vergleich Bewehrungsgehalt Schottensystem und Skelettsystem.....	100
Tabelle 14: Vergleich Konstruktionsvarianten Fluchtbalkon.....	101
Tabelle 15: Mengenermittlung Bauteile Schottensystem.....	107
Tabelle 16: Bewehrungsanteil der untersuchten Bauteile.....	108
Tabelle 17: Vorschlag zur Begrenzung von Risikostoffen.....	131
Tabelle 18: Bewertung Varianten im Vergleich.....	144
Tabelle 19: Veränderung der Beurteilungspegel an den sechs Immissionsorten zwischen der bisherigen Situation und der geplanten Situation.	175
Tabelle 20: Geplante Monitoringsensorik auf Basis des aktuellen Planstandes.....	184
Tabelle 21: Ökobilanzwerte zu Versorgungsprozessen für Strom und Wärme	188
Tabelle 22: Übersicht der baulichen Mehrkosten KTS (ohne planerische Mehrkosten)	198
Tabelle 23: Energetischer Vorteil Plusenergieschule	202
Tabelle 24: Kostenvorteil Plusenergieschule.....	203
Tabelle 25: Statische Amortisation von Einzelmaßnahmen zur Energieeffizienz	204

Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit Energiekonzept 205

1. Kurzfassung des Gesamtvorhabens

Angesichts knapper werdender Ressourcen und des gleichzeitig steigenden Bedarfs an Ausgleichsmöglichkeiten für die Fluktuation regenerativer Energieerzeuger müssen Strategien für eine zukunftsweisende Energieversorgung für öffentliche Gebäude entwickelt werden. Insbesondere Kinder sind die Ressourcen unsere Zukunft. Schulen haben daher hierbei eine Vorbildfunktion für energieeffiziente und nachhaltige Gebäude in der Zukunft inne. Der Neubau der Karl-Treutel-Grundschule setzt ein pädagogisches Konzept um, das offene Lernlandschaften im Grundschulbereich mit differenzierten Arbeitsformen und für den Ganztagesbetrieb verwirklicht und damit neue Maßstäbe für zukunftsorientiertes und nachhaltiges Lernen setzt.

Davon ausgehend sollte eine Gebäudekonzeption entwickelt werden, die differenziertes Lernen, optimale energetische Voraussetzungen, hohen Nutzungskomfort und einen nachhaltigen, effizienten Betrieb in einer zukunftsweisenden architektonischen und städtebaulich überzeugenden Lösung vereint.

Der Neubau der Karl-Treutel-Schule will sich dazu nicht nur pädagogisch von konventionellen Schulen abheben, sondern soll als erste nachhaltige Plusenergieschule mit einem Stromspeicher zum Zwecke der Netzdienlichkeit ausgestattet werden. Dafür werden insbesondere Speichertechnologien für z. B. Strom sowie mittels Strom erzeugter Wärme oder Kälte vorgesehen sowie in späteren Phasen die Bedarfe benachbarter Gebäude (z.B. der IGS) in Betracht gezogen. Durch einen konsequenten kontinuierlichen Dialog zwischen Nutzer, Bauherr und dem Planungsteam soll hierfür ein alltagstaugliches Schulgebäude entstehen, das Grundschulkindern eine heimelige Wohlfühlatmosphäre schafft.

Laut dem aktuellen Stand der Energiebilanzierung liegt der erzielbare Primärenergiebedarf der KTS bei sehr niedrigen 55 kWh/(m²a). Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung einer dachgestützten PV-Anlage das Plusenergieziel derzeit in der Prognose mit einiger Sicherheit erreicht werden kann. Durch den Einsatz von geeigneten Speichertechnologien kann zudem nach ersten Abschätzungen der prozentuale Eigenverbrauchsanteil signifikant von ca. 37,5% auf ca. 58,7% relevant gesteigert werden. Als effizientes Energiekonzept soll ein neu entwickeltes System, welches Wärme-, Kälte- und Luftversorgung in einem System verbindet und ohne ein aufwändiges Zuluftkanalsystem auskommt, umgesetzt werden. Die Zuluft wird dazu über raumweise Fassadengeräte eingebracht, die Abluft dagegen zentral abgesaugt. Da an die neu zu errichtende KTS nicht nur hohe energetische, sondern auch hohe komforttechnische Anforderungen gestellt werden, soll durch geeignete Maßnahmen während der Anwesenheitszeit eine maximale gewichtete Überschreitungshäufigkeit über einer Empfindungstemperatur von 27 °C von 100 Kh/a nicht überschritten werden.

Im Hinblick auf einen zukunftsorientierten, d.h. generationenbewussten Umgang mit Ressourcen, wird außerdem neben einer schadstoffreduzierten Bauweise der Einsatz ökologischer und recycelter Baustoffe angestrebt.

2. Aufgabenstellung und Zielsetzungen

Die Stadt Kelsterbach beabsichtigt den Neubau der Karl-Treutel-Grundschule als Ersatz der bestehenden Grundschule am Standort der integrierten Gesamtschule. Insbesondere steigende Schülerzahlen, teilweise auch mit Migrationshintergrund, sowie geänderte Voraussetzungen bedingt durch Inklusion und Ganztags stellen zusätzliche Anforderungen an den Schulneubau. Hinzu kommt, dass sich die Stadt Kelsterbach im Bündnis "Hessen aktiv: Die Klima-Kommunen" für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel engagiert und hierzu eine maximale CO₂-Vermeidung anstrebt.

Herausforderung und Zielsetzung des Neubaus der Karl-Treutel-Grundschule besteht insbesondere darin ein Gebäude zu entwickeln, das „alltagstauglich“ ist und es besonders den kleinen Kindern einer Grundschule ermöglicht, Schutz, Zugehörigkeit und Identifikation zu finden. Dazu gehört insbesondere ein stimmiges Grundriss- und Raumkonzept mit abgeschlossenen räumlichen Einheiten für mehrere Klassen, das vielfältigen Unterricht erlaubt und gleichzeitig eine Wohlfühlatmosphäre für die großen und kleinen Nutzer schafft.

Der Neubau der Karl-Treutel-Schule soll zudem als ein außergewöhnlich (primär-) energieeffizientes Gebäude ausgeführt werden. Das hierbei angestrebte Ziel ist ein „Plusenergiegebäude“ zu verwirklichen, das nicht nur in der Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen die Umwelt entlastet statt belastet sondern zudem dem Aspekt der Netzdienlichkeit besondere Beachtung schenkt.

Die wesentliche Herausforderung hierbei ist der Anspruch, ein ganzheitliches netzdienliches Energiekonzept unter Berücksichtigung von Speichertechnologien umzusetzen und dazu bereits vorhandene Bedarfs- und Angebotsstrukturen an Wärme und / oder Kälte, insbesondere der am Standort bestehenden integrierten Gesamtschule, in das Konzept vorausschauend einzubeziehen. Dies kann die Dimensionierung und den Nutzungsgrad von Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen und deren Betriebsweise positiv beeinflussen, wodurch im wahrsten Sinne des Wortes ein nachhaltiger und gemeinschaftlicher Bildungsstandort in Kelsterbach geschaffen werden kann. Ein Ziel dabei ist den Eigenverbrauchsanteil für Strom aus PV-Anlagen signifikant zu steigern, um im Ergebnis eine ökonomisch vertretbare und zukunftsfähige Lösung aufzuzeigen.

Neben diesen anspruchsvollen Zielen werden weiterhin Innovationen im Bereich der mechanischen Lüftungsanlagen (Fassadenintegrierte Zuluftleinheit mit dezentralen KVS-Wärmetauschern) angestrebt.

Dieser Anspruch wird nochmals erhöht durch eine ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige Gestaltung des Lebensraums Schule mit dem Fokus auf der Schaffung einer gesunden Lernumgebung für Schüler und Lehrer.

Planungsbegleitend erfolgt hierzu die Prüfung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtvorhabens und relevanter Einzelaspekte sowie eine ökologische und ökonomische Life- Cycle- Betrachtung.

tung, die auch gesundheitliche Aspekte miteinbezieht und hierbei das Projekt mit allen Vor- und Nachteilen einer konventionellen Standard-Schule gegenüberstellt.

Abgeschlossen wird das Projekt mit einem mehrjährigen qualifizierten Energiemonitoring, das sicherstellt, dass die anspruchsvollen Projektziele insbesondere in Bezug auf Lernkomfort, Plusenergiestandard und Netzdienlichkeit auch bei auftretenden Lastspitzen durch notwendige Betriebsoptimierungen erreicht werden.

3. Grundlagen

3.1 Standortentscheidung

Für eine neue Grundschule in Kelsterbach standen die zwei Standorte „bisheriger Standort KTS“ und „Standort IGS“ zur Wahl. Am Standort KTS müsste die bestehende Schule umgebaut und erweitert werden, am Standort IGS wird die KTS neu gebaut.

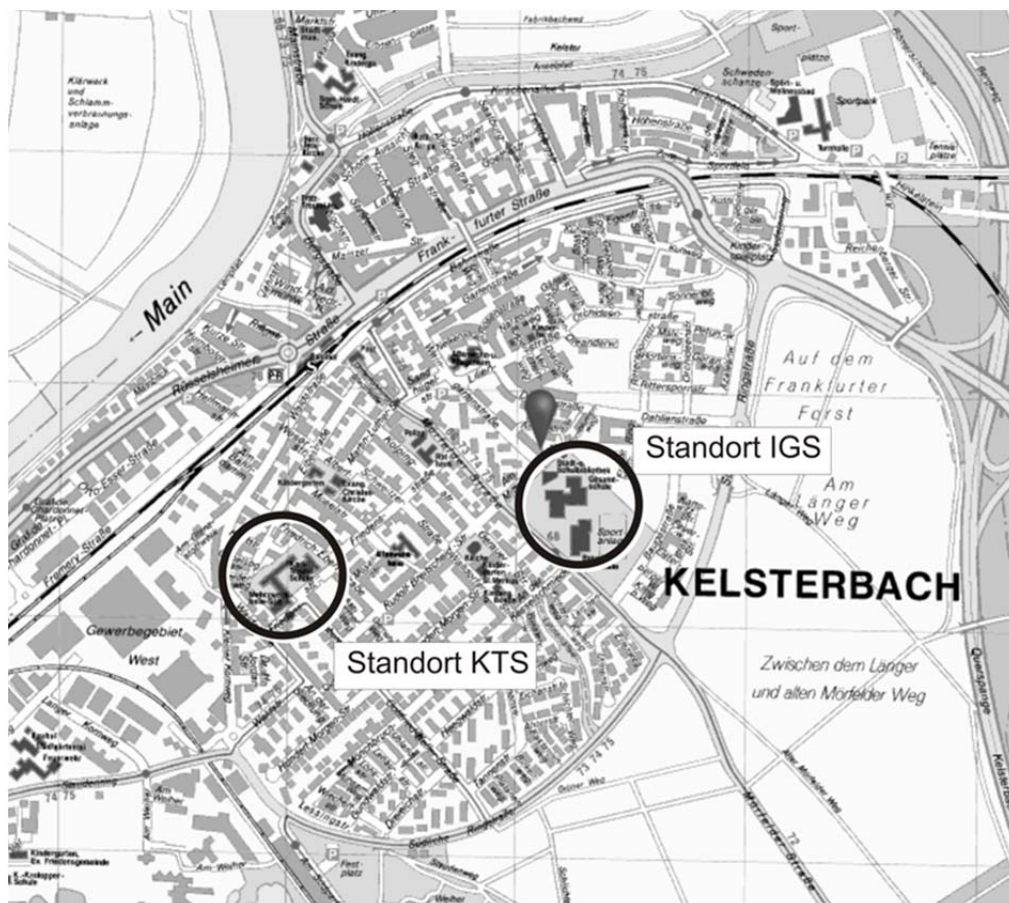


Abbildung 1: Lage der Standorte

Nachfolgend wurde die Eignung der Standorte für eine neue Grundschule in Kelsterbach anhand wesentlicher Kriterien bewertet. Die Standortentscheidung wurde im Rahmen der Leistungsphase 0 vor Beginn des Planungsprozesses getroffen.

Bewertungskriterium	Standort KTS	Bemerkung	Standort IGS	Bemerkung
1. Lage des Grundstückes/ Verkehrsanbindung	+	Im Wohngebiet gelegen; enge Anfahrtswege und Wendemöglichkeiten eingeschränkt	+++	An einer Hauptstraße gelegen, Bushaltestelle wird geschaffen
2. Parkmöglichkeiten	+	Parkmöglichkeiten kaum vorhanden	+++	Ausreichende Parkmöglichkeiten werden geschaffen
3. Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen	+++	Sporthalle, Lehrschwimmbecken, Mittagsangebot vorhanden, kein Sportplatz	++	Sporthalle, Sportplatz, Mittagsangebot kann gemeinsam mit IGS genutzt werden, kein Lehrschwimmbecken
4. Erweiterungsmöglichkeiten/ Reserven	+	Keine weiteren Erweiterungs- möglichkeiten vorhanden	++	Begrenzte Erweiterung denkbar
5. Planungsrechtliche Aspekte/ Erschließung	+++	Grundstück bereits erschlossen Keine Restriktionen	+++	Grundstück bereits erschlossen Teilverlegung Lärmschutzwall zum Sportplatz
6. Nachbarschafts- nutzungskonflikte	+	Zusätzliche Verkehrsbelastung durch Erweiterung, im Wohngebiet gelegen	++	Zusätzliche Verkehrsbelastung durch Neubau an IGS, aber nicht im Wohngebiet gelegen/ an Hauptstraße
7. Umsetzung pädagogisches Konzept	+	Eingeschränkte Umsetzungsmöglichkeiten im Bestand aufgrund einhüftiger Erschließung	+++	pädagogisches Konzept wesentlicher Bestandteil der Konzeptidee der KTS, bei Neubau optimal umsetzbar

Abbildung 2: Vergleich der Standorte

Die Standortnachteile des Standorts KTS insbesondere Erschließung und Zufahrtssituation werden aufgrund des Bedarfs einer Erweiterung auf eine 5zügige Schule bei der Variante Sanierung im Bestand verschärft. Dadurch entstehen ggf. zusätzliche Kosten für Lärmschutz bzw. Entschärfung Zufahrtssituation am Standort KTS.

Ergebnis der Standortbewertung

Der Standort an der bestehenden Karl-Treutel-Schule ist grundsätzlich für eine Sanierung/ Erweiterung geeignet. Nicht so gut schneidet er allerdings unter den Kriterien Lage des Grundstückes, Parkmöglichkeiten und Erweiterungsmöglichkeiten ab, da der Standort im Wohngebiet gelegen und die Grundstücksgröße relativ begrenzt ist.

Der Standort an der IGS ist unter den betrachteten Kriterien besser für den Neubau einer Grundschule geeignet. Da er an der Hauptstraße gelegen ist, sind keine Nachbarschaftsnutzungskonflikte zu erwarten. Die Verkehrsanbindung ist gut und eine Bushaltestelle bzw. ausreichende Parkmöglichkeiten können geschaffen werden.

Weitere Aspekte der Standortbewertung

Ein zusätzlicher Aspekt der für den Standort IGS spricht, sind die möglichen Erlöse einer Veräußerung der Grundstücke. Hier ist davon auszugehen, dass das Grundstück der bisheri-

gen KTS höhere Vermarktungschancen wegen der attraktiven Lage im Wohngebiet hat als das Grundstück der IGS und hier höhere Grundstückspreise erzielbar sind. Der Vorteil wird auf knapp 1 Mio. € geschätzt.

Hinsichtlich der Baukosten ist davon auszugehen, dass die Sanierungskosten in der gleichen Größenordnung wie die Neubaukosten liegen werden. Den höheren Rückbaukosten bei der Sanierungsvariante sowie den Kosten für zusätzlich erforderliche Interimsmaßnahmen am Standort KTS stehen Einsparungen durch die Nutzung der vorhandenen Substanz gegenüber.

Vergleicht man die Raumstruktur bzw. Grundrisse Bestand und Neubau am Standort IGS wird deutlich, dass insbesondere aufgrund der einhüftigen Erschließung im Hauptgebäude die Umsetzung des geplanten pädagogischen Konzepts im Bestand erheblich eingeschränkt werden würde. Das Clusterprinzip erfordert größere zusammenhängende Flächen mit eigener Erschließung (Lerncluster ca. 320 – 390 m²), die im Neubau am Standort IGS flexibel umgesetzt werden können. Die eingeschränkte Nutzbarkeit für Cluster ist daher ein weiterer wesentlicher Nachteil für den Standort KTS.

Fazit

Vor dem Hintergrund der überwiegenden Nachteile wurde der Standort an der IGS für den Neubau der Karl-Treutel-Schule in Kelsterbach favorisiert und bei den weiteren Planungen berücksichtigt.

3.2 Standort Neubau

Das Grundstück für den Neubau der Karl-Treutel-Schule liegt östlich zur integrierten Gesamtschule Kelsterbach. Der Gedanke dabei einen neuen Schulcampus mit der IGS und dem Neubau der Karl-Treutel-Schule zu schaffen ist naheliegend. Die Schulbauten sollen sowohl im sozialen Umfeld sowie ggf. aus energetischer Sicht einen Zusammenschluss bilden.

Das alte Grundstück der Karl-Treutel-Schule im Stadtinneren soll hingegen – nach dem Neubau der Karl-Treutel-Schule – für innerstädtisches Wohnen genutzt werden.

Einer der größten Vorteile bei einem Neubau auf einem neuen Grundstück ist natürlich, dass die kostenintensiven und bei Nutzern unbeliebten Interimsmaßnahmen, wie zum Beispiel die Auslagerung von Klassen in Schulcontainer, vermieden werden können.

Das neue Grundstück bei der IGS zeichnet sich durch eine sehr bewegte Topografie aus. Im Südwesten wurde ein Sportplatz mit einem Lärmschutzwall umgeben. Dieser Lärmschutzwall greift in seiner Ausbildung stark in das Baugebiet ein. Eine Herausforderung besteht darin, diese Topografie zu nutzen und in die Außengestaltung der Schule mit einzubeziehen.

Nördlich und östlich wird das Baugebiet von eher kleinmaßstäblichen und kleinteiligeren Wohnbauten flankiert. Hier sind sowohl eine behutsame städtebauliche Lösung der Aufga-

benstellung als auch durch die Nutzung hervorgerufene Schallschutzbelange von großer Bedeutung und im Entwurf mit zu berücksichtigen.

Für den Entwurf der Schule sowie die Konzipierung des Gesamtstandortes wurde parallel zur Schulplanung ein Verkehrskonzept entwickelt, welches die Wegführung sowie auch den Verkehr für das Wohngebiet zu lösen hatte. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.4 dargestellt.



Abbildung 3: Bestand neuer Standort KTS

3.3 Schülerzahlenentwicklung

In der Trägerschaft der Stadt Kelsterbach befinden sich zwei Grundschulen, sowie eine Förderschule und eine integrierte Gesamtschule (IGS). Eine der beiden Grundschulen ist die Karl-Treutel Schule, die als Neubau am Standort der IGS realisiert werden soll.

Die Anzahl der Geburten in der hessischen Stadt Kelsterbach im Landkreis Groß-Gerau zeigt seit einigen Jahren, ungeachtet des bundesweiten Trends, eine steigende Tendenz.

Die Analyse der zukünftigen Schülerzahlen befasst sich jedoch nicht nur mit der Entwicklung aufgrund der Geburtenzahlen, sondern bezieht auch die Auswirkungen der Ansiedelung von Familien mit oder ohne Kinder in den neuen Baugebieten mit ein. Durch diese Wanderungen erhöht sich die Einwohnerzahl um ca. 2500 Personen, wovon ca. 2000 Neubürger im Neubaugebiet „Länger Weg II und III“, welches im Schuleinzugsgebiet der Karl-Treutel-Schule liegt, ansiedeln.

Gemäß den Ergebnissen einer Schülerzahlenprognose für die Grundschulstandorte in Kelsterbach muss in den nächsten 10 Jahren insbesondere aufgrund der Zuwanderung durch die neuen Baugebiete mit einer stark erhöhten Schülerzahl gerechnet werden. Dies bedingt, dass der Neubau der Karl-Treutel-Schule 5-zügig geplant werden muss.

3.4 Pädagogisches Konzept

Neue Unterrichtskonzepte und ein veränderter Schullalltag benötigen andere Schulen als das bislang umgesetzte Standard-Schulgebäude mit Klassenräumen und Flur. Obwohl es keine architektonische Standardlösung für das Lernen gibt, erfordern neue Lernformen auch neue bauliche Grundrisse, in denen verschiedene Lernstile und ein angenehmes Miteinander gelebt werden können.

Ergebnisse LPH 0/ Schulentwicklungsprozess

Um neuen pädagogischen Konzepten den benötigten Raum zu bieten, hat die Stadt Kelsterbach im Rahmen der Phase Null der Schulentwicklungsplanung ein pädagogisches Konzept als Basis für den Neubau der Karl-Treutel-Grundschule entwickelt. Im Dialog zwischen Planer, Berater und Nutzer wurden pädagogische Zielvorstellungen ermittelt, Bedarfe konkretisiert und pädagogisch und architektonisch Wünschenswertes und Machbares abgeglichen und in Einklang gebracht.

Darauf aufbauend wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Schülerzahlenprognose die zukünftige Zügigkeit der Schule festgelegt sowie räumliche Strukturmodelle sowie die Organisation der Lernorte, der Fachunterrichtsbereiche, des Ganztagesangebots und der Gemeinschaftsbereiche für die Karl-Treutel-Schule diskutiert. Als Ergebnis ist ein „pädagogisches Raumfunktionsbuch“ entstanden, in dem neben dem klassischen Raumprogrammüberlegungen weitere pädagogisch relevante Details wie Bedarfe, typische Nutzungsszenarien und vorteilhafte Raumbeziehungen bzw. funktional notwendige räumliche Zusammenhänge erfasst wurden.

Für den weiteren Projektfortgang wurden nach intensiven Beratungen folgende zentrale Anforderungen mit den Nutzern festgelegt:

- Definition einer anregenden, für verschiedene Lernstile und -anlässe geeignete Lernumgebung, in der Rückzug und gemeinsames Arbeiten gleichsam möglich sind. Bildung von „Clustern“ d.h. Anordnung von 3–4 Klassenräumen um eine gemeinsam nutzbare Begegnungsfläche „Marktplatz“ und Funktionsräume (z.B. Garderobe), damit die Einheit „autark“ ist und ein „Zuhause“ für die Kinder wird. Flexible Möbel, Stauraum, Flächen zur eigenen Gestaltung, Transparenz und akustische Maßnahmen unterstützen den abwechslungsreichen Schulalltag.

3.5 Verkehrskonzept

Äußere Erschließung

Das vorgesehene Bauareal wird im Norden und Osten durch Wohnbebauung, im Westen durch eine bestehende Schule (IGS Kelsterbach) und im Süden durch die Mörfelder Straße begrenzt. Durch die geplante Baumaßnahme wird der Verkehrsdruck auf das betroffene Quartier zwangsläufig zunehmen. Zielsetzung ist, die einzelnen Verkehrsarten auf den südlichen Grundstücksbereich zu konzentrieren, aber dennoch so zu trennen, dass geordnete und v. a. gefahrenfreie Verkehrs- und Bewegungsabläufe gewährleistet werden. Bei den Planungen wurde für die angenommenen 455 Schülern analog zum bestehenden Standort davon ausgegangen, dass 52% der Schüler zu Fuß, 27% mit dem Fahrrad und 5% mit dem Bus kommen werden. Ca. 16% werden mit dem PKW zur Schule gebracht. Bei den 150 Hortplätzen wurde ebenfalls davon ausgegangen, dass die Kinder wie gewohnt zur Schule, d.h. ca. 80% mit dem Fahrrad kommen werden. Bei den 60 Lehrern und Betreuern wurde berücksichtigt, dass sie zu 90% mit dem PKW kommen und zu 10% mit dem Fahrrad oder dem Bus.

Die bestehende Bushaltestelle südwestlich der IGS soll auch für die neue Karl-Treutel-Schule mit genutzt werden; ein Umbau bzw. Ausbau ist derzeit nicht vorgesehen. Die Fahrschüler können so von der Haltestelle über den örtlichen Gehweg und den neu geplanten Schulvorplatz zum Schulhof gelangen, ohne Fahrwege des motorisierten Verkehrs kreuzen zu müssen. Für die mit Fahrrädern zur Schule kommenden Schüler werden im Bereich des Schulvorplatzes insgesamt rd. 192 überdachte Fahrradstellplätze vorgesehen, aus oben genannten Sicherheitsgründen ebenfalls räumlich getrennt von den geplanten PKW-Verkehrsflächen.



Abbildung 5: Beispiel Fahrradüberdachung

Die fußläufige Anbindung der Karl-Treutel-Schule erfolgt über die bestehenden Gehwege der Mörfelder Straße sowie über das neu geplante, vom Straßenverkehr entkoppelte Fußwegenetz nördlich und östlich des Schulgrundstücks. In der südlichen Grundstücksecke sind für die Angestellten der KTS, für Besucher der Sporthalle und ggf. für Angestellte der IGS derzeit insgesamt 89 Normalparkplätze und 4 Behindertenparkplätze geplant. Die Zufahrt

zum Parkplatz erfolgt ausschließlich über die Mörfelder Straße. Eine entsprechende Zufahrtskontrolle (Schranksanlage) zur Vermeidung von Fremdnutzung wird vorgesehen. Um dem nicht zu vermeidenden elterlichen Hol- und Bringverkehr Rechnung zu tragen, wird längs entlang der Mörfelder Straße, westlich an den Schulvorplatz angrenzend, eine spezielle Haltebucht in Form von 8 Längsparkplätzen eingerichtet.

Innere Erschließung

Das neue Schulgelände mitsamt Sporthalle wird vom oben genannten "Schulverkehrsknotenpunkt" aus über zwei geplante Hauptwegeverbindungen beidseitig der neuen Sporthalle und im weiteren Verlauf über großzügige Schulhofflächen vorrangig fußläufig erschlossen.

Die geplanten Erschließungszufahrten von der Baugéstraße aus im Norden und Osten des KTS-Grundstücks sollen ausschließlich Lieferfahrzeugen, Einsatzfahrzeugen und Fahrzeugen des Liegenschaftsunterhalts vorbehalten bleiben. Die angrenzenden Wohnquartiere sollen dadurch von Individualverkehr (elterlicher Hol- und Bringverkehr etc.) frei gehalten werden.

Die bestehenden Anlieferzonen der IGS werden im neuen Verkehrskonzept analog mit berücksichtigt und weiterhin entsprechend aufrechterhalten.

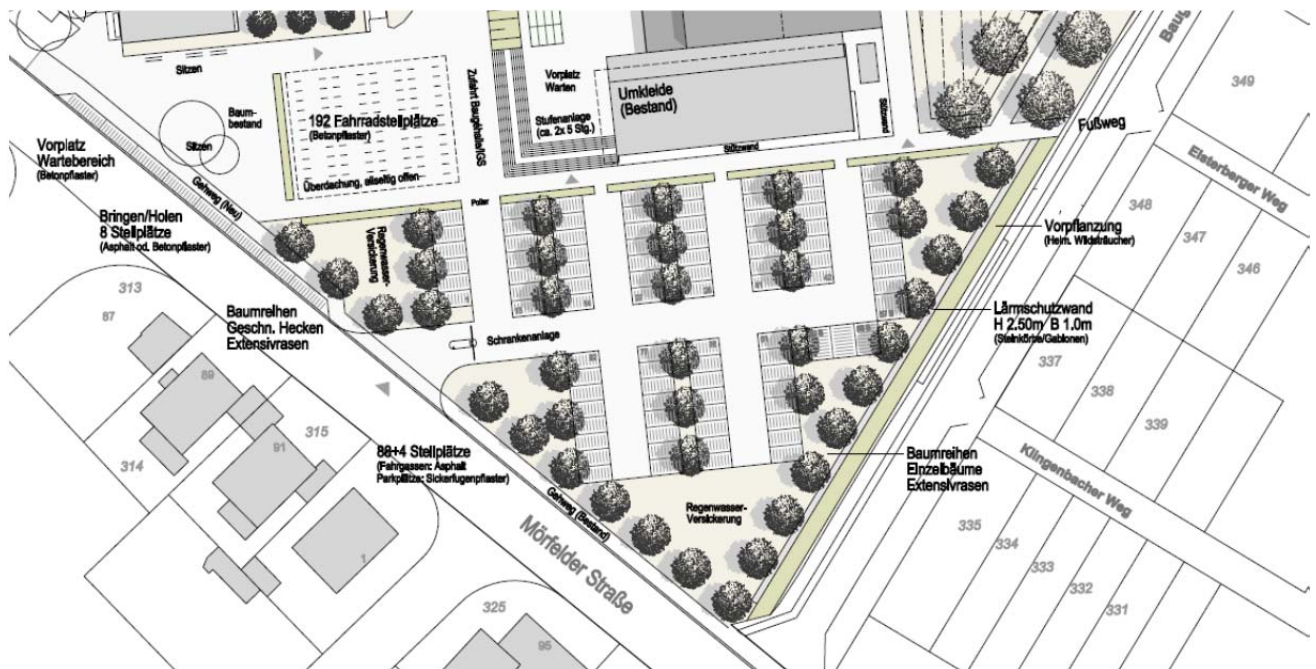


Abbildung 6 Äußere Erschließung

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

4.1 Pädagogische Konzepte

Gesellschaftliche Herausforderungen und Veränderungen spiegeln sich (mit einer gewissen Zeitverzögerung) auch im Schulalltag wider. Nicht nur in der Reformpädagogik wird die Bedeutung des Raumes, der Raumgestaltung und der individualisierten Raumnutzung für Lernprozesse mittlerweile ausführlich beschrieben und hält in zeitgemäßen Schulgebäuden mit neuen pädagogischen Konzepten bereits zunehmend Einzug.

Gerade in einer Grundschule gilt es allerdings, die verschiedenen familiären Ausgangssituationen, Leistungsniveaus und Interessen, welche die Kinder mitbringen, besonders zu berücksichtigen und im Positiven weiterzuentwickeln. Neben der Wissensvermittlung oder dem Beibringen der typischen Fertigkeiten, kommen bei den Erst- bis Viertklässlern mehr und mehr „Basisaufgaben“ hinzu, wie z.B. die Sprachförderung, die Unterstützung in schwierigen familiären Situationen oder die Aufnahme von Kindern mit besonderem Förderbedarf. Hinzu kommt die Erweiterung des Unterrichts um geforderte Ganztagesangebote. Die Lehrer stehen dabei vor der Herausforderung, mit möglichst allen Kindern einen gewinnbringenden Unterricht über den Tag verteilt zu gestalten, ohne dass einzelne „herunterfallen“. Dies gelingt nur, wenn alle Räume in ihrer Nutzung vielfältig schalt- und koppelbar sind und eine entsprechende Aufenthaltsqualität im ganzen Gebäude geschaffen wird. Dieser hohe Anspruch soll in der Karl-Treutel-Schule umgesetzt werden.

4.2 Energieeffizienz im Schulbau

Die technologischen Entwicklungen insbesondere im Bereich der elektrischen Speichersysteme sowie der steigende Bedarf an Ausgleichsmöglichkeiten für die Fluktuation regenerativer Energieerzeuger machen den Einsatz von direkten Stromspeichern im Energieversorgungssystem zunehmend attraktiv und notwendig. Da Netzengpässe derzeit als ein Haupthindernis auf dem Weg zu einer vollständigen Energieversorgung aus erneuerbaren Energien gesehen werden, stellt die Entwicklung eines netzdienlichen Energiekonzepts für den Neubau der Karl-Treutel-Schule einen weiteren exemplarischen Schritt in Richtung einer weitgehend auf regenerativen Quellen basierenden Energieversorgung dar.

4.3 Optimierung Ressourcenverbrauch

Bauwerke haben in der Regel eine Lebensdauer von mehreren Generationen. Die integrierte Planung und Errichtung nachhaltiger Gebäude ist im Hinblick auf Konstruktion und Auswahl von eingesetzten Technologien und Materialien unter Berücksichtigung von Ressourcenverbräuchen in den Vorketten und der Lebensdauer der Bauwerke eine anspruchsvolle Aufgabe.¹ Hierzu gehört neben dem Einsatz energie- und ressourcensparender Gebäudetechnik auch die Wiederverwendung von Bauteilen, die Nutzung naturverträglich erzeugter Rohstoffe und recycelter Bauprodukte.

¹ Vgl. hierzu Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, Nachhaltiges Bauen S. 62

Ein wichtiges Umsetzungs- und Steuerungsinstrument dazu ist das Informationsportal „Nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, das in mehreren Leitfäden Informationen und Bewertungsmaßstäbe für nachhaltiges Bauen zur Verfügung stellt. Bei der Karl-Treutel-Schule wird in Anlehnung daran neben einer schadstoffreduzierten Bauweise der Einsatz ökologischer und recycelter Baustoffe angestrebt. Mittels umfangreicher LCC- und LCA-Analysen und der Analyse von Risikostoffen werden Konstruktions- und Bauteilentscheidungen hinsichtlich ihrer ökologischen Qualität im Bauprozess transparent getroffen.

5. Einfluss pädagogischer und ökologischer Nutzungskonzepte und Qualitäten auf die Gesamtgestaltung des Schulneubaus

5.1 Pädagogisches Konzept im Spannungsfeld von Innovation und schulischem Alltag

5.1.1 Nachhaltige Lern- und Nutzungsqualität des pädagogische Konzeptes

Analyse der Rahmenbedingungen

Schule ist ein verbindlicher Begegnungs- und Übungsort, der sich immer wieder an gesellschaftliche Herausforderungen anpassen muss, ohne seinen Charakter oder Bezug zum Ort zu verlieren. Neue pädagogische Konzepte mit differenzierten Arbeitsformen, flexiblen Lernformationen und -methoden, Inklusion sowie der Ganztagsbetrieb stellen andere und neue Anforderungen an die äußere Beschaffenheit und Organisation von Schulräumen. Räumliche Wandlungsfähigkeit, differenzierte Nutzung und die Identifikation mit dem Schulgebäude müssen sich in einer flexibel nutzbaren Einrichtung und in einer stimmigen Grundriss- und Raumordnung begründen, damit die neu gebauten Grundstrukturen auch aus Überlegungen der Nachhaltigkeit heraus langfristig nutzbar bleiben.

Die Architektur der neuen Schule prägt das Zugehörigkeitsgefühl der Schüler und schafft einen Lebensraum Schule, in dem Schüler und Lehrer gerne lernen, leben und lehren.

Die Gestaltung der Lernlandschaften, die eingesetzte Technik, aber auch die Einrichtung von Lernräumen hat wesentlichen Einfluss auf die Konzentration, Motivation und das Wohlbefinden der Schüler und Lehrer.

Umsetzung der Lern- und Nutzungsqualität

Die folgenden pädagogisch-architektonischen und ökonomischen Standards soll ein Cluster erfüllen:

- Ein Cluster/ eine Lernlandschaft soll aus den folgenden Räumen / Bereichen bestehen:
 - o Marktplatz (i. d. R. als Mittelpunkt des Clusters)
 - o Unterrichts- bzw. Fachräume
 - o Gruppen- und Differenzierungsbereiche (Inklusionsflächen)
 - o Teamstation (als Arbeitsplatz für Lehrer und pädagogisches Fachpersonal)
 - o Sanitärbereich (in das Cluster integriert bzw. in unmittelbarer Nähe des Clusters)
 - o zusätzliche Lagerfläche (falls erforderlich)
 - o Garderoben / Schleusenbereiche
 - o Essensausgabe

-
- Eine möglichst transparente Ausbildung der Wände in den Übergangsbereichen zwischen den auch als Differenzierungs- oder Marktplätzen genutzten Verkehrs- und Erschließungsflächen und den Unterrichtsräumen. Die Unterrichtsräume sollen vom Marktplatz her einsehbar sein.
 - Die Räume und die Möblierung müssen dem steten Wechsel zwischen den Arbeitsformen durch Flexibilität, Transparenz, Akustik (Hörsamkeit), Spezialisierung und Abstraktheit zugleich gerecht werden. Freie“ Arbeitsphasen sollten sich selbstverständlich mit direkten Einweisungs- und Vermittlungseinheiten abwechseln, in denen mit allen gleichzeitig etwas erarbeitet oder reflektiert werden kann.
 - Der Marktplatz soll als Mittelpunkt des Clusters einerseits als Kommunikations- und Arbeitsbereich vielfältig nutzbar sein, andererseits auch der internen Erschließung des gesamten Clusters dienen.
 - Trotz aller Transparenz und Flexibilität müssen die Unterrichtsräume und der Marktplatz als schalltechnisch entkoppelte Einheiten fungieren.
 - Reine Verkehrsflächen sollen nur zwischen den Clustern, im Eingangs- oder Verwaltungsbereich vorkommen. In allen anderen Bereichen sind diese als vielseitig nutzbare Begegnungsflächen und auch als Lernort nutzbar.

Der Weg zu einer gleichzeitig pädagogisch UND ökonomisch verantwortungsbewusst gebauten Lernumgebung kann anhand dieses Projektes aufgezeigt werden.

Im Folgenden wird die praktische Umsetzung in der KTS anhand eines Clusters erläutert.

Ein typisches Cluster mit seiner Möblierung und den Blickbeziehungen im Überblick:

- Garderobe, WCs und Infoflächen bilden das „Foyer“. Durch die Anordnung der Cluster zueinander muss niemand ein anderes durchqueren, so dass Gedränge minimiert wird und die Gemeinschaft weniger gestört wird.
- Vier Klassenräume mit jeweils über 60 qm gruppieren sich um einen Marktplatz. Dieser fungiert als Begegnungsfläche und erweiterter Arbeitsort. Mit zentraler Wasserstelle, im Hortbereich zusätzlich mit Essensausgabe.
- Lehrerstützpunkt, verbunden mit dem benachbarten Cluster.
- Kleingruppenraum, optisch und akustisch separiert (Förderung, 1:1 Gespräche,...)

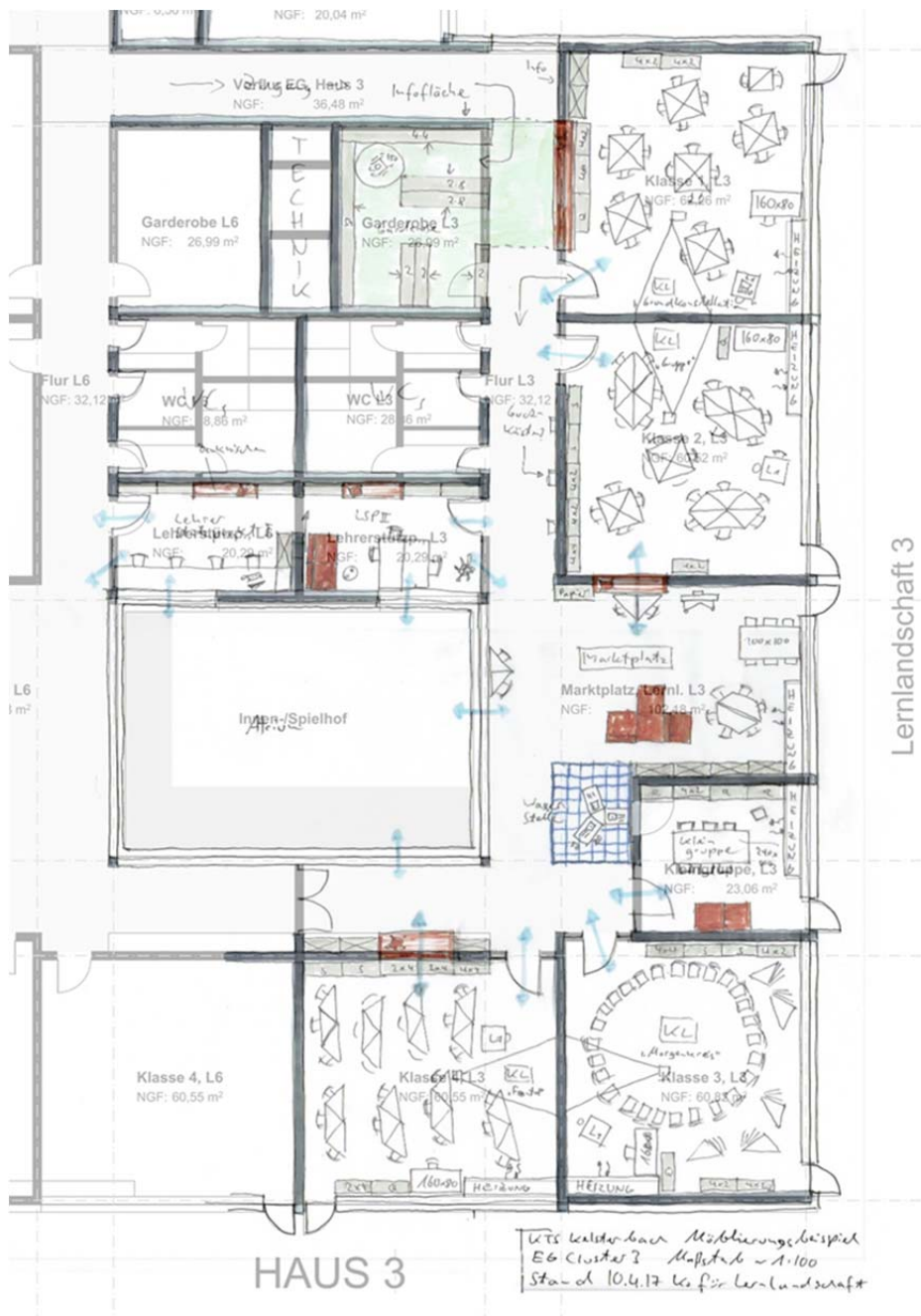


Abbildung 7: Exemplarische Lernlandschaft im Haus 3

Typische Klassen im Beispiel-Cluster:

- Fast quadratische Grundform, Orientierung der Schüler nicht nur auf die Tafelseite, sondern je nach Unterrichtsform verschieden.
- Dreieckstische und Stühle teilweise mit Fußraste => hohe Flexibilität, Veränderbarkeit durch die SCHÜLER. Möbel dürfen auf den Marktplatz mitgenommen werden.
- Stauraum für Schultaschen, damit sie beim Umstellen der Tische nicht stören. Weitere Fächer für eigene und gemeinsame Arbeitsmaterialien. Ein Absperrbarer Schrank.
- Transparenz, z.B. als Lesefenster zum Flur/MP 4–6 qm Glasfläche, je nach Blickmöglichkeiten (blaue Pfeile) und statischen Anforderungen. Keine unnötige Ablenkung, sondern wissen, was der Andere macht.
- Heizung/Lüftungsgerät vor dem Fenster sollte nicht zugestellt werden => Lehrertisch kann andocken, Anschlüsse => Zusammenspiel Möblierung und Haustechnik, könnte auch als Ablage nutzbar gemacht werden.
- 2 Lehrpersonen pro Klasse: Ein kleiner höhenverstellbarer mobiler Tisch um im Stehen mit der Tafel/Projektion arbeiten und an die Tischgruppen der Kinder andocken zu können. Zusätzlich ein größerer Tisch, der auch für Besprechungen dienen kann.

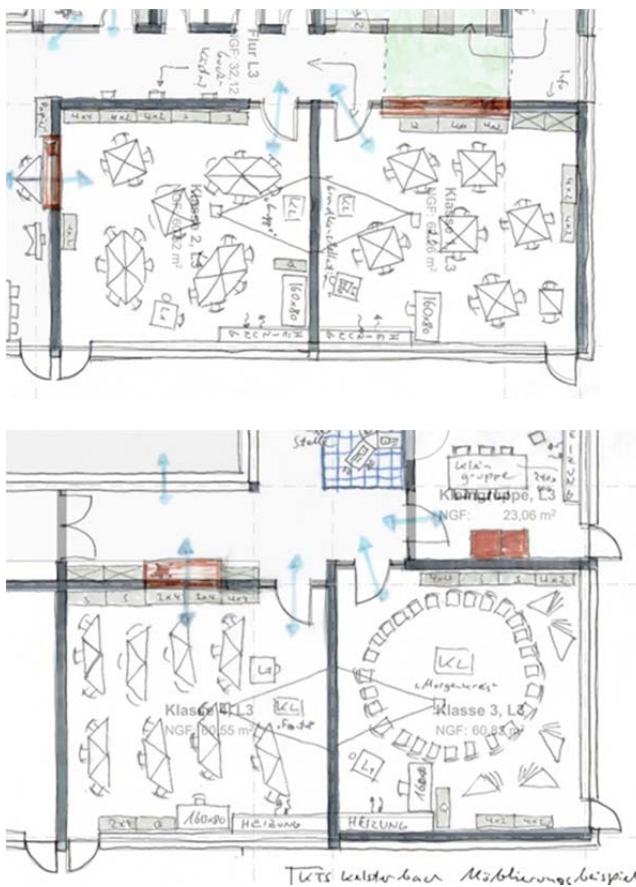


Abbildung 8: Exemplarische Klassenräume in einer Lernlandschaft

„Foyer“ im Beispiel-Cluster:

- Garderobe, WCs und Infoflächen ergeben ein „Foyer“
- Das Cluster soll nur mit Hausschuhen und ohne Jacken betreten werden:
 - o Jacken über den Stuhllehnen würden den leichten Wechsel der Arbeitsformen behindern und stören in den Klassenräumen.
 - o Der Boden im Cluster dreht weniger ein und kann von den Grundschulern z.B. mit Kissen genutzt werden.
- Offene Garderobe mit Sitzbank, Schuhablage, Ablage für Mütze und Helme und verschiebbaren Haken. Über 20 Laufmeter für ca. 100 Kinder, auch barrierefrei erreichbar.
- Die Sitznische vor der Klasse kann bei großem Andrang (z.B. vor der Pause) zum Umziehen mitgenutzt werden, in der restlichen Zeit dient sie als Lese- oder Ratschecke.
- Notwendige Wandflächen können als Infofläche gestaltet werden, z.B. mit ferromagnetischen Folien oder Anstrichen => Kinder können „ihre Werke“ zeigen und den Zugang zu „ihrem Cluster“ immer wieder individualisieren.

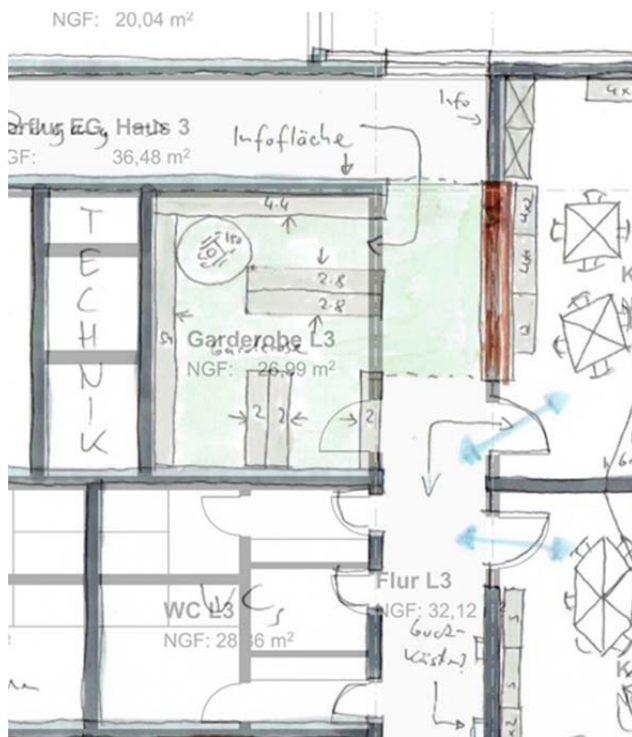


Abbildung 9: Exemplarisches Foyer in einer Lernlandschaft

Die Lehrerstützpunkte als „ortsnahe“ Arbeits- und Treffpunkte in den Clustern:

- Vorbereiten von Stunden, Absprache mit den Kollegen
- Korrekturen, kurze Erholungspausen
- Arbeiten am Verwaltungsrechner
- Einfacher Zugriff, ortsnahes Lager für Lehrmaterialien und Bücher
- Die Stützpunkte dienen als ERGÄNZUNG zum zentralen Lehrerzimmer, das mehr als Sozialraum fungiert und das Gesamtkollegium zusammenbringt => Kaffee nur dort.
- Durch den Blick auf Marktplatz und Innenhof fühlen sich die Schüler beaufsichtigt und die Lehrkräfte sind bei Bedarf für Schüler Kollegen (und ggf. Eltern) greifbar. Natürlich sind in den späteren Planungsphasen Details und Vereinbarungen zu finden, dass im Stützpunkt auch konzentriert gearbeitet werden kann.
- Die Lehrerstützpunkte der benachbarten Cluster werden nicht nur auf Grund ihrer Größe verbunden: Es soll der Austausch gefördert werden, sowohl bei Material als auch unter Kollegen. Natürlich dient die Verbindung als „Abkürzung“ für Lehrer.



Abbildung 10: Exemplarischer Lehrerstützpunkt in einer Lernlandschaft

Marktplatz als Begegnungsfläche und Arbeitsort:

- In den freien Phasen kann alleine und in verschiedenen Gruppen gearbeitet werden, was im Klassenzimmer nur schlecht funktionieren würde. Der Marktplatz ist die temporäre „Erweiterung“ des Klassenraums und immer in Blickbeziehung dazu.
- Um nicht immer an Tisch/Stuhl arbeiten zu müssen, gibt es ein breites Angebot an Hockern, Bänken, Tresen oder auch der Boden (mit einem Kissen). Kinder besitzen die Gabe, sich für ihre jeweilige Lernsituation passend „einzurichten“.
- Präsentationen sind auch in der Grundschule ein wichtiger Bestandteil des Unterrichtes und sollten ohne „großen Umbau“ möglich sein. Diese können auf dem Marktplatz mit einem Touch-Display oder einem flexiblen Bühnensystem ergänzt werden – das Publikum (auch der anderen Klassen) findet sich von ganz alleine.
- Leicht erreichbarer und gut organisierter Stauraum für gemeinsam genutzte Materialien und „Requisiten“, um etwas spontan ausprobieren zu können. Das reicht vom Ipad, über eine Kostümkiste, Holzklötzen bis hin zu Büchern. Viele Ideen entstehen im praktischen Tun und komplexere Lerninhalte brauchen kreative Annäherung.
- Die Zentrale Wasserstelle dient nicht nur zum Reinigen der Tafel-Wischtücher, und zum Händewaschen. Trinkflaschen befüllen, Wasserfarben-Becher auswaschen, Experimente, Obst abwaschen und vieles mehr. All dies wäre am typischen Klassenzimmer-Waschbecken kompliziert und mit einer Schülergruppe, in der immer mehrere gleichzeitig wollen, kaum möglich.
- Statt einer Mensa ist ein Essenausgabebereich auf den Marktplätzen in den Hortclustern vorgesehen, der den hygienischen Vorgaben genügen muss. Das gebrauchte Geschirr wird in einen zentralen Küchenbereich gebracht. Die Lehrküche ist davon vollkommen getrennt, da sie von den Kindern genutzt wird.

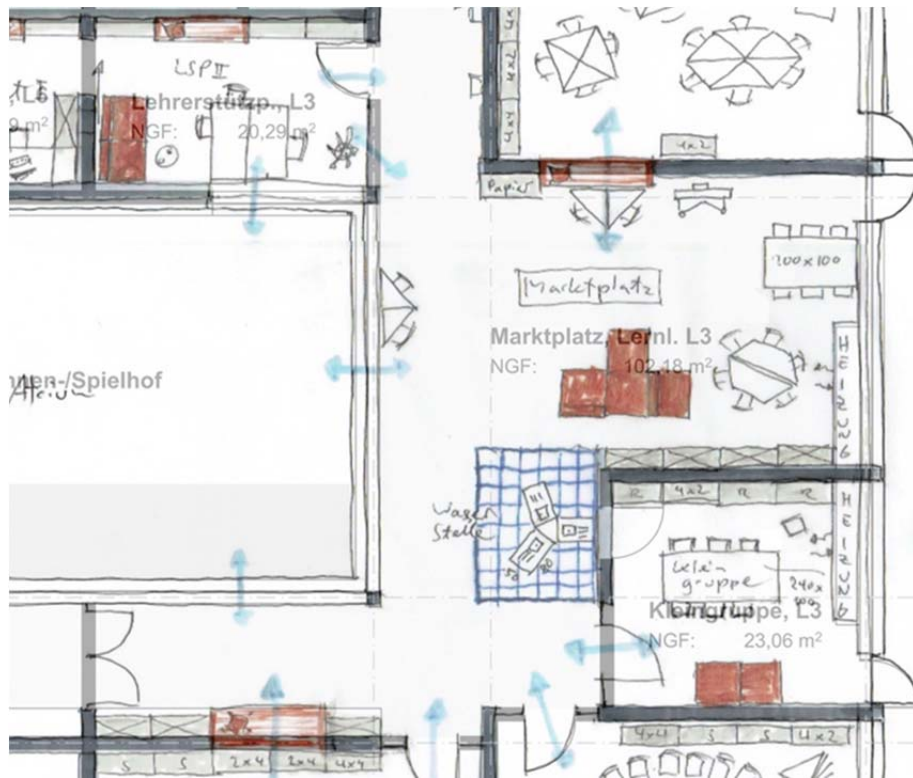


Abbildung 11: Exemplarischer Marktplatz in einer Lernlandschaft

Arbeiten im Kleingruppenraum:

- Förderung in Kleingruppen oder 1:1, auch parallel zum Unterrichtsbetrieb. Der Vorteil ist, dass die Kinder nicht quer durchs Schulhaus müssen und Wartezeiten „vor der Tür“ reduziert werden können, indem sich die Kinder vor ihrer Einheit auf dem Marktplatz oder in der Klasse beschäftigen können.
- Kinder und Pädagogen sitzen um einen großen Tisch herum. Durch niedrige Barhocker mit Fußraste können Erwachsene und Kinder gleichermaßen gut sitzen, bzw. die Kinder auch stehen. Auch wenn man nur zu zweit drinnen ist, fühlt man sich an solch einem Tisch nicht so verloren, wie in einem Raum mit Einzelmöbeln.
- Separierung und Reizarmut sind manchmal schlicht notwendig, um das Vorankommen der anderen nicht zu stören und zu sich zu finden.
- Im Raum sind Platz für Lernspiele und weitere Dinge die zum Raum gehören, ggf. auch ein abschließbares Fach für Externe, Außen gibt es eine „allgemeine“ Stauraumwand
- Blickbeziehung zum Marktplatz nicht direkt, damit die Kinder in der besonderen Situation nicht abgelenkt werden, ein Glasstreifen an der Tür minimiert versehentliche Störungen.

„Besondere Räume“, wie Musik, Kunst, Forschen, Bewegung, Bibliothek, usw. sind in einem Haus im EG zusammen verortet und werden in den weiteren Planungsphasen detailliert erarbeitet.

5.1.2 Entwicklung Gebäudekonzept

Das architektonische Konzept entwickelt sich sehr stark aus den Überlegungen der Leistungsphase Null sowie aus dem Ort bzw. den Besonderheiten des Grundstücks für den Neubau der Grundschule. Das architektonische Konzept sieht dazu, genau wie im Raumprogramm und in der Matrix beschrieben, verschiedene „Schulhäuser“ vor.

Diese „Schulhäuser“ beherbergen ihrerseits wieder „Wohnungen“. Das bedeutet, dass verschiedene Klassenräume oder Fachräume, die zusammen gehören, immer zu einer „Wohneinheit“ oder in einem „Haus“ zusammengefasst werden. Dieses Prinzip schafft für die Nutzer, die ihre jeweils zugeordneten Räume „bewohnen“, eine gute Identifizierung mit der Schule, fördert einen respektvolleren Umgang mit der zur Nutzung überlassenen Gebäudesubstanz (weniger Anonymität in der eigenen Wohneinheit und damit weniger Vandalismus) und erleichtert die Orientierung im Gebäude.

Erschlossen und zusammengehalten werden diese einzelnen Schulhäuser wie in einem „Dorf“ durch die gemeinschaftliche „Dorfstraße“, d. h. durch einen multifunktionalen Erschließungsgang, der hohe Aufenthaltsqualität bieten soll.

Im Eingangsbereich gibt es als zentralen Platz den sogenannten Marktplatz, der sich aus Pausenhalle und Haupteingang bildet.

Im Laufe der Diskussionen und Workshops hat sich herausgestellt, dass auch der Neubau einer Sporthalle erforderlich wird, um Kapazitätsengpässe zu vermeiden. Diese Sporthalle wird voraussichtlich als 2fach-Sporthalle gebaut werden. Auf Basis von Variantenuntersuchungen wurde der geeignete Standort der Sporthalle geprüft. Als Optionen hierfür stehen ein Anbau an die Schule im Süden oder eine Situierung als Solitärgebäude, sowie ein Anbau an das bestehende Umkleidegebäude des Sportplatzes zur Disposition.

Der integrale Planungsprozess wird in Punkt 7.1.1 Architektur mit all seinen Varianten genauer dargestellt. Das entwickelte Planungskonzept ist in der Anlage 1 im Detail dargestellt.

5.1.3 Naturnahe Außenraumgestaltung

Oftmals beschränkt sich der Aufenthalt auf den Schulfreiflächen auf das Kommen und Gehen der Schüler sowie auf die vergleichsweise geringe Zeit der Unterrichtspausen. Aus diesem Grund soll an der KTS ein möglichst attraktiver Schulaußenraum mit verschiedenen individuellen Nutzungsbereichen und Zonierungen geschaffen werden.

Insbesondere Kindern im Grundschulalter eine vielfältige, natürliche Umgebung im Freien zu schaffen, die reizvoll und für das Kind in seiner Entwicklung fördernd ist, ist Ziel des Projektes. Hierfür soll eine natürliche Beziehung zur Natur in ihrer Vielfältigkeit geschaffen werden und ein spielerisches Entdecken und Erforschen dank geeigneter Lösungen möglich

sein. Im weiteren Planungsverlauf wird auch Wert darauf gelegt, dass die Kinder die Möglichkeit bekommen, die „Natur“ zu verändern und zu gestalten (z.B. mittels Sand, Kies, Steinen, Wasser, Holz etc.).

So sieht die Freiflächenplanung für die Karl-Treutel-Schule im Wesentlichen folgende Außenraumstrukturen vor:

- Ankunfts-, Abfahrts- und Wartebereich in Form eines großzügigen Schulvorplatzes mit großzügigen Grünstrukturen und Freiraummöblierung; als Kommunikationsbereich v. a. vor und nach dem Schulunterricht.
- Verschiedene Kommunikations- und Rückzugsbereiche im Bereich des Pausenhofs mit unterschiedlichen Grünstrukturen und wechselnder Freiraummöblierung.
- Unterschiedliche Spiel-, Sport- und Bewegungsbereiche mit entsprechender Spiel-/Sportgeräteausrüstung; teilweise Nutzung örtlicher topographischer Gegebenheiten (Erddamm).
- Kreativ- und Naturbereiche v. a. in unmittelbarer Schulgebäudenähe wie z. B. Grüne Klassenzimmer, Werkhöfe, Schulgärten und Pflanzenlehrpfade.

Die Pausenfreiflächen der KTS können durch optimale Ausnutzung der verfügbaren Grundstücksflächen gegenüber den Standard-Pausenflächen einer Grundschule großzügiger bemessen werden. Ca. 6.500 m² stehen den Schülern der KTS zur Verfügung. Damit entstehen auch gegenüber der Ist-Situation an der bestehenden KTS keine Nachteile hinsichtlich der nutzbaren Pausenfreifläche. Der Bedarf an Pausenfreifläche gem. einschlägigen Normen und Richtlinien würde nur bei ca. 4-6 m² pro Schüler und damit bei weniger als der Hälfte liegen.²

Der überwiegende Teil der schulischen Freiflächen soll seine geplanten Funktionen langfristig und v. a. sicher und vorschriftenkonform erfüllen. Um dies zu gewährleisten, wird vorrangig auf bewährte standardisierte Bauweisen zurückgegriffen werden. Auf naturnahe und ökologische Aspekte wird vor allem bei der Planung der Kreativ- und Naturbereiche, bei der Auswahl der Baustoffe, bei der Auswahl der Pflanzenarten und beim Niederschlagswassermanagement besonderer Wert gelegt.

5.1.4 Entwicklung Brandschutzkonzept

Die Kernaufgabe des Brandschutzkonzeptes ist es, für die Lernlandschaften eine Ausführungsmöglichkeiten zu entwickeln, um die Schutzziele des Brandschutzes auf der Grundlage der bestehenden Gesetze und Verordnungen gleichwertig nachweisen zu können. Die Betrachtung wird grundsätzlich nach der Landesbauordnung des Landes Hessen (HBO) sowie auch der bauaufsichtlich eingeführten Muster-Schulbau-Richtlinie (MSchulbauR) durchgeführt.

Auf Grund der geplanten Wohlfühlumgebung mit offenen Lernlandschaften und offen gestalteten Fluren soll weitestgehend auf die Ausführung von notw. Fluren verzichtet werden.

² Arbeitshilfen zum Schulbau, 2010, Große Bereiche auf dem Grundstück nach Landesrecht, DIN 18035

In diesem Zusammenhang wird auf die Handlungsempfehlungen zum Vorbeugenden Brandschutz für den Bau und Betrieb von Tageseinrichtungen für Kinder (HE-Kita) Stand: Mai 2012 des Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung verwiesen. Die Flure sollen im zu beurteilenden Objekt nicht als notwendige Flure nach Definition der HBO § 32 betrachtet werden, sondern als sog. ‚offene Gänge‘. Diese werden nicht nur als Verkehrsfläche genutzt, sondern soll hier analog zu einer Tageseinrichtung für Kinder ein ähnliches Nutzen der Flure stattfinden wie z.B. gemeinsames Lernen oder auch Spielen. Somit enthält der Flur Brandlasten (Dekorationen, Mobiliar etc.). Jedoch darf in dieser Ausführung nur einer der Rettungswege dabei über diesen ‚offenen Gang‘ führen.

5.1.5 Entwicklung Akustikkonzept

Die Veränderung der pädagogischen Praxis hin zu differenzierten, selbstverantworteten und erfahrungsbasierten Arbeitsformen statt frontalem lehrerzentrierten Unterricht führt zu veränderten Kommunikationsszenarien im Klassenraum. Bei der Formulierung der akustischen Anforderungen wird im weiteren Planungsverlauf auch berücksichtigt, dass ein Teil der Nutzer in einer Sprache kommunizieren muss, die nicht als Muttersprache gelernt wurde.

Diese führen auch zu einer entsprechenden Anpassung der raumakustischen Maßnahmen, um die hieraus resultierenden strengeren Anforderungen an die Nachhallzeit einhalten zu können.

Zentraler Gesichtspunkt ist der Flächennutzungskonflikt zwischen den Flächen für thermisch passive Kühlung (Speichermassen für den täglichen Temperatenausgleich zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung) und den für akustische Bedämpfung. Eine parallele Nutzung der Decken hat eine gegenseitige Beeinträchtigung der thermischen Speicherwirkung einerseits und der raumakustischen Bedämpfung andererseits zur Folge.

Vor diesem Hintergrund soll im vorliegenden Projekt untersucht werden, wie durch das Zusammenwirken von aufeinander abgestimmten raumakustischen Maßnahmen und der Möblierung die Beeinflussung der thermischen Speichermassen durch die Raumakustik minimiert werden kann.

5.1.6 Entwicklung Medienkonzept

Der kompetente Umgang mit Informations- und Kommunikationstechnologien stellt heute neben Lesen, Schreiben und Rechnen eine vierte Kulturtechnik dar. Die Entwicklung konkreter Umsetzungsstrategien und Konzepte zur Einbindung digitaler Medien in den Schulalltag stellt daher eine weitere besondere Herausforderung im modernen Schulbau dar.

Aufbauend auf das innovative pädagogische Konzept und dessen baulicher Umsetzung soll daher bei diesem Projekt die IuK-Umgebung gesondert betrachtet und auf die speziellen Bedürfnisse von offenen Lernlandschaften in der KTS angepasst werden.

Ziel ist in erster Linie, einen einfachen und flexiblen Einsatz der Medien im Unterricht zu ermöglichen. Ein weiteres Ziel besteht darin, eine zukunftssichere und systemoffene Infra-

struktur zu schaffen, die gleichzeitig einen reduzierten Wartungs- und Betreuungsaufwand im laufenden Betrieb nach sich zieht und die sowohl energiesparend als auch emissionsminimal betrieben werden kann.

In Workshops wurden verschiedene Varianten der Ausstattung, Medienintegration und Organisation vorgestellt und diskutiert. Der Stand der Planung beinhaltet auch die Sicht auf die umliegende IuK-Infrastruktur der Integrierten Gesamtschule Kelsterbach mit öffentlicher Bibliothek und der Stadtverwaltung, bei der eine Zusammenlegung von Infrastrukturalternativen sinnvoll erscheint.

5.2 Energieeffizientes Schulgebäude - Entwicklung Netzdienliches Plusenergiekonzept mit nachhaltiger Energieerzeugung

5.2.1 Projektspezifische Definition des netzdienlichen Plusenergiekonzepts

Neben einer außergewöhnlich hohen (Primär-) Energieeffizienz, wie sie das in den folgenden Abschnitten beschriebene baulich-technische Energiekonzept aufweist, wird angestrebt, mit dem Neubau der Karl-Treutel-Schule ein „Plusenergiegebäude“ zu verwirklichen. Dieses Ziel wurde für das Projekt folgendermaßen spezifiziert:

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

Dieses Ziel wird durch eine große dachgestützte Photovoltaikanlage erreicht.

Zusätzlich zum primärenergieeffizienten baulich-technischen Energiekonzept und dem Plusenergiestandard soll beim vorliegenden Bauvorhaben dem Aspekt der Netzdienlichkeit besondere Beachtung geschenkt werden (siehe z.B. <http://www.energiezukunft.eu/solar/photovoltaik/dezentrale-solarstromspeicher-zur-netzentlastung-gn10902/>). Dafür sind Speichertechnologien für Strom sowie mittels Strom erzeugter Wärme oder Kälte vorzusehen und die Bedarfe des öffentlichen Stromnetzes und ggf. benachbarter Gebäude (z. B. der IGS) in Betracht zu ziehen. Es soll ein Zielwert hinsichtlich der Steigerung des Eigenverbrauchsanteils von PV-Strom gegenüber dem konventionellen Plusenergie-Szenario ohne Speicher formuliert werden. Auf Basis der ersten Untersuchungen erscheint eine Steigerung des Eigenverbrauchsanteils von ca. 38 % um bis zu ca. zwanzig Prozentpunkte mit vertretbarem Aufwand erreichbar (siehe Abschnitt 5.2.6). Über die Steigerung des Eigenverbrauchs hinaus bedingt die Netzdienlichkeit, dass in Zeiten, in denen der Strombedarf im öffentlichen Stromnetz niedrig / hoch liegt, der Stromspeicher und der thermische Speicher (über die Wärmepumpe) Strom vom öffentlichen Netz aufnehmen / der Stromspeicher Strom an das öffentliche Netz abgibt, sofern jeweils möglich.

5.2.2 Qualität der Gebäudehülle hinsichtlich Wärmeschutz und Luftdichtigkeit

In dieser noch frühen Planungsphase des Vorentwurfs gibt es grundsätzlich für den opaken Anteil der Außenwand und der Fassade zwei Überlegungen:

- zum einen eine Massivbauweise (Mauerwerk oder Beton) mit einer ausreichend dimensionierten Außendämmung und einer hinterlüfteten Fassade sowie
- zum anderen die Überlegung einer Holzkonstruktion (Holzrahmenbauweise) mit Dämmung in der Konstruktion oder einer Massivholzbauweise mit Massivelementen und Dämmung vor diesen Massivholzelementen.

Die Holzrahmenbauweise ist die ressourcenschonendere Bauweise. Die Bauweisen mit massiver Hinterwand haben den Vorteil der einfacheren Herstellung der Luftdichtigkeit.

Generell soll jedoch in den weiteren Planungsphasen eine leichte Ausfachungskonstruktion angestrebt werden, zumal die Statik des Gebäudes (innere Wandschotten zur Lastabtragung) genau diese leichte Bauweise widerspiegeln würde.

5.2.3 Tageslichtoptimierung

Die Tageslichtverfügbarkeit in Innenräumen trägt maßgeblich zur Behaglichkeit der Nutzer bei. Der Bereitstellung eines nutzungsgerechten, lernfördernden und kommunikativen visuellen Umfelds kommt daher gerade in Schulen eine besondere Bedeutung zu. Ist eine hohe Tageslichtautonomie im Raum gegeben, wird zudem der Strombedarf durch Kunstlicht reduziert.

Zur Optimierung der Tageslichtverfügbarkeit in den Klassenzimmern der Karl-Treutel-Schule wurde eine Tageslichtsimulation für ein repräsentatives Klassenzimmer durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Varianten der Gebäudehülle und der lichttechnischen Einflussgrößen untersucht und Empfehlungen ausgesprochen. Für die Simulation wurde die Lichtplanungs-Software RELUX PRO aus der RELUX Suite verwendet.

Bewertungsgrundlage

Im Rahmen der Simulation wird zur Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit in den Klassenzimmern der Tageslichtquotient D (daylight factor) herangezogen. Dieser beschreibt das Verhältnis der Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum (E_i) zur Beleuchtungsstärke im Freien (E_a). Die Außenbeleuchtungsstärke wird bei vollständig bedecktem Himmel gemäß dem Standard der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) berechnet und beträgt etwa 10.000 lux.

$$\text{Tageslichtquotient } D = \frac{E_i}{E_a} \cdot 100 \%$$

Da es sich beim Tageslichtquotienten um einen konstanten Verhältniswert handelt, ist er von Zeitpunkt, Standort und Fensterausrichtung unabhängig und eignet sich demnach für

eine vergleichende Betrachtung verschiedener Raumkonzepte. Je höher der Tageslichtquotient in einem Raum also ist, desto besser die Tageslichtversorgung.

Im Anhang A der DIN 5034-1:1999-10 „Tageslicht in Innenräumen“ sind die Anforderungen an den Tageslichtquotienten in Arbeitsräumen tabellarisch aufgeführt. Allerdings sind die Anforderungen nur definiert für eine Raumhöhe $\leq 3,5$ m, eine Raumtiefe $\leq 6,0$ m und eine Raumfläche ≤ 50 m². Die untersuchten Räume der Karl-Treutel-Schule weisen in der Regel größere Raumflächen auf, sodass in diesem Fall keine verbindlichen Norm-Anforderungen existieren. Die Norm-Tageslichtquotienten sind im Fall der Karl-Treutel-Schule dennoch als Empfehlungen zu sehen.

Folgende Empfehlungen sind in der Norm enthalten:

Norm DIN 5034-1 „Tageslicht in Innenräumen“

„D soll in halber Raumtiefe, in 0,85 m über dem Fußboden und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden betragen: im Mittel der beiden Punkte mindestens 0,90%, an einem der beiden Punkte mindestens 0,75%. Es sind möglichst hohe Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsfläche zu realisieren.“

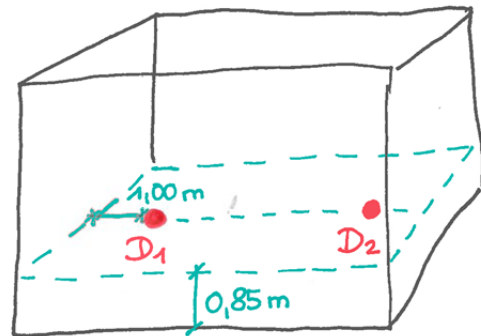


Abbildung 12: Bewertung der Tageslichtversorgung im Raum gem. DIN 5034-1

Die normativen Empfehlungen stellen eine Mindestforderung dar. Optimal wäre ein Tageslichtquotient von 3 % am Arbeitsplatz. In diesem Fall würde an 50 - 70 % der Nutzungszeit kein Kunstlicht benötigt werden.

Berechnungsrandbedingungen

Folgende Berechnungsrandbedingungen wurden bei der Tageslichtsimulation angesetzt:

Abbildung 13: Simuliertes Klassenzimmer(rot markiert)

Folgende Berechnungsvarianten wurden untersucht:

- Optimierte Lage des Fensters (Reduktion Sturzhöhe)
- Besserer Tageslichttransmissionsgrad der Verglasung
- Höhere Reflektionsgrade der Innenoberflächen

Ergebnisse

Werden die zuvor beschriebenen Berechnungsrandbedingungen angesetzt, wird ein mittlerer Tageslichtquotient von 0,90 % in halber Raumtiefe **nicht** erreicht. Aus diesem Grund wurden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Tageslichtversorgung untersucht.

Nachfolgend ist der Einfluss der Sturzhöhe dargestellt:

Abbildung 14: Simulationsergebnisse bei Variation der Sturzhöhe

Wenn das Fenster in der Außenfassade etwas nach oben verschoben wird, wird die Tageslichtversorgung in der Raumtiefe leicht verbessert. Die Norm-Empfehlungen hinsichtlich des Tageslichtquotienten werden durch diese Maßnahme erreicht.

Neben der Lage des Fensters wurde auch untersucht, welchen Einfluss der Tageslichttransmissionsgrad der eingesetzten Verglasung ausübt. Dabei wurde ersichtlich, dass ein Tageslichttransmissionsgrad der Verglasung von $T = 0,6$ oder niedriger die Tageslichtversorgung des Raumes deutlich verschlechtert. Ein T-Wert von $0,7$ sollte mindestens erreicht werden.

Abbildung 15: Simulationsergebnisse bei Variation des Tageslichttransmissionsgrades Verglasung

Auch der Einfluss der Reflektionsgrade der Innenoberflächen auf die Tageslichtversorgung im Raum wurde berechnet. Gegenüber den o. g. Berechnungsparametern wurden dabei verbesserte Reflektionsgrade angesetzt:

- Wand: 60 %
- Decke: 80 %
- Boden: 50 %

Die Werte sind mit weißen Wand- und Deckenflächen und einem hellen Bodenbelag gut zu erreichen.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zeigen, dass anhand der verbesserten Reflektionsgrade die normativen Empfehlungen hinsichtlich des Tageslichtquotienten eingehalten werden können.

Abbildung 16: Simulationsergebnisse bei Variation des Reflektionsgrades der Innenoberflächen

Zuletzt wurde noch der Einfluss der an das Klassenzimmer angrenzenden Flure untersucht. Zwischen Klassenzimmer und Flur befindet sich eine Verglasung neben der Klassenzimmertür. Die Verglasung wurde in der Simulation mit den Abmessungen B 1,0 x H 3,3 m berücksichtigt. Natürlich ist der Einfluss auf das Tageslicht im Klassenzimmer davon abhängig, wie gut der Flur selbst mit Tageslicht versorgt ist. Flurbereiche, die an die Innenhöfe grenzen, sind besser belichtet und üben somit größeren Einfluss auf das Klassenzimmer aus, als die Flurbereiche, die an WCs und Garderoben grenzen.

Grenzt das Klassenzimmer also an einen gut tageslichtversorgten Flurbereich, ist in der Raumentiefe ein höherer Tageslichtquotient vorhanden, sodass die normativen Empfehlungen eingehalten werden. Bei einem schlecht mit Tageslicht versorgten Flurbereich hingegen ermöglicht die Verglasung zum Flur keine Verbesserung der Tageslichtversorgung im Klassenzimmer.

Nachfolgend sind die Ergebnisse für den für ein Klassenzimmer dargestellt, welches an einen gut tageslichtversorgten Bereich angrenzt.

Abbildung 17: Simulationsergebnisse bei Berücksichtigung des angrenzenden Flurbereichs

Fazit

Bei der Tageslichtsimulation des Klassenzimmers wurden verschiedene Einflussgrößen auf die Tageslichtverfügbarkeit im Raum untersucht. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass eine gute Tageslichtversorgung in den Klassenzimmern unter Berücksichtigung des Dachüberstandes nur möglich ist, wenn mindestens eine der folgenden Maßnahmen umgesetzt wird:

- Reduktion der Sturzhöhe (z. B. auf 0,3 m)
- Tageslichttransmissionsgrad der Verglasung $\geq 0,7$ (hohe Selektivität)
- Helle Innenoberflächen (d. h. Reflektionsgrade Wand 60 %, Decke 80 %, Boden 40 50 %)

Für eine optimale Tageslichtversorgung wird die Umsetzung von mindestens zwei der o. g. Maßnahmen empfohlen. Diese Empfehlung wird in Abstimmung mit der Architektur in der weiteren Planung berücksichtigt.

Darüber hinaus werden die Arbeitsplätze im Klassenzimmer vorwiegend in Fassadennähe angeordnet und Schrankzonen bzw. Bereiche ohne tageslichttechnische Anforderungen in der Raumtiefe. Bei dem außenliegenden Sonnenschutz kommt eine Jalousie mit Tageslicht-

lenkung zum Einsatz, welche eine Tageslichtversorgung des Raumes auch bei heruntergelassenem Sonnenschutz ermöglicht. Nicht zuletzt wird eine tageslicht- und präsenzabhängige Kunstlichtsteuerung installiert, welche eine maximale Ausnutzung des verfügbaren Tageslichts ermöglicht und den Strombedarf für Kunstlicht somit reduziert.

5.2.4 Entwicklung energieeffiziente Gebäudetechnik

Für den Neubau der Karl-Treutel-Schule sollte ein energieeffizientes Energiekonzept entwickelt werden, das auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten den Plusenergiestandard gewährleistet und zur Sicherstellung eines guten Raumklimas neben der Wärmeerzeugung auch Kühlung und Belüftung des Gebäudes umfasst.

Grundlage hierzu war zunächst auf baulicher Seite die Minimierung der Transmissionswärmeverluste über eine Ausführung im Passivhausstandard. Ferner wurde zur Minimierung der Lüftungswärmeverluste der Einsatz einer kontrollierten mechanischen Belüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung festgelegt.

Für die Findung eines effizienten Wärmeerzeugers und eines optimalen Lüftungskonzeptes sowie einem energiesparenden Kühlkonzept, das auch im Sommer für ein angenehmes Raumklima sorgt, wurden im Weiteren verschiedene Energiekonzepte verglichen.

Zunächst erfolgte ein Grobvergleich folgender wesentlicher Konzepte:

- Brennstoffkessel (Gas oder Holzpellets) in Verbindung mit einer aktiven Kühlung
- Wärmepumpen (Luft-Wasser, Wasser-Wasser), Kühlung im reversiblen Betrieb
- BHKW in Verbindung mit Gas-Spitzenkessel und aktiver Kühlung

Diese wurden zunächst qualitativ nach den Kriterien Investition, Betriebskosten, Umweltkennwerte (CO₂, Primärenergie), Platzbedarf, Komplexität und Bedien-/ Wartungsaufwand verglichen. Eine Übersicht über diesen Vergleich findet sich in Anlage 2

Parallel zu der Wärme- und Kälteversorgung wurde das Lüftungssystem (zentrales, dezentrales System) betrachtet. Dabei wurden folgende Varianten betrachtet:

- Variante 1: Zentrales Lüftungsgerät
 - Variante 1.1 Die Zuluft wird raumweise in die Klassen z. B. aus einer Abhangdecke im Flurbereich eingeblasen. Die Abluft wird über Überströmöffnungen aus den Klassen geführt und zentral (z. B. an den Sanitärkernen) abgesaugt.
 - Variante 1.2: Die Zu- und Abluftverteilung erfolgen beide raumweise aus z.B. Abhangdecken in den Flurbereichen
- Variante 2: dezentrale Lüftungsgeräte
Je Klassenraum werden dezentrale Lüftungsgeräte in die Fassade integriert, welche über eine Wärmerückgewinnung sowie ein Heizregister verfügen.

- Variante 0: dezentrale Zuluftversorgung, zentrale Abluftführung
 Eine Besonderheit stellt Variante 0 dar. Hierbei handelt es sich um ein neu entwickeltes System, welches Wärme-, Kälte- und Luftversorgung in einem System verbindet. Hierbei wird die Zuluft über raumweise Fassadengeräte eingebracht, die Abluft aber zentral abgesaugt. Der Abluft wird zentral über ein Kreislaufverbundsystem die Wärme entzogen. Soweit notwendig, erfolgt eine Restwärmeerzeugung z.B. über eine Abluftwärmepumpe. Die so erzeugte Wärme wird über ein Wasser-Glykol-Gemisch den dezentralen Zuluftgeräten zugeführt, an denen die Zuluft vor Einbringung in den Raum vorgewärmt wird.

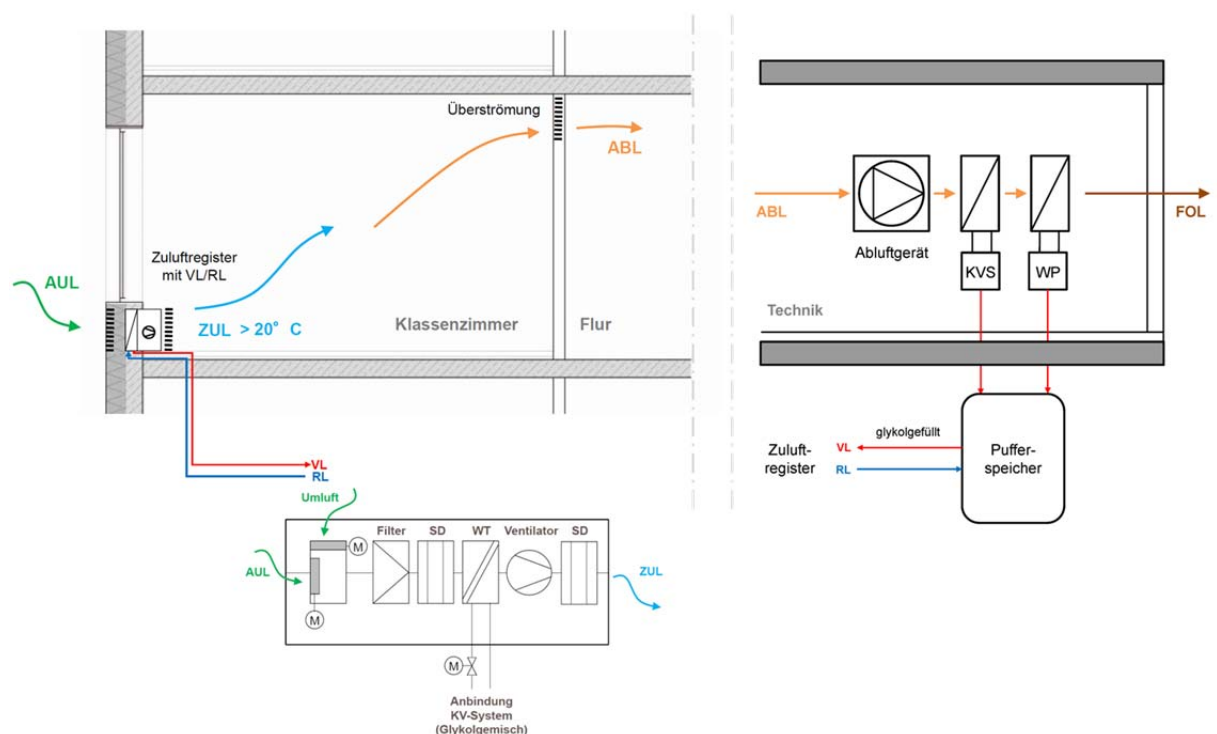


Abbildung 18: Systemschnitt Variante 0

Der Innovations- und Umweltcharakter dieses Systems wird im Wesentlichen durch folgende Punkte gekennzeichnet:

- Reduzierte Luftmengen: Durch die Nachströmung der Zuluft über WCs, Aula und Nebenräume kann durch die Doppelnutzung die Luftmenge gegenüber einem konventionellen Lüftungssystem reduziert werden.
- Ein System zum Heizen, Kühlen und Lüften: Durch die Erwärmung bzw. Kühlung der Zuluft kann der Heiz- und Kältebedarf vollständig gedeckt werden. Es entfallen zusätzliche Komponenten wie Heizkörper oder Kühlgeräte. Ferner kann durch den re-

versiblen Betrieb der Wärmepumpe auf eine zusätzliche Kältemaschine verzichtet werden.

- Individuelle Regelung von Luftmenge und Temperatur: Die dezentralen Lüftungsgeräte ermöglichen eine raumweise Regelung nach Anforderungen der Nutzer.
- Umluftbetrieb bei Nichtnutzung: In nicht genutzten Räumen werden die Lüftungswärmeverluste und damit der Heizwärmebedarf reduziert, in dem über eine Umluftklappe von Zuluft- auf Umluftbetrieb umgeschaltet wird.
- Geringe Stromaufnahme: Durch den Entfall eines Zuluftkanalsystem, reduziert sich der Ventilatorstrombedarf.
- Verbesserung sommerliche Behaglichkeit: Im Sommer kann über die Zuluft eine Nachtauskühlung erfolgen. Hierdurch verbessert sich einerseits das Raumklima, andererseits reduziert sich der Strombedarf für die aktive Kühlung über den reversiblen WP-Betrieb.
- Reduzierung des Baukörpers: Durch den Entfall der Zuluftverteilung entfallen Schachtflächen sowie Technikflächen für die Aufstellung eines zentralen Lüftungsgerätes. Ferner kann das Gebäude mit einer reduzierten Gebäudehöhe ausgeführt werden.
- Wärmespeicherung: Die, der Abluft entnommene Wärme, wird, wenn sie nicht direkt verwendet werden kann, in einem Pufferspeicher zwischengespeichert, um sie später (z. B. nachts) einzusetzen.

Für alle Systeme wurden in einer Vorprüfung qualitativ Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen. Die Systemschnitte und eine Aufstellung der Vor- und Nachteile der einzelnen Lüftungsvarianten finden sich in Anlage 3.

Nach diesen Vorbewertungen der Heiz- und Lüftungssysteme wurde ein detaillierter zweistufiger Systemvergleich durchgeführt.

In der ersten Stufe wurden anhand eines Gas-Brennwertkessels als Referenzwärmeerzeuger in Verbindung mit z. T. adiabatischen und z. T. aktiven Kälte die „klassischen“ Lüftungskonzepte Variante 1.1, Variante 1.2 und Variante 2 verglichen.

Dabei wurde einerseits ein Wirtschaftlichkeitsvergleich unter Einbezug von kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten, andererseits ein Vergleich der Umweltkennwerte CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf durchgeführt. In beiden Vergleichen stellte sich die Variante 1.1 mit raumweiser Zuluft einbringung und zentraler Abluftabsaugung als günstigste Variante dar. Daher wurde diese als Grundlage für die zweite Stufe des Systemvergleichs weiter betrachtet.

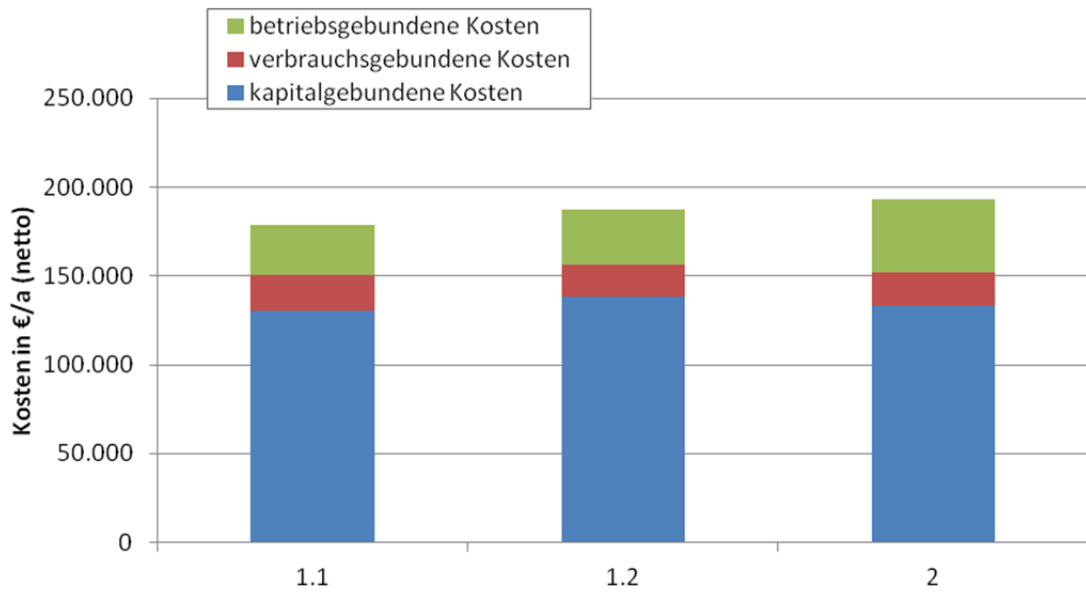


Abbildung 19: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Lüftungsvarianten

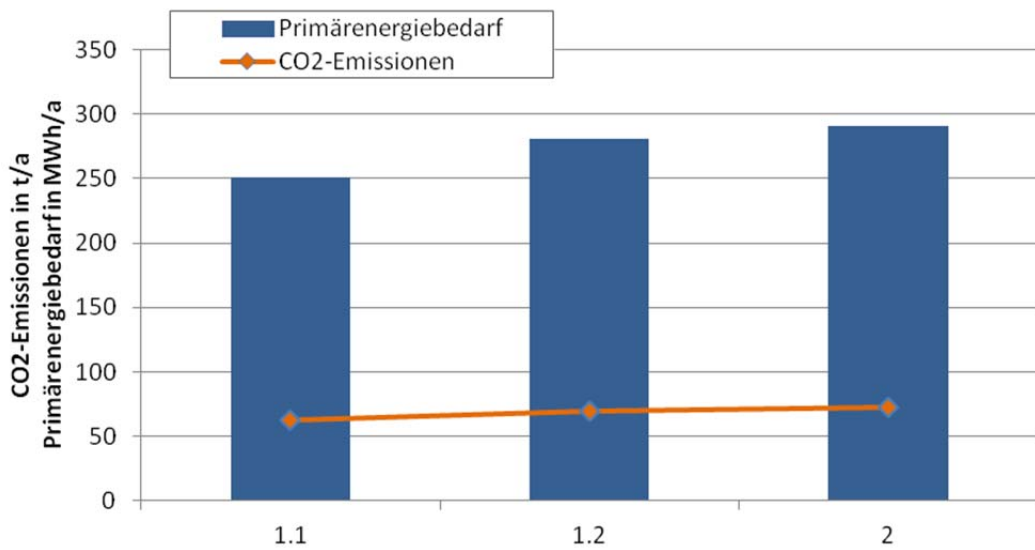


Abbildung 20: Vergleich Umweltkennwerte der Lüftungsvarianten

Eine detaillierte Aufstellung des Systemvergleichs mit Darstellung der Eingangsparameter und der Ergebnisse findet sich in Anlage 4.

In der Stufe 2 wurden verschiedenen Wärme- und Kälteerzeugungsvarianten auf Basis der Lüftungsvariante 1.1 sowie als Gesamtsystem die vorbeschriebene Variante 0 bzgl. Wirtschaftlichkeit und Umweltkennwerten verglichen:

Variante	Wärmeerzeugung	Kälteerzeugung	Lüftung
A-1.1	Gas-Brennwertkessel	40 % Adiabatik, 60 % aktive Kälte	Variante 1.1
B-1.1	Holzpelletkessel	40 % Adiabatik, 60 % aktive Kälte	Variante 1.1
C-1.1	Luft-Wasser-Wärmepumpe	reversibler Betrieb Wärmepumpe	Variante 1.1
D-1.1	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	reversibler Betrieb Wärmepumpe	Variante 1.1
E-1.1	Grundlast: BHKW Spitzenlast: Gas-BW	40 % Adiabatik, 60 % aktive Kälte	Variante 1.1
F-0	Abluft-Wärmepumpe	reversibler Betrieb Wärmepumpe	Variante 0

Tabelle 1: Beschreibung der betrachteten Varianten

Wie in der Stufe 1 wurden folgende Kriterien der verschiedenen Konzepte verglichen:

Für die Ermittlung der **verbrauchsgebundenen Kosten** wurden zunächst die Bedarfswerte für Wärme und Strom ermittelt. Die Energiepreise für Strom und Gas wurden auf Basis der Abrechnungen für die bestehende Schule bei der Gemeinde Kelsterbach abgefragt.

Bei den **kapitalgebundenen Kosten** wurden neben den Investitionen für die Anlagentechnik auch bauliche Unterschiede der Varianten berücksichtigt. Dabei gingen in die Varianten A-1.1 bis E-1.1 bauliche Mehrkosten für die zentrale Lüftung (mehr Geschosshöhe für Verteilung, Schacht- und Technikflächen) und für die Variante F-0 bauliche Mehrkosten für Fassadendurchdringungen und den Platzbedarf der dezentralen Geräte ein.

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten die Wartungskosten, die nach AMEV³ als Prozentsatz des Invests ermittelt wurden.

³ [AMEV2006] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden Vertragsmuster, Bestandsliste, Leistungskatalog, Berlin 2006

Für die betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten wurde zum Wirtschaftlichkeitsvergleich ein Mittelwert über die nächsten 15 Jahre mit einer Preissteigerung von 3% ermittelt.

Mit diesen Randbedingungen ergibt sich, dass **Variante F-0** insbesondere aufgrund der deutlich niedrigsten Investitionen das wirtschaftlichste Konzept darstellt.

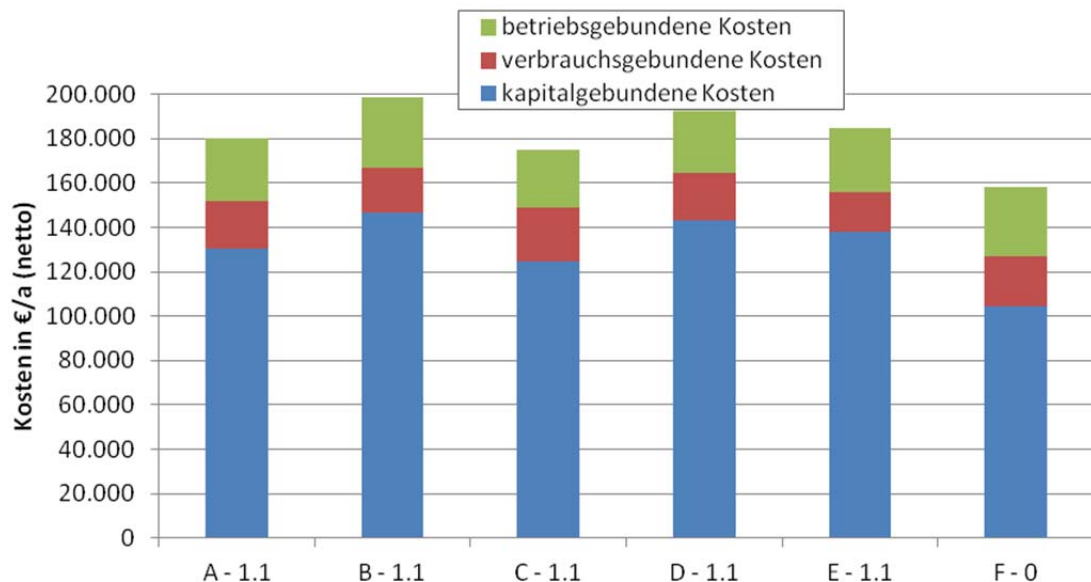


Abbildung 21: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonzepte

Für den Vergleich der Umweltkennwerte CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf wurden unter Berücksichtigung der geplanten PV-Anlage folgende durch das ZAE gem. GEMIS 4.95 ermittelte Faktoren angesetzt:

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent [g _{CO2} /kWh _{End}]	Primärenergiefaktor [kWh _{Primär} /kWh _{End}]
Strom-Mix-Endverbraucher Strombezug	564	1,92
Verdrängungsstrommix Stromeinspeisung (BHKW)	913	2,59
Gas	250	1,15
Pellets	27	0,1

Tabelle 2: Vergleich der Energieträger

Mit diesen Kennwerten ergibt sich als Variante mit den niedrigsten Umweltkennwerten die Versorgung über Pellets. Dem steht als ungünstigste Variante die Gasversorgung gegenüber. Bei den Wärmepumpenvarianten sticht insbesondere die Luft-Luft-Wärmepumpe mit den höchsten Werten heraus.

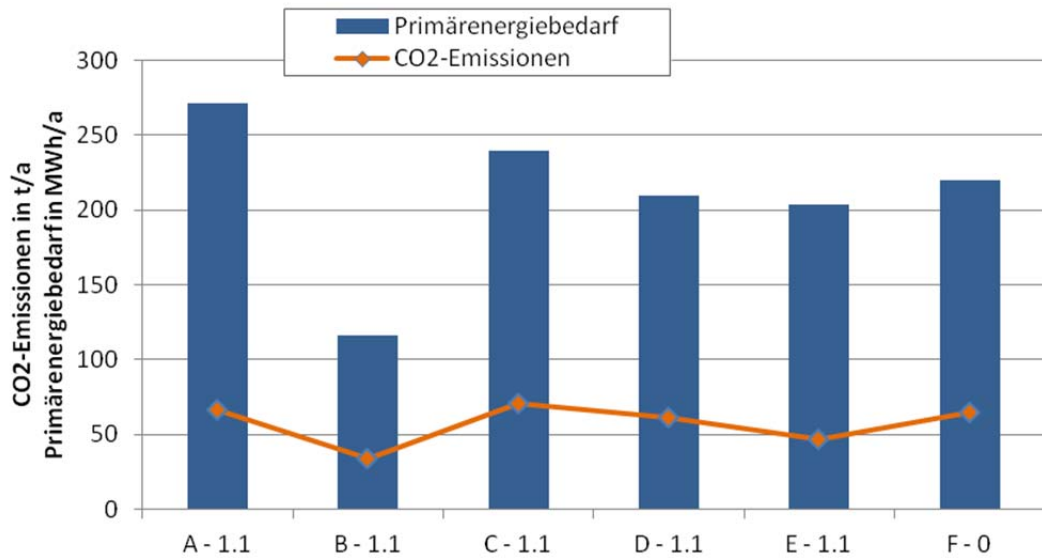


Abbildung 22: Vergleich Umweltkennwerte der Gesamtkonzepte

Da die Karl-Treutel-Schule als Plus-Energie-Gebäude umgesetzt werden soll, wurde im nächsten Schritt der Einsatz einer Photovoltaikanlage zur Deckung des anfallenden Primärenergiebedarfs der CO₂-Emissionen in die Betrachtung mit einbezogen. Hierbei wurde je Variante eine PV-Anlage berücksichtigt, die so ausgelegt wird, dass das Gebäude mindestens auf den Null-Energie-Standard gebracht wird.

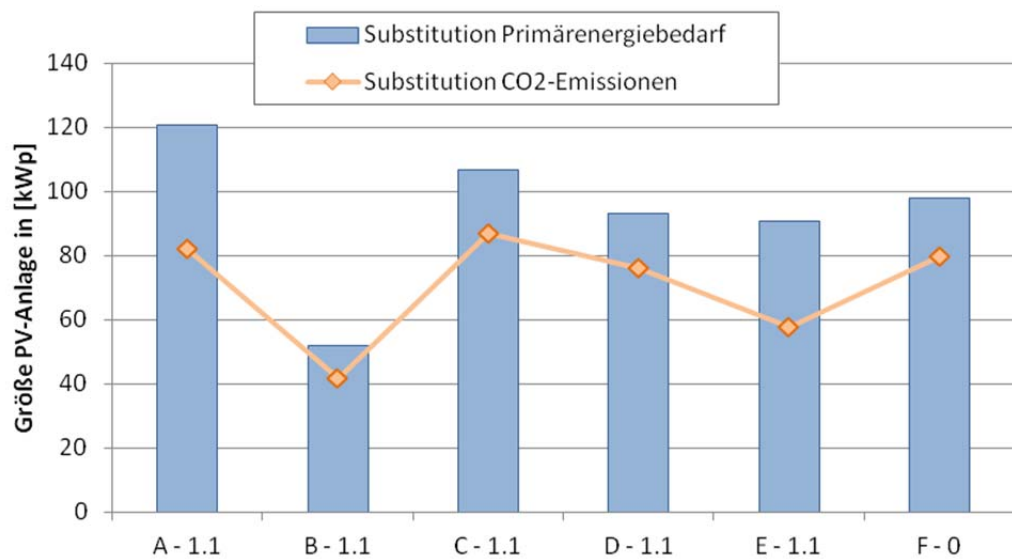


Abbildung 23: Vergleich Einsatz PV-Anlage bei den Gesamtkonzepten

Dabei zeigt sich als maßgebende Größe der Primärenergiebedarf. Um diesen über die Erzeugung von PV-Strom zu decken sind Anlagengrößen zwischen ca. 120 (Variante A - 1.1) und 50 (Variante B-1.1) kWp notwendig.

Für den nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsvergleich inkl. einer Photovoltaikanlage wurde ein Eigennutzungsanteil des PV-Stroms von 35% berücksichtigt, dies entspricht einer Direktnutzung ohne Batteriespeicherung.

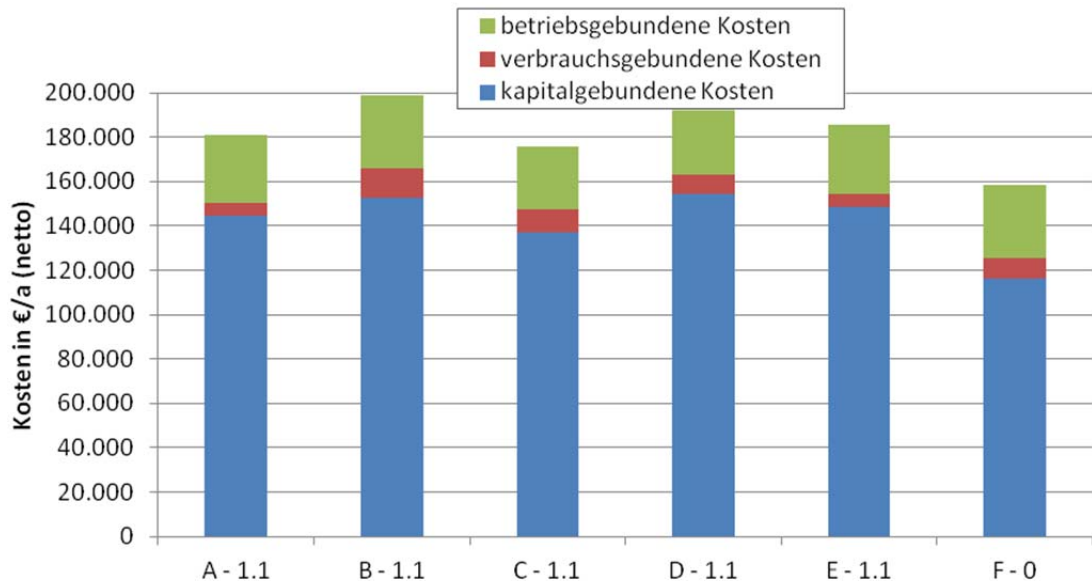


Abbildung 24: Vergleich Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonzepte unter Berücksichtigung einer PV-Anlage

Der Vergleich zeigt, dass sich die PV-Anlage über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren durch die Stromeinsparung bzw. Einspeisevergütung nahezu amortisieren und somit keinen Einfluss auf den wirtschaftlichen Systemvergleich haben.

Somit ist bei einem vereinheitlichten Null-Energie-Standard, bei dem alle Varianten eine gleichermaßen minimierte Umweltbelastung aufweisen, nach wie vor die Variante F-0 am wirtschaftlichsten. Diese wird somit zur weiteren Planung und Umsetzung festgelegt.

Eine detaillierte Aufstellung des Systemvergleichs mit Darstellung der Eingangsparameter und der Ergebnisse findet sich in Anlage 5.

5.2.5 Intelligente Gebäudetechnik

Ein selbstlernendes Gebäude, das sich den Nutzerbedürfnissen anpasst, erfordert eine aufwendige Regelungstechnik und stellt hohe Anforderungen an die Programmierung der GLT und die spätere Einregelung der Anlagen. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen bei anderen Schulen und der angestrebten Alltagstauglichkeit des Gebäudes wird bei der KTS zunächst eine „low tec“ Lösung angestrebt, die einen stabilen Betrieb und wenig Optimierungsaufwand im Monitoring verursacht.

Für eine intelligente Regelung der Gebäudetechnik werden hierzu folgende Punkte umgesetzt:

- Präsenzgesteuerter Zuluft- und Umluftbetrieb
Durch eine einfache, präsenzgesteuerte Regelung (z. B. über Bewegungsmelder oder CO₂-Messung) wird ein effizienter und bedarfsgesteuerter Betrieb der Lüftungsanlage im Zuluft- oder Umluftmodus sichergestellt. Eine zusätzliche Einflussnahme durch den Nutzer kann zusätzlich über Taster ermöglicht werden.
- Zeitprogramm mit Stundenplan
Neben der präsenzgesteuerten Regelung können auch Zeitprogramme auf Basis von Stundenplänen in der Regelung hinterlegt und individuell eingestellt werden.
- Effizientes Speichermanagement
Ein intelligentes Speichermanagement sorgt für die Zwischenpufferung von Wärme (Winterbetrieb) und Kälte (Sommerbetrieb), um diese bei Bedarf zeitlich verzögert nutzen zu können. Hierdurch wird die Laufzeit der Wärmepumpe effektiv reduziert und so einerseits Strom zum Betrieb der WP eingespart und andererseits die Lebensdauer des Geräts verlängert.
- Nutzer- und wartungsfreundliche Bedienung
Sowohl die Bedienung des Gesamtsystems durch den Hausmeister, als auch die raumweise Bedienung durch den Nutzer wird durch die Reduktion der Bedienelemente auf das Notwendigste nutzerfreundlich ausgeführt. Durch den Einsatz von möglichst wenigen mechanischen und standardisierten Komponenten wird die Wartungsfreundlichkeit erhöht.
- Selbstlernendes System
Ein selbstlernendes System z. B. durch die Kopplung an Wetterdaten und – vorhersagen wird zunächst nicht umgesetzt, kann aber jederzeit einfach nachgerüstet werden.

- Störmeldungen
Die übergeordnete Regelung verfügt über ein Störmeldesystem, welches an den Hausmeister z. B. an dessen Arbeitsplatz oder auch auf ein mobiles Endgerät Störmeldungen sofort zusendet, sodass jederzeit kurzfristig reagiert werden kann.
- Anpassung Parameter
Eine Anpassung der Regelparameter z. B. auf Basis der Ergebnisse aus dem Monitoring der ersten Betriebsjahre ist jederzeit flexibel möglich.

5.2.6 Entwicklung Speicherkonzepte

Das Konzept der Netzdienlichkeit wurde in Abschnitt 5.2.1 erläutert. Zur sachgerechten Dimensionierung muss dem Bedarfsprofil des Gebäudes das Stromangebot aus der PV-Anlage gegenübergestellt werden. Durch die gedankliche Einführung von Speichern verschiedener Dimensionen und die mit der Netzdienlichkeit zusammenhängenden Anforderungen („Netz benötigt Strom“ bzw. „Netz möchte Strom abgeben“) kann die Dynamik des Systems studiert und anhand von Kenngrößen (z. B. Eigenverbrauch PV-Strom, Aufnahme vom bzw. Abgabe an das Stromnetz, wenn opportun) bewertet werden.

Das Lastprofil des Gebäudes kann in der vorliegenden Förderphase lediglich grob angenähert werden, da eine thermisch-dynamische simulative Abbildung des energetischen Gebäudeverhaltens und seiner Lastkurven für Heizen und Kühlen erst für die zweite Förderphase vorgesehen ist, da hier erst der notwendige Detaillierungsgrad vorliegt. Basierend auf der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft (hier für den Heizfall fix mit 20 °C angenommen) und Außenluft (Klimadaten des verwendeten Testreferenzjahres 12) sowie den aus der Primärenergiebilanz bekannten Bedarfen (welche neben den Nutzern in erster Näherung als interne Wärmequellen wirksam sind) können jedoch für erste Untersuchungen ein Elektrizitäts- und ein Wärme-Lastprofil des Gesamtgebäudes angenähert werden. Zu diesem Zeitpunkt wird von der Dynamik des Kälte- und des Warmwasserbedarfs abgesehen, da diese mit einfachen Mitteln nicht abschätzbar bzw. noch nicht hinreichend bekannt ist.

Das Bedarfsprofil wird in einem Excel-basierten Berechnungswerkzeug dem Stromangebot der Photovoltaikanlage (ermittelt basierend auf den Strahlungsdaten des verwendeten Testreferenzjahres 12) gegenübergestellt. Dabei ist die Photovoltaikanlage für diese Untersuchungen zunächst so dimensioniert, dass ihr Jahresertrag dem Jahresbedarf des Gebäudes entspricht. Basierend auf zusätzlich eingeführten Speichertechnologien (im Excel-Berechnungswerkzeug abgebildet als aus der Bilanzierung resultierende „Füllstände“ von Akkumulatoren bzw. als perfekt durchmischt angesehenen thermischen Speichern) und Nebenanforderungen, welche aus der gewünschten Netzdienlichkeit resultieren, kann in dieser Excel-basierten „Stunde-zu-Stunde“-Simulation das dynamische Verhalten des Systems studiert werden. Unter anderem gelten dafür folgende Regeln:

- Decke zunächst alle Online-Bedarfe über Photovoltaik (PV)
- Besteht danach ein Überschuss: Lade den Akkumulator

-
- Besteht danach ein Überschuss: Lade den thermischen Speicher über Wärmepumpe (WP)
 - Besteht danach ein Überschuss: Abgabe ans Stromnetz
 - Besteht ein Defizit:
 - Decke das Lastprofil ohne Heizen zunächst über PV, dann den Akkumulator
 - Decke das Lastprofil Heizen zunächst über PV / WP (sofern hinreichende Leistung verfügbar nach Abdeckung des Lastprofils ohne Heizen), dann aus dem thermischen Speicher
 - Ist der thermische Speicher leer / nicht ausreichend geladen, decke den verbleibenden Teil aus dem Akkumulator über WP, sofern teilweise oder ganz ausreichend.
 - Besteht danach ein Defizit: Aufnahme des übrigen Leistungsbedarfs aus dem Stromnetz

 - „Will“ das Stromnetz Überschüsse aufnehmen:
 - Entnimm für das Gebäude möglichst keine Elektrizität aus dem Akkumulator.
 - Entnimm für das Gebäude Wärme aus dem thermischen Speicher, sofern erforderlich.
 - Entlade den Akkumulator komplett bzw. mit Vorfaktor (z. B. 0,25) auf verbleibende Kapazität an das Stromnetz.
 - Entlade den thermischen Speicher komplett bzw. mit Vorfaktor (z. B. 0,20) auf verbleibende Kapazität an das Gebäude.

 - „Will“ das Stromnetz Überschüsse abgeben:
 - Entnimm für das Gebäude keine Elektrizität aus dem Akkumulator, sondern decke entsprechenden Bedarf durch Strom aus dem Stromnetz
 - Entnimm für das Gebäude keine Wärme aus dem thermischen Speicher, sondern decke den entsprechenden Bedarf durch Strom aus dem Stromnetz über WP
 - Lade den Akkumulator über Netzstrom voll bzw. mit Vorfaktor (z. B. 0,25) auf aufnehmbare Kapazität.
 - Lade den thermischen Speicher über Netzstrom / WP voll bzw. mit Vorfaktor (z. B. 0,20) auf aufnehmbare Kapazität.

Damit der Akkumulator bzw. Speicher bei einer Anforderung des Stromnetzes nicht innerhalb einer Stunde den gesamten möglichen Energieinhalt aufnimmt bzw. im Falle des Akkumulators auch abgibt, wird die Aufnahme bzw. Abgabe mit einem Vorfaktor beaufschlagt, welcher sich auf die Nennkapazität bezieht (Beispiel: Akkumulator mit Nennkapazität 10 kWh; Vorfaktor 0,25; die Vorschrift lautet dann: „Lade / entlade den Akku pro Stunde gemäß der aktuell verfügbaren Energiemenge, jedoch maximal mit 25 % der Nennkapazität“).

Zunächst werden die Auswirkungen einer Variation der Akkumulatorkapazität bei nicht vorhandenem thermischen Speicher untersucht. Die Ergebnisse dieser Variation für den prozentualen Eigenverbrauchsanteil lassen sich Abbildung [X] entnehmen.

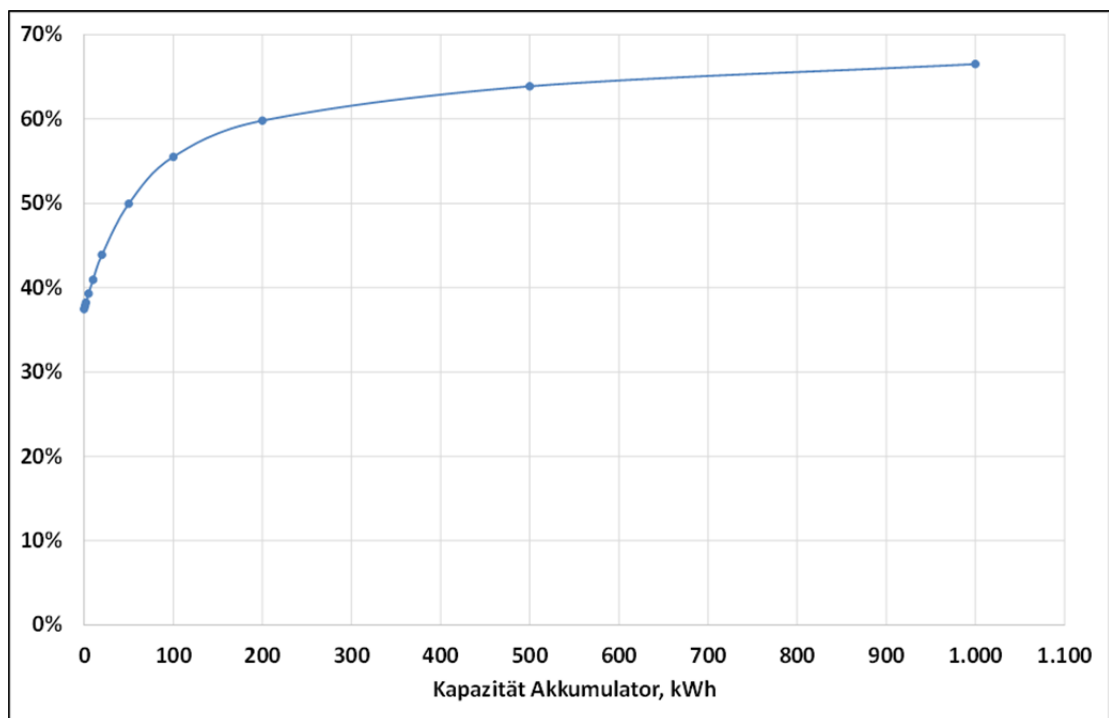


Abbildung 26: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei Variation der Akkumulatorkapazität (kein thermischer Speicher)

Der Eigenverbrauchsanteil steigt zunächst mit der Akkumulatorkapazität rasch an; die Kurve flacht aber ab einem Wert von ca. 50 kWh deutlich ab.

Nachfolgend werden die Auswirkungen einer Variation des Speicherinhalts bei nicht vorhandenem Akkumulator untersucht. Die Ergebnisse dieser Variation für den prozentualen Eigenverbrauchsanteil lassen sich Abbildung 27 entnehmen.

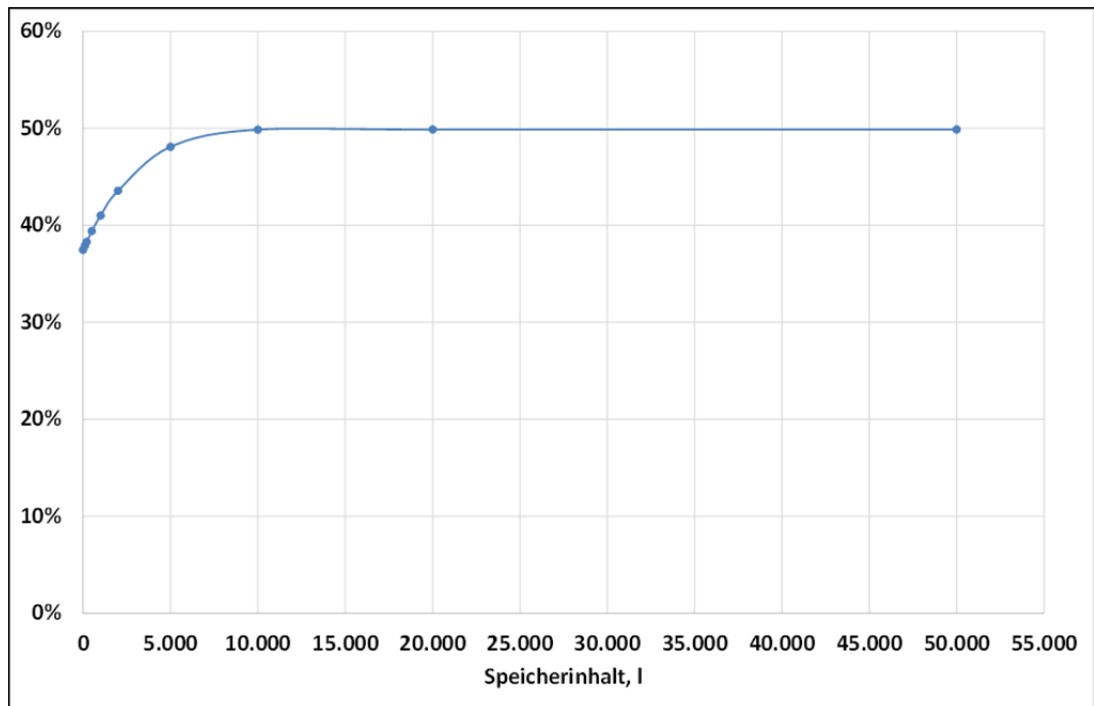


Abbildung 27: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei Variation des Speicherinhalts (kein Akkumulator)

Es ist erkennbar, dass der Eigenverbrauchsanteil zunächst mit der Speicherkapazität rasch ansteigt; die Kurve flacht aber ab einem Wert von ca. 3.000 l deutlich ab und steigt ab einem Wert von ca. 10.000 l nicht mehr weiter an.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen werden nun Kombinationen beider Speicherarten untersucht. Hierbei wurde der Einfachheit von einer Kapazitätskopplung ausgegangen (Speicherinhalt 100 / 200 l pro kWh Akkumulatorkapazität). Die Ergebnisse sind der folgenden Grafik zu entnehmen; die Verlaufskurve ohne thermischen Speicher ist zu Vergleichszwecken ebenfalls aufgeführt.

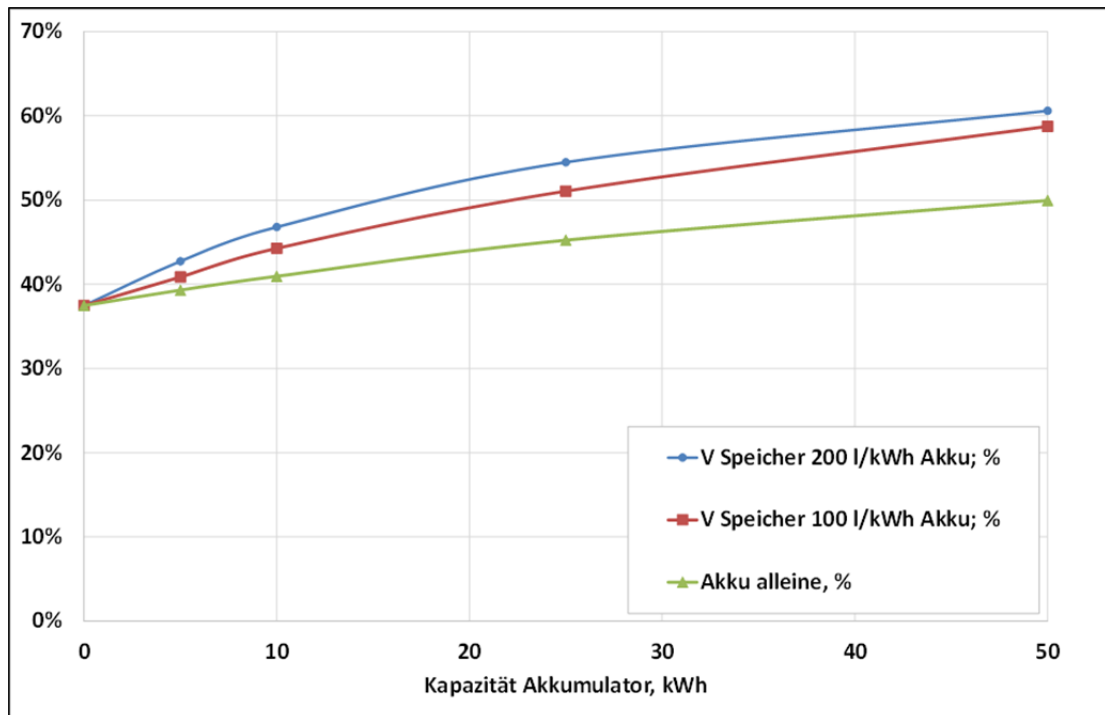


Abbildung 28: Prozentualer Eigenverbrauchsanteil bei verschiedenen Speichergrößen und -kombinationen

Als sinnvoll könnte sich z. B. eine Kombination 50 kWh / 5.000 l erweisen. Damit ließe sich der prozentuale Eigenverbrauchsanteil signifikant von ca. 37,5 % auf ca. 58,7 % steigern. Allerdings muss die Systemwahl vor dem Hintergrund der jeweiligen Kosten insbesondere für den Akkumulator bzw. die entsprechende Systemlösung (Hausspeicher) erfolgen. Bei den derzeitigen Kosten solcher Anlagen und resultierenden Preisen pro gespeicherter Kilowattstunde von ca. 20 ... 30 ct wird sich derzeit eine Wirtschaftlichkeit vermutlich nur schwer erzielen lassen.

Die nun folgende Analyse bezieht sich auf die Netzdienlichkeit. Ausgewiesen werden die Energiemengen, welche explizit über die Anforderungen „Stromnetz benötigt Strom“ bzw. „Stromnetz möchte Strom abgeben“ zwischen Stromnetz und Gebäude ausgetauscht werden und damit über die ohnehin aufgrund der Dynamik des Gesamtsystems auftretenden Energiemengen (Ausgleich zwischen dem Angebot der PV-Anlage und dem Bedarf des Systems aus Gebäude und Speichern) hinausgehen. Zunächst werden diese Energiemengen für eine reine Akkumulatorlösung, d. h. ohne thermischen Speicher, ausgewiesen. Der oben beschriebene Vorfaktor, welcher verhindert, dass der Akkumulator bei einer Anforderung des Stromnetzes nicht innerhalb einer Stunde den gesamten möglichen Energieinhalt aufnimmt bzw. abgibt, ist zu 0,25 gewählt, d. h. der Akkumulator kann pro Stunde maximal mit 25 % seiner Nennkapazität be- bzw. entladen werden. Der folgenden Abbildung ist zu entnehmen, dass erhebliche Energiemengen umgesetzt werden – das öffentliche Stromnetz

nutzt den Akkumulator intensiv im Sinne der Netzdienlichkeit aus. Zum Beispiel wird hier der Akkumulator bei einer Kapazität von 50 kWh ca. 290 / 468 Mal pro Jahr der Energiemenge nach vollgeladen / entladen. Bei kleineren Kapazitäten wird der Einfluss des Gebäudes deutlich – es wird eine deutlich kleinere Energiemenge ans Stromnetz abgegeben als von ihm aufgenommen; mit zunehmender Kapazität wird dieser Einfluss nivelliert (siehe Abbildungen).

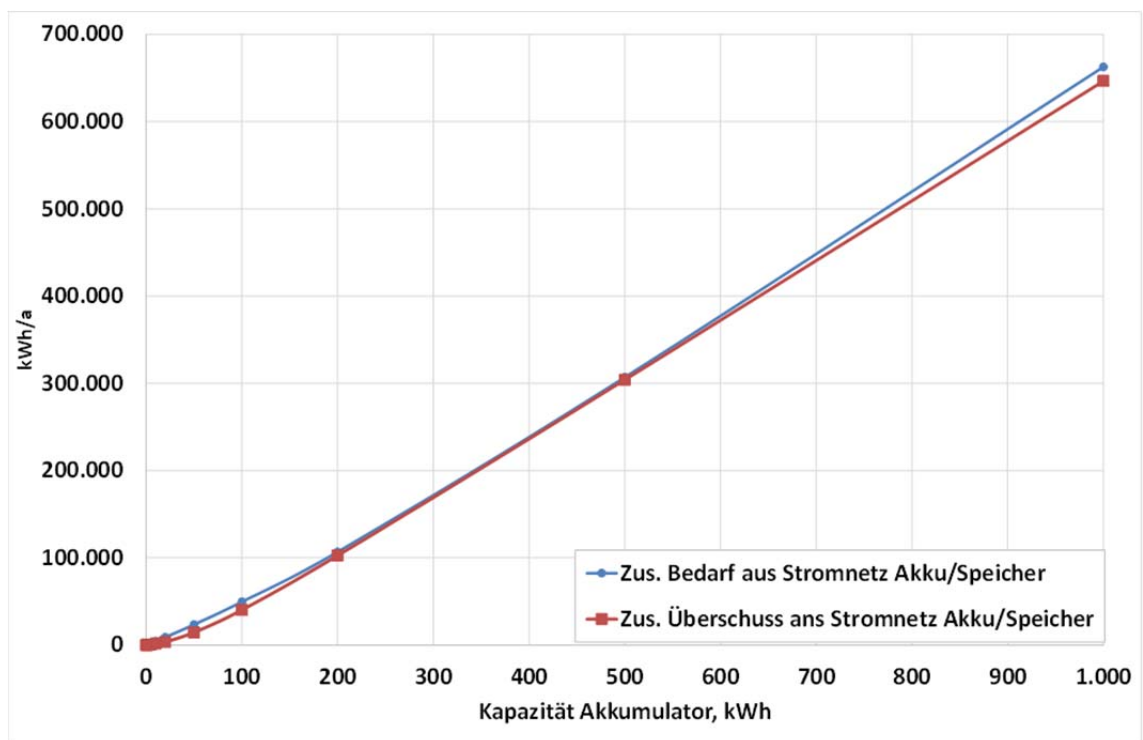


Abbildung 29: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur Akkumulator)

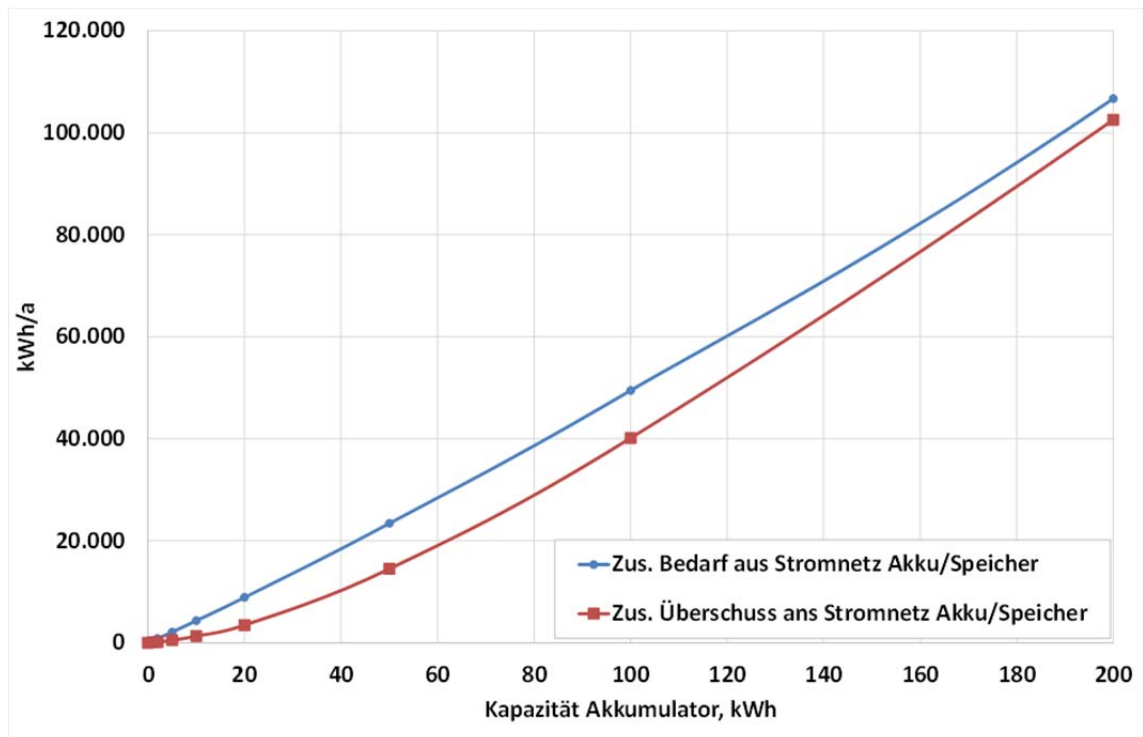


Abbildung 30: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur Akkumulator); Detail

Analog werden nun die aus der Netzdienlichkeit zusätzlich resultierenden zwischen Netz und Gebäude ausgetauschten Energiemengen ausgewiesen, wenn lediglich thermische Speicher und keine Akkumulatoren vorgesehen werden. Trivialerweise erfolgt keine Abgabe an das Stromnetz, da der thermische Speicher nur Wärmeüberschüsse abgeben könnte. Da der Speicher also vom Stromnetz nur Energie aufnehmen kann (über die strombetriebene Wärmepumpe), ist und bleibt er im Wesentlichen durchgeladen, solange keine Wärmeanforderung aus dem Gebäude kommt. Damit geht auch der Graph der zusätzlich aus dem Stromnetz aufgenommenen Energiemenge über dem Speichervolumen nach einem zunächst steilen Anstieg in einen flachen Verlauf über – zusätzliches Speichervolumen wird offensichtlich ab einem gewissen Punkt nur einmal erwärmt und dann warm gehalten, aber nicht mehr für die Beheizung des Gebäudes nutzbar gemacht (siehe Abbildungen).

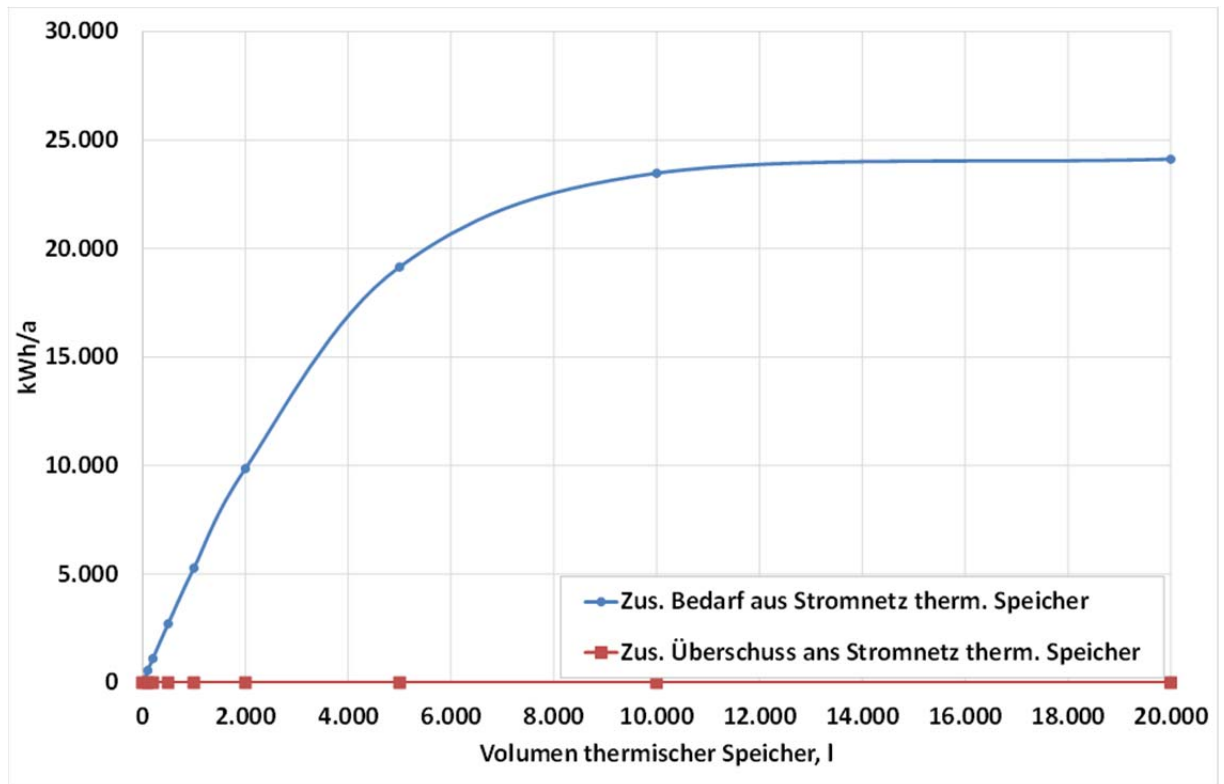


Abbildung 31: Zusätzlicher Austausch mit dem Stromnetz, wenn opportun gemäß Tagesprofil zur Netzdienlichkeit (nur thermischer Speicher)

Die Untersuchungen zeigen, dass Speichersysteme eine Steigerung des Eigenverbrauchsanteils um über 20 Prozentpunkte ermöglichen und darüber hinaus in erheblichem Maße netzdienlich sein können. Wirtschaftlich interessant dürften jedoch elektrische Speichersysteme (auf Akkumulatoren basierende Hausspeicher) jedoch erst werden, wenn die Preise pro gespeicherter Kilowattstunde sich nochmals halbieren und Netzbetreiber für das wie oben beschriebene netzdienliche Verhalten eine Vergütung zahlen, welche bei mehreren Eurocent je abgegebene bzw. abgerufene kWh liegt.

Die Dynamik des Gesamtsystems soll durch eine Verfeinerung der Analyse (thermisch-dynamisches Gebäude-Simulationsmodell; Berücksichtigung auch des Kälte- und Warmwasserbedarfs; realistischere Abbildung des Netzdienlichkeitsgedankens, welche auch der Fluktuation des Energieangebots aus regenerativen Energien Rechnung trägt etc.) in der vorgesehenen zweiten Förderphase genauer untersucht werden.

5.2.7 Einsatz Photovoltaik

Zum Stichtag 28.02.2017 beträgt laut Bundesnetzagentur die installierte Leistung aller geförderten PV-Anlagen 41,463 GWp. Allein im Februar 2017 konnte ein Zuwachs von 122,505 MWp verzeichnet werden. Die Erzeugung von elektrischer Energie mittels PV-Anlagen ist aber nur eine Seite der Medaille, der Verbrauch dieser Energie die andere. Der sichere Betrieb von Stromerzeugungssystemen kann nur gewährleistet werden, wenn sich Erzeugung und Abnahme in etwa die Waage halten. Ein Ungleichgewicht hierbei kann zu Abweichungen von der Soll-Frequenz (50 Hz) im Stromversorgungsnetz führen und damit die Systemstabilität massiv gefährden. Die Energieerzeugung mittels PV-Anlagen ist aber direkt abhängig von der solaren Einstrahlung, die über den Tag verteilt sehr unterschiedlich ist. Es ist daher ersichtlich, dass die PV-Anlagen zur Mittagszeit in den Sommermonaten deutlich mehr Strom erzeugen als verbrauchen wird. Im Stromverbundnetz führt dies zu starken Schwankungen, die auf verschiedene Arten ausgesteuert werden müssen; unter anderem durch die Reduzierung der PV-Einspeisung. Mit der vermehrten Zunahme an PV-Anlagen wird ein gegensteuern vermehrt schwieriger. Dies macht neue Entwicklung erforderlich, wobei momentan der Ausbau von Speicherlösungen forciert wird. Mit Einführung der KfW-Förderung für solche Speicher (im Mai 2013) wird nun auch, wie bei PV-Anlagen mit der Einspeisevergütung, der Einsatz von Speichern vorangetrieben. Die Förderung von Speichern zielt in erster Linie auf eine Netzentlastung, als Nebeneffekt stellt sich aber auch zwangsläufig eine Erhöhung der Eigenverbrauchsquote ein.

Durch starke Reduzierung der Einspeisevergütung der erzeugten regenerativen Energien in den vergangenen Jahren, erfolgt die Auslegung einer PV-Anlage unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten so, dass ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil erzielt wird. Als weiterer Gesichtspunkt ist hierbei die Einsparung von CO₂-Emissionen zu betrachten. Dies wird durch geringeren Bezug von Energie aus dem Versorgungsnetz erreicht.

Eine Kombination von PV-Systemen mit Batteriespeichern ermöglicht es, einen höheren Anteil der erzeugten PV-Energie vor Ort zu nutzen (vgl. genauere Ausführungen hierzu in Abschnitt 5.2.6)

Inwieweit ein wirtschaftlicher Betrieb von Batteriesystemen möglich ist, ist im weiteren Planungsprozess zu betrachten. Hinzu kommt, dass auch mit Blick auf zukünftige Entscheidungen die stetige Weiterentwicklung der Speichertechnologien zu berücksichtigen ist..

Es ist nun vorgesehen auf dem Neubau der Schule eine PV-Anlage zu errichten. Unter Ausnutzung der kompletten Dachfläche könnte, je nach gewählter Aufstellungsart, eine PV-Anlage mit einer Leistung von 278 kWp respektive 457kWp errichtet werden. Die optimale Neigung zu installierender PV-Module am Standort in Kelsterbach beträgt 35°. Hier erreichen die PV-Module ihren besten Wirkungsgrad und arbeiten am effizientesten. Dieser „spezifische Ertrag“ wird in kWh/kWp angegeben. Durch das gegebene Flachdach ist hierbei allerdings eine Aufständigung der Module nötig. Um eine Verschattung einzelner Modul-

reihen gegeneinander zu vermeiden muss dabei ein Gestellabstand von ca. 0,8m eingehalten werden.

Aus optischer und architektonischer Sicht ist außerdem eine flache Belegung des Daches (Neigung max. 5°, Module gegeneinander aufgestellt) angedacht. Die hierbei entstehende Verminderung des spezifischen Ertrages, durch schlechteren Neigungswinkel, wird durch die Möglichkeit einer flächendeckenderen Belegung hinsichtlich des erzielbaren Ertrages kompensiert. Es ist kein Gestellabstand zwischen den Modulreihen notwendig. Das Flachdach kann mit einer größeren Anzahl an Modulen belegt werden. Mit diesen beiden Auslegungen ist mit einem geschätzten Ertrag von 278.000 kWh/a (bei Neigung 35°, nötiger Gestellabstand ca. 0,8m) bzw. 435.200 kWh/a (bei Neigung 5°, kein Gestellabstand, mehr Module) zu rechnen.

Ein Vergleich der beiden PV-Varianten ist in Anlage 8 dargestellt.

Eine Montage der zur Energieerzeugung notwendigen Wechselrichter sollte idealerweise auf dem Dach angedacht werden. Im Brandfall kann so die PV-Anlage umgehend freigeschalten werden. Die Gefahr von unter Spannung stehenden Leitungen, welche in das Gebäude führen, besteht somit nicht. Hierzu verringert sich die zur Verfügung stehende Dachfläche noch etwas. Alternativ besteht die Möglichkeit zur Installation eines DC-Freischalers mit Fernauslösung für die Feuerwehr im Bereich der Gebäudehauptsicherung, zum Freischalten der DC-Hauptleitung.

Zudem wäre eine Erweiterung der PV-Anlage auf dem Dach der neuen Sporthalle denkbar. Die zu erwartende Energiemenge überschreitet den Eigenbedarf des Gebäudes um ein Vielfaches, so dass hier konkret im Sinne der Netzdienlichkeit auch über eine Speicheranlage nachzudenken ist. Zu Art und Ausführung eines solchen Stromspeichers sind jedoch noch eingehende Untersuchungen, insbesondere zu Eigenbedarf, Lastverlauf und auch Einspeisesituation ins angeschlossene Verbundnetz notwendig.

5.2.8 Erzielbare Primärenergiebilanz, Endenergiebedarfe und Erreichbarkeit des Plusenergieziels

Die erzielbare Primärenergiebilanz stellt eines der wichtigsten Planungswerkzeuge zur planungsbegleitenden Qualitätssicherung hinsichtlich des baulich-technischen Energiekonzepts dar. Sie ermöglicht bei Planungsänderungen die Ermittlung der durch diese Änderungen hervorgerufenen Auswirkungen auf die (primär-) energetische Qualität des Konzepts und mündet durch die Extraktion der verwendeten energierelevanten Parameter in das energetische Pflichtenheft, welches den Planungsbeteiligten in übersichtlicher Form die in ihrem jeweiligen Gewerk zu realisierenden Zielwerte auflistet.

Weiterhin kann anhand der erzielbaren Primärenergiebilanz ermittelt werden, inwiefern das in Abschnitt 5.2.1 spezifizierte Plusenergie-Ziel erreichbar ist. Die Primärenergiebilanz wird aufgestellt, indem das Gebäude in Zonen unterschiedlicher Nutzung aufgeteilt wird,

für die zunächst jeweils die (End-) Energiebedarfe verschiedener Dienste (z. B. Heizen und Beleuchten) abgeschätzt werden. Wo sinnvoll, werden Dienste auch zentral, d. h. ohne Zuordnung zu bestimmten Nutzungszonen bilanziert (Beispiel: Luftförderung bei zentralen Lüftungsanlagen, welche Zonen unterschiedlicher Nutzung versorgen). Weiterhin werden nutzerinduzierte Bedarfe (z. B. für PCs, weiße Ware etc.) abgeschätzt, weil sie in das Plusenergieziel einbezogen werden und somit in die Bilanz Eingang finden müssen. Auf Basis der abgeschätzten Endenergiebedarfe kann mittels der im Planungsteam abgestimmten Primärenergiefaktoren schließlich der erzielbare Primärenergiebedarf berechnet werden. Dieser ist der folgenden (für das Ensemble aus Schulgebäude und neuer Sporthalle geltenden) Grafik zu entnehmen.

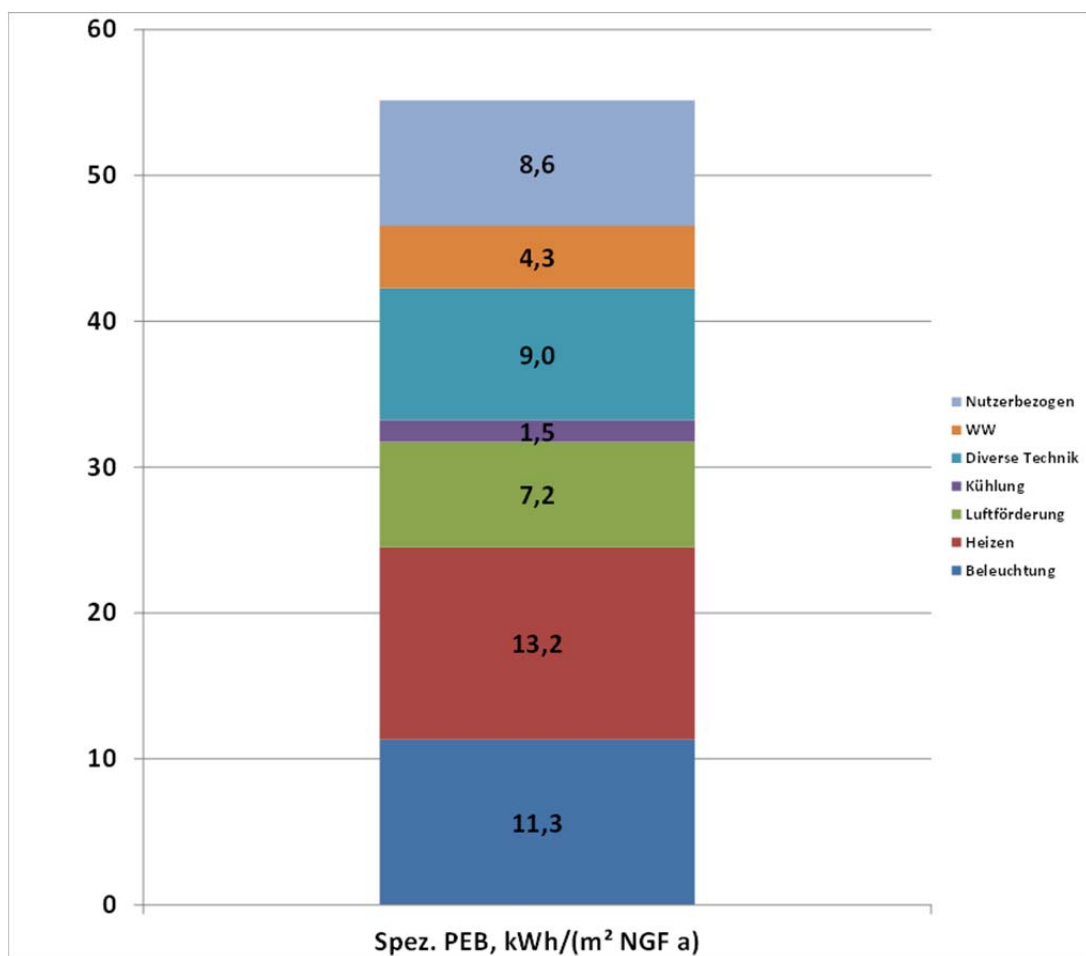


Abbildung 32: Erzielbarer spezifischer Primärenergiebedarf der KTS

Angesicht der Tatsache, dass Bestandsbauten oft Werte von 150 und 200 kWh_{PE}/(m² a) überschreiten und auch Schulneubauten oft Werte deutlich über 100 kWh_{PE}/(m² a) erreichen, kann der abgeschätzte Wert von ca. 55 kWh_{PE}/(m² a) als äußerst niedrig angesehen werden.

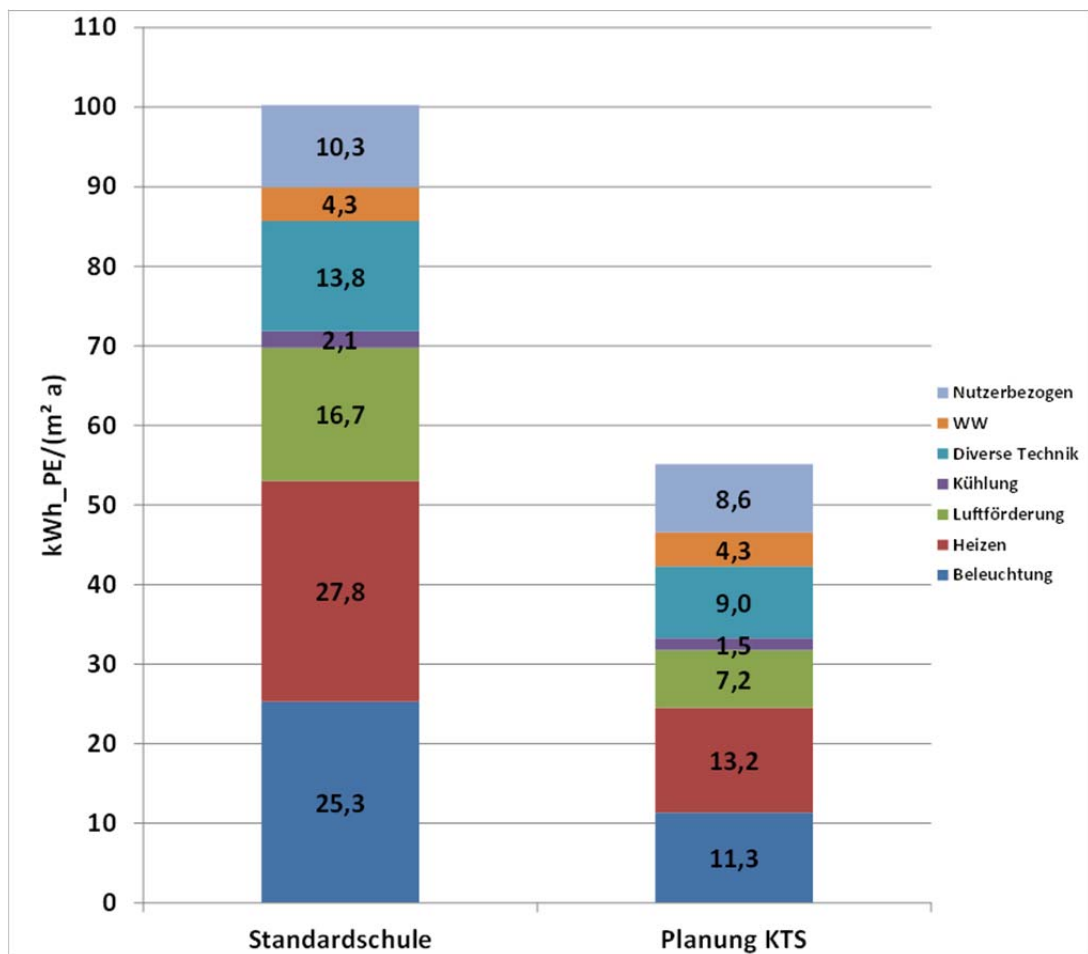


Abbildung 33: Erste Berechnungen zum erzielbaren spezifischen Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes gemäß EnEV 2016 und der aktuellen Planung

Der Endenergiebedarf sowie die jährlichen Energiekosten für die KTS stellen sich entsprechend wie folgt dar:

	EEB, kWh/a	Jährliche Energiekosten bei 0,154 ct/kWh; EUR/a
Beleuchtung	45.645	7.029
Heizen	26.371	4.061
Luftförderung	29.128	4.486
Kühlung	5.990	923
Diverse Technik	36.400	5.606
WW	17.285	2.662
Nutzerbezogen	34.584	5.326
Summe	195.404	30.092

Tabelle 4: Endenergiebedarf in kWh/a und jährliche Energiekosten

Wird nun die so abgeschätzte erzielbare Energiebilanz dem möglichen Ertrag aus der großen dachgestützten Photovoltaikanlage gegenübergestellt, so ergeben sich die beiden folgenden Grafiken hinsichtlich des Primärenergie- und des CO₂-Kriteriums (siehe auch Abschnitt 5.2.1):

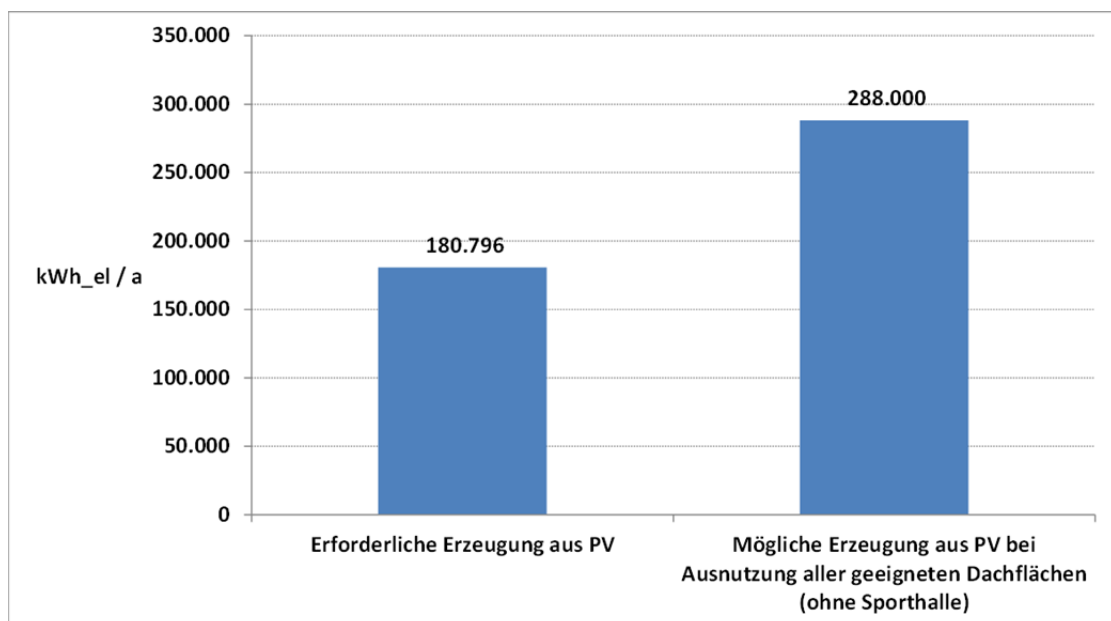


Abbildung 34: Zur Erreichung des Plusenergieziels erforderliche und mögliche Erzeugung aus der dachgestützten Photovoltaikanlage

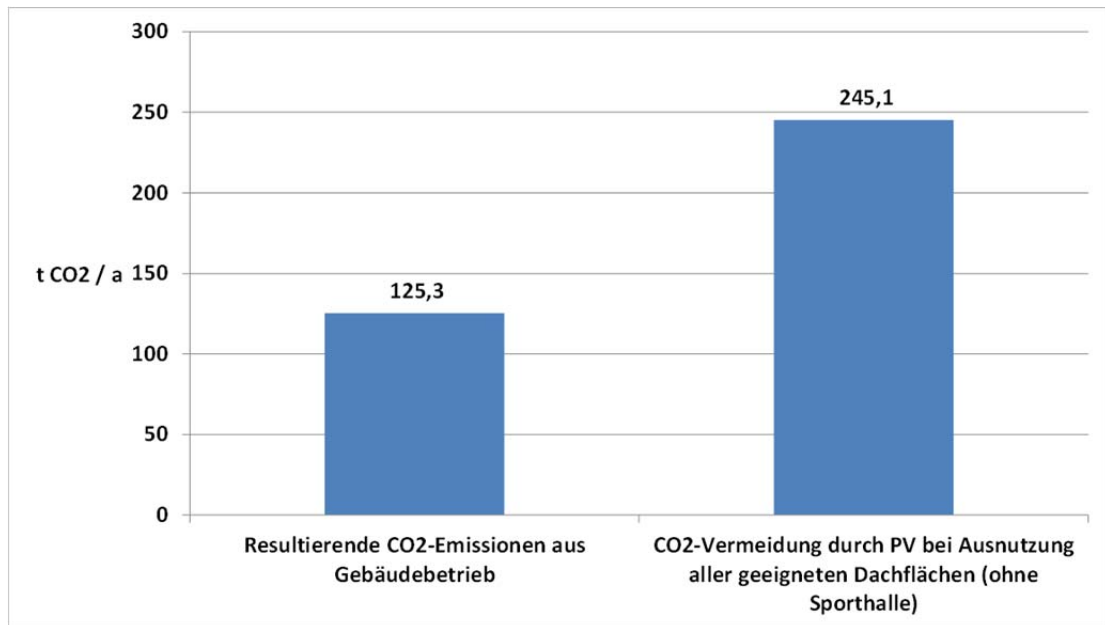


Abbildung 35: Aus dem Gebäudebetrieb resultierende CO₂-Emissionen und mögliche CO₂-Vermeidung durch die dachgestützte Photovoltaikanlage

Es zeigt sich, dass das Plusenergieziel derzeit in der Prognose mit einiger Sicherheit erreicht werden kann.

5.2.9 Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung

Da an die neu zu errichtende KTS nicht nur hohe energetische, sondern auch hohe komforttechnische Anforderungen gestellt werden, wurden Untersuchungen mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung durchgeführt, um zu ermitteln, inwieweit möglichst ohne aktive Kühlung ein guter sommerlicher thermischer Komfort gewährleistet werden kann. Dies ist nicht notwendigerweise trivial, da der Dämmstandard des Gebäudes sehr gut ist, die spezifischen internen Lasten durch die schultypisch dichte Personenbelegung hoch ausfallen und das Klima im Raum Frankfurt zu den wärmsten innerhalb Deutschlands gehört.

Mit der Bauherrschaft wurde abgestimmt, dass während der Anwesenheitszeit in einem klimatisch durchschnittlichen Jahr eine maximale gewichtete Überschreitungshäufigkeit über einer Empfindungstemperatur von 27 °C von 100 Kh/a nicht überschritten werden soll. Berücksichtigt man, dass die akzeptierten Grenzwerte der DIN 4108:2013 für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Wohngebäude 1.200 Kh/a und für Nichtwohngebäude 500 Kh/a betragen, so wird erkennbar, dass der projektspezifisch geforderte Grenzwert deutlich anspruchsvoller ist.

Zu Untersuchung des sommerlichen thermischen Komforts wurden zunächst zwei Klassenraumtypen, dann die Sporthalle und schließlich ein Büroraum (Sekretariat) analysiert.

Wichtige Randbedingungen der Simulation für die Klassenraumtypen lauten wie folgt:

-
- Westorientierter Klassenraum und Eck-Klassenraum mit Fassadenorientierungen Süd + West
 - Belegung mit 31 Personen von 8 bis 12 Uhr und von 13 bis 18 Uhr; Mo – Fr
 - Akustikmaßnahmen (Decke: 50 % Flächenanteil, Trennwände: 100 % Flächenanteil) und vorgesehener Kugelgarnteppich berücksichtigt
 - Klimadaten: normales DWD-Testreferenzjahr 12 (2011); mittels des DWD-Tools „TRY_Effekte_aufpraegen.exe“ wurde eine Stadteffekt-, Höhen- und Einwohnerzahlkorrektur der Klimadaten vorgenommen (mittleres Stadtgebiet, 104 m, 16.000 Einwohner).
 - Außenliegender Sonnenschutz mit Sonnenverminderungsfaktor $F_c=0,25$; bei Abwesenheit immer geschlossen; bei Anwesenheit geschlossen ab einer Einstrahlung von 200 W/m^2 auf die jeweilige Fassadenorientierung
 - Beleuchtung mit einer spezifischen Leistungsaufnahme von 5 W/m^2 ; eingeschaltet bei Anwesenheit und unzureichendem Tageslichtangebot (Bei Globalstrahlung horizontal unter 250 W/m^2)
 - Entwärmung mit Außenluft über einen dreifachen Luftwechsel bei Abwesenheit, Erfordernis und geeigneten Außenlufttemperaturen
 - Zuluft mit einem spez. Volumenstrom von $20 \text{ m}^3/(\text{Pers. h})$ und einer Zulufttemperatur von 22 °C

Weitere Randbedingungen der Simulation sind im Anhang dokumentiert.

Die beiden untersuchten Klassenraumtypen sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

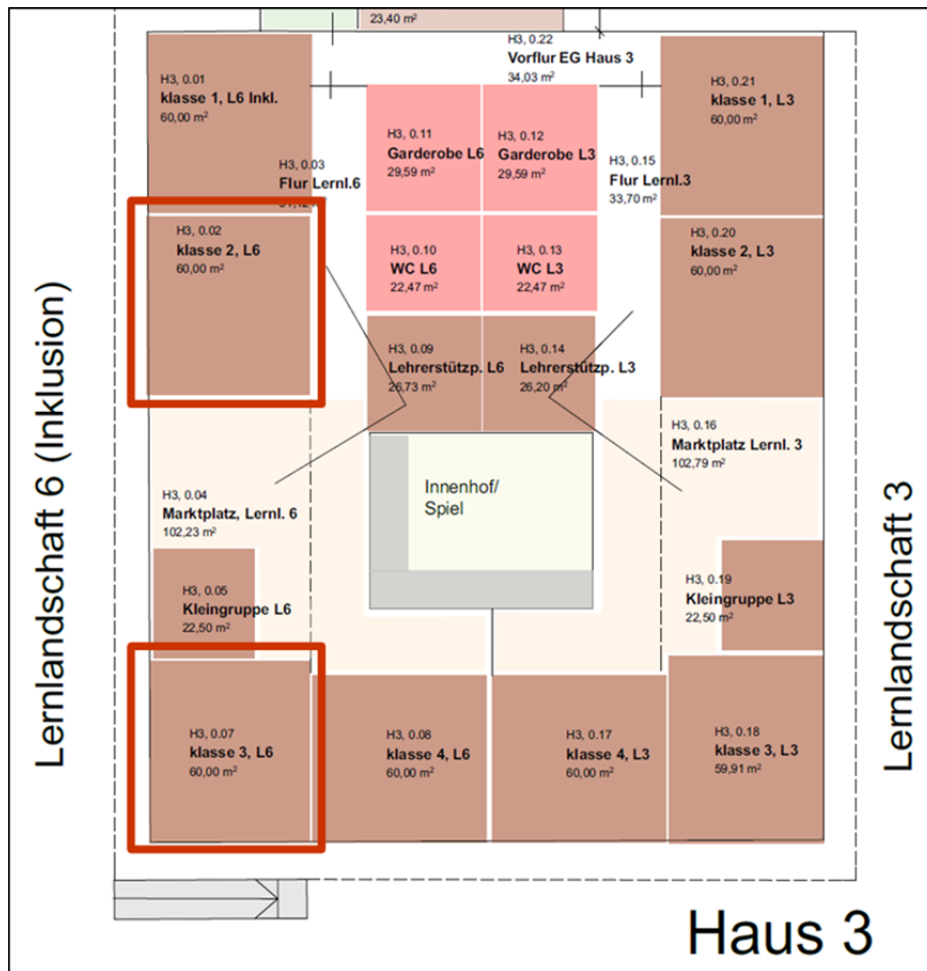


Abbildung 36: Mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung untersuchte Klassenräume

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der nachfolgenden Wertetabelle dokumentiert.

Kürzel	Erläuterung	Überschreitungs- häufigkeit 24 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 25 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 26 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, h/a	Gew. Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, Kh/a	Maximal- temperatur, °C	Prozentuale Überschrei- tungsdauer 27 °C
2-kr1-ml3-ak	s. u.	1.664	875	309	69	22,7	28,0	2,9%
2-kr2eck-nl3-ak	s. u.	1.496	1.013	501	198	118,7	28,8	8,4%
2-kr2eck-nl3-fenstw50%-ak	s. u.	1.493	804	274	63	22,0	28,0	2,7%

Tabelle 5: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die untersuchten Klassenraumtypen

Die Bedeutung der in der Tabelle verwendeten Abkürzungen lautet wie folgt:

- 2-kr1-ml3-ak: Klassenraum mit einer Außenorientierung (West)
- 2-kr2eck-nl3-ak: Eck-Klassenraum; voller Fensteranteil Süd + West
- 2-kr2eck-nl3-fenstw50%-ak: Fensteranteil West halbiert, sonst wie vor

Im Eck-Klassenraum mit vollem Verglasungsanteil wird der gewünschte thermische Komfort nicht vollständig erreicht, wie die tabellarische und auch die grafische Auswertung zeigen. Halbiert man jedoch dort den Verglasungsanteil der Westfassade, so wird – wie schon beim Klassenraum mit nur einer Außenorientierung – der gewünschte thermische Komfort mit großem Abstand erreicht.

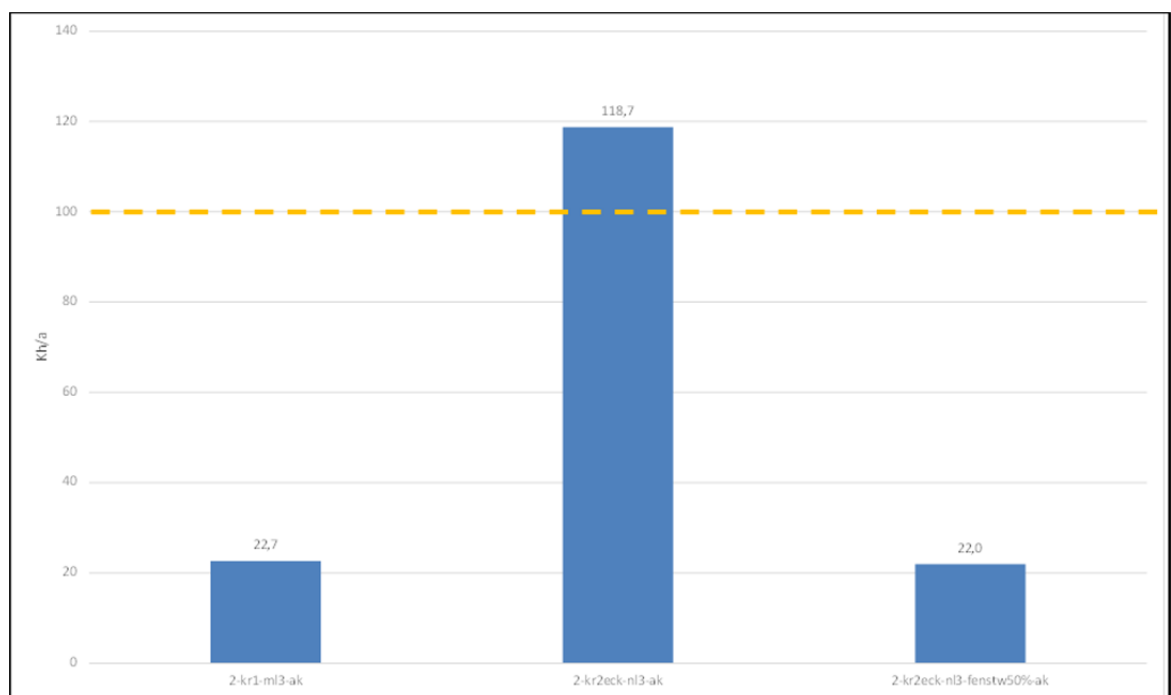


Abbildung 37: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die untersuchten Klassenraumtypen, grafische Auswertung

Nach den Klassenraumtypen wurde die neu zu errichtende Sporthalle untersucht. Deren umlaufendes Lichtband im oberen Fassadenbereich wurde als vollverglast angenommen.

Wichtige Randbedingungen der Simulation für die Sporthalle lauten wie folgt:

- Alle Bauteile außer dem Dach massiv ausgeführt (Betonkonstruktionen, teilweise mit Heraklith belegt)
- Verglasungsanteil des umlaufenden Lichtbandes nach allen Seiten mit 100 % angenommen

- Belegung mit 25 Personen von 8 bis 12 und von 13 bis 18 Uhr; Mo – Fr (2.349 h/a)
- Wärmeabgabe: ISO 7730, „moderate dancing“
- Klimadaten: normales DWD-Testreferenzjahr 12 (2011) verwendet; mittels des DWD-Tools „TRY_Effekte_aufpraegen.exe“ wurde eine Stadteffekt-, Höhen- und Einwohnerzahlkorrektur der Klimadaten vorgenommen (mittleres Stadtgebiet, 104 m, 16.000 Einwohner).
- Sonnenschutz mit $F_c=0,25$, wo in Variante vorhanden; bei Abwesenheit immer geschlossen; bei Anwesenheit geschlossen ab Einstrahlung von 200 W/m^2 auf Fassade
- Beleuchtung mit 8 W/m^2 ; eingeschaltet bei Anwesenheit und $I_{\text{global_horizontal}} < 200 \text{ W/m}^2$ (Resultierende Tageslicht-Autonomie ca. 50 %)
- Zuluft mit einem spez. Volumenstrom von $30 \text{ m}^3/(\text{Pers. h})$ und einer Zulufttemperatur von $22 \text{ }^\circ\text{C}$

Weitere Randbedingungen der Simulation sind im Anhang dokumentiert.

Die Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulation sind in der nachfolgenden Wertetabelle dokumentiert.

Kürzel	Erläuterung	Überschreitungs- häufigkeit 24 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 25 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 26 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, h/a	Gew. Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, Kh/a	Maximal- temperatur, °C	Prozentuale Überschrei- tungsdauer 27 °C
1-sph-nl0-os	Ohne NL, ohne Sonnenschutz	1.684	1.631	1.598	1.569	22.574,5	53,9	66,8%
1-sph-nl1-os	NL 1-fach, sonst wie vor	1.639	1.586	1.539	1.475	8.035,4	39,5	62,8%
1-sph-nl2-os	NL 2-fach, sonst wie vor	1.610	1.527	1.417	1.315	5.272,5	36,6	56,0%
1-sph-nl3-os	NL 3-fach, sonst wie vor	1.588	1.484	1.360	1.231	4.320,4	35,7	52,4%
1-sph-nl2-sow	NL 2-fach, Sonnenschutz Ost+West	1.407	1.233	996	730	1.262,8	31,9	31,1%
1-sph-nl2-sows	Sonnenschutz auch Süd, sonst wie vor	876	666	429	218	204,7	29,5	9,3%
1-sph-nl2-sowsn	Sonnenschutz auch Nord, sonst wie vor	753	482	279	112	69,3	28,7	4,8%

Tabelle 6: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sporthalle

In den Varianten ohne Nachtlüftung und / oder ohne Sonnenschutzmaßnahmen werden sehr hohe Empfindungstemperaturen erreicht. Nur mit einer Nachtlüftung mit mindestens zweifachem Raumlufwechsel und einem für alle Orientierungen vorgesehenen außenliegenden Sonnenschutz kann das gewünschte Komfortziel von max. 100 Kh/a erreicht werden (siehe roter Rahmen in der Wertetabelle). Es folgen die grafischen Auswertungen der Simulationsergebnisse, zunächst für die gewichteten Überschreitungshäufigkeiten und dann der Vollständigkeit halber für die Maximaltemperaturen und die einfachen Überschreitungshäufigkeiten.

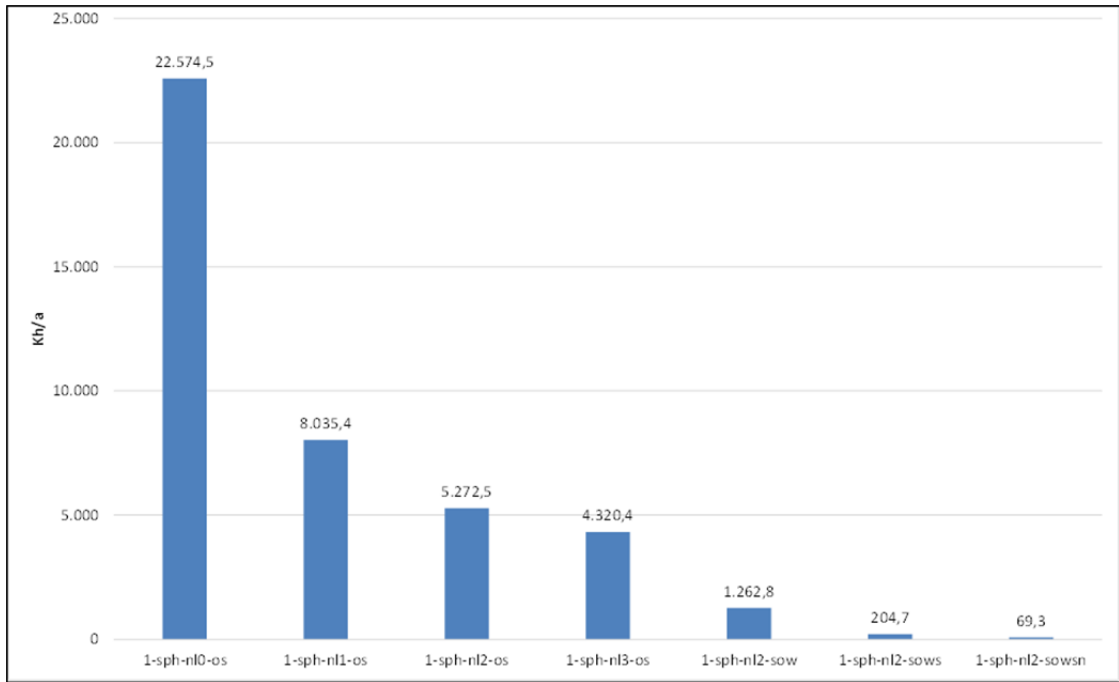


Abbildung 38: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sport-halle

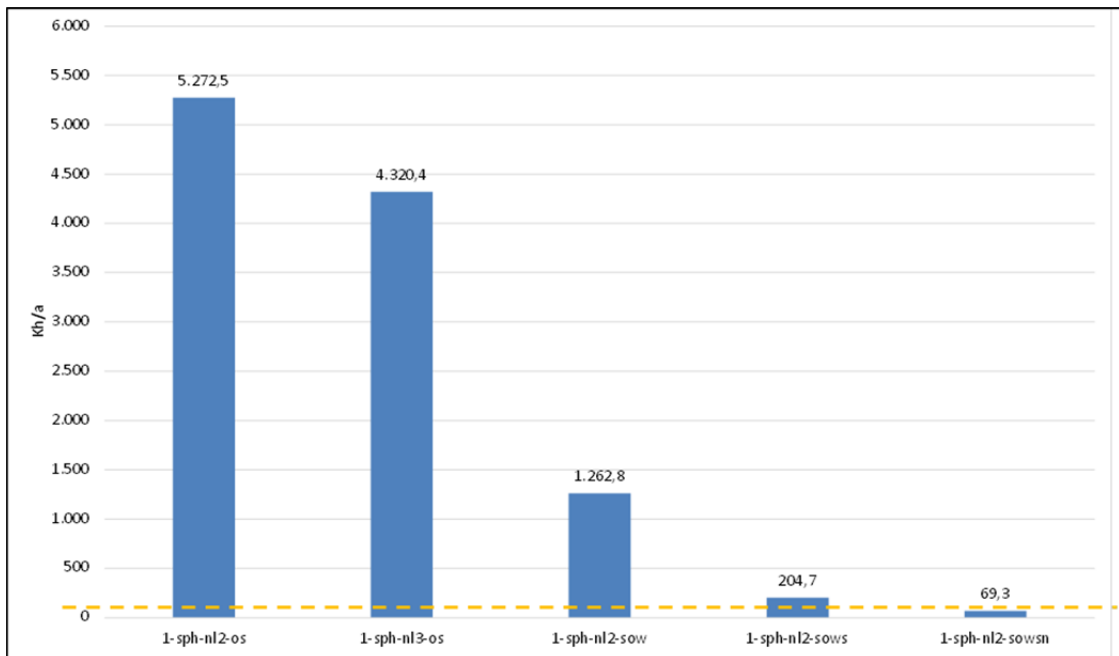


Abbildung 39: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für die Sport-halle; Detail; angestrebter Maximalwert durch gestrichelte Linie gekennzeichnet

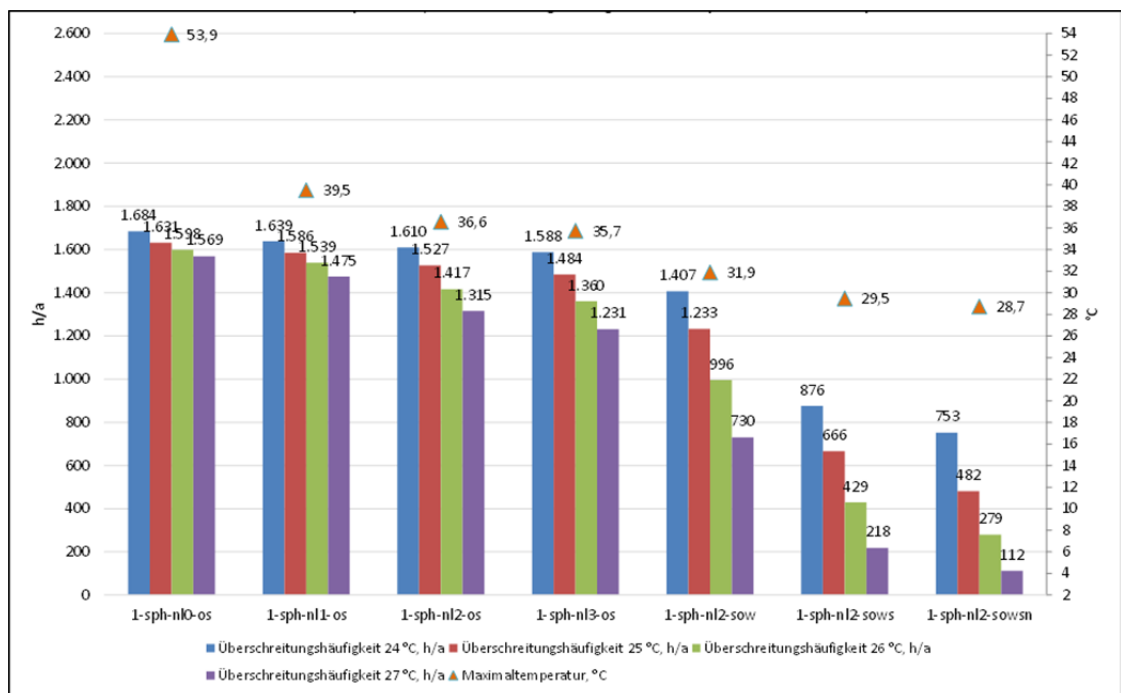


Abbildung 40: Einfache Überschreitungshäufigkeiten und Maximaltemperaturen für die Sporthalle

Als letzter Raumtyp wurde ein Büroraum untersucht (südorientiertes Sekretariat; siehe Abbildung)

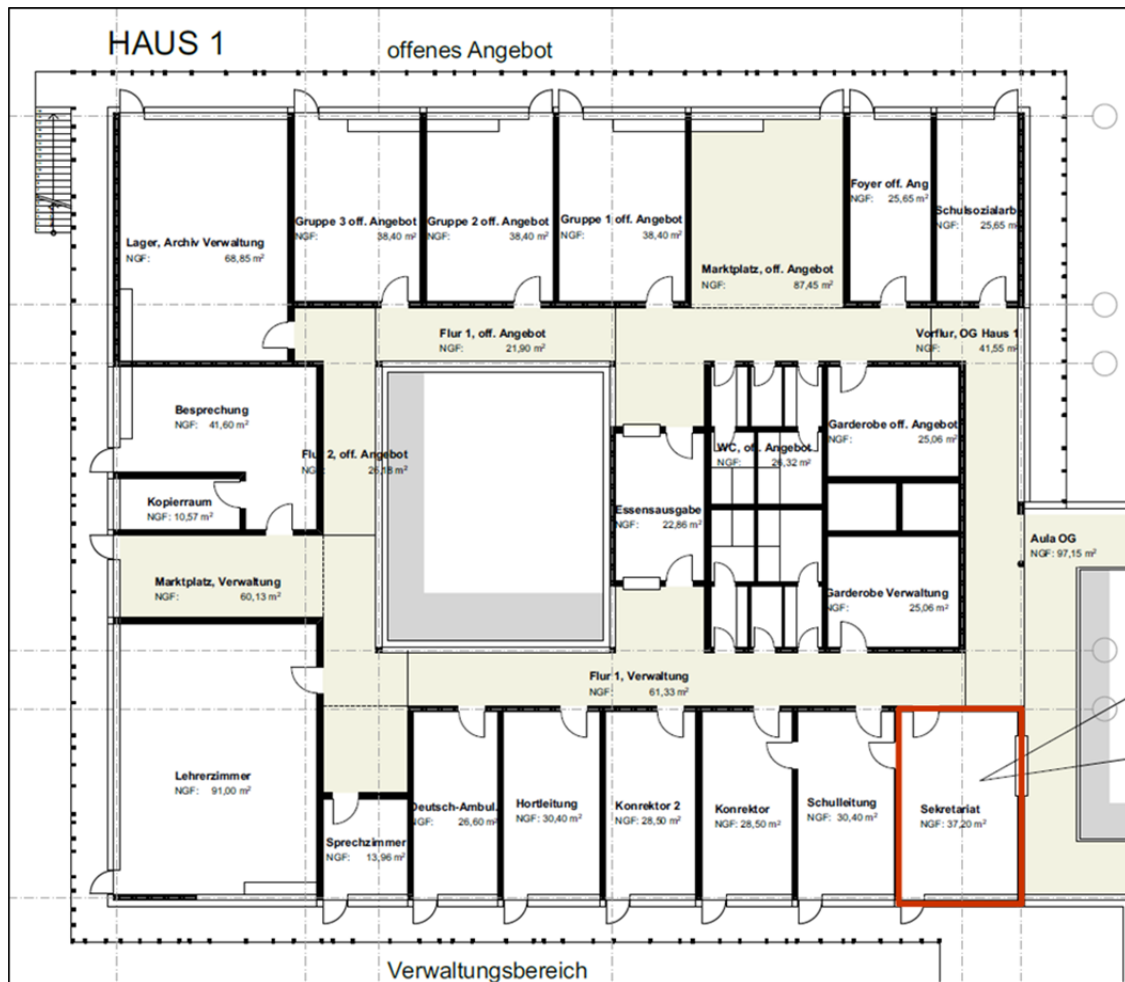


Abbildung 41: Mittels thermisch-dynamischer Simulationsrechnung untersuchter Sekretariatsraum

Wichtige Randbedingungen der Simulation für das Sekretariat lauten wie folgt:

- Bauteilaufbauten wie in den Klassenräumen
- Fensteranteil wie in den Klassenräumen (ca. 73 % von Nettofassade; 62,3 % transparent)
- Belegung mit vier Personen von 8 bis 12 und von 13 bis 18 Uhr; GLZ 0,8; Mo – Fr (2.349 h/a)
- Wärmeabgabe: ISO 7730, „Seated, light work, typing“
- PCs mit je 60 W konvektiv angenommen, eingeschaltet bei Anwesenheit (GLZ 0,8)
- Klimadaten: normales DWD-Testreferenzjahr 12 (2011) verwendet; mittels des DWD-Tools „TRY_Effekte_aufpraegen.exe“ wurde eine Stadteffekt-, Höhen- und Einwohnerzahlkorrektur der Klimadaten vorgenommen (mittleres Stadtgebiet, 104 m, 16.000 Einwohner).

- Sonnenschutz mit $F_c = 0,25$; bei Abwesenheit immer geschlossen, wo nicht anders ausgeführt; bei Anwesenheit geschlossen ab einem spez. Einstrahlungswert von 200 W/m^2 auf die Fassade
- Beleuchtung mit 8 W/m^2 ; eingeschaltet bei Anwesenheit und $I_{\text{global horizontal}} < 280 \text{ W/m}^2$ (Resultierende Tageslichtautonomie ca. 40 %)
- Zuluft mit $30 \text{ m}^3/(\text{Pers. h})$ und einer Zulufttemperatur von $22 \text{ }^\circ\text{C}$

Die in der nachfolgend aufgeführten Tabelle beschriebenen Fälle wurden untersucht („NL“ = Nachtlüftung).

Kürzel	Erläuterung
2-sekr-nl0	Decke freiliegend, keine NL
2-sekr-nl0.5	Decke freiliegend, NL 0,5-fach
2-sekr-nl1	Decke freiliegend, NL 1,0-fach
2-sekr-nl2	Decke freiliegend, NL 2,0-fach
2-sekr-nl3	Decke freiliegend, NL 3,0-fach
2-sekr-ak50%-nl0	Decke zu 50 % akustisch belegt, keine NL
2-sekr-ak50%-nl0.5	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 0,5-fach
2-sekr-ak50%-nl1	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 1,0-fach
2-sekr-ak50%-nl2	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach
2-sekr-ak50%-nl3	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach
2-sekr-ak50%-nl2-ssnzuabw	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit
2-sekr-ak50%-nl3-ssnzuabw	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit

Tabelle 7: Untersuchte Fälle für das Sekretariat

Die Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung sind in der nachfolgenden Wertetabelle dokumentiert (Zulässige Werte für den thermischen Komfort sind rot eingrahmt).

Kürzel	Erläuterung	Überschreitungs- häufigkeit 24 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 25 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 26 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, h/a	Gew. Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, Kh/a	Maximal- temperatur, °C	Prozentuale Überschrei- tungsdauer 27 °C
2-sekr-ak50%-n10	Decke zu 50 % akustisch belegt, keine NL	1.725	1.566	1.364	1.218	4.596,3	34,3	51,9%
2-sekr-n10	Decke freiliegend, keine NL	1.668	1.505	1.313	1.182	4.340,6	33,9	50,3%
2-sekr-ak50%-n10,5	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 0,5-fach	1.173	950	790	609	952,7	31,0	25,9%
2-sekr-n10,5	Decke freiliegend, NL 0,5-fach	1.054	893	752	568	806,1	30,6	24,2%
2-sekr-ak50%-n12-ssnzuabv	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.158	754	487	293	379,1	30,2	12,5%
2-sekr-ak50%-n11	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 1,0-fach	992	664	456	247	233,0	29,6	10,5%
2-sekr-ak50%-n13-ssnzuabv	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.081	629	319	172	151,1	29,4	7,3%
2-sekr-n11	Decke freiliegend, NL 1,0-fach	820	592	370	203	148,9	29,0	8,6%
2-sekr-ak50%-n12	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach	844	391	187	58	24,3	28,4	2,5%
2-sekr-ak50%-n13	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach	787	316	114	21	6,9	28,0	0,9%
2-sekr-n12	Decke freiliegend, NL 2,0-fach	576	279	113	11	3,2	27,5	0,5%
2-sekr-n13	Decke freiliegend, NL 3,0-fach	476	177	42	0	0,0	26,9	0,0%

Tabelle 8: Ergebnisse der thermisch-dynamischen Simulationsrechnung für das Sekretariat; zulässige Werte für den thermischen Komfort sind rot eingerahmt.

Es folgen die grafischen Auswertungen der Simulationsergebnisse, zunächst für die gewichteten Überschreitungshäufigkeiten (hier auch in detaillierteren Ausschnitten für die niedrigeren Ergebniswerte) und dann der Vollständigkeit halber für die Maximaltemperaturen und die einfachen Überschreitungshäufigkeiten.

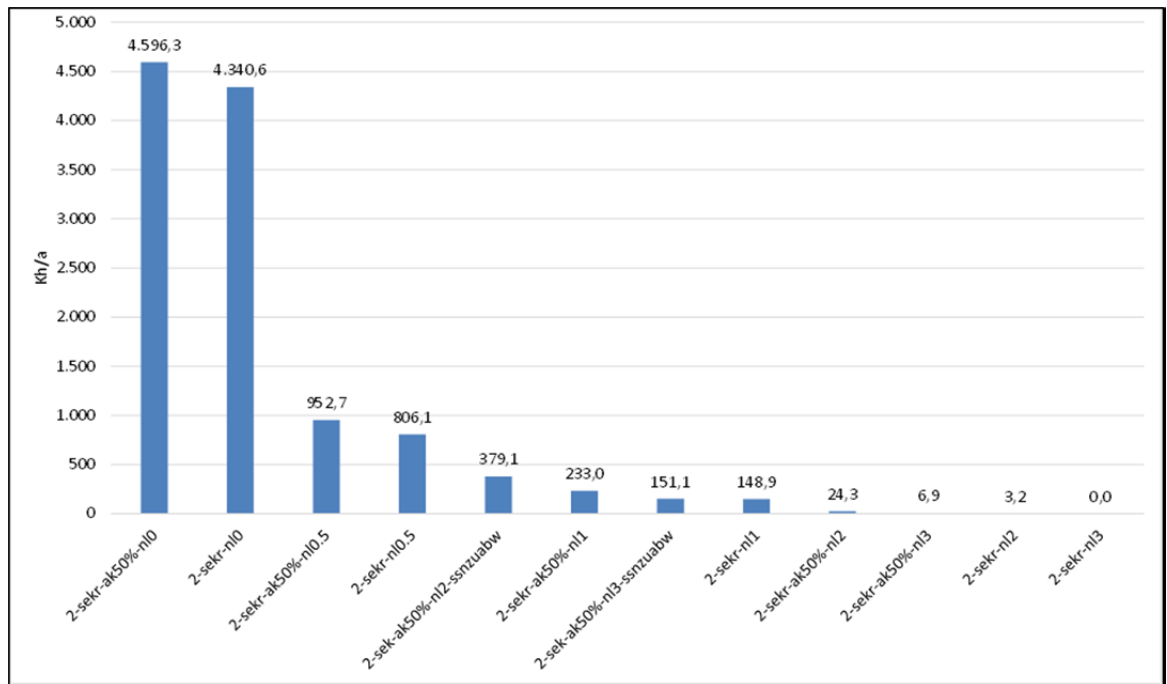


Abbildung 42: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C

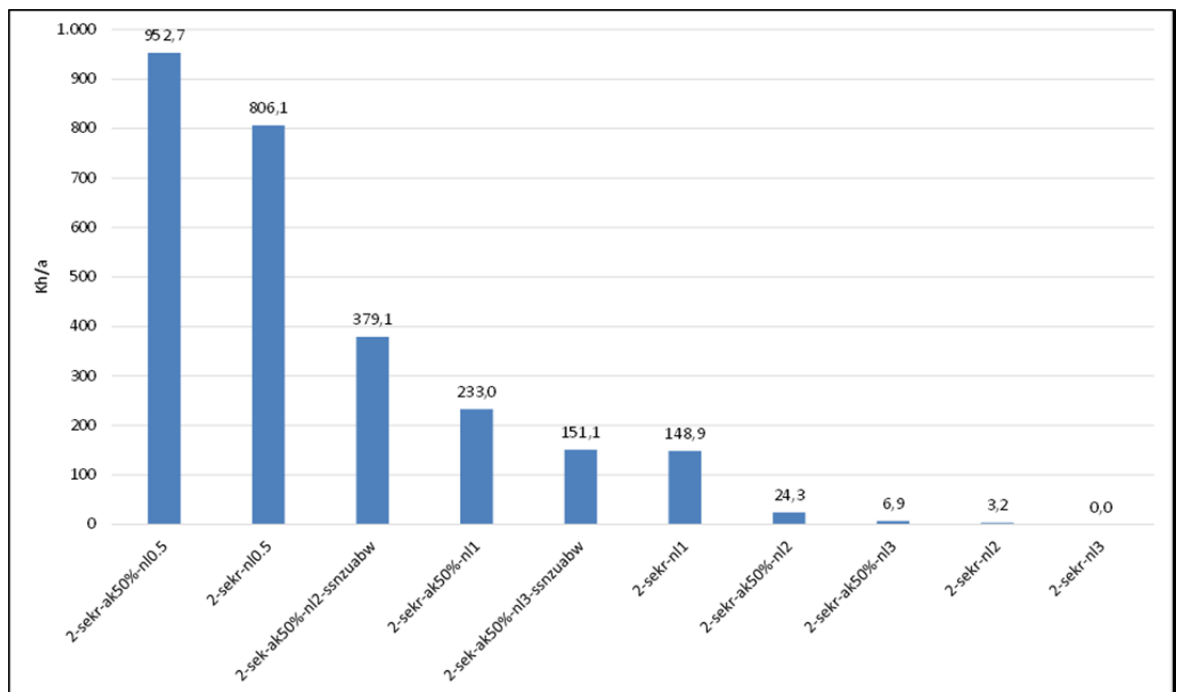


Abbildung 43: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C (Detail)

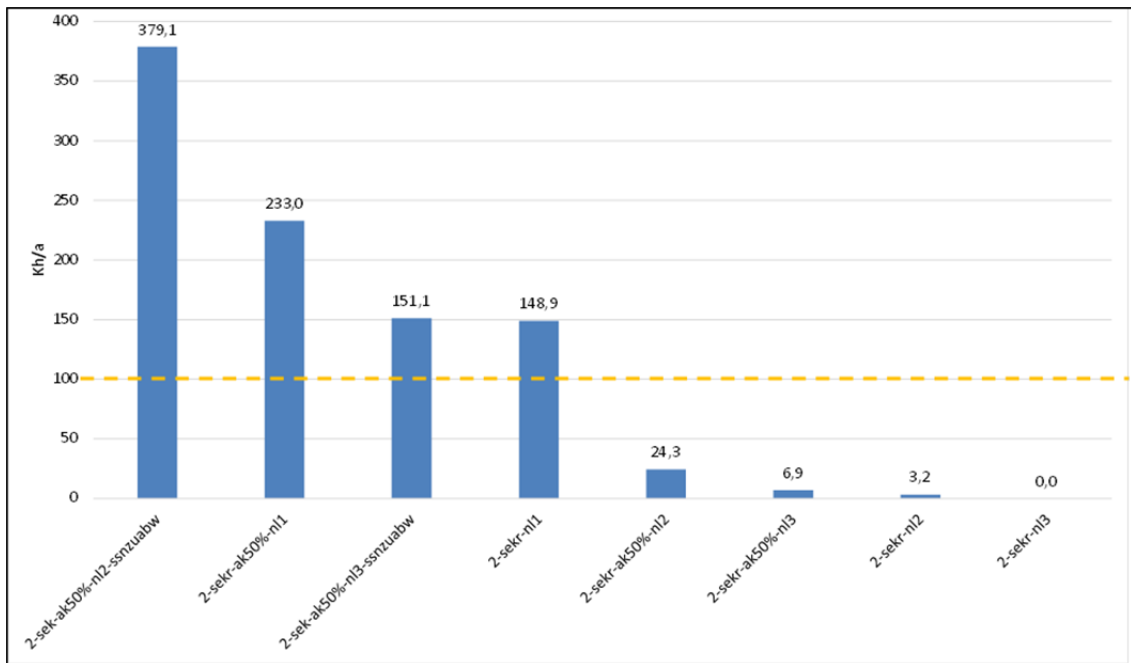


Abbildung 44: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur von 27 °C (Detail; Obergrenze der gewichteten Überschreitungshäufigkeit markiert)

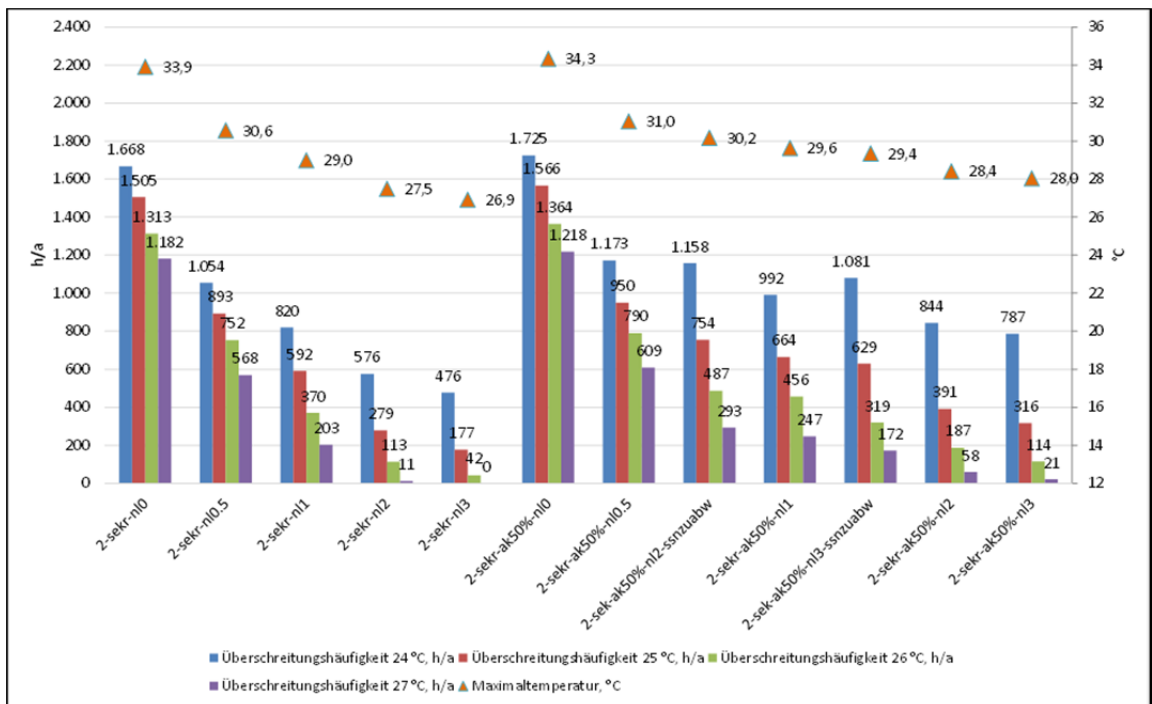


Abbildung 45: Einfache Überschreitungshäufigkeiten und Maximaltemperaturen für das Sekretariat

Es lässt sich festhalten, dass zur Erzielung des gewünschten thermischen Komforts effiziente Sonnenschutzmaßnahmen und eine Entwärmung mit Außenluft mit mindestens 1,5 ...

2,0-facher Luftwechselrate bei Vorliegen geeigneter Bedingungen erforderlich sind. Auffällig deutlich ist der positive Effekt eines bei Abwesenheit stets geschlossenen gegenüber dem stets erst bei Schwellwertüberschreitung geschlossenen Sonnenschutz (siehe nachfolgende Tabellen; Vergleich für die Entwärmung mit zwei- bzw. dreifachem Außenluftwechsel).

Kürzel	Erläuterung	Überschreitungs- häufigkeit 24 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 25 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 26 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, h/a	Gew. Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, Kh/a	Maximal- temperatur, °C	Prozentuale Überschrei- tungsdauer 27 °C
2-sekr-ak50%-nl0	Decke zu 50% akustisch belegt, keine NL	1.725	1.566	1.364	1.218	4.596,3	34,3	51,9%
2-sekr-nl0	Decke freiliegend, keine NL	1.668	1.505	1.313	1.182	4.340,6	33,9	50,3%
2-sekr-ak50%-nl0,5	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 0,5-fach	1.173	950	790	609	952,7	31,0	25,9%
2-sekr-nl0,5	Decke freiliegend, NL 0,5-fach	1.054	893	752	568	806,1	30,6	24,2%
2-sekr-ak50%-nl2-ssnzubv	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 2,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.158	754	487	299	379,1	30,2	12,5%
2-sekr-ak50%-nl1	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 1,0-fach	992	664	456	247	233,0	29,6	10,5%
2-sekr-ak50%-nl3-ssnzubv	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 3,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.081	629	319	172	151,1	29,4	7,3%
2-sekr-nl1	Decke freiliegend, NL 1,0-fach	820	592	370	203	148,9	29,0	8,6%
2-sekr-ak50%-nl2	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 2,0-fach	844	391	187	58	24,3	28,4	2,5%
2-sekr-ak50%-nl3	Decke zu 50% akustisch belegt, NL 3,0-fach	787	316	114	21	6,9	28,0	0,9%
2-sekr-nl2	Decke freiliegend, NL 2,0-fach	576	279	113	11	3,2	27,5	0,5%
2-sekr-nl3	Decke freiliegend, NL 3,0-fach	476	177	42	0	0,0	26,9	0,0%

Tabelle 9: Vergleich verschiedener Sonnenschutz-Steuerstrategien für die Entwärmung mit zweifachem Außenluftwechsel

Kürzel	Erläuterung	Überschreitungs- häufigkeit 24 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 25 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 26 °C, h/a	Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, h/a	Gew. Überschreitungs- häufigkeit 27 °C, Kh/a	Maximal- temperatur, °C	Prozentuale Überschrei- tungsdauer 27 °C
2-sekr-ak50%-nl0	Decke zu 50 % akustisch belegt, keine NL	1.725	1.566	1.364	1.218	4.596,3	34,3	51,9%
2-sekr-nl0	Decke freiliegend, keine NL	1.668	1.505	1.313	1.182	4.340,6	33,9	50,3%
2-sekr-ak50%-nl0,5	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 0,5-fach	1.173	950	790	609	952,7	31,0	25,9%
2-sekr-nl0,5	Decke freiliegend, NL 0,5-fach	1.054	893	752	568	806,1	30,6	24,2%
2-sekr-ak50%-nl2-ssnzuaabv	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.158	754	487	293	379,1	30,2	12,5%
2-sekr-ak50%-nl1	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 1,0-fach	992	664	456	247	233,0	29,6	10,5%
2-sekr-ak50%-nl3-ssnzuaabv	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach, Sonnenschutz nicht immer geschlossen bei Abwesenheit	1.081	629	319	172	151,1	29,4	7,3%
2-sekr-nl1	Decke freiliegend, NL 1,0-fach	820	592	370	203	148,9	29,0	8,6%
2-sekr-ak50%-nl2	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 2,0-fach	844	391	187	58	24,3	28,4	2,5%
2-sekr-ak50%-nl3	Decke zu 50 % akustisch belegt, NL 3,0-fach	787	316	114	21	6,9	28,0	0,9%
2-sekr-nl2	Decke freiliegend, NL 2,0-fach	576	279	113	11	3,2	27,5	0,5%
2-sekr-nl3	Decke freiliegend, NL 3,0-fach	476	177	42	0	0,0	26,9	0,0%

Tabelle 10: Vergleich verschiedener Sonnenschutz-Steuerstrategien für die Entwärmung mit dreifachem Außenluftwechsel

Zur Verdeutlichung des Einflusses der angenommenen akustisch wirksamen Belegung der Decke mit einem Flächenanteil von 50 % auf den thermischen Komfort werden die entsprechenden Ergebniswerte denen für die freiliegende Betondecke gegenübergestellt (siehe folgende Abbildungen).

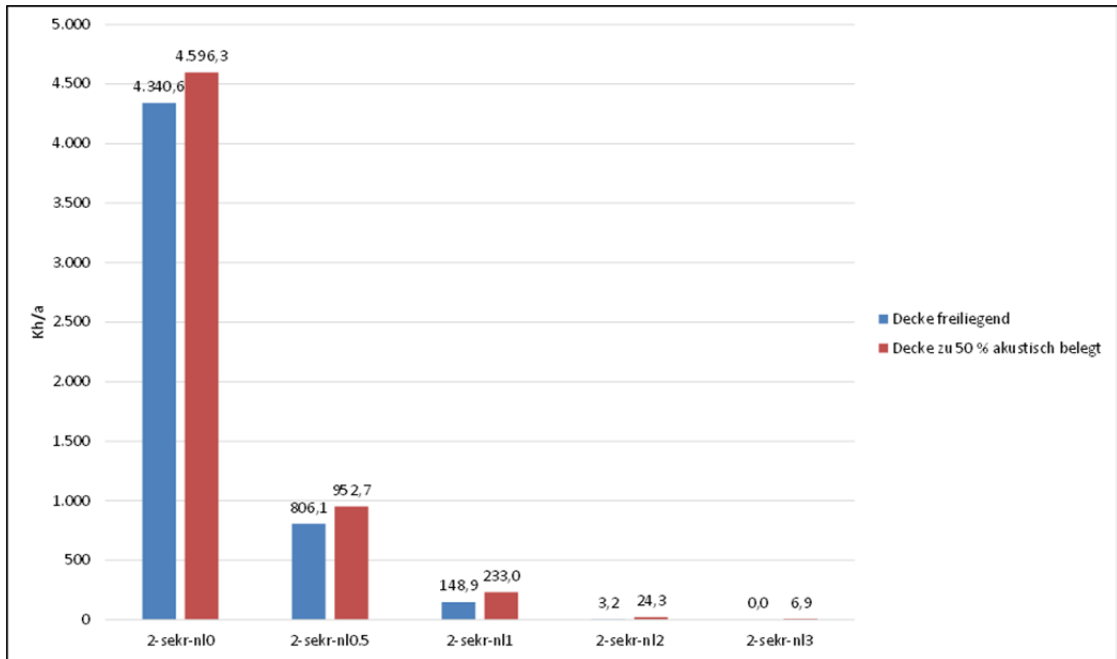


Abbildung 46: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten einer operativen Raumtemperatur von 27 °C für die freiliegende und die zu 50 % akustisch wirksam belegte Decke

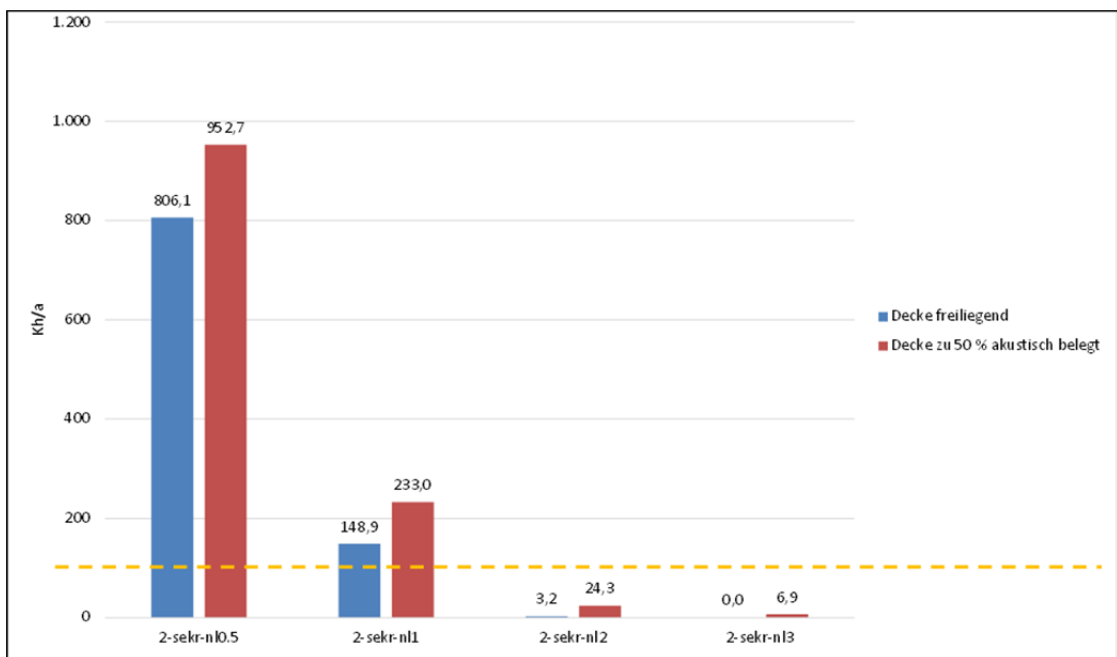


Abbildung 47: Untersuchtes Sekretariat: Gewichtete Überschreitungshäufigkeiten einer operativen Raumtemperatur von 27 °C für die freiliegende und die zu 50 % akustisch wirksam belegte Decke; Detail

Die Auswirkungen sind insbesondere bei den Varianten mit höheren Luftwechselraten und damit im Bereich des gewünschten sommerlichen thermischen Komforts nicht unerheblich. Daher sollte der akustisch wirksam belegte Deckenanteil nicht höher ausfallen als erforderlich.

5.3 Ressourcenschonende Gebäudeplanung

5.3.1 Analyse der Rahmenbedingungen

Der Bausektor in Deutschland gehört grundsätzlich zu den rohstoffintensivsten Wirtschaftsbereichen. In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie hat die Bundesregierung 2002 das Ziel festgelegt, die Rohstoffproduktivität (bezogen auf 1994) bis zum Jahr 2020 zu verdoppeln. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (BIP) je eingesetzter Tonne an abiotischem Primärmaterial erwirtschaftet wird.

Insbesondere durch die Substitution primärer Rohstoffe werden auch Umweltbelastungen durch deren Gewinnung vermieden. Die Kreislaufführung von Baustoffen insbesondere auch im Hochbau kann dazu beitragen, die Gewinnung primärer mineralischer Rohstoffe zu vermindern und natürliche Ressourcen zu schonen. Neben der Stärkung des Einsatzes von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen ist daher auch die Steigerung des Einsatzes von Recycling Baustoffen ein weiterer Ansatzpunkt für die Umsetzung der genannten Ziele.

Beim Neubau und bei der Sanierung von Gebäuden hat die Optimierung von Baustoffen und Konstruktionen die gleiche Relevanz für die Ressourcenschonung wie die Energieeffizienz im Betrieb. Im Zusammenhang damit sind mehrere Eigenschaften der Baukonstruktion und der eingesetzten Baustoffe zu analysieren und in die Betrachtung einzubeziehen:

- Primärenergieeinsatz für Baustofferzeugung und Baukonstruktion

Der Energieaufwand für die Rohstoffgewinnung und die Herstellung der Baustoffe fließt unmittelbar in die Nachhaltigkeitsbetrachtung ein. Ein hoher Energieaufwand bedingt stets einen hohen Einsatz an Primärenergie, die bislang nur teilweise aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann.

- Erneuerbarkeit der Baustoffe

Die Erneuerbarkeit von Baustoffen wurde bislang hauptsächlich im Hinblick auf den Produktionsaufwand und die CO₂-Wirksamkeit bzw. die Frage der Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen betrachtet. Langfristig spielt aber auch die nachhaltige Verfügbarkeit der Rohstoffe und notwendige Rückbauarbeiten von Erschließungsgebieten für Rohstoffe (z.B. Bergbau, Kiesgruben) eine Rolle.

- Transportwege und Montageaufwand

Transportwege, aber auch die Montage stellen bei der Herstellung von Baukonstruktionen einen nicht unbedeutenden Faktor für den erforderlichen Energieeinsatz dar. Durch Analyse der dem Baufeld umliegenden Bauindustrie und Gewerbestruktur sowie lokal vorhandener Roh- und Baustoffe und eine darauf abgestimmte Auswahl von Baukonstruktionen und Baumaterialien kann der betreffende Energieeinsatz beeinflusst werden.

- Instandhaltungsaufwand für Konstruktion und Baustoffe

Die Instandhaltung einer Gebäudekonstruktion stellt im Vergleich mit den Herstellkosten einen bislang nur wenig beachteten Aspekt dar. Hier liegen über den Nutzungszeitraum des Gebäudes jedoch aus Sicht des Energieeinsatzes und der Nachhaltigkeit erhebliche Anteile des Gesamtaufwandes (z.B. Erneuerung und Entsorgung von Schutzanstrichen, Lebenszeit von Baustoffen und Bauteilen). Verschleißbauteile, beispielsweise im Fassaden- und Dachbereich, können zum Schutz der Konstruktion eingesetzt werden, sind jedoch hinsichtlich Aufwand für den Austausch (Demontage, Montage, Recyclingfähigkeit/Entsorgung, Energie- und Rohstoffeinsatz für die Erneuerung) zu bewerten.

- Rückbau und Entsorgung bzw. Wiederverwendung der Konstruktion

Im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung gilt es am Ende der Nutzungszeit die weiteren Möglichkeiten und Erfordernisse im Umgang mit der Baukonstruktion und den Baustoffen zu betrachten:

- Umnutzung und Weiterverwendung der Gebäudekonstruktion
- Aufwand für den Rückbau der Gebäudekonstruktion
- Trennung der eingesetzten Baumaterialien (Verbundkonstruktionen, Anschlüsse)
- Wiederverwendungsmöglichkeiten von Bauteilen
- Entsorgung von Bauteilen und Baustoffen

- Recyclingfähigkeit der eingesetzten Baustoffe

Für die Gesamtbetrachtung ist eine mitentscheidende Fragestellung die Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Baumaterialien. Hier sind die Recyclingfähigkeit und der Aufwand für die Wiederaufarbeitung der einzelnen Baustoffe zu bewerten. Stichpunkte sind hier: Trennung einzelner Bestandteile, Vorbereitung für die Wiederaufbereitung, Herstellen eines neuen Rohstoffes oder Produktes, Einsatz- und Absatzfähigkeit der aufbereiteten Rohstoffe und Produkte.

- Planungsqualität und Qualitätskontrolle

Dies ist nicht vordergründig eine Frage der Baukonstruktion, sondern es ist von entscheidender Bedeutung, wenn es um Konstruktionsideen, wirtschaftliche Lösungen, Entwicklung robuster statischer Konstruktionen, materialgerechtes Konstruieren unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Eigenschaften, Dauerhaftigkeit der Konstruktion sowie Einbeziehung von Rahmen- und Umgebungsbedingungen und ähnliches geht. Auch eine Kontrolle der Baustoffe und der Ausführung als Teil einer Qualitätssicherung ist mit entscheidend für die Lebensdauer und die Nachhaltigkeit einer Baukonstruktion. Auch in diesen Bereich fällt eine ausreichende und gute Wartung mit entsprechender Instandhaltung der Konstruktion.

Einzelne Aspekte wie z.B. die Bewertung der Einsatzfähigkeit wiederaufbereiteter Rohstoffe und Produkte gehen zumindest teilweise über die Betrachtung im Rahmen dieses Projektes hinaus. Hier spielt letztlich auch die Möglichkeit des Einsatzes der Produkte (Nachfrage) eine Rolle.

5.3.2 Zukunftsfähige Raumgestaltung und Ausstattung

Neben den Schülerzahlen können sich die im Zeitverlauf auch bildungspolitische Trends und damit die Anforderungen an Unterrichtsgestaltung, Lehrpläne und pädagogische Methoden verändern. Um für diese wenig messbaren und langfristig schwierig vorauszusagenden Entwicklungen gewappnet zu sein, werden bei der Planung folgende Maßnahmen ergriffen:

- Viele gleichgroße und gleichstrukturierte Räume, bzw. die Clusterbildung ermöglichen es, Veränderungen im schulischen Angebot ohne bauliche Maßnahmen durchführen zu können. Als fixe Grundgröße zählen dabei ca. 25 Kinder und eine Raumgröße von ca. 60 qm und die Verbindung im Cluster mit 3–4 gleichen Einheiten, Begegnungsfläche und Nebenräumen. Ob in einem Cluster ein offenes Angebot, eine verbindliche Nachmittagsbetreuung oder weitere Klassen angeboten werden, kann und wird sich mit den Jahren verändern. Diese Methode und die planerische Konzentration der „besonderen Räume“ in einem weiteren Cluster verhindern das spätere „bunte Verteilen“ von Funktionen im Haus. Zu lange und unübersichtliche Wegebeziehungen kosten im Schulalltag viel Zeit und verhindern u. A. ein breites Nachmittagsangebot, da Aufsichtspersonen fehlen oder Bereiche des Schulhauses zugesperrt werden.
- Flexibilität und Abstraktheit der Möbel: Fokus auf Qualität, Mehrfachnutzen, Dauerhaftigkeit, insgesamt kleinere Stückzahl. Die Stuhlgrößen werden nicht exakt nach DIN EN 1729 ausgewählt, da der Fokus aus pädagogischen und gesundheitlichen Gründen nicht auf dem „Stillsitzen“, sondern in der Abwechslung liegen sollte. Allein in einer Schulklasse sind schon Differenzen bei der Körperhöhe von 30 – 40 cm vorhanden. Ein Normgerechter Einsatz der Stühle wäre nur mit großer Bevorratung und häufigem Austausch möglich, wofür das Personal und die Flächen üblicherweise fehlen. Die Schülertische im Projekt sollen stapelbar und alle gleich hoch sein, um eine Flexibilität im Unterricht (Umstellen der Tische) wesentlich zu erleichtern, weitere große zusammenhängende Arbeitsflächen in Steharbeitshöhe der Kinder. Als Sitzgelegenheiten können u.a. Fußrastenstühle und Barhocker mit angeboten werden, um für jede Körpergröße und Arbeitssituation das Passende zu haben.

In der Kostenschätzung wurde eine sehr geringe Kostenabweichung zur konventionellen, unflexiblen Möblierung festgestellt.

- Ausrüstung bzw. Vorbereitung aller Lernräume für die Arbeit mit i-Pads und Projektionen, flächendeckendes WLAN und Einsatz von mobilen Geräten als Basis für eine sich rasend schnell fortentwickelnde Technologie.

5.3.3 Entwicklung Primärkonstruktion - Tragwerk

Vor der Betrachtung und Bewertung der in Abschnitt 5.3.1 angeführten Aspekte sind die Randbedingungen, die sich aus der vorgesehenen Nutzung und weiterer Randbedingungen ergeben zu berücksichtigen:

- **Nutzung**

Aus der geplanten Nutzung als Schulgebäude mit Klassenräumen und verschiedenen Funktionsbereichen ergeben sich zum einen Anforderungen an die anzusetzenden Lasten und zum anderen Anforderungen an Raumstrukturen und Raumgrößen und somit an die Spannweiten der Decken.

Lasteinwirkungen aus der Nutzung:

Entsprechend der Nutzung der einzelnen Räume sind für die Dimensionierung der Bauteile unterschiedliche Lastannahmen zu treffen:

	Nutzlast gem. DIN EN 1991-1-1	Trennwand- zuschlag	anzusetzende Nutzlast
Klassenräume	3,0 kN/m ²	1,2 kN/m ²	4,2 kN/m ²
Büroräume	2,0 kN/m ²	1,2 kN/m ²	3,2 kN/m ²
Mehrzweckräume	5,0 kN/m ²	---	5,0 kN/m ²
Bibliothek, Archiv	5,0 kN/m ²	---	5,0 kN/m ²
Technikräume	5,0 kN/m ²	---	5,0 kN/m ²
Flure	5,0 kN/m ²	---	5,0 kN/m ²
<u>Treppen und Fluchtwege</u>	<u>5,0 kN/m²</u>	<u>---</u>	<u>5,0 kN/m²</u>
empfohlener Nutzlastansatz allgemein			5,0 kN/m²

Tabelle 11: Lastannahmen für Bauteile

Die Zusammenstellung zeigt, dass sich für unterschiedliche Nutzungsbereiche unterschiedliche anzusetzende Lasten ergeben. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Flexibilität werden nicht alle vorhandenen Wände als tragend herangezogen. Die nicht tragenden Wände sind dann in der betreffenden Wandstellung mit ihrem Eigengewicht zu berücksichtigen. Dies wäre für die Herstellungskosten des Gebäudes die wirtschaftlichste Lösung, da die Bauteile nur an den entsprechend notwendigen Stellen für die tatsächlich vorhandenen Lasten dimensioniert werden. Zusätzliche oder veränderte Wände (z.B. bei späteren Umbauten oder Umnutzungen) sind dann jedoch nur eingeschränkt oder mit höherem Aufwand, ggf. auch gar nicht möglich (evtl. bei lastweiterleitenden Einzelbauteilen). Daher werden nicht tragende Wände durch einen pauscha-

len Trennwandzuschlag erfasst, der den Nutzlasten zuzuschlagen ist (bei Nutzlasten unter 5,0 kN/m²). Damit ergeben sich anzusetzende Nutzlasten von 3,2 kN/m² bis 5,0 kN/m².

Um eine künftige Flexibilität sowohl bei der Umnutzung einzelner Räume als auch bei Umbauten zu gewährleisten, ist ein einheitlicher Nutzlastansatz von 5,0 kN/m² zu empfehlen. Berücksichtigt man das Eigengewicht der Konstruktion beträgt die damit verbundene Lasterhöhung für Büro- bzw. Klassenräume ca. 29 % bzw. 11 % bei reinen Holzbauten und ca. 15 % bzw. 6 % bei Massivbauten. Werden die Flächen mit jeweils geringeren bzw. jeweils höheren Nutzlasten gemäß ihren Flächenanteilen anteilig berücksichtigt, verbleibt z.B. für die Geschossebenen mit Klassen- und Gruppenräumen eine Lasterhöhung von nur ca. 3 % übrig (Flächenanteil Klassenräume ca. 60%, Räume bzw. Flure mit höherer Nutzlast ca. 40%, Ansatz eines Massivbaues). Vor diesem Hintergrund wird den Berechnungen und Nachweisen eine einheitliche Nutzlast von 5,0 kN/m² zugrunde gelegt.

Raumstrukturen und Spannweiten:

In Abhängigkeit der jeweiligen Raumnutzungen bestehen unterschiedliche Anforderungen an Größe und mögliche Form der Räume. Um eine wirtschaftliche und zugleich flexible Konstruktion und Grundstruktur zu erhalten, empfiehlt sich die Entwicklung eines Grundrasters, an dem sich Wand- und Stützenstellungen möglichst durchgängig orientieren. Die erforderlichen Spannweiten bei der hier gegebenen Nutzung unter Berücksichtigung des Konzeptes der Lernlandschaften liegen im Bereich von ca. 7,5 bis 8,0 m. Für einen optimierten Materialeinsatz ist eine möglichst gleichmäßige Beanspruchung anzustreben. Eine Optimierung durch Einsatz unterschiedlicher Baustoffqualitäten und Bauteildimensionen ist hier nur begrenzt möglich.

▪ **Baugrund**

Als Baugrund stehen unter dem Oberboden mit ca. 30 cm Mächtigkeit bis in größere Tiefen mitteldicht gelagerte Sande und Kiese an. Diese werden nach einer Nachverdichtung gemäß Bodengutachten mit sehr guter Tragfähigkeit bewertet. Für die Gründung ergibt sich damit ein für Flachgründungen sehr gut geeigneter Boden. In nicht unterkellerten Bereichen ist eine intensivere Nachverdichtung erforderlich. Grundwasser wurde bis in Erkundungstiefe von bis ca. 6 m nicht angetroffen und beeinflusst daher die Gründung nicht.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist die Gründung abhängig von der Bauwerksstruktur zu wählen: Bei punktuell abgetragenen Lasten (z.B. Skelettsystem) empfiehlt bei dem gegebenen Baugrund eine Gründung über Plattenverstärkungen bei einer Bodenplatte geringerer Stärke. Werden die Lasten linear über ein Wandsystem abgetragen (z.B. Schottenbauweise), kann auch eine Plattengründung mit stärkerer Bodenplatte ohne Fundamentverstärkungen erfolgen. Damit ergibt sich eine einfache Herstellung der Gründung mit folgenden wirtschaftlichen aber auch ökologischen Vorteilen:

- Geringster Schalaufwand
- Reduzierter Einsatz von Verschleißmaterial (Schalung)
- Reduzierter Maschineneinsatz
- Reduzierter Personaleinsatz
- Reduzierte Bauzeit
- Geringere Bewehrungsmenge

▪ **Brandschutz**

Wesentlichen Einfluss auf die Konstruktion, die eingesetzten Materialien und den Einsatz zusätzlicher Schutzmittel haben die Anforderungen aus dem Brandschutz. Dies können zusätzliche Bauteile (z.B. Bekleidungen), größere Dimensionen oder zusätzliche chemisch wirksame Anstriche (Aufschäumen im Brandfall) sein. Alle Varianten haben in allen Phasen des Lebenszyklus einen Einfluss auf den erforderlichen Energieaufwand sowie auf die Wiederverwendungsmöglichkeiten. Teilweise bestehen Anforderungen an die Wartung und den Unterhalt von Brandschutzmaßnahmen, die bei einer Gesamtbetrachtung zu berücksichtigen sind.

In statisch-konstruktiver Hinsicht ist besonderes Augenmerk auf die Möglichkeit rechnerischer Nachweise unter Berücksichtigung von im Brandfall ausfallenden Bauteilen zu legen. Diese Bauteile sind für die Standsicherheit im Brandfall (reduzierte Lasten, höhere rechnerische Tragfähigkeiten) nicht erforderlich und können daher ohne zusätzliche Maßnahmen für den Brandschutz ausgeführt werden.

▪ **Wärmeschutz und Lüftung**

Mit zunehmenden Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energieeinsparung von Gebäudekonstruktionen und Gebäudehüllen haben neben dem reinen Wärmedurchgangswiderstand und den ökologischen Betrachtungen zum Baumaterial weitere, hinausgehende Eigenschaften von Bauteilen an Bedeutung gewonnen. Dies gilt auch für statisch wirkende Bauteile. Im Zusammenhang damit gilt es das Wärmespeichervermögen von Baustoffen zu berücksichtigen. Weitere Stichworte hierzu sind Strahlungsgewinne, Kältebrücken und die Ausführung von Lüftungsanlagen.

Für den Wärmedurchgangswiderstand und das Wärmespeichervermögen von Baustoffen und Bauteilen ist der Zusammenhang unmittelbar ersichtlich. Auch der Einfluss von Kältebrücken, die es beim Entwurf und der Ausführung von Anschlüssen und Detailpunkten zu vermeiden gilt, ist offensichtlich. Hier gilt es Durchstoßpunkte von Bauteilen und Befestigungen soweit wie möglich zu reduzieren bzw. so klein wie möglich zu konstruieren.

Von der Gesamtkonstruktion des Tragwerks werden aber auch die Möglichkeiten für zu erzielende Strahlungsgewinne beeinflusst. Um Strahlungsgewinne zu maximieren

sind große Fensterflächen und damit ein möglichst reduziertes Tragwerk in der Außenhülle erforderlich.

Von der Lüftungstechnik wird das Tragwerk im Wesentlichen durch die Erfordernis der Berücksichtigung von Leitungstrassen und Durchbrüchen beeinflusst. Hinsichtlich des diesbezüglichen Aufwandes ist ein möglichst dezentrales Lüftungskonzept und damit eine reduzierte Leitungsführung anzustreben. Die Höhe von Unterzügen, Bauteilverstärkungen und Auswechslungen lassen sich damit reduzieren oder vollständig vermeiden.

- **Schallschutz**

Der Schallschutz von Baukonstruktionen hängt wesentlich vom Aufbau und Material, aber auch von den Anschlussmöglichkeiten der Bauteile ab. Schwere, monolithische Konstruktionen haben hier Vorteile gegenüber leichteren Konstruktionen, die zur Gewährleistung eines ausreichenden Schallschutzes häufig nicht ohne zusätzliche Maßnahmen für den Bauteilaufbau und die Anschlüsse auskommen.

- **Raumakustik**

In Schul- und Vortragsräumen muss für eine angenehme Nutzung eine gute akustische Qualität erreicht werden. Hier sind im Allgemeinen Materialien mit weicheren Oberflächen wie z.B. Holz im Vorteil. Erfahrungsgemäß ist aber auch bei profilierten oder gelochten Oberflächen die Wirksamkeit auch dann nicht ausreichend, so dass auch bei Holzoberflächen zusätzliche, akustisch wirksame Elemente erforderlich werden.

- **Belichtung**

Analog zu den Strahlungsgewinnen ergibt sich für die Optimierung der Belichtung und damit der Reduzierung des Energieeinsatzes für künstliche Belichtung das Ziel einer reduzierten Tragwerksstruktur in der Außenhülle. Dies gilt auch für die Fassadenbereiche von Lichthöfen. Hier ergibt sich jedoch in energetischer Hinsicht eine ungünstige Wirkung durch Vergrößerung der Gebäudeoberfläche und damit eine Verschlechterung des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen.

- **Wirtschaftlichkeit der Konstruktion**

Ziel einer Gebäudeplanung ist immer auch die Wirtschaftlichkeit. Hier steckt jedoch bei näherer Betrachtung auch ein ökologischer Aspekt dahinter. Gleichartige Konstruktionen, z.B. von Stahlbeton-Fertigteilen erfordern eine geringere Anzahl von Schalungselementen und eine höhere Wiederverwendungsrate von Hilfsmitteln, die für die Bauteilproduktion erforderlich sind. Wirtschaftlichkeitsaspekte sind zudem das Ausschöpfen von Vorfertigungsmöglichkeiten und eine möglichst einfache Herstellung bzw. Montage. Anschlüsse und Durchstoßpunkte sind nicht nur aus Gründen des Wärmeschutzes, sondern auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (Arbeitsaufwand) und der Dauerhaftigkeit (Gefahr von Undichtigkeiten) möglichst einfach bzw. nur im erforderli-

chen Umfang vorzusehen. Es wird daher vorgesehen die Fassade mit der Dämmebene als Außenhülle vor die tragende Konstruktion zu stellen und selbsttragend auszuführen. Damit wird auch eine ungünstige Randlast für die Deckenebenen vermieden, was sich bei der Bauteildimensionierung günstig auswirkt.

▪ **Nachhaltigkeit der Konstruktion**

Die Nachhaltigkeit einer Baukonstruktion umfasst mehrere Aspekte, die in der Planung zu berücksichtigen sind. Dies ist zum einen die Auswahl der Baustoffe (nachwachsende Rohstoffe, ressourcenschonende Herstellung), zum anderen aber auch eine möglichst hohe Dauerhaftigkeit sowie Vorüberlegungen zur Erstnutzung und möglichen Umnutzungen bei veränderten Nutzeranforderungen oder einem veränderten Nutzungsbedarf. Eine höhere Flexibilität der Konstruktion sowie eine nicht nur für die Erstnutzung optimierte Konstruktion führen hier in der Regel zwar zu etwas höheren Herstellkosten, jedoch auch zu einer verbesserten Nachhaltigkeit der Konstruktion und einem geringeren Aufwand bei notwendigen Veränderungen. Im Zusammenhang damit wird auf die Wahl der angesetzten Nutzlasten verwiesen.

▪ **Rückbau und Entsorgung der Gebäudekonstruktion**

In der Gesamtbetrachtung des Lebenszyklus eines Bauwerks ist sowohl unter wirtschaftlichen als auch unter Aspekten der Gesamtenergiebilanz der Rückbau und die Entsorgung des Gebäudes zu berücksichtigen. Einfache, leicht lösbare und rückbaubare Konstruktionen ergeben hier einen Vorteil. In die Bewertung einfließen muss jedoch die Recyclingfähigkeit von Baustoffen (Ressourcenschonung), der Aufwand für die Wiederaufbereitung und – wenn dies nicht möglich ist – der Aufwand für die Entsorgung (z.B. Sondermüll, Problemstoffe). Verbundbaustoffe müssen in der Regel vor einer Wiederverwendung mit unterschiedlichem Aufwand getrennt werden. Auch Beschichtungen (z.B. aus Brandschutzgründen) stellen Sondermüll dar und müssen vor einem Recycling des Bauteilmaterials (z.B. Stahlbauteilen) entfernt werden.

Wahl des primären Tragwerks

Schulgebäude

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte wurden zwei statische Grundsysteme in die nähere Betrachtung und Analyse einbezogen.

Zum einen ist dies ein **Schottensystem**, bei dem in einem Grundraster durchlaufende tragende und aussteifende Wände zwischen den Räumen angeordnet sind. Aufgrund unterschiedlicher Raumgrößen wird dieses Grundraster unter Berücksichtigung des pädagogischen Konzeptes an den Raumbedarf angepasst. Die Wände werden dabei nicht nur für eine vertikale Lastabtragung von oben nach unten, sondern auch als wandartige Träger zur Lastumleitung auf Tragelemente in der darunter liegenden Geschossebene sowie zur Auf-

hängung der Deckenebene über dem Erdgeschoss genutzt. Die Schottenwände verlaufen mit wenigen Ausnahmen rechtwinklig zur Fassadenachse. Entlang der Fassade verläuft ein Randbalken, der in der Höhe an den Fußbodenaufbau mit Aufkantung (als Überzug) und an die abgehängte Decke (als Unterzug) angepasst ist, so dass die gesamte lichte Raumhöhe für die Belichtung sowie für die Nutzung von Strahlungsgewinnen zur Verfügung steht und konstruktiv notwendige Bauteile gleichzeitig auch statisch genutzt werden. An den Gebäudeecken werden Einzelstützen angeordnet. Weitere, im Grundriss quadratische Trägerachsen stehen im Gebäudeinneren parallel zu den Außenwänden zur Verfügung. Die Gründung erfolgt über eine Bodenplatte auf einem Kiespolster ohne Fundamentverstärkungen.

Alternativ dazu wurde ein **Skelettsystem** untersucht, bei dem in einem regelmäßigen Raster Stützen angeordnet sind. Das Grundraster entspricht dem des Schottensystems. Auch hier ist eine größtmögliche Transparenz der Gebäudehülle gegeben. Entlang der Hauptachsen sind Unterzüge angeordnet, die weitgehend in der abgehängten Decke verschwinden. Für die Raumstrukturen ergibt sich in diesem System die höchst mögliche Flexibilität.

Die Lüftungstechnik wird dezentral an den Außenwandelementen vorgesehen. Der Umfang der erforderlichen Leitungen im Gebäudeinneren ist daher gering, so dass bei beiden Systemen Unterzüge vorgesehen sind. Eine alternative Ausführung mit einer Flachdecke ohne Unterzüge würde zu einer größeren Deckenstärke und zusätzlicher Bewehrung über den Stützen führen und wurde daher nicht weiter verfolgt.

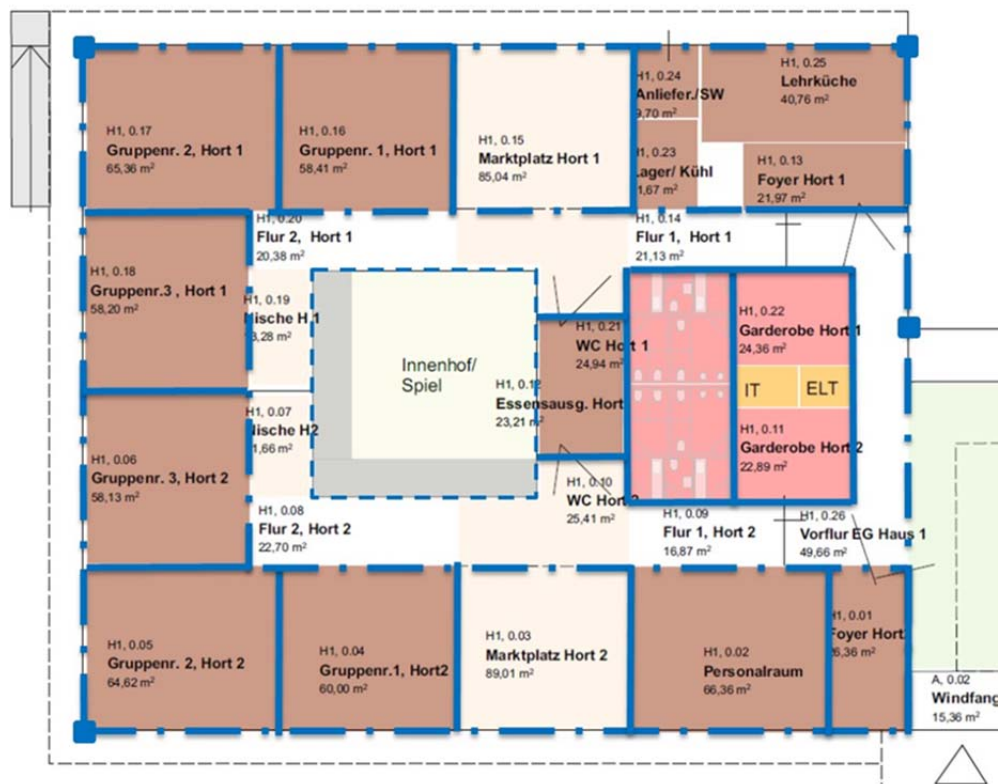


Abbildung 48: Schottensystem: Haus A - EG

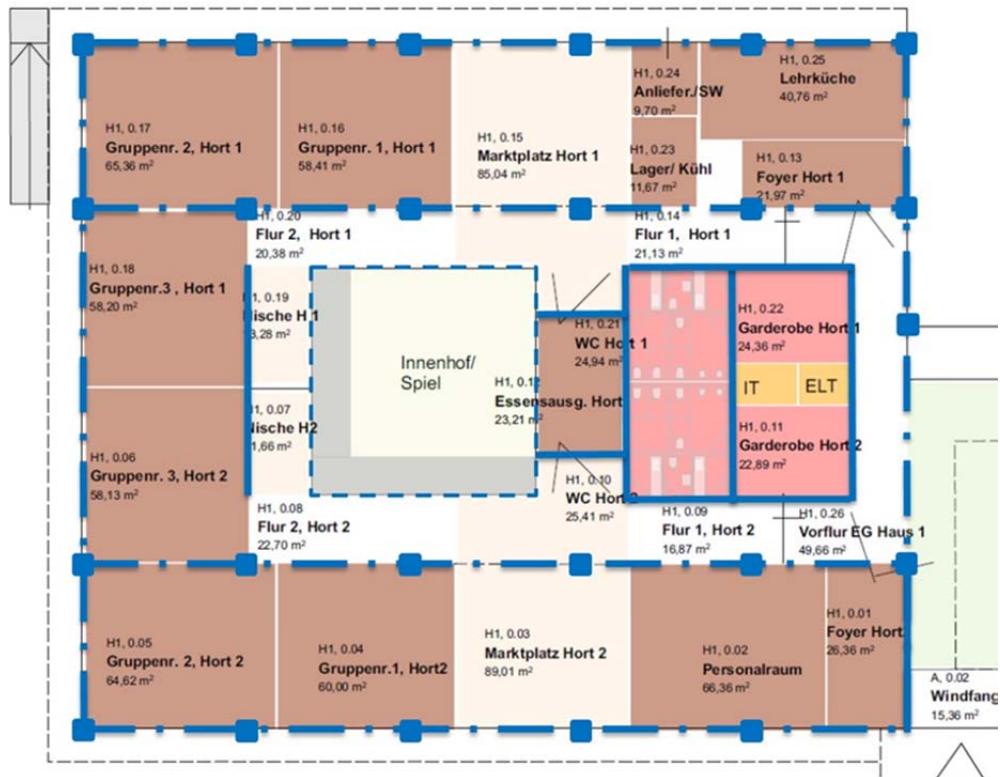


Abbildung 49: Skelettsystem: Haus A - EG

Die Fassadenelemente sind der Gebäudekonstruktion vorgestellt und selbsttragend vorgesehen. Sie laufen von der Bodenplatte bis zum Dach durch und ermöglichen eine Konstruktion, bei der die Kältebrücken weitgehend reduziert werden können. Durch die selbsttragenden Elemente wirken keine ungünstigen Randlasten auf die Decken ein, so dass die Randunterzüge in Dimension und Bewehrungsgehalt minimiert werden können.

Beide Grundsysteme können mit unterschiedlichen Baustoffen ausgeführt werden. Eine reine Holzlösung wurde bereits zu Beginn des Projektes aus folgenden Gründen verworfen:

- Für die großen Spannweiten der Decken wird aus Gebrauchstauglichkeitsgründen (Deckenschwingungen) ein hoher und damit hinsichtlich der Tragfähigkeit unwirtschaftlicher Querschnitt erforderlich
- Durch größere Deckenstärken vergrößert sich die Fassadenfläche und das umbaute Volumen
- Die speicherwirksame Masse der Bauteile ist zu gering
- Zur Gewährleistungen eines ausreichenden Schallschutzes ist ein höherer Aufwand erforderlich

Als technisch und wirtschaftlich sinnvolle Varianten wurden Stahlbetonbauweisen und eine Holz-Beton-Verbundbauweise betrachtet und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet:

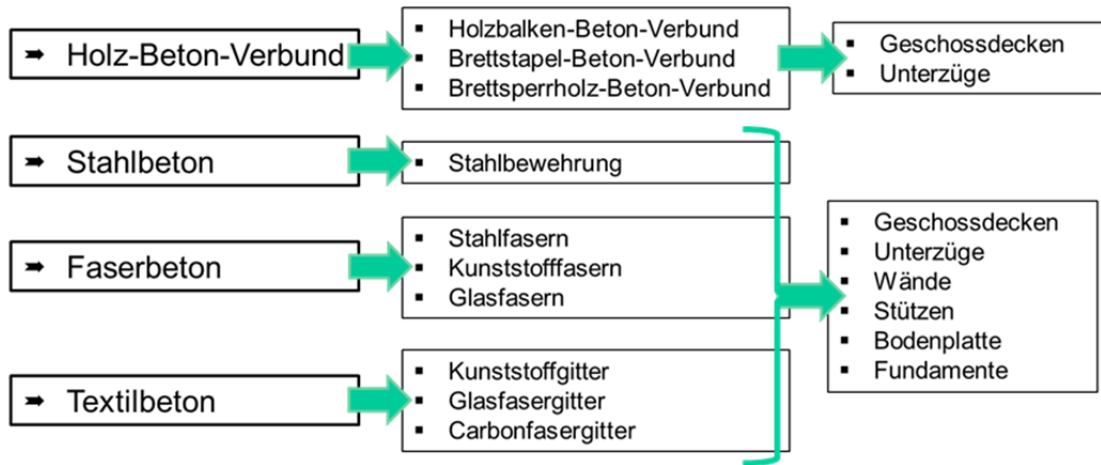


Abbildung 50: Vergleich Baustoffe für Konstruktionen

Holz-Beton-Verbund

- Einsatz nachwachsender Rohstoffe
 - Geringeres Eigengewicht
 - bei Sichtbarkeit Deckenuntersicht: ansprechende Oberfläche
 - bei Sichtbarkeit Deckenuntersicht: begrenzte akustische Wirksamkeit gegeben
- Nur einachsige Tragwirkung geregelt
 - Größere Deckenstärke
 - Schlechtere Lastverteilung
 - Geringe aktivierbare Speichermasse
 - Eingeschränkter Bieterkreis (v.a. regional)
 - Höherer Aufwand für Wiederverwertung
 - Holz kein regional in größeren Mengen verfügbarer Baustoff

Stahlbeton

- Bewährte, wirtschaftliche Bauweise
 - Großer Bieterkreis
 - Schallschutz
 - Brandschutz
 - Große Speichermasse
 - Einsatz von Recyclingbeton (RC-Beton) möglich

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohes Eigengewicht ▪ Bewehrung aus Betonstahl ▪ Harte Oberfläche (Raumakustik)
Faserbeton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schallschutz ▪ Brandschutz ▪ Große Speichermasse
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohes Eigengewicht ▪ Bewehrung aus Stahlfasern ▪ Eingeschränkter Bieterkreis ▪ Nicht für alle Bauteile geregelt ▪ Trennung der Materialien für Wiederverwertung unklar ▪ Harte Oberfläche (Raumakustik)
Textilbeton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewehrung ohne Stahlanteil ▪ Schallschutz ▪ Große Speichermasse ▪ Geringere Bauteildimensionen im Vgl. zu Stahlbeton
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brandschutz nicht geregelt ▪ Nur wenige ausgeführte Beispiele ▪ nicht geregelte Bauweise ▪ geringe Langzeiterfahrung ▪ Kleiner Bieterkreis ▪ Trennung der Materialien für Wiederverwertung unklar ▪ Harte Oberfläche (Raumakustik)

Tabelle 12: Vor- und Nachteile Baustoffe

Aus energetischer Sicht war eine möglichst hohe wirksame Speichermasse zu erzielen. Aufgrund der offenen Bauwerksstruktur (leichte, transparente Außenhülle und flexible Innengestaltung mit offenen Bereichen für das pädagogische Konzept und für eine Ausnutzung der natürlichen Beleuchtung in die Gebäudetiefe) stehen Wände nur eingeschränkt als Speichermasse zur Verfügung, so dass die Aktivierung von Deckenbereichen zwingende Vorgabe war. Dies schränkt die Einsatzfähigkeit von Holz als Baumaterial ein. Bei Holz-Beton-Verbundelementen ist die Betonschicht von unten durch die Holzschicht und von oben in aller Regel durch den Fußbodenaufbau mit Trittschalldämmung abgeschirmt, so dass eine Wärmeaufnahme und -abgabe nicht oder nur in geringem Umfang möglich ist.

Ein Vergleich zwischen Schottensystem und Skelettsystem hinsichtlich der verfügbaren Speichermasse ergab eine klare Präferenz in Richtung Schottensystem. Auch hinsichtlich

des Aufwandes bei den Gründungsbauteilen empfiehlt sich das Schottensystem, da hier keine Fundamentverstärkungen erforderlich sind. Ein Vergleich der erforderlichen bauteilbezogenen Bewehrungsgehalte kommt zu folgendem Ergebnis:

	Schottensystem		Skelettsystem	
Decke	über OG, d = 24 cm	21 kg/m ²	über OG, d = 25 cm	31 kg/m ²
	über EG, d = 26 cm	26 kg/m ²	über EG, d = 26 cm	36 kg/m ²
Unterzüge	OG, Rand	85 kg/m ³	OG, Rand	117 kg/m ³
	OG, innen	133 kg/m ³	OG, innen	166 kg/m ³
	EG, Rand	128 kg/m ³	EG, Rand	165 kg/m ³
	EG, innen	144 kg/m ³	EG, innen	220 kg/m ³
Stützen	OG, d = 25/25 bis 25/30cm	132 kg/m ³	OG, d = 25/25 bis 25/30cm	157 kg/m ³
	EG, d = 25/25 bis 25/40cm	188 kg/m ³	EG, d = 25/25 bis 25/40cm	142 kg/m ³
Wände	OG, d = 25 cm	18 kg/m ²	OG, d = 25 cm	18 kg/m ²
	EG, d = 25 cm	21 kg/m ²	EG, d = 25 cm	21 kg/m ²
Bodenplatte	d = 40 cm	30 kg/m ²	d = 25 cm	25 kg/m ²
Fundamente			b/d = 160-200/ 60 cm	80 kg/m ³
	Dübelleisten, je Modul	15 Stk.	Dübelleisten, je Modul	15 Stk.
gesamt		kg		kg

Tabelle 13: Vergleich Bewehrungsgehalt Schottensystem und Skelettsystem

Für die Vorplanung wurde daher im Weiteren das Schottensystem zugrunde gelegt. Nochmals zusammengefasst waren dafür folgende Punkte ausschlaggebend:

- Größte aktivierbare Speichermasse der Konstruktion
- Gleichmäßige Lastabtragung mit Bodenplatte
- Brandschutz ohne Mehraufwand
- Schallschutz ohne Mehraufwand
- Lokal überwiegende Bauweise mit hoher Zahl regional ansässiger Firmen
- Hohe Flexibilität

Für die um das Gebäude umlaufenden Fluchtbalkone wurden ebenfalls mehrere Varianten untersucht und bewertet (siehe Prinzipzeichnungen).

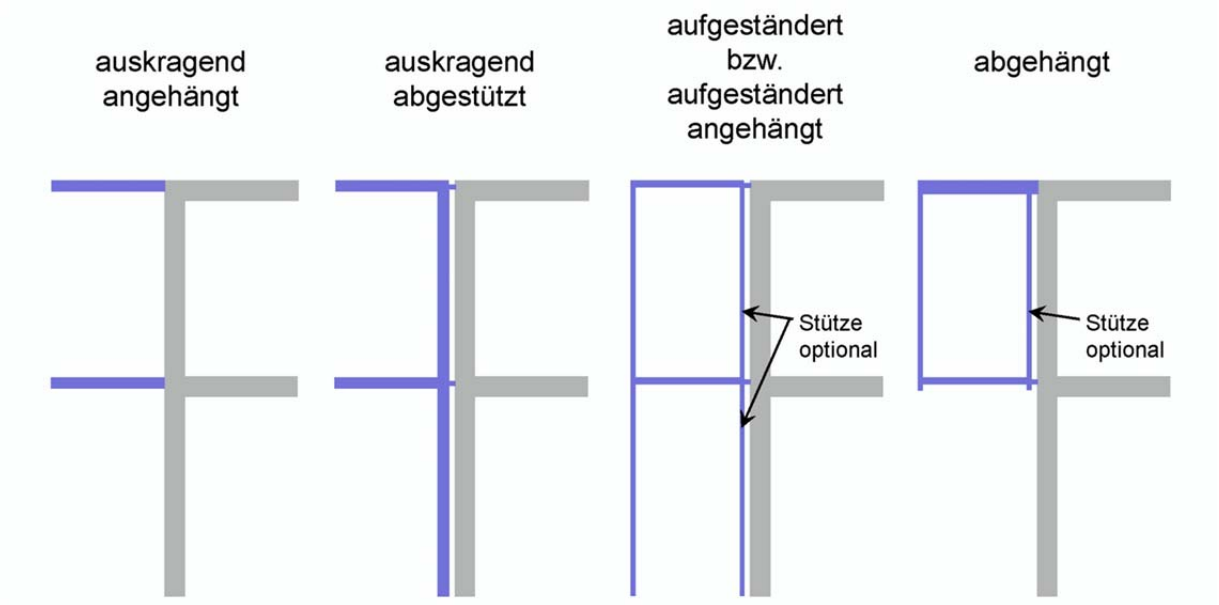


Abbildung 51: Konstruktionsvarianten Fluchtbalkon

	Konstruktion	Vorteile	Nachteile
1 auskragend angehängt	Stb.-Platte d=18 cm ▪Ortbeton ▪Fertigteil ▪Anschluss: Isokorb (durchlaufend oder mind. 50%)	▪ keine Stützen (EG+OG) ▪ freie Fassadengestaltung ▪ keine zusätzlichen Fundamente	▪ Anschluss Isokorb teuer ▪ durchgehende Fassadenanschlüsse erforderlich
2 auskragend abgestützt	Stahlkonstruktion (I-Profile) a = 7,5 m → HEB 240 Stb.-Platte d = 30 cm (Fertigteil C35/45) a = 3,75 m → HEB 200 Stb.-Platte d = 18 cm (Ortbeton/Fertigteil)	▪ keine Stützen in der Außenachse (EG+OG) ▪ freie Fassadengestaltung ▪ nur punktuelle Durchstoßpunkte ▪ keine zusätzlichen Fundamente	▪ etwas aufwändigere Konstruktion
3 aufgeständert/ aufgeständert angehängt	Stahlkonstruktion I-Profile oder Hohlprofile	▪ einfache Konstruktion ▪ punktuelle bzw. reduzierte Durchstoßpunkte	▪ zusätzliche Fundamente erforderlich
4 abgehängt	Stahlkonstruktion	▪ keine Stützen im EG ▪ Fassade durchlaufend ▪ nur punktuelle Durchstoßpunkte	▪ Brandschutz: ZIE für zugbeanspruchte Stahlbauteile

Tabelle 14: Vergleich Konstruktionsvarianten Fluchtbalkon

Für die Vorplanung wurde das aufgeständerte, angehängte System (Variante 3) gewählt. Damit lassen sich die Durchstoßpunkte zum Gebäude (Kältebrücken, Anschlüsse der Fassadenebene) auf ein Mindestmaß reduzieren. Es werden keine zusätzlichen Lasten im kritischen Randbereich in die Geschossdecken eingetragen. Die Gründung erfolgt eigenständig unabhängig von der Bodenplatte der Gebäude.

Die Balkonplatten werden als vollflächige Fertigteil-Betonplatten mit hoher Betonfestigkeit vorgesehen. Die Ebene des Witterungsschutzes wird an die Balkonplatten angeschlossen, so dass durch die Balkonplatten zugleich ein optimaler Witterungsschutz für das Gebäude und die Fassade erreicht wird.

Mehrzweckraum:

Im Bereich des Mehrzweckraumes ist aufgrund der erforderlichen Raumgröße eine größere Spannweite vorhanden. Ein hohes Eigengewicht der Decken- bzw. Dachkonstruktion führt zu größeren Lasten in den lastweiterleitenden Bauteilen und in der Gründung, so dass hier auf eine möglichst leichte Konstruktion abgezielt wurde. Als Konstruktionsvarianten wurden ein flächiges Holztragwerk mit gedämmten Kastelementen und eine Trägerkonstruktion mit statisch mitwirkender Deckenplatte untersucht.

Für die vertikale Lastabtragung sind entsprechend der übrigen Gebäudestruktur Stahlbetonwände vorgesehen. In diesem Bereich befindet sich eine Unterkellerung, über die die Lasten in den Baugrund durch Streifenfundamente übertragen werden.

Sporthalle:

Die Sporthalle wird entsprechend dem Schulgebäude in Stahlbeton mit Plattengründung im Bereich der Umkleide- und Nebenräume sowie mit Streifenfundamenten im Bereich der Halle und der Geräteräume vorgesehen. Die Dachkonstruktion besteht aus einem leichten Holzdach mit Bindern aus Brettschichtholz und einer Beplankung. Die Binder spannen parallel zum Trennwandvorhang, der hier in der Konstruktionshöhe verschwindet. Dadurch wird keine zusätzliche Konstruktionshöhe benötigt und die Fassadenfläche wird minimiert. Auf die hier erhöhten Lasten kann mit einer Verringerung des Binderabstandes oder mit einer Erhöhung der Holzqualität reagiert werden. Das Holzdach ruht auf einer Stahlkonstruktion mit umlaufender Glasfassade, die eine natürliche Belichtung der Halle ermöglicht.

5.3.4 Einsatz ressourcenschonender Baustoffe

5.3.4.1 RC-Beton

Der Einsatz von Recycling-Beton (RC-Beton) ist in Deutschland bisher nahezu unbekannt, obwohl RC-Beton über die Bauregelliste ein eingeführter Baustoff ist (Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton). In der Schweiz dagegen liegen zahlreiche positive Erfahrungen vor und es wurden bereits bedeutende Gebäude mit RC-Beton errichtet. Der Baustoff ist fast landesweit als üblicher Baustoff etabliert.

Die genauere Zusammensetzung von Beton richtet sich nach den Vorgaben der Bauwerkskonstruktionen und den erwarteten äußeren Einflüssen wie z.B. der Witterung. Auch RC-Beton kann in unterschiedlichen Rezepturen hergestellt werden. Wesentlich ist, dass ein Teil der mineralischen Zuschlagsstoffe aus sekundären Rohstoffquellen wie der Aufbereitung von Altbetonen bezogen wird.

Eine geregelte Anwendung von RC-Beton gemäß DAfStb-Richtlinie „Beton für recycelte Gesteinskörnungen“^{4 5} ist unter folgenden Bedingungen geregelt:

- Beschränkung der Betonfestigkeitsklasse: Anwendbarkeit bis C30/37
- RC-Gesteinskörnungen dürfen bei trockenen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden (W0 gem. Alkalirichtlinie, Expositionsklasse XC1)
- Anteil der RC-Gesteinskörnung abhängig von den Umgebungsbedingungen (Expositionsklassen)
- Anteil RC-Gesteinskörnung bei trockenen Bauteilen: max. 45 Vol.% für Typ 1, max. 35 Vol.% für Typ 2
- Feuchte Umgebung entsprechend WF gem. Alkalirichtlinie, Expositionsklassen X0, XC1 bis XC4, XF1, XF3, XA
- Beton mit hohem Wassereindringwiderstand, wenn
 - o Bekannte Herkunft der recycelten Gesteinskörnungen (Zuordnung zu Alkaliempfindlichkeitsklasse möglich)
 - o Unbekannte Herkunft: Verwendung entsprechend Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S
 - o Für WA gem. Alkalirichtlinie nur bei Gutachten als unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse
- Keine RC-Gesteinskörnungen für Spannbeton und Leichtbeton
- Keine Anwendung des Prinzips der Betonfamilien
- Regelanforderungen nach DIN EN 12620
- Keine schädlichen Auswirkungen der Gesteinskörnungen auf Boden und Grundwasser (Nachweis derzeit nur mit Allgemeiner Bauaufsichtszulassung möglich!)
- Festlegung der Zusammensetzung anhand einer erweiterten Erstprüfung (Konsistenz, Fließmitteldosierung, Feuchtegehalt Gesteinskörnung)
- Zusätzliche Anforderungen an die Produktionskontrolle (Sichtprüfung, Korn- und Frischbetonrohddichte, Wasseraufnahme)

⁴ Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit recycelten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1, DAfStb, Sept. 2010

⁵ Optimierung der Ressourceneffizienz in der Bauwirtschaft: R-Beton hilft Stoffkreisläufe schließen, Fachsymposium des Innenministeriums Baden-Württemberg, 20. Januar 2016, Stuttgart

Mit der vorliegenden Richtlinie ist eine Bemessung nach DIN EN 1992-1-1 wie für regulären Beton möglich. Besondere weitere Anforderungen, wie z.B. zusätzliche Nachweise, werden an die Tragwerksplanung nicht gestellt. Eine Spezifizierung erfolgt über die Frischbetoneigenschaften und die Festlegung des Betons wie bei üblichem Beton. Eine allgemeine Anwendbarkeit von RC-Beton ist damit gegeben. Im üblichen Hochbau bestehen i.d.R. keine zusätzlichen Anforderungen, so dass in den meisten Fällen RC-Beton eingesetzt werden könnte.

RC-Beton wurde bereits in einigen Projekten in der Praxis eingesetzt. Erfahrungsberichte liegen dazu teilweise vor, in denen weitere Empfehlungen gegeben werden ^{6 7} (folgende Auflistung auszugsweise, nicht vollständig):

- Vorbehandlung bei der Herstellung: aufgrund einer erhöhten Wasseraufnahme sollte die RC-Gesteinskörnung vorgewässert werden
- Materialprüfung: keine zusätzlichen Anforderungen, es sollte jedoch der abschlämmbare Anteil der RC-Gesteinskörnung bestimmt werden
- Erhöhter Wasseranspruch, daher Einsatz von Fließmitteln empfehlenswert (leicht erhöhter Bedarf im Vergleich zu konventionellen Zuschlägen, Fließmittel mit ausreichender Nachverflüssigung)
- Keine erhöhten Anforderungen an die Prozesse des Gebäudeabbruches, da selektiver Abbruch bereits Stand der Technik ist
- Bisherige Praxisbeispiele mit Gesteinskörnung 1 gemäß DIN 4226-100 (gebrochenes Material mit mind. 90 % Altbeton)
- Für RC-Gesteinskörnung jede Betonart verwendbar, wenn Zementstein weitgehend von den Zuschlagskörnern entfernt wird
- Festlegung nach Frischbetoneigenschaften: Keine Anpassungen im Bauablauf und in der TWP erforderlich (trockene Bauteile, bis C30/37)
- Der Feinkornanteil mit Korngrößen von unter 2 mm darf nicht aus Recyclingmaterial bestehen

Ausgeführte Beispiele (kleine Auswahl, nach ²):

- Servergebäude der Universität und des Universitätsklinikums Tübingen
- Universität Stuttgart, Pegasus-Praktikumsgebäude
- Mehrere Gebäude in der Schweiz

⁶ Florian Knappe: Der ressourcenschonende RC-Beton und seine Herstellung - ein Leitfaden, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), Januar 2011

⁷ RC-Beton im Baubereich - Informationen für Bauherren, Planer und Unternehmen, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, März 2011

Anwendungsmöglichkeiten im Projekt sind im gesamten Gebäudebereich gegeben. Die Umgebungs- und Randbedingungen erfüllen die Anforderungen gemäß DAfStb-Richtlinie.

Hinsichtlich der ökologischen Qualität von RC-Beton gibt es auch kritische Würdigungen, die im weiteren Projektverlauf berücksichtigt werden müssen.

Das Ergebnis des DBU-Forschungsprojekts „Erarbeitung eines innovativen Energie-, Ökologie- und Informationskonzepts für die Umweltstation der Stadt Würzburg“ (Az: 33520/01-35), Würzburg 12/2016 (noch nicht veröffentlicht) weist z.B. nach, dass die Vorteile des RC-Betons ausschließlich auf einer Verkürzung der Transportwege resultiert (S. 73). Es wird zusätzlich darauf hingewiesen, dass ein wesentliches Problem im Mangel an Deponieraum für den abgebrochenen Beton besteht. Für die Umweltentlastung von größerer Bedeutung ist daher voraussichtlich z.B. die Entwicklung von Zementsorten mit vermindertem Klinkergehalt. Es wird auf eine Arbeit von Prof. Graubner verwiesen..

Für eine ökologische Gesamtbewertung im konkreten Projekt und eine Bewertung der Nachhaltigkeit sind daher im weiteren Planungsprozess der Stand der Technik, der Aufwand bei der Herstellung und der Transport einzubeziehen:

- Energieeinsatz für das Herstellen des Recycling-Zuschlages unter Berücksichtigung unterschiedlicher Herkunft
- Prognose zur Verfügbarkeit verwendbaren Betonabbruches bezogen auf das Bauvolumen
- Bewertung des Flächenverbrauches und der Renaturierung bei Kieswerken

Aus den genannten bisherigen Anwendungsgrenzen, den regionalen Besonderheiten sowie der Verfügbarkeit und des möglichen Einsatzvolumens sind die Anwendungsgrenzen sinnvoll zu erweitern. Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Kann der Anteil des RC-Zuschlages an den Zuschlagstoffen erweitert werden?
2. Welche Einschränkungen für das Recyclingmaterial gibt es (z.B. Kontamination)
3. Kann die Grenze der maximalen Betonfestigkeit erweitert werden?
4. Welche Vereinfachungen im Recyclingprozess sind möglich?

Zur Beantwortung der Fragestellungen sind hier und im Ausland ausgeführte Bauwerke zu analysieren (Anforderungen, Randbedingungen, Ausführung, Probleme, Langzeiterfahrungen). Regionale Betonhersteller sind auf ihre Eignung zur Herstellung von RC-Beton zu überprüfen. Dies hat Einfluss auf den erforderlichen Energieaufwand (Transportwege).

Ausblick

Weitere forschungsrelevante Themenbereiche sind beispielsweise die Optimierung des Bewehrungsgrades.

Für die weitere Bearbeitung ist zudem aus ökologischer Sicht die Optimierung der Stahlbetondecken näher zu untersuchen:

Im Zuge der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass in einer Stahlbetonkonstruktion der aus ökologischer Sicht entscheidende Faktor der Bewehrungsstahl ist, die Betonmenge ist von untergeordneter Bedeutung. Die Tragfähigkeit von Stahlbetondecken hängt im Wesentlichen von den Einflussfaktoren Deckenstärke, Betonfestigkeit und Bewehrungsgehalt ab. Aus diesen Faktoren lässt sich ein optimaler Deckenaufbau ermitteln, der sich an wirtschaftlichen oder an ökologischen Gesichtspunkten orientieren kann. Dabei spielen die gegebene Belastung sowie weitere Einflüsse auf die Baukonstruktion wie z.B. Dimensionierung der lastweiterleitenden Bauteile und Fassadenfläche eine Rolle.

5.3.4.2 Ressourcenschonende Primärkonstruktion

Die Entscheidungsfindung innerhalb des Projekts hat sich zunächst auf die Frage der ressourcensparsamen Primärkonstruktion konzentriert. Dazu wurden zwei Varianten auf Basis der Grundkonstruktion des Tragwerks mittels der Ökobilanz untersucht:

- Schottensystem
- Skelettsystem

Dabei wurde jeweils eine Bauwerksachse mittels der Software LEGEP modelliert.

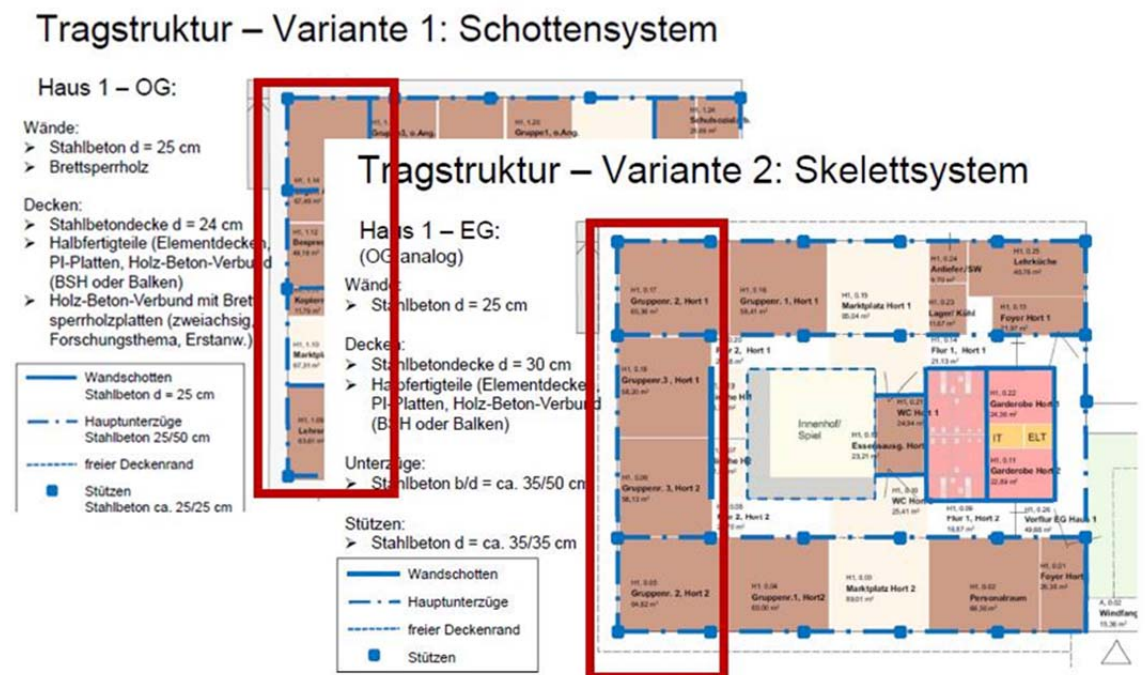


Abbildung 52: Übersicht Primärkonstruktion der untersuchten Bauteilachsen

Bei diesen kleinteiligen Untersuchungen ist es von entscheidender Bedeutung, dass alle notwendigen Teile des Systems erfasst werden. Die folgende Abbildung zeigt die Mengenermittlung für das Schottensystem.

Mengenermittlung

Haus 1 EG	1 Achse							
Tragstruktursystem	Skizze Burger/Präsentation Kelsterbach			Pläne Gruber 20.1.2017				
Variante	Bauteile							
Schottensystem	Wände	Wände	Wände	Unter-züge	Unter-züge	Stützen	Decke	
Länge	15,7	23,55	15,7	15,7	31,4	3,7	31,4	
Zusatz Achse			-0,3	0,3	-0,3		0,3	
Summe	15,7	23,55	15,4	16	31,1		31,7	
Breite/Höhe	3,7	3,7	3,7		15,7		7,85	
Zusatz Achse					-0,15		0,15	
Summe	3,7	3,7	3,7		15,55		8	
Anzahl						4		
Querschnitt	25	25	20 25/50	25/50	30/30		26	
Material	Stb	Stb	KS	Stb	Stb	Stb	Stb	
Bewehrungsanteil kg	m ²	m ²			m	m	m ²	
Stabstahl								
Mattenstahl								
Fläche-Länge	58,09	87,135	56,98	16	46,65	14,8	253,6	

Tabelle 15: Mengenermittlung Bauteile Schottensystem

Von wesentlichem Einfluss auf die Ökobilanz von Stb-Bauteilen ist der Bewehrungsanteil. Dieser wurde als Basisinformation durch BBi für jedes Bauteil geliefert und bei der Modellierung von Stützen, Unterzügen, Decken und Wänden berücksichtigt.

Der Bewehrungsgehalt kann der Tab. 13 bzw. Tab.16 entnommen werden.

Decke	über OG, d = 24 cm	21 kg/m ²
Decke	über EG, d = 26 cm	26 kg/m ²
Unterzüge	OG, Rand	85 kg/m ³
	OG, innen	133 kg/m ³
	EG, Rand	128 kg/m ³
	EG, innen	144 kg/m ³
Stützen	OG, d = 25/25 bis 25/30cm	132 kg/m ³
	EG, d = 25/25 bis 25/40cm	188 kg/m ³
Wände	OG, d = 25 cm	18 kg/m ²
	EG, d = 25 cm	21 kg/m ²
Bodenplatte	d = 40 cm	30 kg/m ²
	Dübelleisten, je Modul	15 Stk.

Tabelle 16: Bewehrungsanteil der untersuchten Bauteile

Die Rahmenbedingungen der Ökobilanz werden im Abschnitt 5.3.6 Ergebnisse Ökobilanz differenziert dargestellt. Die Berechnungsergebnisse für die Tragstruktur zeigen sowohl bei dem Stoff- und Energiefluss die Vorteile für das Schottensystem, als auch bei den Wirkungsbilanzen. Das Schottensystem ist ca. 2,6% leichter und der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PE nichtern.) um ca. 6.6% reduziert. Das Ergebnis bezieht sich auf die Phasen A1-A3 und C3.

LCA – Stoffmasse kg

PE nicht erneuerbar MJ

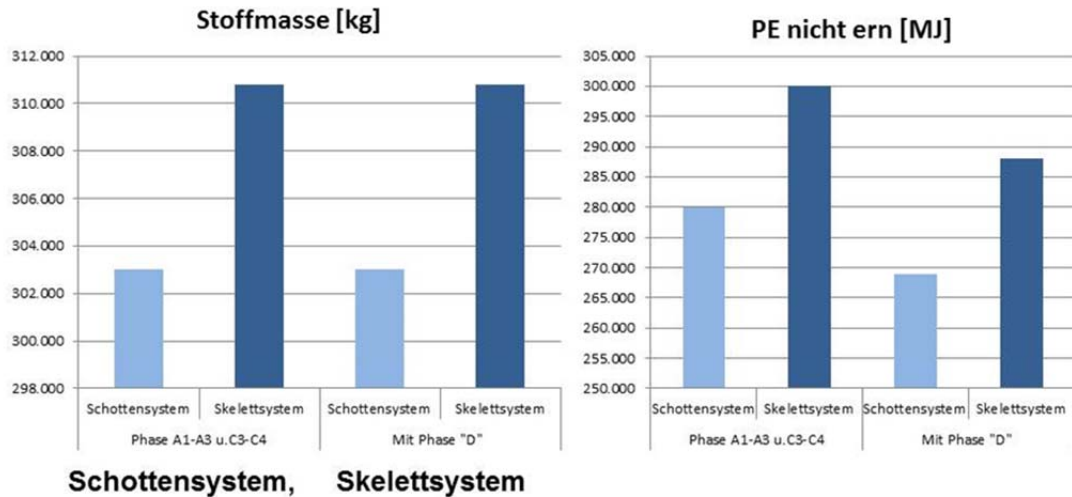


Abbildung 53: LCA-Stoffmasse und Primärenergie nicht erneuerbar

Die Wirkungsbilanz wird in der folgenden Abbildung für den Indikator Treibhausgas- und Versauerungspotenzial aufgezeigt. Das Treibhausgaspotenzial ist beim Schottensystem um 4,6% reduziert und das Versauerungspotenzial um 1,2%.

Treibhausgaspot. kg CO₂äqu. Versauerungspot. kg SO₂

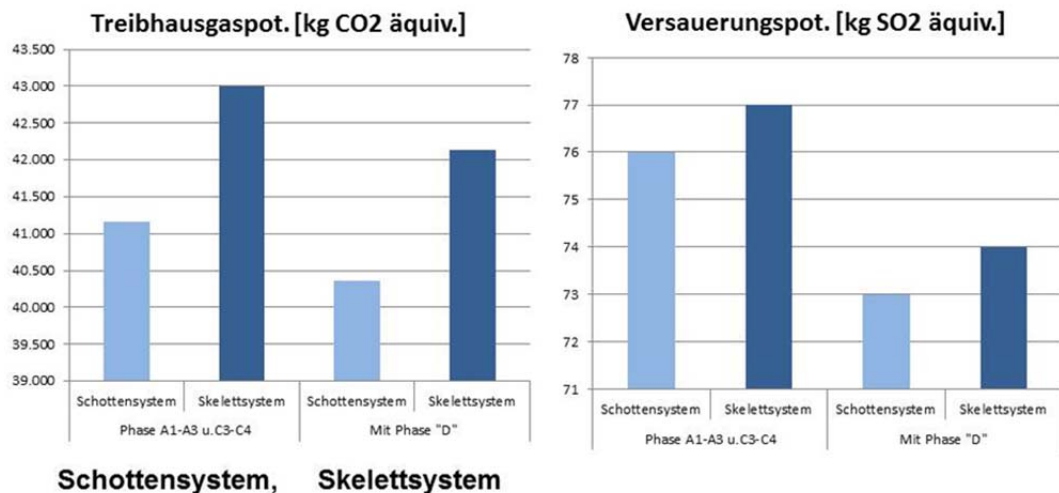


Abbildung 54: LCA-S Treibhausgas- und Versauerungspotenzial

Fazit

Die Unterschiede der beiden Strukturen sind relativ klein. Die Tragkonstruktion hat aber wegen des hohen Gewichts und den enthaltenen Rohstoffen (Beton und Stahl) einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis der Ökobilanz des Gebäudes. Jede erfolgreiche Reduktionsstrategie bedeutet einen wichtigen Faktor für die Umweltentlastung. Ein Einsatz von bindemittelreduziertem Beton bzw. eine Reduktion von Masse und Bewehrung wäre noch zu prüfen.

5.3.5 Ergebnisse Ökobilanz

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

5.3.5.1 Varianten

Für die Ermittlung eines Lösungskonzepts mit möglichst geringer Umweltbelastung bei der Gebäudeerstellung, des Gebäudebetriebs und des Rückbaus werden zwei grundsätzliche Varianten untersucht. Die Sporthalle ist zunächst bei allen Varianten noch nicht berücksichtigt.

Die Variante A- Standard: Diese Schule entspricht im Raumprogramm exakt den Vorgaben des Bauherren. Das Gebäude hält die Grenzwerte der Energieeinsparverordnung 2016 (EnEV) ein. Abweichend von der Forderung der EnEV wird das gesamte Gebäude be- und entlüftet. Die dazu notwendige Technik wird als zentrale Lüftungstechnik geplant mit den dafür notwendigen Installationen an der Decke. Dies führt zu einer Erhöhung der Geschosshöhe um 40 cm. Diese Variante wird mit drei verschiedenen Heiztechniken modelliert:

- Gasbrennwerttechnik – **EnEV- 2016- Gas**
- Fernwärme 100 fossil – **EnEV-2016-FW**
- Wärmepumpe Luft-Wasser – **EnEV-2016-WP**

Grundsätzlich müssen alle Gebäudevarianten drei Anforderungen einhalten:

- Hüllflächen-Grenzwert H_t (Gesamtwert für U-Werte aller Hüllflächen)
- Primärenergiegrenzwert Q_P kWh/m²a
- Erneuerbare Energie Wärmegezet (EEWärmeG)

Für die Erfüllung der Anforderungen entsprechend des energetischen Niveaus, müssen unterschiedliche Strategien eingesetzt werden. Dabei ist die eingesetzte Heiztechnik von entscheidender Bedeutung, weil der Primärenergiegrenzwert der EnEV aus dem Endenergie-

bedarf und der Primärenergiekennzahl des eingesetzten Energieträgers ermittelt wird. Ein fossiler Energieträger (z.B. bei Gasbrennwerttechnologie) kann nur noch verwendet werden, wenn die U-Werte der Bauteile erheblich unter den Mindestanforderungen liegen. Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Energieträger bzw. der Einsatz von Umweltwärme (Wärmepumpe) erlaubt eine Erhöhung der Dämmwerte (Verschlechterung) bis zum Grenzwert Ht. Zur Einhaltung des EEWärmeG ist beim Einsatz eines fossilen Energieträgers zusätzlich eine thermische Solaranlage für die Warmwasserbereitung zu installieren. Bei Verwendung von nachwachsenden Brennstoffen oder Umweltwärme entfällt diese Anforderung. Diese Rahmenbedingungen erfordern bei unterschiedlicher Heiztechnik angepasste Lösungen für die Hüllflächenbauteile.

Variante B- Planung: Diese Schule entspricht im Raumprogramm ebenfalls exakt den Vorgaben des Bauherren. Das Gebäude soll als Plus-Energievariante konzipiert werden. Dies bedeutet für den Heizwärmebedarf im Bereich von 15 kWh/m²a zu liegen, den Strombedarf für die Beleuchtung zu senken und die Leistungen im Bereich Lüftungs- und Kühlungsenergie ebenfalls zu reduzieren. Das gesamte Gebäude wird be- und entlüftet und die Komfortwerte für den winterlichen Wärmebedarf und den sommerlichen Überwärmungsschutz eng zu setzen. Näheres dazu wird im Kapitel 5.2 ausgeführt. Die dazu notwendige Technik wird als dezentrale Lüftungstechnik geplant. Dies führt zu einer um 40 cm geringeren Gebäudehöhe. Als Heizungstechnik wird eine strombetriebene Wärmepumpe Luft-Wasser eingesetzt. Diese Variante wird in der Auswertung wie folgt bezeichnet:

- Wärmepumpe Luft-Wasser – **Planung-2016.**

5.3.5.2 Flächenbedarf

Die Flächenwerte bilden die Basis für die Kennwerte:

- Bruttogrundfläche (BGF) ist die Bezugsgröße für den Kennwert der Lebenszykluskosten
- Nettoraumfläche (NRF), ist die Bezugsgröße für die Ökobilanz

Die zwei Varianten weisen nahezu den gleichen Flächenbedarf auf. Der Unterschied besteht in der Kubatur, die aber keinen Kennwert bildet.

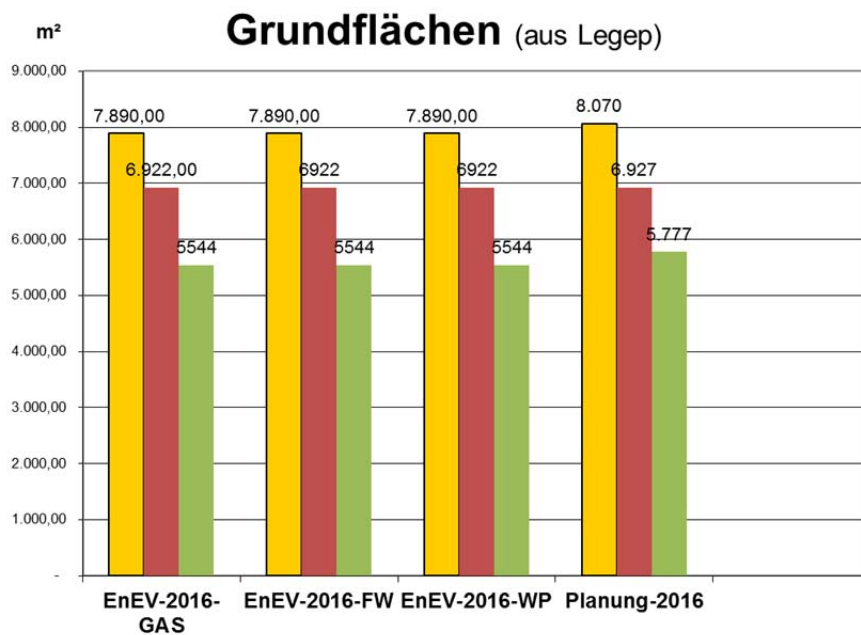


Abbildung 55: Flächenvergleich der Varianten (grün = NF; gelb = BGF und rot = NGF)

5.3.5.3 Energiebedarf

Die durchgeführten Berechnungen haben folgende externe Parameter berücksichtigt:

- Energieberechnung nach EnEV 2016 für die Varianten A- EnEV 2016 Gas/Fernwärme/WP berechnet mit der LEGEP Software (ENEV-Nachweis noch ausstehend)
- Energieberechnung nach Simulation für die Variante B-Planung 2016 (siehe Kapitel 5.2.8)
- PV- Kosten und Ertragsrechnung (siehe Kapitel 5.2.7)

Der Versorgungsaufwand ergibt sich aus dem berechneten Endenergiebedarf für die vier Modelle. Dieser wird in der folgenden Abbildung nach den einzelnen Bedarfsträgern unterschieden.

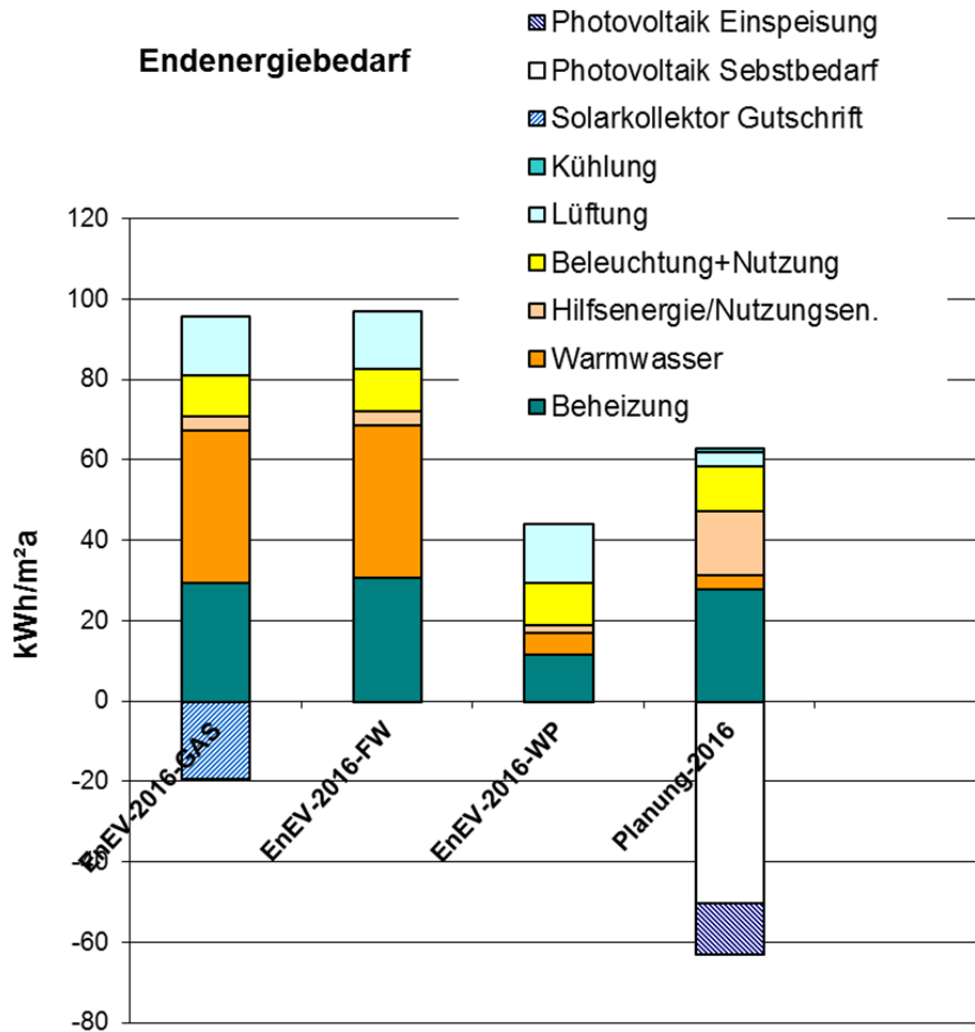


Abbildung 56: Endenergiebedarf der vier Modelle in kWh/m²a.

Im Endenergiebedarf zeigt sich der Vorteil der Plusenergieschule. Dieser Vorteil wird bei dem Punkt 5.2.6 und 5.2.7 dargestellt und erläutert. Die Lebenszykluskostenrechnung und Ökobilanz ergänzt dazu den Vorteil der Photovoltaikanlage und den Aspekt des Lebenszyklusgedankens (langfristige Betrachtung). Einen erheblichen Einfluss auf die Medienkosten hat die Abschätzung des Eigenbedarfs an elektrischem Strom aus der PV-Anlage. In diesem Projekt soll der Eigenbedarfsanteil durch den Einsatz einer Batteriespeicheranlage erhöht werden. Die Aufteilungsquote ist von besonderer Bedeutung, da der Eigenverbrauch den externen Strombezug einspart. Im Gegensatz zu den Kostenansätzen beim Gymnasium Dierdorf haben sich die finanziellen Rahmenbedingungen geändert. Die Netzeinspeisung wird zum jetzigen Zeitpunkt mit 10,83 Cent/kWh vergütet. Für den Eigenverbrauch wird aber eine Abgabe von 2,75 Cent/kWh verrechnet. Die Bezugskosten für Strom betragen in der Gemeinde Kelsterbach niedrige 15,4 Cent/kWh. Dies sind für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der PV-Anlage relativ ungünstige Rahmenbedingungen.

5.3.5.4 Rahmenbedingungen der Ökobilanz

Die Ökobilanz eines Gebäudes benötigt Daten für den Stoff- und Energieaufwand für Bauprodukte und Wirkungsbilanzen. Diese finden sich in öffentlichen oder privaten Datenbanken. Die Ökobau.dat wird als Ökomoduldatenbank durch das BMUB für die Ökobilanzierung in Deutschland und bei der Zertifizierung nach BNB, DGNB und NaWoh online zu Verfügung gestellt. Diese Datenbank wird in die LEGEP-Ökobilanzdatenbank eingelesen. Somit ist eine vollständige Datenkonsistenz gewährleistet. In dieser Studie wird die Ökobau.dat 6-2016 angewendet. Für die Berechnung der Ökobilanz müssen die Regeln der ISO 14040 und 14044, bzw. DIN EN 15804 und 15978 angewendet werden. Die Module der Datenbank Ökobau.dat 6-2016 entsprechen diesen Regeln.

Ein zweiter Aspekt ist die Anwendung von gleichen Rechenregeln für Gebäude, soweit diese nicht in der DIN EN 15978 festgelegt sind. Dies betrifft die Indikatorenauswahl oder die Festlegung der Systemgrenze. Die Einhaltung dieser Regeln stellt die Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse sicher. Für diese Studie werden die Regeln des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) entsprechend der Steckbriefe 1.1 .1-1.1.5/1.2.1- 1.2.2 angewendet.

Ein dritter Aspekt ist die Wahl einer einheitlichen, genormten Bezugsgröße der Berechnungsergebnisse. Im Bewertungssystem BNB werden die Daten bei der Gebäudebilanzierung auf einen m² Nettoraumfläche (NRF) bezogen. Diese Kennwertgröße wird in dieser Studie verwendet.

5.3.5.5 Rahmenbedingungen der Ökobilanz

Die Ökobilanzmodule der Ökobau.dat welche die Sach- und Wirkungsbilanzdaten für Bauprozesse, Bauprodukte sowie für Prozesse u.a. der Energiebereitstellung und der Entsorgung enthält, sind für Nutzer auf der Internetplattform des BMUB zugänglich (www.nachhaltigesbauen.de/Ökobaudat). Die Datenmodule der Ökobau.dat 2016 beinhalten Datensätze unterschiedlicher Herkunft. Es wird zwischen vier Kategorien unterschieden:

- Generic – Aus unterschiedlichen Quellen erhobener Datensatz mit Malusaufschlag
- Representativ – Durchschnittsdatsatz ausgewählter Hersteller
- Average – Durchschnittsdatsatz einer Herstellergruppe
- Specific – Datensatz eines Herstellers

Während die Datenbank 2009 nahezu ausschließlich aus generischen Datensätzen bestand, bemühen sich die Verbände und einzelne Hersteller von Bauprodukten die Ökobilanzen für Bauprodukte mittels der normierten Umweltproduktdeklaration zu Verfügung zu stellen. Dadurch hat sich die Datenlage für die Ökobilanz im Baubereich erheblich verbessert. Da in einigen europäischen Ländern mittlerweile die Ökobilanz verpflichtender Bestandteil bei öffentlichen Bauvorhaben ist, haben die Hersteller die Ökobilanz als ein wesentliches Gestal-

tungsinstrument der Leistungserklärung des Bauprodukts erkannt. Deshalb werden alle Gestaltungsspielräume der Ökobilanz ausgenutzt und es ergeben sich in Einzelfällen wesentlich bessere Werte bei den Verbands- oder spezifischen Herstellerdatensätzen als bei den generischen Durchschnittswerten.

Für die Erstabschätzung der vergleichenden Ökobilanz wird empfohlen die Berechnung mit den allgemein verfügbaren generischen bzw. repräsentativen Datensätzen durchzuführen, da damit ein wertkonservativer Ansatz verfolgt wird. Im Laufe des Planungs- und Bauprozesses kann dann auf Verbands- oder herstellerspezifische Datensätze gewechselt werden. Dieses Vorgehen wird in der vorliegenden Studie nicht praktiziert.

5.3.5.6 Ökobilanzindikatoren und Systemgrenze

Folgende Indikatoren werden zur Berechnung herangezogen:

Inputbilanz

Bilanziert wird der Primärenergiebedarf, differenziert in:

- Primärenergiebedarf (PE ern.) aus erneuerbaren Quellen in MJ
- Primärenergiebedarf (PE nicht ern.) aus nicht erneuerbaren Quellen in MJ
- Gesamt-Primärenergiebedarf in MJ.

Wirkungsbilanz

Emissionen in Luft, Boden und Wasser werden einer effektorientierten Bewertung (Wirkungsbilanz) unter Verwendung der Kernindikatoren nach DIN EN 15978 erhoben:

- Treibhausgaspotenzial (kg CO₂-Äquivalent)
- Versauerungspotenzial (kg SO₂-Äquivalent)
- Ozonschichtabbaupotenzial (kg CFC11-Äquivalent)
- Ozonbildungspotenzial (kg Ethen-Äquivalent)
- Überdüngungspotenzial (kg Phosphat-Äquivalent)
- Abiotischer Ressourcenverbrauch (kg Sb-Äquivalent).

Die Systemgrenze, auch Bilanzraum genannt, beschreibt den genauen Umfang der Erfassung für die Bilanzierung. Für die vorliegende Studie wird der Bilanzraum beschrieben durch

- die Lebenszyklusmodule
- die Regelungen der EoL-Phase
- die Energiebedarfsberechnung
- die Erfassungstiefe der Gebäudemodellierung
- den Betrachtungszeitraum

Betrachtete Module

Die Betrachtung des Lebenszyklus der Gebäude erfolgt gemäß der Zielsetzung nach dem Cradle-to-gate with options (von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen) Prinzip [EN 15804]. Für die Gebäudebewertung werden die Normen EN 15978 *Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden* sowie auf Bauprodukteebene die EN 15804 zugrunde gelegt, siehe Abbildung 52. [EN 15978; EN 15804]. Die umweltbezogenen Informationen über den Lebenszyklus eines Gebäudes sind modular aufgebaut. Die rot umrandeten Bereiche der folgenden Abbildung bezeichnen diejenigen Module, die im Rahmen des Projekts bilanziert werden, wobei Modul „D“ separat ausgewiesen wird.

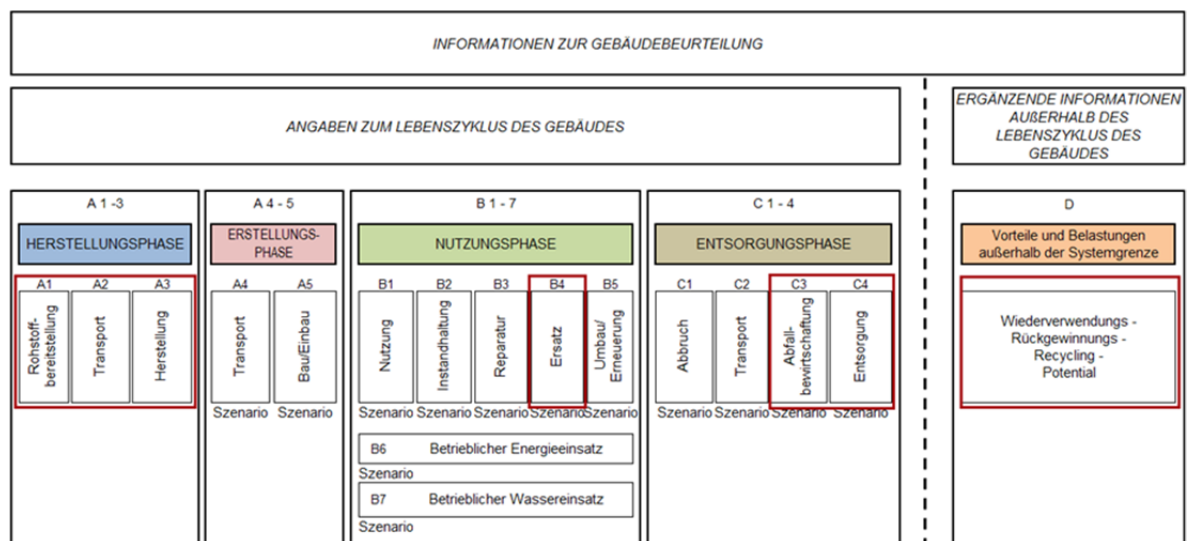


Abbildung 57: Modulare Struktur der umweltbezogenen Informationen nach EN 15978.

Die Berechnungen orientieren sich an den Berechnungen der Ökobilanzen im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung für Gebäude nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).

In der Gebäudebewertung werden innerhalb der Systemgrenze die Module A1-A3 (Herstellung), Modul B2 (Schutzanstriche) und B4 (Austausch, Ersatz) und die Module C3-C4 (Entsorgung) berücksichtigt. Modul D (Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze) wird als Informationsmodul separat ausgewiesen.

Herstellungsphase (A1-A3)

Die Module A1-A3 decken die Prozesse „von der Wiege bis zum Verlassen des Werksgeländes“ für die beim Bau verwendeten Materialien und Dienstleistungen ab. Dies umfasst die Rohstoffgewinnung und -verarbeitung der benötigten Materialien (A1), den Transport der in Modul A1 erfassen Materialien bis zum Werkstor und interne Transporte (A2) sowie die Herstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen, Vor-Produkten und Produkten (Baustoffe) (A3).

Somit werden in Modul A2 die Transportwege vom Gewinnungsort des Rohstoffs (z.B. Holzimport aus Finnland oder Rohstoffe für Zement aus nahegelegenen Steinbruch) bis zum jeweils verarbeitenden Werk berücksichtigt. Anfallender Verschnitt im Werk ist in den öko-bau.dat Datensätzen integriert.

Die Transporte zur Baustelle (A4) und Bauprozesse auf der Baustelle (A5) werden nicht betrachtet. Die Studie von Kellenberger und Althaus [Kellenberger09] hat deutlich gemacht, dass die Aufwendungen für Logistik und Baustellenprozesse einen geringeren Einfluss auf das Ergebnis der Gebäudebilanzierung haben.

Nutzungsphase (B2-B4)

Modul B2 beinhaltet nach EN 15804 die Inspektion, Wartung und Reinigung eines in ein Gebäude, Bauwerk oder Bauteil eingebauten Produktes. Phase B2 Pflege wird bisher in den verfügbaren Datenbanken nicht mit Daten ausgestattet. B2 betrifft ebenfalls "Reinigung". Davon sind üblicherweise Fenster, Türen, Bodenflächen und Sanitärgegenstände betroffen. Diese sind in den Gebäuden nahezu identisch. Ökobilanzen von Reinigungsmitteln sind nicht in der Ökobau.dat enthalten. Ebenso fehlen Ökobilanzmodule für Frisch- und Abwasser. Inspektionen in Form von Schutzanstrichen werden gemäß den Instandsetzungszyklen der Nutzungsdauern Tabelle des BBSR berücksichtigt. Es werden deshalb aus dem Modul B2 die Schutzanstriche, vornehmlich von Holzbauteilen, berücksichtigt und im Modul B mitausgewiesen. In Modul B4 wird der Austausch und Ersatz eines Bauteils erfasst, um es während seiner Nutzungsphase in den Zustand zurück zu versetzen, in dem sowohl seine erforderliche funktionale und technische, als auch seine ästhetische Qualität wieder hergestellt ist. Die Nutzungsdauern bzw. Nutzungszyklen der Bauteile werden nach der Nutzungsdauern Tabelle berechnet. Muss ein Bauteil erst im 46. Jahr oder später ausgetauscht werden, wird es nicht ausgetauscht. Dies umfasst die Herstellung der Austauschprodukte und Hilfsprodukte sowie die Entsorgungsprozesse der ausgetauschten Produkte und Hilfsprodukte. Modul B2 und B4 wird gemeinsam ausgewertet, da nicht eindeutig zwischen den Begriffen Inspektion und Austausch unterschieden werden kann.

End of Life (EoL)-Phase (C3-C4)

In der Entsorgungsphase (Modul C) werden die Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling (C3) sowie die Abfallbeseitigung (C4) berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass alle Bauprodukte in ihre Einzelbestandteile beim Rückbau zerlegt und entsprechend den Verwertungsvorschriften getrennt werden. Die Ökobilanzsteckbriefe der Zertifizierungssysteme für die Gestaltung der EoL-Phase beinhalten folgende Regeln:

In die Berechnung der Ökobilanzergebnisse des End-of-Life-Szenarios (EoL) des Gebäudes sind Verwertung und Entsorgung für alle in der Herstellungsphase gelisteten Materialien/Baustoffe einzubeziehen. Folgende Materialgruppen sind in den Berechnungen und Auswertungen zu unterscheiden:

1. Metalle zur Verwertung
2. Mineralische Baustoffe zur Verwertung (z.B. Beton)
3. Materialien mit einem Heizwert zur thermischen Verwertung (z. B. Holz, Kunststoffe etc.)
4. Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden (Glas, Mineralwolle, Gipskartonplatten, Bitumenpappen)

Für 1. gilt: Es ist der Entsorgungs-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu sind EoL-Datensätze mit dem Modul C3 für die jeweiligen Metalle zu wählen. Liegt kein eindeutig passender Datensatz vor, so ist ein naheliegender Datensatz zu wählen.

Für 2. gilt: Es ist der Entsorgungs-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu ist für die nachweislich mineralischen Baustoffe (zum Beispiel Beton, der als Unterbeton für Bodenplatten oder im Straßenbau eingesetzt wird) der Prozess „Bauschutt aufbereitung“ zu wählen.

Für 3. gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Thermische Verwertung“ zu wählen. Die Datensätze sind mit den entsprechenden Datensätzen für thermische Verwertung abzubilden. Die Dokumentation erfolgt in Modul C3 (falls thermische Verwertung mit Energiegewinnung angewendet werden kann) oder in Modul C4 (falls thermische Verwertung ohne Energiegewinnung vorliegt) entsprechend der Definition im Datensatz.

Für 4. gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Entsorgung auf Deponie“ zu wählen, sofern für die Materialien kein anderer Verwertungsweg als Ablagerung auf Deponien realistisch ist. [BNB15]

Bei allen Datensätzen der Ökobau.dat, die bereits Werte für ein C und D Modul führen, werden diese verwendet. Materialien mit Risikostoffen z.B. Holz und Holzwerkstoffe mit biozider Ausrüstung werden innerhalb dieser Systeme nicht erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass entsprechend der DIN 68800 grundsätzlich biozidfreie Konstruktionen eingesetzt werden entweder durch den Konstruktionsaufbau oder die Wahl von Holz einer höheren Resistenzklasse.

Das Modul „D“

Die Systemgrenze nach der Entsorgung wird dort gezogen, wo die Outputs, d.h. Sekundärstoffe oder -brennstoffe, das Ende ihrer Abfalleigenschaft erreichen. Die aus den Sekundärstoffen und -brennstoffen durch Wiederverwendung, Recycling (stofflich oder thermisch) und Energierückgewinnung verursachten Umweltvorteile oder -belastungen werden dem Modul D außerhalb der Systemgrenze zugeordnet.

Nicht berücksichtigte Lebenszyklusmodule

Nicht berücksichtigt werden gemäß den Rechenregeln des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) die Module A4 (Transport vom Fertigungswerk zur Baustelle), A5 (Errich-

tung/Einbau), B1 (Nutzung), B2 (Instandhaltung), B3 (Instandsetzung, Reparatur), B5 (Modernisierung), B7 (betrieblicher Wassereinsatz) C1 (Rückbau/Abriss) und C2 (Transport zur Abfallbehandlung/Beseitigung). Die Nichtberücksichtigung ist auf den Datenmangel in der ökobau.dat für die genannten Module zurückzuführen. Modul A4/A5 bspw. ist in der ökobau.dat in einigen Produkten enthalten (z.B. Beton, Ziegel, EPS) in anderen aber nicht (z.B. XPS, KS Steine, Dachziegel, etc.).

Transporte

Die Transportaufwendungen, die vom Gewinnungsort des Rohstoffs bis zum Werk in dem das Bauprodukt hergestellt wird anfallen, werden durch Modul A2 abgedeckt. Beispielhaft wurden für ein EFH in Holzbauweise und ein EFH in mineralischer Bauweise die Transportaufwendungen für Modul A4 (Transport vom Werk zur Baustelle) anhand der Transportdatensätzen der Ökobau.dat 2016 berechnet. Bei einem Massivholz-EFH macht der Transport in A4 ca. 0,8% der Treibhausgasemissionen (THG)-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus aus, bei einem Porenbeton EFH ca. 1% der gesamten THG-Emissionen. Die Gegebenheiten für den Bezug der Materialien können je nach Baustoff sehr unterschiedlich sein. So sind die Transportwege vom Werk zur Baustelle von mineralischen Baustoffen i.d.R. kürzer als die von Holz und Holzwerkstoffen. Dies kann wiederum durch das durchschnittlich leichtere Gewicht von Holz kompensiert werden, wodurch mehr Holz auf einmal transportiert werden kann.

Energiebedarf (B6)

Der betriebliche Energieeinsatz (Modul B6) wird in die Berechnung mit einbezogen. In den Kapiteln 4.1.2 und 4.2 werden die Rahmenbedingungen für die Berechnung, das Rechenverfahren (EnEV-Simulation) und das Ergebnis umfassend dargestellt. Es wird sowohl der energetische Standard, ermittelt nach EnEV, Rechenverfahren nach DIN 4108 und DIN 4701, als auch mittels des Simulationsrechenverfahrens eine Erweiterung der Berechnung für die unterschiedlichen Gebäudemodelle durchgeführt. Die dabei ermittelten neuen Endenergiebedarfswerte werden bei den Berechnungen der Lebenszykluskosten und Ökobilanz zugrunde gelegt.

Erfassungstiefe

Die oben erwähnte Studie von Kellenberger und Althaus betont die Bedeutung der Erfassungstiefe aller Bauteile mit allen erforderlichen Nebenleistungen. Diese hat eine wesentliche Bedeutung für das Gesamtergebnis der Ökobilanz. Die Erfassungstiefe der Gebäudebestandteile durch die kostenbasierte Elementmethode in LEGEP gewährleistet eine hohe Erfassungstiefe inklusive aller Nebenleistungen der Bauteile.

Vom Bauprodukt zur Bauteilschicht, zum Bauelement und zum Gebäude sind verschiedene Modellierungsschritte mit zunehmender Komplexität. Jeder Schritt benötigt ein spezifisches Know-how, das mit der Berufsausübung verknüpft ist. Die klassische Produkt- EPD deckt meist nur die unterste Ebene des Bauprodukts ab z.B. 1 m³ Beton, 1 m³ Ziegel, 1 m² Tep-

pichboden. Bereits in der nächsten Komplexitätsebene benötigt man das Wissen des Unternehmers als Ausführer der verlangten Leistung z.B. Ziegelwand mit Dicke, U-Wert, Tragfähigkeit usw. Dies bedeutet die richtige Steinauswahl mit bestimmter Rohdichte, Normalmörtel mit 10 mm oder Dünnbettmörtel mit 2 mm Stärke. Diese Angabe ist in der Leistungsposition der Sirados-Positionsdatenbank bereits differenziert erfasst. In einem Leistungsverzeichnis (LV) wird die benötigte Materialmenge pro m² ausgeführte Wand nicht erwähnt. Diese ist nur den Mengenkalkulationen der Hersteller zu entnehmen. Dies bedeutet, dass diese Wandschicht (nach DIN 276 KGR 331) aus 2 oder 3 Materialdatensätzen besteht. Dieselbe Anforderung besteht beim verklebten Teppichboden. Die Menge des benötigten Klebers wird in der LV-Position nicht erwähnt. Weitere Materialien wie Nägel, Schrauben, Winkel usw. bei Befestigungen oder Fußbodenrandleisten, Übergangsschienen bei Bodenbelägen bedürfen einer Mengenkalkulation des Unternehmers. Diese Materialanalyse ist nur durch ein spezifisches Expertenwissen in allen Gewerken durchführbar. Komplizierter wird es bei Gewerken wie z.B. Trockenbauarbeiten, die Leistungen vor allem durch Komplexbeschreibungen von Bauteilen mit Angaben zur Schalldämmung oder Brandschutz benutzen. Die analysierten und benötigten Materialien werden vollständig in der LEGEP-Materialdatenbank geführt und diese permanent erweitert. Da jeder Materialdatensatz mit einem Ökomoduldatensatz aus der Ökobau.dat 2016 verknüpft ist, sind alle Leistungsdatensätze seit 2015 normenkonform nach DIN EN 15804 berechnet.

Bezüglich eines Batteriespeichers existieren bis zum Berichtsstand keine Datensätze in der ökobau.dat. Der Aufwand für dieses Bauteil kann deshalb zum jetzigen Zeitpunkt nicht erfasst werden. Das konzipierte dezentrale Lüftungs- und Kühlungsaggregat befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Auf Basis der Herstellerinformation über Größe, Gewicht und Komponenten konnte ein vergleichbares Gerät mit der LEGEP-Elementdatenbank modelliert werden.

Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum liegt bei 50 Jahren. Vorhergehende Forschungsarbeiten⁸ [Hafner et.al. 2016] zeigen, dass eine Verlängerung des Betrachtungszeitraums keinen Einfluss auf die Module A und C eines Gebäudes hat. Die wesentlichen Unterschiede kommen in Modul B durch höhere Austauschzyklen der Bauteile, die sich zwangsläufig ergeben, zustande. Auf der Basis gleicher Betriebsnutzungskennzahlen verhalten sich die Gebäude in der verlängerten Nutzungsphase ähnlich. Bei einer Verdoppelung des Betrachtungszeitraums sind davon vor allem betroffen: die Fassadenbeschichtungen 8-15 Jahre, die Haustechnik 20 - 25 Jahre, die Fenster 40 Jahre. Die Primärkonstruktionen sind nicht betroffen. Eine Verlängerung oder Verkürzung des Betrachtungszeitraums hat dagegen großen Einfluss auf den Energiebedarf (B6).

⁸ Hafner, Schäfer, Krause, 2015: *Effects of different reference study periods of timber and mineral buildings on material input and global warming potential*, SBE 16 Conference, Hamburg

5.3.5.7 Ergebnis Ökobilanz Fassadenvergleich

Für die Fassadenausführung wurden durch den Architekten zwei Vorschläge gemacht:

Fassade Standard: Massivmauerwerk mit Kalksandstein (KS) und Wärmedämmverbundsystem aus synthetischem Dämmstoff (Dicke 300 mm), Fenster als Aluminiumfenster 3-fach-Verglasung.

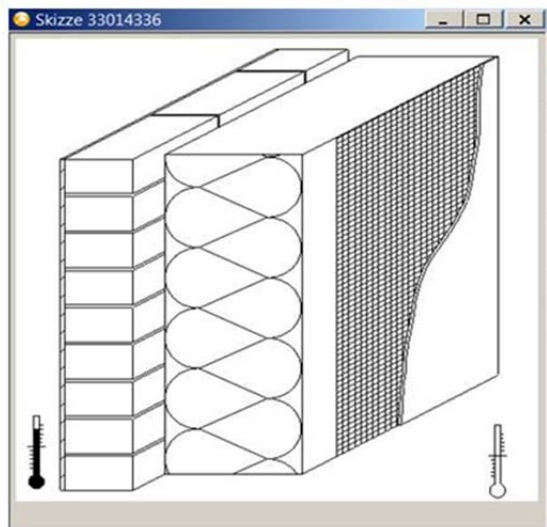
Fassade Nawaro: Pfosten-Riegelsystem aus Holz mit Beplankung, Dämmung Mineralwolle-dämmstoff (Dicke 320 mm), vorgehängte Wetterschicht aus Faserzementplatten.

Die U-Werte der beiden Konstruktionen sind annähernd gleich.

Die Fassadenmenge bezieht sich wie beim Vergleich der Tragstruktur auf eine Bauwerksachse (siehe Abbildung 52).

Außenfassade

Massivmauerwerk-WDVS PS 300



Holzbox, MW 240, MW 80, FZ 8

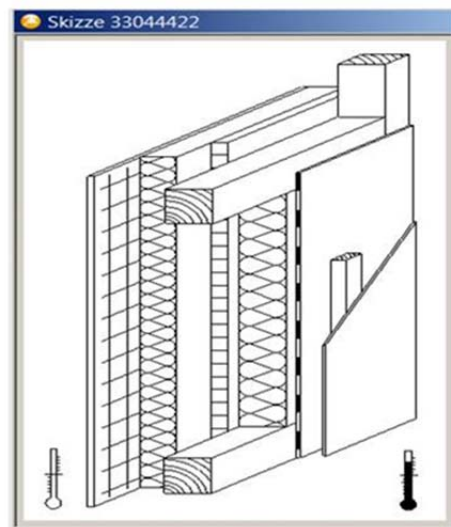
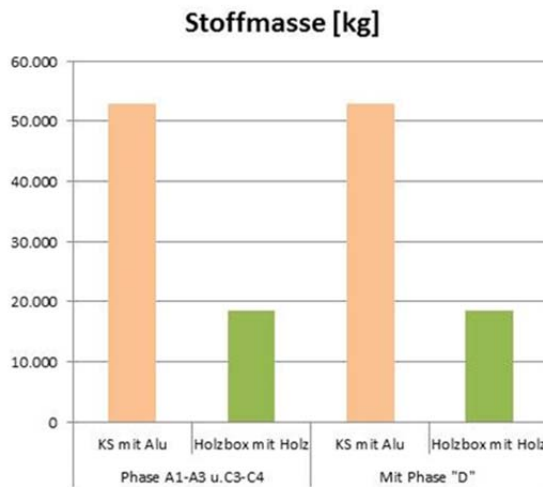


Abbildung 58: schematischer Fassadenaufbau Variante Massiv und Variante Nawaro

Das Berechnungsergebnis der Ökobilanz zeigt für die Holzboxfassade eine wesentlich geringere Stoffmasse. Sie beträgt für die Herstellungsphase 60% weniger als die Fassade aus massivem Mauerwerk. Der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand ist bei der Fassade aus Nawaro um 80% reduziert. Wider Erwarten ist die erneuerbare Primärenergie der Massivfassade ebenfalls höher als die Fassadenlösung aus nachwachsenden Rohstoffen. Ursache ist das Aluminiummaterial mit dem hohen Stromaufwand bei der Herstellung. Dieser besteht mittlerweile aus annähernd 30% erneuerbarer Energie.

LCA – Stoffmasse kg



PE nicht erneuerbar MJ

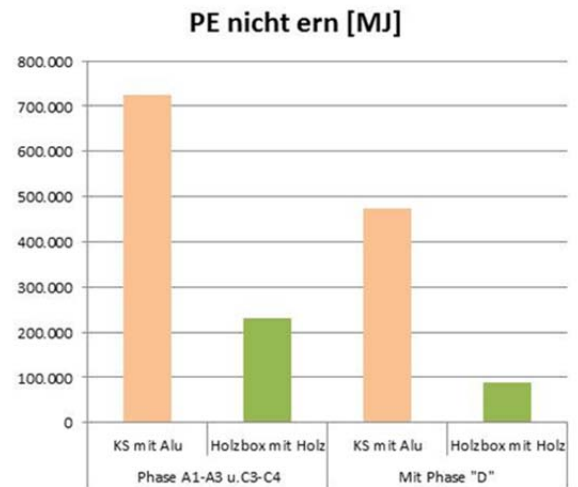
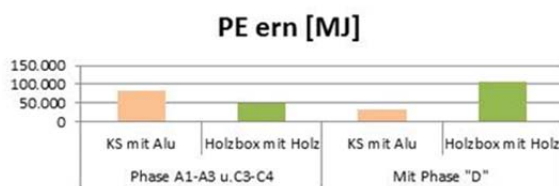
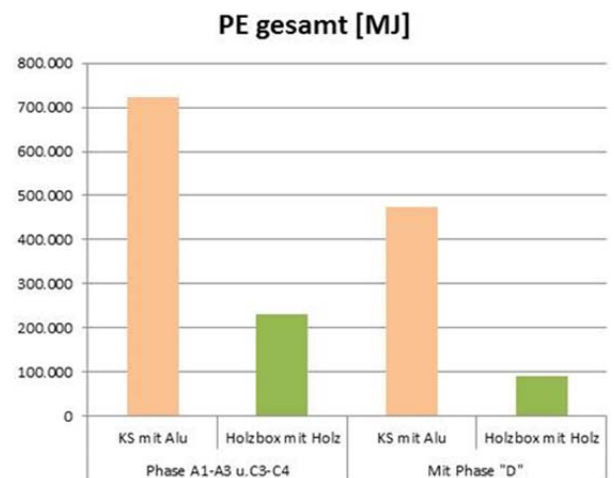


Abbildung 59: Ergebnis Fassadenvergleich Stoffmasse und PE nicht erneuerbar

PE erneuerbar MJ



Gesamt - PE MJ



Massivmauerwerk-WDVS PS 300 Holzbox, MW 240, MW 80, FZ 8 mm

Abbildung 60: Ergebnis Fassadenvergleich PE erneuerbar und PE gesamt

Ein Blick auf die rechte Seite der Auswertungen macht die Wirkung der Phase „D“ deutlich. Die Gutschriften nach dem Ende des Lebenszyklus betreffen bei der Fassade mit Massivmauerwerk und Aluminiumfenster das Recyclingpotenzial des Aluminiums, bei der Holzfas-

sade die durch das Verbrennen des Holzes zu gewinnende Energie und die damit verbundene Stromerzeugung.

Die nachwachsenden Rohstoffanteile bei der Mauerwerksvariante sind gleich „0“. Die Holzboxfassade erreicht einen Anteil von nachwachsenden Rohstoffen von 20%.

LCA – Materialanteile – Anteil Nawaro

Massivmauerwerk-WDVS PS 300 Holzbox, MW 240, MW 80, FZ 8 mm

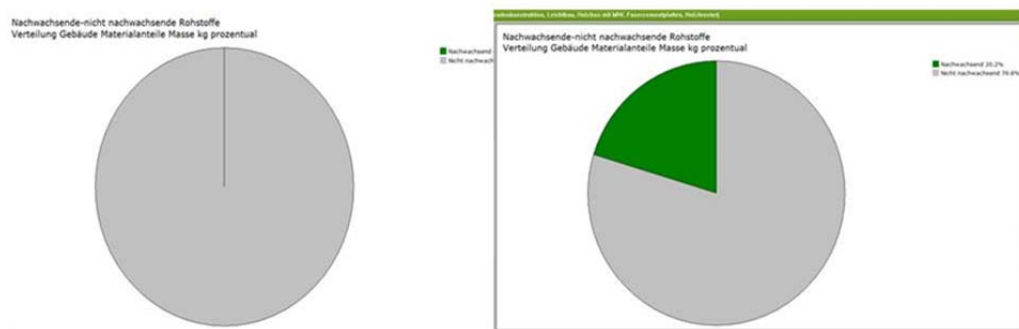


Abbildung 61: Ergebnis Fassadenvergleich Anteil nachwachsende Rohstoffe

Fazit

Die Ausführung der Fassade mit einem hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen birgt ein hohes Entlastungspotenzial für die Umwelt. Möglicherweise kann die Mineralwolle zusätzlich durch Zellulosedämmstoff ersetzt werden. In Eberswalde in Mecklenburg-Vorpommern wurde die gesamte Fassade des Kreisverwaltungszentrums in dieser Art ausgeführt.

5.3.5.8 Ergebnis Ökobilanz Gebäude - Indikator „Stoffmasse“

Alle Gebäude erreichen wegen der mineralischen Tragstruktur ein relativ hohes Stoffgewicht. Die Planungsvariante hat ein etwas reduziertes Gewicht durch die Fassadengestaltung mit nachwachsenden Rohstoffen. Die folgende Abbildung beginnt mit der Auswertung erst bei 16.500 t, da sonst der Unterschied nicht deutlich zu erkennen wäre. Der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe liegt bei allen Varianten unter 1%. Im Vergleich dazu erreicht das Gymnasium Diedorf über 9 % durch die Primärkonstruktion aus nachwachsenden Rohstoffen.

Stoffmasse und Anteil Nawaro in kg

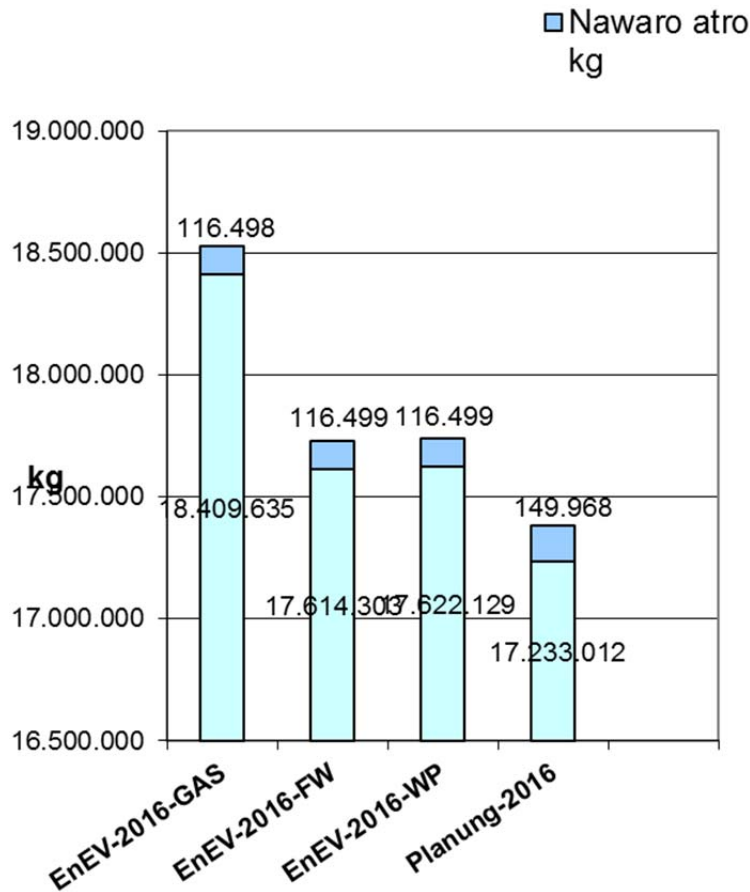


Abbildung 62: Vier Gebäudemodelle und Stoffmasse

5.3.5.9 Ergebnis Ökobilanz Gebäude - Indikator „Primärenergie“

Die folgenden Abbildungen zeigen die Aufwendungen für die Ressourceninanspruchnahme durch die Indikatoren

- Primärenergie nicht erneuerbar
- Primärenergie erneuerbar
- Gesamtprimärenergie

Der Indikator Primärenergie nicht erneuerbar zeigt für die drei Modelle der Variante A ein übliches Verteilungsbild. Die Versorgung mit Energie dominiert die Gesamtberechnung mit annähernd 70%. Die starke Reduktion des Energiebedarf, bzw. die Substitution durch den erzeugten Strom durch die PV-Anlage bei der Variante „Planung 2016“ ändert bei den Ökobilanzergebnissen das Verhältnis zwischen dem energetischen Anteil in der Nutzungs-

phase (Säulenfarbe: dunkelblau) und dem physischen Gebäude (Säulenfarben hellblau). Dieser reduziert sich auf annähernd „0“.

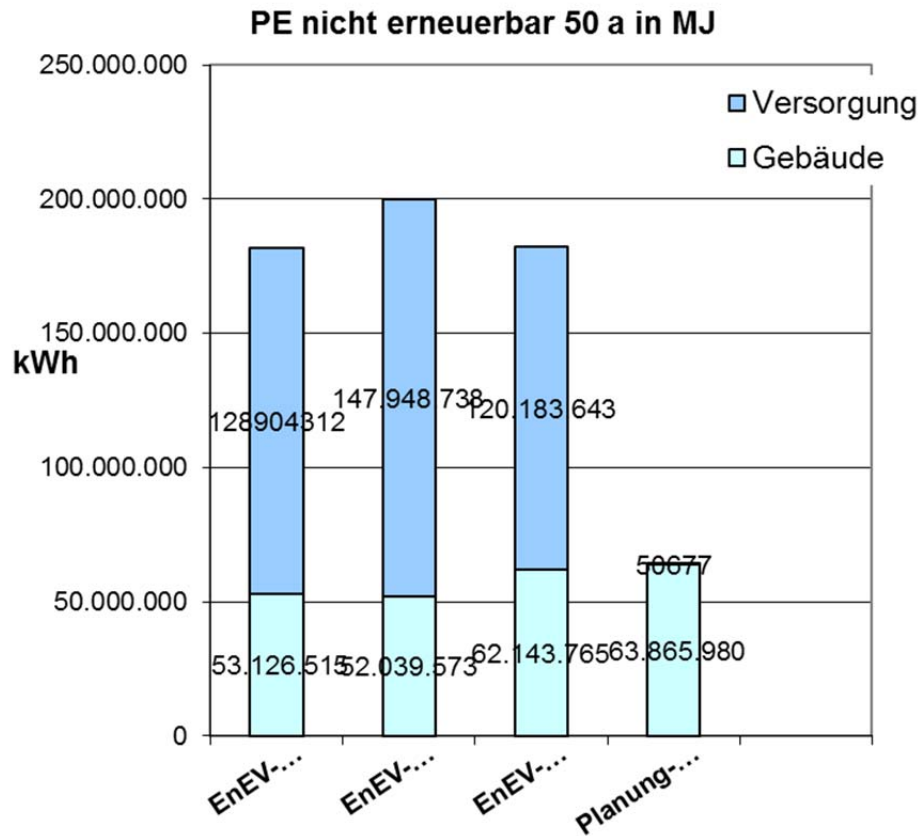


Abbildung 63: Vier Gebäudemodelle Indikator PE nicht erneuerbar

Dasselbe Bild zeigt die Auswertung des Indikators „PE erneuerbar“. Die erneuerbare Primärenergie wird ebenfalls für das Gebäude (Säulenfarbe: hellgrün) und den Energiebedarf (Säulenfarbe: dunkelgrün) separat dargestellt. Die Verhältnisse werden verstärkt durch den geringen Anteil an erneuerbarer PE innerhalb des Gebäudes und den hohen Anteil erneuerbarer Energie beim Strommix Deutschland und der eigenen Stromproduktion.

Der erhöhte Anteil des Gebäudes bei der Variante „Planung-2016“ wird zum Teil durch die PV-Anlage verursacht.

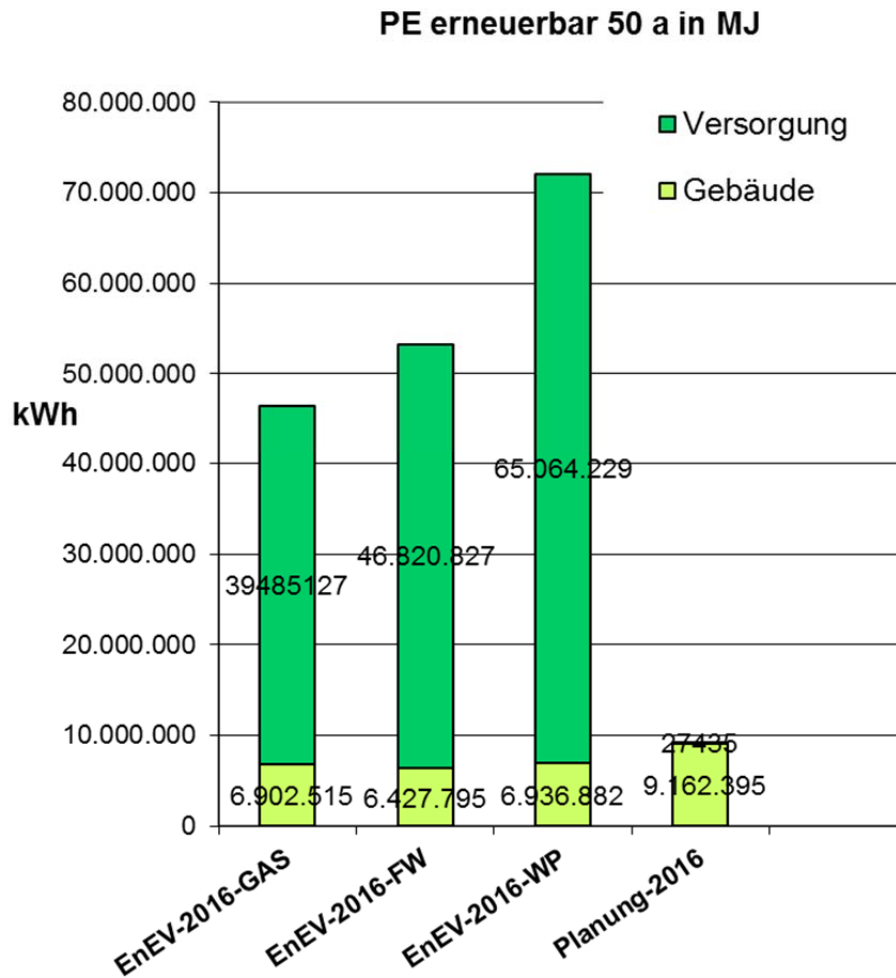


Abbildung 64: Vier Gebäudemodelle Indikator PE erneuerbar

5.3.5.10 Ergebnis Ökobilanz Gebäude - Wirkungsindikatoren

Der bekannteste Wirkungsindikator ist das Klimagaspotenzial, angegeben durch kg CO₂-Äquivalente. Durch die aufgrund menschlicher Aktivitäten freigesetzten so genannten anthropogenen Treibhausgase wie Kohlendioxid, Methan, FCKWs usw. findet eine Konzentrationszunahme der treibhausrelevanten Spurenemissionen statt. Durch diesen Indikator können die Entlastungspotenziale aufgezeigt werden. Die Berechnungen auf Basis der Ökodatenmodule in der Ökobau.dat ergeben andere Werte als die Ermittlung der Entlastungspo-

tenziale mittels der GEMIS-Datenmodule, die von den Fachingenieuren angewendet werden.

Das Klimagaspotenzial zeigt ähnliche Verhältnisse wie die nicht erneuerbare Primärenergie. Die Standardgebäude weisen hohe Werte durch den Versorgungsanteil auf. Die Variante „Planung 2016“ reduziert die Klimagasbelastung für die Versorgung auf fast „0“.

Der erhöhte Anteil des Gebäudes bei der Variante „Planung-2016“ von ca. 10% wird zum Teil durch die PV-Anlage verursacht.

Klimagaspotenzial 50 a in kg CO₂äquiv.

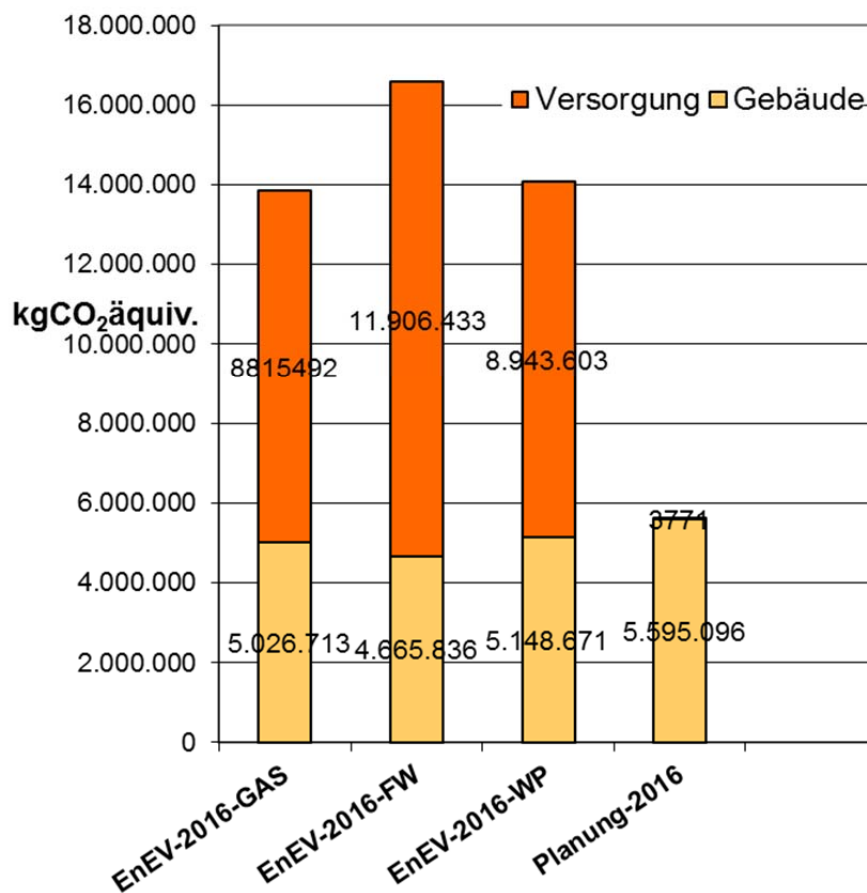


Abbildung 65: Vier Gebäudemodelle Indikator Klimagaspotenzial

Die Indikatoren Primärenergie und Klimagaspotenzial werden vor allem durch den Energiebedarf bestimmt. Stärker gebäudebezogene Indikatoren sind das Versauerungspotenzial, ausgedrückt durch kg SO₂-Äquivalente und das Überdüngungspotenzial, ausgedrückt durch kg PO₄-Äquivalente. Das Versauerungspotenzial für das Gebäude beträgt bei der Variante „EnEV“ je nach Modellierung zwischen 40 – 60% am Gesamtpotenzial. Das Überdüngungspotenzial für das Gebäude beträgt ca. 35-50%. Die Variante „Planung-2016“ erreicht fast doppelt so hohe Werte für das Gebäude. Der erhöhte Anteil des Gebäudes bei der Variante „Planung-2016“ wird im Wesentlichen durch die PV-Anlage verursacht. Diese wird innerhalb des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren einmal erneuert.

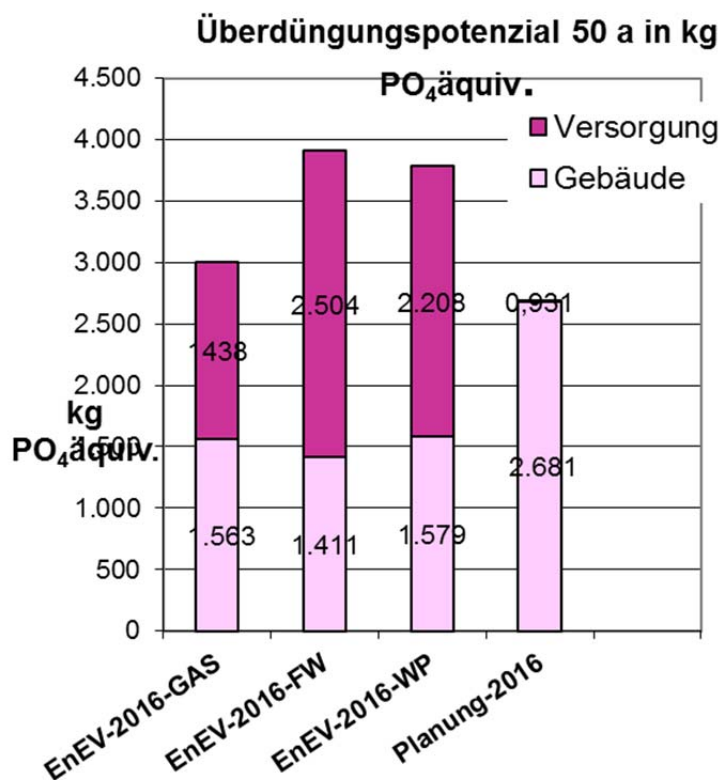


Abbildung 66: Vier Gebäudemodelle Indikator Überdüngungspotenzial

Fazit

Die Planungsvariante kann durch die Kompensation der gesamten Betriebsenergie einen wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung leisten. Dafür werden erhöhte Aufwendungen im Gebäudebereich notwendig, die sich auch in einer erhöhten Ökobilanz bei einzelnen Indikatoren ablesen lassen. Diese bewegen sich bei den meisten Indikatoren im Bereich von

3-10% Steigerung. Insgesamt ist dies ein Ergebnis, dass das ins Auge gefasste Planungskonzept in seiner Wirksamkeit bestätigt.

5.3.6 Schaffung einer gesunden Lernumgebung

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.

5.3.6.1 Innenraumlufthygiene

Durch die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte (z.B. geprüft nach „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.

Innenraumlufthygiene nach BNB 1.1.6

CLP	Beschreibung
50	Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume (mehr als 80%) TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 500 ; Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 60
30	Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume (weniger als 80%) TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 500 ; Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 60
10	Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume (weniger als 80%) TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 1000 ; Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 60 ODER: Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume (mehr als 80%) TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 3000 ; Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = ≤ 120
0	Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = > 3000 ; Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] = > 120

Abbildung 67: Grenz- und Zielwerte des BNB-Steckbriefs „Innenraumlufthygiene“

5.3.6.2 Risikostoffe für die lokale Umwelt

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. Diese verlangt von den Entscheidungsträgern im Baubereich eine eindeutige Willens-

bekundung als Auftrag an die Planer. Nachfolgend wird ein mögliches Konzept zur Begrenzung der Risikostoffe dargestellt. Eine Entscheidung durch den Bauherrn steht noch aus.

Reduzierung von Risikostoffen für die Umwelt

- **Formaldehyd**
- **Schwermetalle bei Metallen und Plastik**
- **Lösemittel bei Farben und Klebern**
- **Biozide**
- **CMR-Stoffe (cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch)**
- **Halogenierte oder teilhalogenierte Kältemittel**

Abbildung 68: Liste der Risikostoffe

Für die Entscheidungsfindung wurden alle relevanten Einzelaspekte, die sich aus den betreffenden Steckbriefen des BNB-Systems ergeben, zusammengestellt. Ein Ausschnitt wird nachfolgend dargestellt. Das gesamte Dokument findet sich in der Anlage 7.

3.1.8 Sicherheit und Störfallrisiko	Reduktion des Schadensausmaßes im Havariefall (Brand)	Brandschutzkonzept, Bodenbeläge, Fensterbau, Elektroplaner, HLS-Planer	Brandmeldeanlage, Baustoffe mit ätzenden oder zersetzenden Rauchgasen werden nicht eingesetzt. Angabe des Brandrisikos. Kein PVC in Bodenbelägen, Tapeten, Fenstern, Elektroleitungen, Dämmmanschetten, Rohrleitungen. Anforderungen sind in den Ausschreibungen zu präzisieren. Ziel: Ausschreibung alternativ gestalten zur Ermittlung der Mehrkosten.
3.2.1 Innenraumhygiene BNB 3.1.3 Bürogebäude	Nachweis durch Messung der Luftinhaltsstoffe für TVOC (Lösemittel) und Formaldehyd	Meßinstitut - Strategie im Vorfeld der Planung und der Bauausführung der Planung.	Nachweis durch Messung(Monitoring) innerhalb vier Wochen nach Fertigstellung ohne Möblierung in 3-4 Räumen, die 80% der Nutzfläche repräsentieren. Zielwert sollte 500 mg für VOC und 60 mg für Formaldehyd sein. Anforderung z.b. Erfüllung der AgBB-Richtlinie des DiBT.
1.1.7 nachhaltige Holzgewinnung	Nachweis für Holz und Holzwerkstoffe aus nachhaltiger Waldnutzung, PEFC und FSC,	Gewerke 16, 26, 27, 28, 13	Forderung in den Ausschreibungsunterlagen für Holz und Holzwerkstoffe der Gewerke Holzbau, Fenster, Türen, Holzböden, Treppenbau und Schalungsmaterial im Rohbau (Erfassungstiefe 80%)
1.1.6 Risikostoffe für die lokale Umwelt	spezifische Anforderungen an einzelne Baustoffe.	verschiedene Gewerke	Zielniveau Qualitätsstufe 3, Erfassungstiefe der Flächen ca.980%, eine Ausnahme zugelassen. Anforderungen sind in den Ausschreibungen zu präzisieren, insgesamt kostenneutral
		Alle inneren und äußeren Hüllflächen	Keine SVHC-Stoffe nach REACH über 0,1 % Deklarationspflicht,
		Kunststoffe Haustechnik	Halogenfreiheit, Haustechnik,
		Kunststoffedämmstoffe	SVHC-Freiheit, Gebäude, Bodenplatte,

Tabelle 17: Vorschlag zur Begrenzung von Risikostoffen

5.3.6.3 Information und Entscheidungsfindung

Die Erfahrungen vorangegangener Projekte haben gezeigt, dass sowohl die politischen Entscheidungsträger, als auch die Bauverwaltung mit der speziellen Fragestellung der Risikostoffe in Bauprodukten und der Innenraumlufthygiene nicht vertraut sind. Deshalb wurde in der ersten Präsentation des Projektes am 29.11.2016 den politischen Entscheidungsträger die Ziele in diesem Bereich deutlich gemacht.

Es wurde auf spezielle Risikostoffe z.B. Formaldehyd und die unterschiedlichen Grenzwerten hingewiesen, um die Problemlage zu verdeutlichen.

Risikostoff Formaldehyd - Grenzwerte

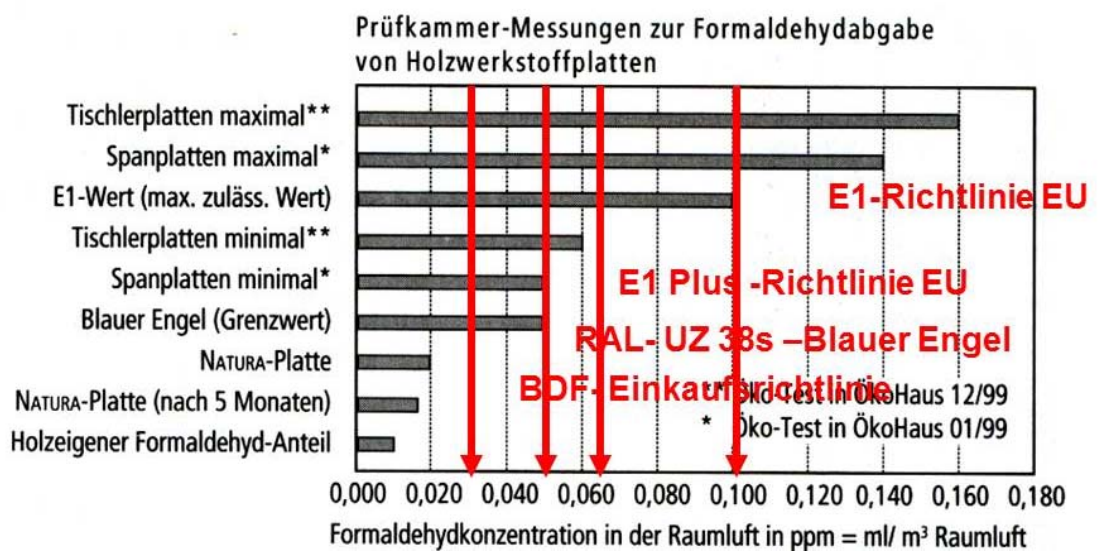


Abbildung 69: Unterschiedliche Grenzwerte für Formaldehyd

Für die Risikostoffe der Innenraumhygiene muss 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 werden für die Planer Handlungsempfehlungen für die Material-, bzw. Bauproduktwahl gegeben.

5.4 Nachhaltigkeit durch integrales Planungskonzept

Der lebenszyklusorientierte, integrale Planungsprozess, der die simultane Mitwirkung verschiedener Fachdisziplinen (Architektur, Tragwerksplanung, Haustechnik, Bauphysik, Facility- und Energie-Management) bereits vom Vorentwurf bis hin zur Abbruchphase voraussetzt, ist für eine nachhaltige Architektur entscheidend.

Wesentlich für eine erfolgreiche Planung ist zudem das gegenseitige Verständnis (Fachkenntnis) der anderen Planungsdisziplinen. Dies gilt besonders für innovative Ansätze, da hier neue Wege beschritten werden, die alle Planer auf ihrem Fachgebiet verständlich und nachvollziehbar darstellen und berücksichtigen und an Entscheidungsträger und Nutzer weitergeben müssen. Der Input zu neuen Ideen und Innovationen und der bereitwillige Erfahrungsaustausch der Projektbeteiligten aber auch der Mut und die Bereitschaft, Ideen qualitativ zu verwerfen, hat den Planungsprozess bei der KTS ausgezeichnet.

Im Verlauf des Planungsprozesses fanden immer wieder gemeinsame Sitzungen statt, entweder mit einzelnen Planern zur Ausarbeitung einzelner Details oder in großer Runde.

Zwischen den Sitzungen wurden wesentliche Planveränderungen per E-Mail an die Schule geschickt, so dass die Schule fachbezogen (z. B. Sportanlagen, naturwissenschaftlicher Bereich, Musikräume, Verwaltungsräume, Technik ...) immer wieder Rückmeldung geben bzw. auch noch neue Ideen einbringen konnte.

Das Ziel im integralen Planungsprozess ist nicht die Perfektion eines einzelnen Gewerkes, sondern die den komplexen Zielkatalog weitestgehend erfüllende Gestaltung des Gesamten, wozu variantenreiche Bewertungen und Abwägungen zu treffen sind.

Neben Variantenbewertungen bei der Gebäudekonzeption, der Tragkonstruktion, der Fluchtbalkonstruktion, des ganzheitlichen Energiekonzepts, der PV-Anlage und der Netzdienlichkeit, wurden aufgrund der sehr hochgesteckten Ziele bei diesem Projekt bereits in der Vorentwurfsphase tiefere Ausarbeitungen und Detailüberlegungen zu einzelnen Konzepten, Berechnungen etc. erforderlich.

Insbesondere für Ausarbeitungen zur Ökobilanz und Gebäudemodellierung, um nachhaltige Entscheidungen vorzubereiten, wurden bereits vorab von den Planern Details zu Bauteilen, Massen, Lüftungsdetails und dem ENEV-Standard getroffen, die normalerweise erst in späteren Planungsphasen betrachtet werden. Nur so konnten wesentliche Konstruktions- und Konzeptentscheidungen z.B. zur Lüftung bereits zum jetzigen Zeitpunkt getroffen werden, und das Gebäude- und Technikkonzept vorbereitend in geeigneter Tiefe qualitativ und qualitativ ausgearbeitet werden.

Um in einem solchen Prozess zielgerichtet agieren zu können, muss das Anforderungsprofil bzw. die Hauptziele vor Beginn des Planungsprozesses definiert und abgestimmt werden. Insbesondere aufgrund des Forschungscharakters sind eindeutige und spezifische Kriterien

und Planungsparameter im Vorfeld zu entwickeln und ihre Erfüllung bzw. notwendige Abweichungen im Planungsprozess zu prüfen und zu dokumentieren.

Voraussetzungen zur Umsetzung dieses Prozesses waren neben einem offenen, erfahrenen und engagierten Bauherrn und Nutzer eine adäquat bemessene Bearbeitungszeit, die es ermöglicht haben, ergebnisoffen Varianten und Lösungsansätze zu prüfen und auszuarbeiten, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

6. Umweltrelevanz und Innovationscharakter des Gesamtprojekts

Kinder sind die Ressourcen unsere Zukunft. Schulen haben daher eine Vorbildfunktion für energieeffiziente und nachhaltige Gebäude in der Zukunft inne. Der Neubau der Karl-Treutel-Grundschule setzt ein pädagogisches Konzept um, das offene Lernlandschaften im Grundschulbereich und für den Ganztagesbetrieb verwirklicht und damit neue Maßstäbe für zukunftsorientiertes Lernen setzt.

Es gibt bisher weltweit nur wenige Beispiele für Schulgebäude mit Plusenergiestandard und fortschrittlichem pädagogischen Konzept. Neben diesen schon sehr anspruchsvollen Zielen werden weiterhin Innovationen im Bereich der mechanischen Lüftungsanlagen (Fassadenintegrierte raumweise Zuluftleinheiten mit dezentralen KVS-Wärmetauschern) und der Netzdienlichkeit angestrebt. So wird – möglicherweise erstmals weltweit – ein Schulgebäude mit erheblicher Eigenerzeugung mit einem Stromspeicher ausgestattet, der nicht nur den Eigenverbrauchsgrad selbst erzeugten Stroms erhöhen und Angebotsspitzen des öffentlichen Stromnetzes abfangen kann, indem er Strom aufnimmt und zwischenspeichert, sondern bei passenden Randbedingungen (Beispiel: Die Schule benötigt wenig Energie, das öffentliche Stromnetz aber viel) auch Strom ins öffentliche Netz einspeisen kann. Damit gelingt exemplarisch der Schritt von der bloßen Netzverträglichkeit hin zur Netzdienlichkeit. Dazu soll das Schulgebäude auch auf Basis des Nutzerverhaltens und mit vorausschauendem Wissen über die Wetterdaten und den schulischen Alltag „lernen“ und das „Erlernte“ anwenden.

Der Neubau der Karl-Treutel-Schule soll zudem unter Berücksichtigung der Einbindung in bereits vorhandene Bedarfs- und Angebotsstrukturen am Standort errichtet werden. Ziel ist die Schaffung eines nachhaltigen Bildungsstandortes für die Stadt Kelsterbach. Dadurch kann auch die Dimensionierung und der Nutzungsgrad von Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen und deren Betriebsweise positiv beeinflusst werden. Auf dem Weg zu einer vollständigen Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien ist die Entwicklung eines netzdienlichen und nachhaltigen Energiekonzepts für den Neubau der Karl-Treutel-Schule ein weiterer wesentlicher Schritt in Richtung Umweltverträglichkeit und aktiven Klimaschutz.

Eine wesentliche Herausforderung dieses Schulbauprojekts liegt darin, dass diese ambitionierten Zielstellungen nicht einfach oktroyiert werden, sondern im Dialog und mit Blick auf den zu bewältigenden schulischen Alltag von Grundschulkindern in eine funktionierende Schule umgesetzt werden. Dieser Anspruch wird nochmals erhöht durch eine ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige Gestaltung des Lebensraums Schule mit dem Fokus auf der Schaffung einer gesunden Lernumgebung für Schüler und Lehrer.

Abgeschlossen wird das Projekt mit einem mehrjährigen qualifizierten Energiemonitoring, das sicherstellt, dass die anspruchsvollen Projektziele insbesondere in Bezug auf Lernkomfort, Plusenergiestandard und Netzdienlichkeit durch eine Betriebsoptimierung erreicht werden.

7. Ergebnis Planungskonzept

7.1 Schule

7.1.1 Architektur

Für die Karl-Treutel-Schule wurden verschiedene städtebauliche Varianten und Typologien geprüft, um das strukturierte und gut ausgearbeitete Raumprogramm aus der Leistungsphase 0 in einen schlüssigen Gebäudeentwurf zu übertragen.

Das Raumprogramm und die entsprechenden Flächen haben sich im Laufe der Planungsphase insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung im Gebäudeentwurf weiterentwickelt. Da sich konstruktionsbedingt aufgrund der gleichen Größe der Häuser und der Minimierung der Erschließungsflächen auch Spielräume bei den Flächen ergeben haben, wurde neben dem benötigten Konrektorraum das Potential geschaffen, die Gruppenräume in den Hortbereichen zu vergrößern und sie dadurch flexibel im Bedarfsfall für Lerncluster verwenden zu können.

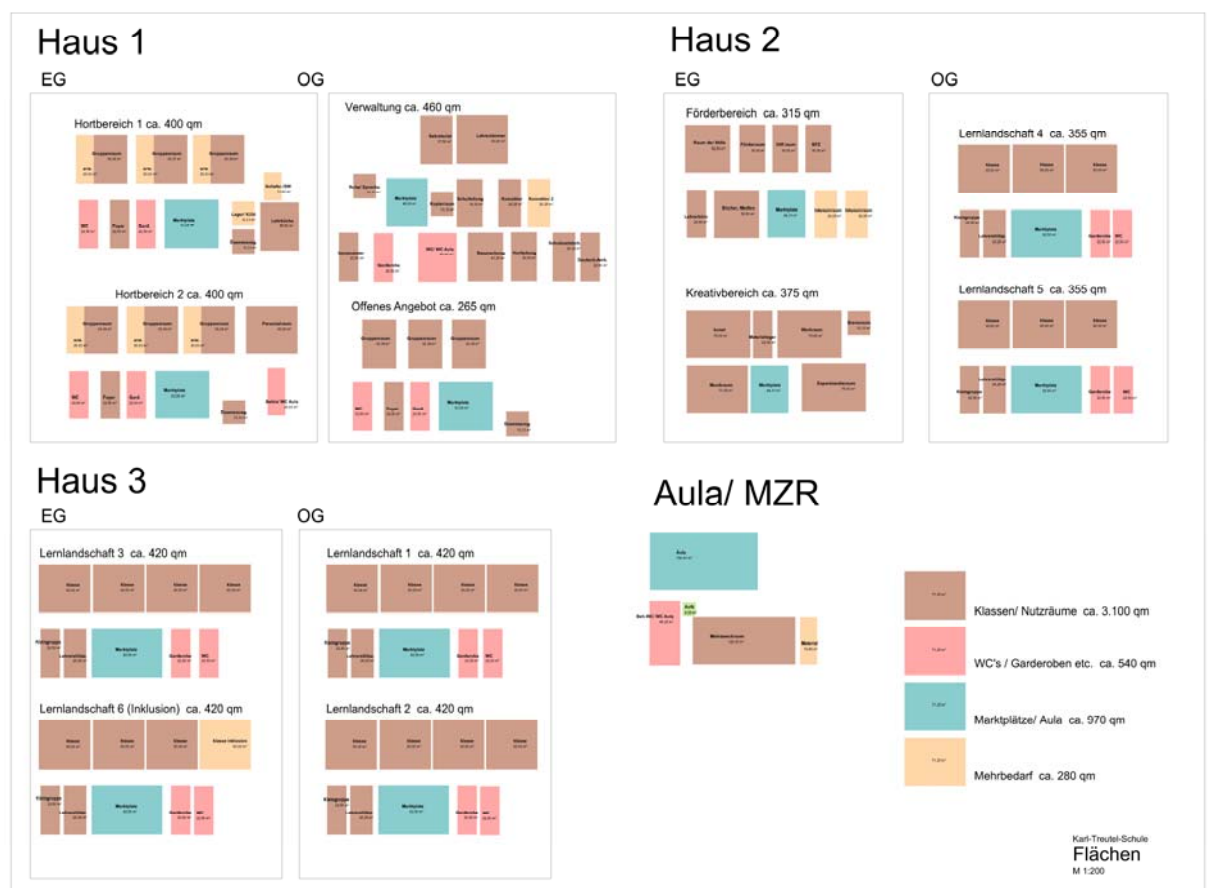
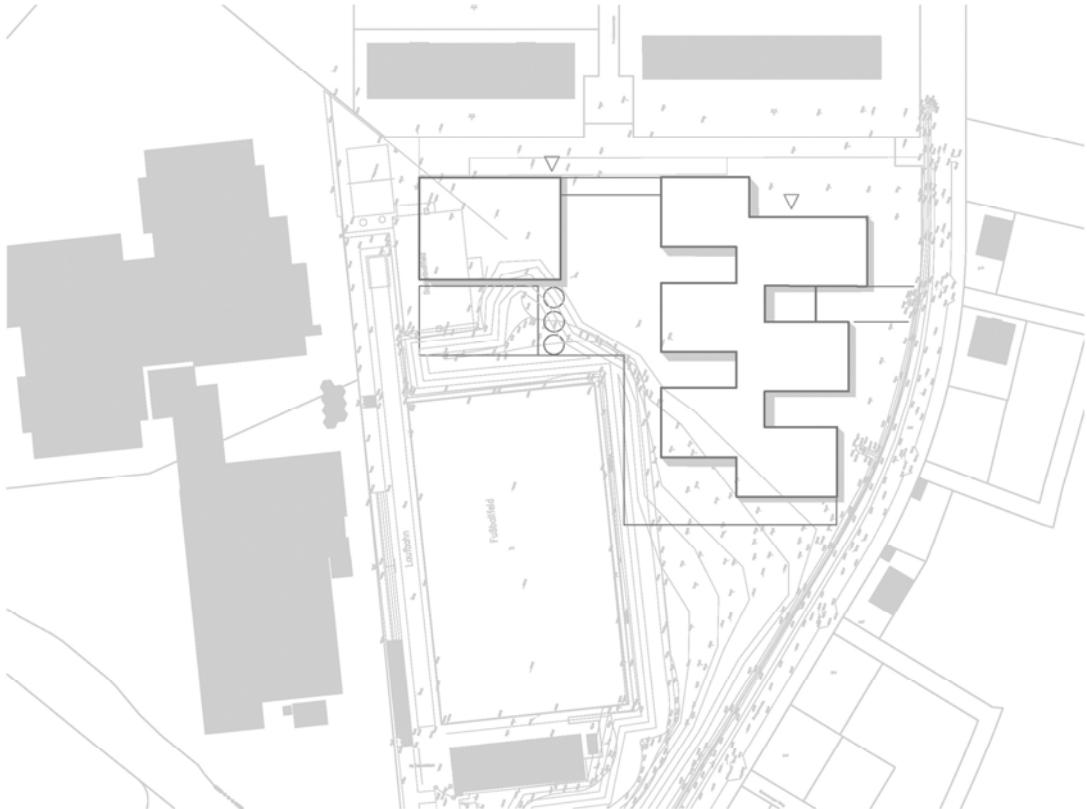


Abbildung 70: Überblick Umsetzung Raumprogramm

Folgende Varianten wurden geprüft und Bauherrn und Nutzer vorgestellt:

Variante 1 (sechs Schulhäuser, zweigeschossig)

- Aus den 12 Raumgruppen wurden sechs Schulhäuser entwickelt. Diese sechs Schulhäuser sind zweigeschossig
- Die Schulhäuser sind leicht zueinander versetzt
- Verbunden sind diese Häuser durch eine längere „Dorfstraße“ und dem sogenannten Markt- bzw. Dorfplatz (Pausenhalle)
- Diese Ausformung der Schulhäuser stellt eine sehr genaue Abbildung des pädagogischen Raumprogrammes dar und gewährleistet damit eine sehr hohe Identifikation mit den benutzten Clustern.
- Die sechs Schulhäuser bestehen aus drei Klassenhäusern, einem Hort-Haus, einem Haus mit Verwaltung und offenem Angebot sowie einem Haus mit Förder- und Kreativbereich.
- Die Sporthalle wird als eigener Körper konzipiert

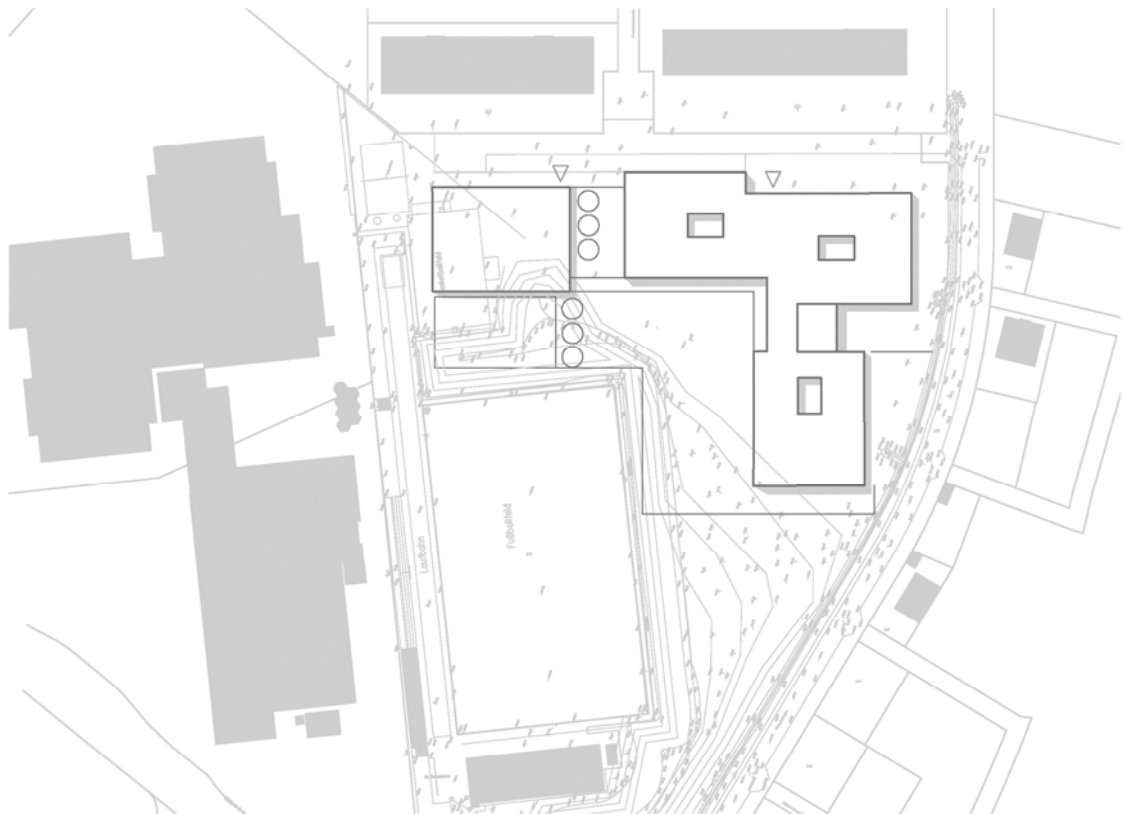
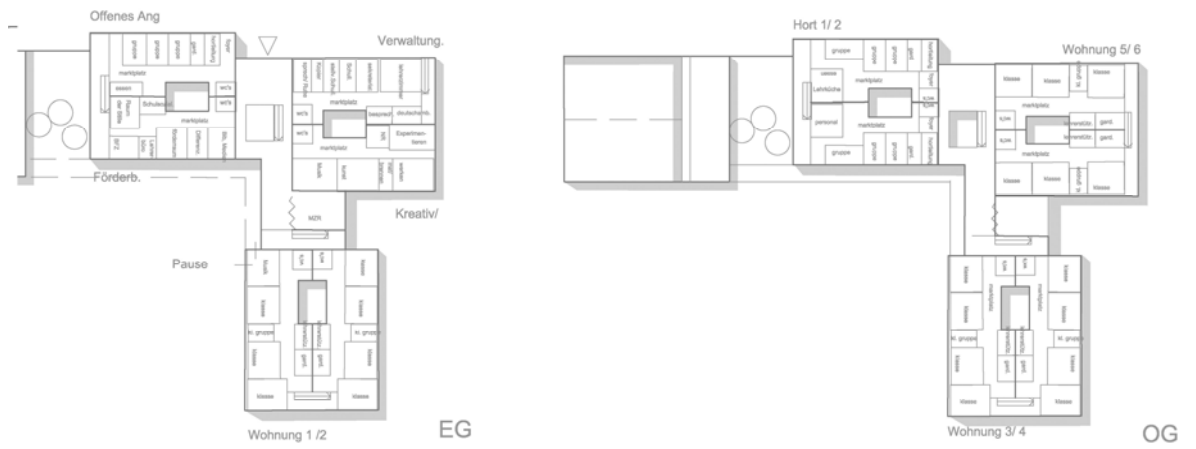


Variante 1

Abbildung 71: Variante 1

Variante 2 (drei Schulhäuser, zweigeschossig)

- Bei dieser Variante werden jeweils zwei Cluster (Bereiche) pro Haus und Geschoss zusammengefasst. Dadurch entstehen nur drei Schulhäuser. Diese Schulhäuser besitzen jedoch einen Innenhof, um den sich jeweils zwei Cluster gruppieren.
- Auch Variante 2 ist komplett zweigeschossig
- Verbunden werden diese drei Schulhäuser durch einen Marktplatz (Pausenhalle) und einer kürzeren „Dorfstraße“
- Die Abbildung des Raumprogramms aus der Leistungsphase 0 funktioniert auch bei dieser Variante sehr gut
- Die drei Schulhäuser bestehen aus einem Klassenhaus, einem Haus mit Klassen (OG) und Kreativ- und Förderbereich (EG) sowie einem Haus mit Verwaltung, offenem Angebot und den zwei Horten
- Die Sporthalle wird getrennt von diesen Schulhäusern realisiert

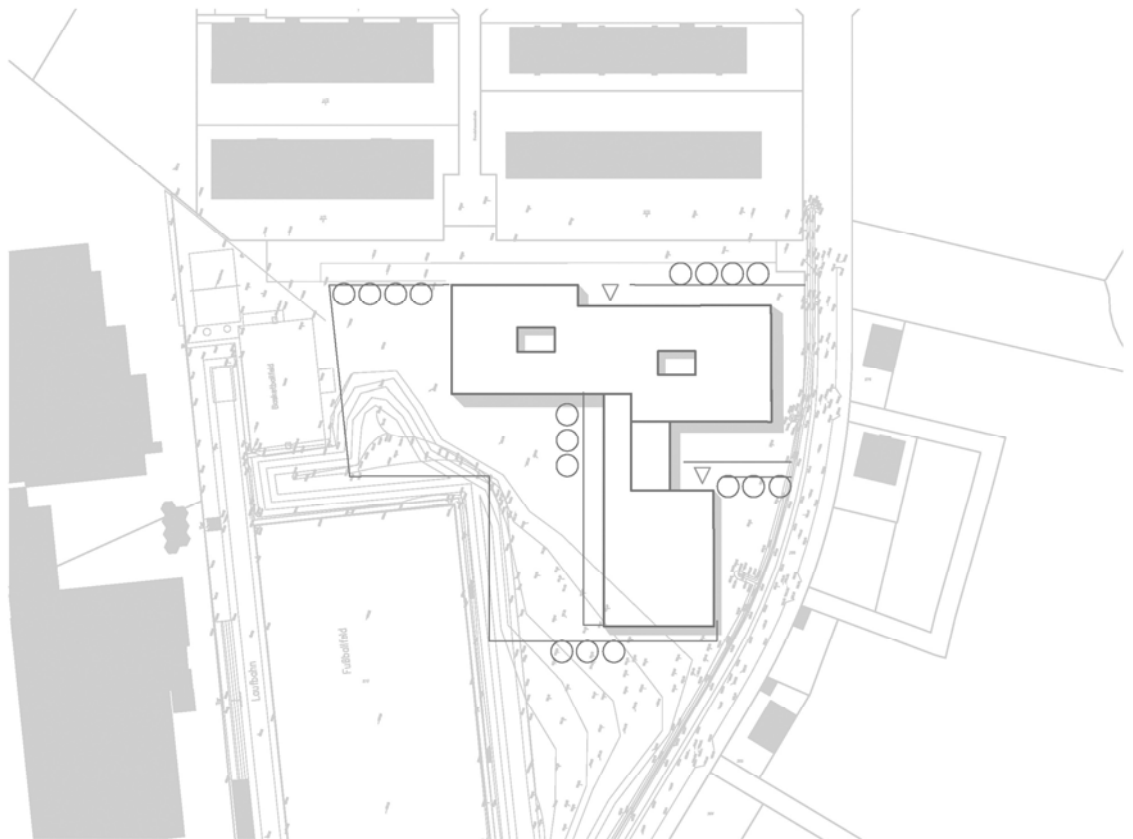


Variante 2

Abbildung 72: Variante 2

Variante 3 (zwei Schulhäuser und Sporthalle, dreigeschossig)

- Wie in Variante 2 werden die Schulhäuser so konzipiert, dass sich jeweils zwei Cluster um einen Innenhof gruppieren. Die Funktionen werden aber auf zwei Schulhäuser komprimiert, die dann dreigeschossig ausgebildet werden
- Das dritte Haus in der versetzten Anordnung bildet somit die Sporthalle. Das heißt, eine gute städtebauliche Konfiguration ist ohne den Bau der Sporthalle direkt an der Schule schlecht möglich
- Die Verbindung der Schulhäuser und der Sporthalle erfolgt über Pausenhalle und „Dorfstraße“
- Dadurch entstehen sehr kurze horizontale Wege, jedoch ist die vertikale Erschließung mit den drei Geschossen etwas unvorteilhafter
- Die Abbildung des Raumprogramms aus Leistungsphase 0 auf Grundriss und Schulhäuser ist nicht mehr so klar, wie in Variante 1 und 2, da alle Funktionen übereinander gelegt werden. Dadurch leidet die Identifikation mit den einzelnen Häusern
- Ein Schulhaus nimmt den Förderbereich und das offene Angebot sowie die zwei Horte und zwei Klassencluster auf, das zweite Schulhaus die Verwaltung, den Kreativbereich sowie vier Klassencluster. Das dritte Haus in diesem Ensemble bildet die Sporthalle



Variante 3

Abbildung 73: Variante 3

Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile der Varianten 1 – 3 dargestellt:

Variante 1:

- relativ lange Erschließungswege (-)
- Identität durch eigene Häuser für jeden Bereich (++)
- Maßstäblichkeit und Höhe im städtebaulichen Umfeld (++)
- keine gut definierte Erschließungs- und Eingangssituation (--)
- keine gute Pausenraum- und Freianlagensituation (-)
- Schallschutz für Wohngebiet durch Städtebau (o)
- Brandschutz (+)
- Verkehrskonzept (-)
- Konstruktion (+)
- Marktplätze der Cluster ohne Außenbezug (--)
- Marktplätze ohne Möglichkeit zur Stoßlüftung über Fenster (-)
- Gegenüberliegende Bereiche „Kammzinken“ im EG schlechte Belichtung (-)
- A/V Verhältnis (o)
- Lage der Sporthalle völlig unabhängig (+)

Variante 2

- Kurze Erschließungswege (+)
- Identität durch eigene Häuser für jeden Bereich (+)
- Maßstäblichkeit und Höhe im städtebaulichen Umfeld (++)
- gut definierte Erschließungs- und Eingangssituation (++)
- sehr gute Pausenraum- und Freianlagensituation (++)
- Schallschutz für Wohngebiet durch Städtebau (+)
- Brandschutz (+)
- Verkehrskonzept (+)
- Konstruktion (+)
- Marktplätze der Cluster mit Außenbezug über Balkon und Atrien (+)
- Marktplätze mit Möglichkeit Querlüftung über Fenster (++)
- Kaum Einschränkungen in der Belichtung (+)
- A/V Verhältnis (+)
- Lage der Sporthalle völlig unabhängig (+)

Variante 3

- Kurze Erschließungswege (+)
- Identität durch eigene Häuser für jeden Bereich (-)
- Maßstäblichkeit und Höhe im städtebaulichen Umfeld (o)
- gut definierte Erschließungs- und Eingangssituation (+), nur mit Sporthalle!
- sehr gute Pausenraum- und Freianlagensituation (+), nur mit Sporthalle!
- Schallschutz für Wohngebiet durch Städtebau (+), nur mit Sporthalle!
- Brandschutz wird durch Dreigeschossigkeit schwieriger (-)
- Verkehrskonzept (+)
- Konstruktion (o)
- Marktplätze der Cluster mit Außenbezug über Balkon und Atrien (+)
- Marktplätze mit Möglichkeit Querlüftung über Fenster (++)
- Einschränkungen in der Belichtung, zumindest EG (-)
- A/V Verhältnis (++)
- Abhängigkeit durch Lage der Sporthalle (--)
- Geringste Dachfläche (Photovoltaik) (-)

Folgendes Punktesystem liegt der Bewertung zu Grunde:

-- = -2 P, - = -1p, o =0 P, + = 1P, ++ =2P

Nachfolgend ist das Ergebnis in der Übersicht dargestellt:

Variante	Ergebnis
Variante 1	- 2 Punkte
Variante 2	+18 Punkte
Variante 3	+4 Punkte

Tabelle 18: Bewertung Varianten im Vergleich

Die Variante 2, die auch anhand der Bewertung am besten abschneidet, wurde von allen Planungsbeteiligten, Bauherrn und Nutzer eindeutig favorisiert und weiterverfolgt.

Nachfolgend ist der Vorentwurf zur Variante 2 dargestellt.



ERDGESCHOSS

Abbildung 74: Vorentwurf – EG und OG



OBERGESCHOSS

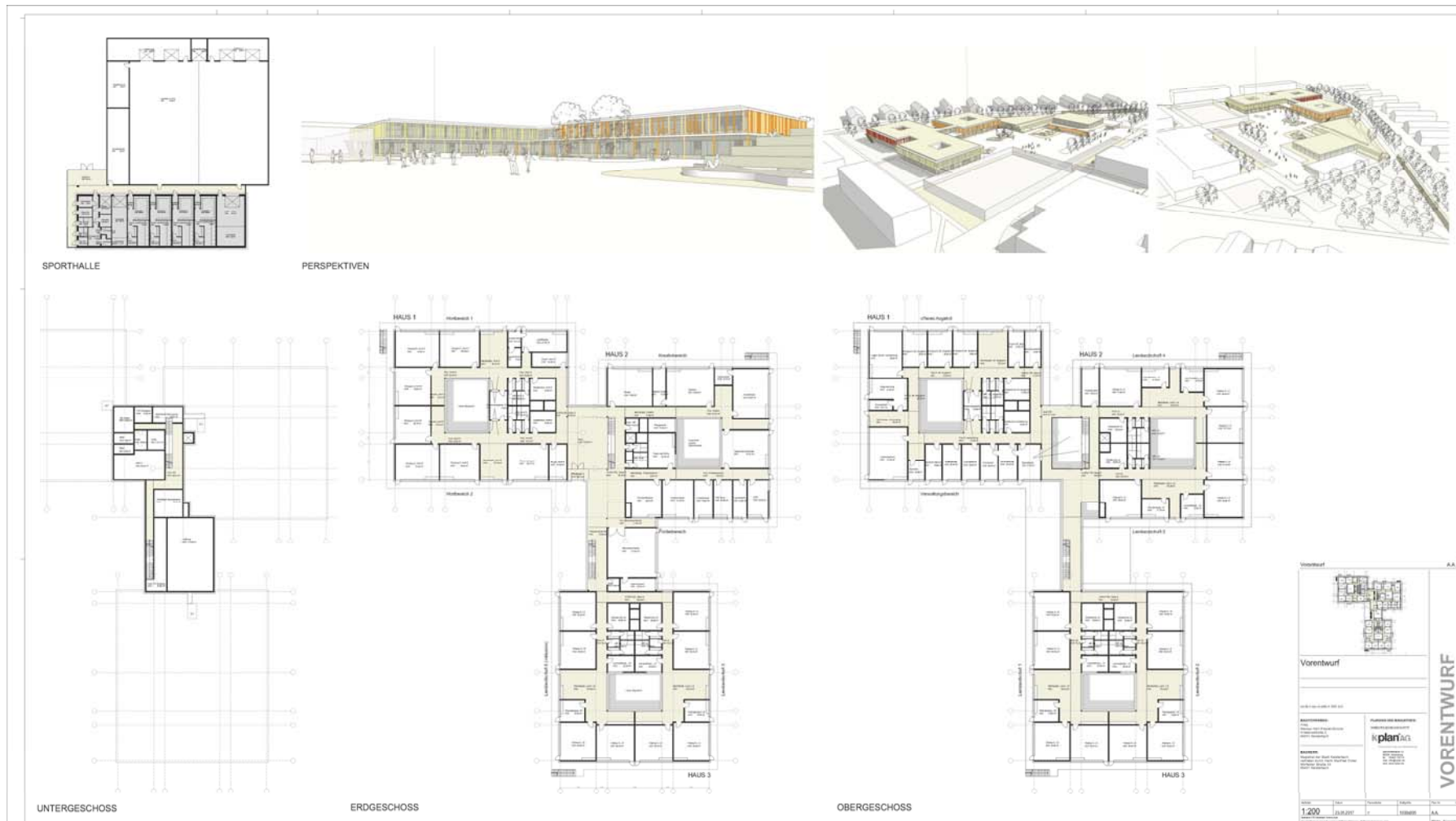


Abbildung 75: Vorentwurf

Städtebau und Erschließung

Durch die Situierung des Schulbaukörpers in die nordöstliche Zone des Grundstücks wird der „Campusgedanke“ klar herausgearbeitet und gestärkt. Der Baukörper mit seinen zum Winkel geformten drei Schulhäusern fasst damit ganz selbstverständlich den Freiraum zwischen der IGS und der Sporthalle.

Die Schüler und Lehrer werden somit von der verkehrstechnischen Erschließung an der Mörfelder Straße geschützt über den Pausenraum zum überdachten Eingang des Gebäudes geführt.

Der zweigeschossige Baukörper präsentiert sich selbstbewusst als Solitär in der Gesamtlage, fügt sich aber durch seine zurückhaltende Höhe und seine Kleinteiligkeit harmonisch in die heterogene, aber niedrig bebaute Umgebung ein.

Die Anordnung der Gebäude bildet dabei auch einen guten Schallschutz zur umgebenden Bebauung.

Es werden auch Teile des bestehenden Lärmschutzwalles benutzt, um im südlichen Grundstück den Schallschutz zu gewährleisten. Diese Topografie wird auch für die Beispielbarkeit der Freianlagen genutzt.

Zur Wohnbebauung wird die Abstandsfläche eingehalten und durch den breiten Grüngürtel wird sowohl der Schallschutz gewährleistet als auch eine natürliche und harmonische Begrenzung geschaffen.

7.1.2 Baukonstruktion

Durch die Entscheidung, die Variante 2 (drei Schulhäuser, zweigeschossig) weiter zu verfolgen, musste die Konstruktion für ein zweigeschossiges, relativ flächiges Gebäude gefunden werden.

Die ersten Überlegungen gingen in zwei Richtungen: Entweder das Gebäude massiv oder in einer leichteren Holzkonstruktion zu errichten.

Durch die relativ flächige Anordnung eines zweigeschossigen Gebäudes gewinnen die Geschosdecken und Dächer entscheidend an Bedeutung. Nach einem längeren Abwägungsprozess wurde in Übereinstimmung mit Energieberater und Bauphysiker die Entscheidung gefällt, Massivdecken aus Beton zu verwenden, da diese große Vorteile in ihrer thermischen Speicherfähigkeit besitzen.

Ebenso wurden aus Gründen des baulichen Schallschutzes Betondecken präferiert.

Ferner wurden für die tragenden Wände und Stützen zwei Systeme überprüft (siehe Tragwerksplanung). Das Schottensystem mit tragenden Innenwänden wurde dem Skelettprinzip

mit tragenden Stützen mit gespannten Decken gegenübergestellt. Man entschied sich letztendlich für das Schottensystem, da dies in seiner Ausbildung weitere thermische Speichermasse bereitstellt sowie in der Ausführung etwas wirtschaftlicher ist als das Skelettsystem.

Ein wesentliches architektonisches und konstruktives Element sind die umlaufenden Fluchtbalkone. Diese gewährleisten den zweiten Fluchtweg, ohne dass die Unterrichtsräume durchquert werden müssen. Da dieser Fluchtbalkon nicht brennbar hergestellt werden muss, ist hier auch die konsequente Weiterführung der Geschossdecken aus Beton auf dem Fluchtbalkon schlüssig. Auch bei dieser vorgehängten Konstruktion wurden verschiedene Varianten geprüft (siehe Tragwerksplanung). Zum einen Systeme mit Isokorb, zum anderen gestützte Systeme mit Außenstützen und einer punktuellen Anbindung an die Geschossdecken. Die Entscheidung fiel auf ein außen gestütztes System, bei dem die Fluchtbalkone nur punktuell mit der eigentlichen Fassade oder den Decken des Hauptkörpers verbunden werden, da hier die geringsten Wärmebrücken zu erwarten sind.

Aus den untersuchten Varianten für Konstruktion und Baustoffe wurde unter Bewertung und Berücksichtigung aller Teilaspekte das Schottensystem in Stahlbetonbauweise als die für die Zielsetzung günstigste Ausführung herausgefiltert. So ergibt sich bei dieser Konstruktion eine große aktivierbare Speichermasse bei gleichzeitig hoher Transparenz für ein hohes Maß an natürlicher Belichtung. Der Wärmeschutz kann über eine leichte Außenhülle gewährleistet werden.

Das mit der gewählten Konstruktion verbundene höhere Eigengewicht steht hier nicht im Vordergrund, da sich bei dem gegebenen sehr gut tragfähigen Baugrund hohe Fundamentlasten nicht wesentlich ungünstiger auswirken. Somit gewinnen hier die anderen Einflussgrößen stärker an Bedeutung.

Die Lastabtragung erfolgt über Stahlbetondecken zweiachsig mit einem weitgehend gleichmäßigen Grundraster über die Grundfläche. Die Lasten werden über ein System von Unterzügen, Wänden und Stützen über die beiden Geschossebenen abgetragen. Die Wände sind im Wesentlichen rechtwinklig zu den Außenwänden angeordnet, so dass die Fassade nicht tragend in leichter Bauweise und mit hoher Transparenz ausgeführt werden kann. Auch im Innenbereich stehen die Wände rechtwinklig zu den Gang- und Erschließungsbereichen. Dies ermöglicht eine offene und flexible Raumgestaltung und weitgehende Freiheiten für künftige Veränderungen.

Die Aussteifung des Gebäudes wird ohne weitere Maßnahmen auf einfache Weise über die in beiden Richtungen orientierten Wände gewährleistet. Die Gründung und Lastableitung in den Baugrund erfolgt als Plattengründung über eine Bodenplatte. Mit Anordnung einer kapillarbrechenden Bodenschicht unterhalb der Bodenplatte kann eine Frostschürze entfallen. Infolge der vergleichmäßigsten Lastableitung aus den Geschoßebenen können Plattenverstärkungen und stark bewehrte Bereiche vermieden werden.

Die Fassade ist der tragenden Baukonstruktion vorgestellt und umgibt diese wie eine Hülle. Anschlüsse, die stets Kältebrücken und potentielle Schwachstellen darstellen, werden dadurch weitestgehend reduziert.

Auch der Fluchtbalkon ist der Gebäudekonstruktion vorgestellt und über Stützen und Fundamente selbsttragend. Zur Aussteifung wird die Konstruktion mit pinartigen Anschlüssen an das ausgesteifte Gebäude angehängt. Die Balkonplatten sind als Stahlbetonfertigteile vorgesehen über die bewitterte Fassadenhaut geführt. Auf diese Weise fungiert die Balkonkonstruktion sowohl als Sonnenschutz als auch als konstruktiver Witterungsschutz. Die Stützen bestehen aus Baustahl.

Die einzelnen Gebäudeteile (Haus A bis C sowie der Verbindungsbau) sind voneinander durch Baufugen getrennt. Dies ist zum einen der Gesamtstruktur mit satellitenartig angeordneten Funktionsgebäuden und zum anderen der Unterkellerung des Verbindungsbauwerks geschuldet. Hier ergeben sich unterschiedliche Gründungsverhältnisse mit unterschiedlich zu erwartenden Setzungen.

Die vertikalen Tragelemente des Mehrzweckraumes werden ebenfalls in Stahlbeton konstruiert. Für die Dachfläche werden hier jedoch leichtere, flächige Holzelemente gewählt. Bei der größeren Spannweite wirkt sich die leichtere Konstruktion hier nicht nur für die Dachfläche selbst deutlich positiv aus. Gleichermaßen gilt dies für die lastweiterleitenden Wände und vor allem für die Stützen.

7.1.3 Akustik

Bisherige raumakustische Lösungen in Verbindung mit dem Erhalt thermischer Speichermassen zielen auf waagrecht oder vertikal freiliegende flächige Schallabsorber ab, mit denen jedoch die heutigen raumakustischen Anforderungen unter Berücksichtigung der thermischen Belange nur eingeschränkt erfüllt werden können. Darüber hinaus sind für thermisch aktivierte Bauteile Produkte und Konstruktionen verfügbar, die einen Beitrag zur Raumakustik liefern und gleichzeitig die thermische Leistungsfähigkeit der Massivbauteile weniger beeinträchtigen. Diese Systeme sind jedoch technisch vergleichsweise aufwändig und es ist die frequenzabhängige Schallabsorptionsfähigkeit meist nicht ausreichend, um das in den Schulen geforderte notwendige Schallabsorptionsvermögen zu erreichen. Dies gilt insbesondere auch für die vorliegende Karl-Treutel-Schule in Kelsterbach, da hier aufgrund der geplanten offenen Lernlandschaft strengere Anforderungen an die Raumakustik gestellt werden.

Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass beim vorliegenden Bauvorhaben die hohen akustischen Anforderungen unter Beibehaltung einer möglichst großen thermischen Speichereffizienz der übrigen Baukonstruktion durch folgende Maßnahmen erreicht werden können:

-
- Verwendung von akustisch hocheffizienten Materialien/ Konstruktionen
 - Anordnung der schallabsorbierenden Deckenflächen in den Raumkanten und Raumecken
 - Verteilung der Schallabsorption auf alle drei Raumebenen (Decke, Seitenwand, Stirnwand)
 - Akustisch aktiviertes Mobiliar (zum Beispiel Sideboards und Staufächer)

Konkret wird dies durch folgende Maßnahmen erreicht:

a) Decke

An der Decke wird ein umlaufendes, ca. 1,15 m breites schallabsorbierendes Deckenfries (entspricht 50 % der Grundfläche) mit folgendem Aufbau ausgeführt:

- Betonrohdecke
- ca. 200 mm Luft, zur Raummitte hin offen, so dass die darüber liegende Rohdecke noch teilweise als Speichermasse wirkt
- ca. 50 mm mineralischer Dämmstoff
- 25 mm Holzwolleakustikplatten

Die Dicke der Dämmauflage wird zur Erhöhung der Absorption tiefer Frequenzen in Teilbereichen (ca. 30 cm breit direkt an den Wänden) von 50 mm auf bis zu 100 mm erhöht.

b) Stirnwände

Nach derzeitiger Planung wird voraussichtlich eine der beiden Stirnwände nicht in Massivbau sondern als Trockenbauwand ausgeführt und trägt somit nicht stark zur thermischen Speicherfähigkeit bei. Diese Wandfläche wird vollflächig ($\geq 22 \text{ m}^2$) schallabsorbierend wie folgt verkleidet:

- Trockenbauwand
- 30 mm mineralischer Dämmstoff
- 25 mm Holzwolleakustikplatten

c) Flurwand

Zur Optimierung der Schallfeldstruktur soll auch an der Flurwand „in Ohrhöhe“, zum Beispiel oberhalb der Staufächer, ein etwa 80 cm hoher schallabsorbierender Wandstreifen vorgehalten werden, Aufbau wie bei der Stirnwand, Fläche ca. 6 m^2 .

d) Mobiliar

Zur akustischen Gestaltung steht das Mobiliar an den Wänden zur Verfügung (Schränke, Sideboards, Regale, Staufächer). Die Rückwand der offenen Staufächer und die Türen der Sideboards / Schränke können schallabsorbierend ausgeführt werden, die absorbierenden Wandflächen können dann entsprechend reduziert werden. Da in den Klassenräumen jedoch keine großflächigen Schrankwände vorgesehen sind, ist der mögliche Beitrag des Mobiliars zur Schallabsorption vergleichsweise gering. Dies wird auch aus der unten gezeigten Grafik (Abbildung 76) deutlich. Ungeachtet dessen kann das Mobiliar bei akustischer Gestaltung den entscheidenden Beitrag zum Erreichen der erhöhten Anforderungen gemäß Zielvereinbarung liefern.

Die folgende Abbildung 76 zeigt ein abstrahiertes akustisches Klassenraummodell (Stand Vorentwurf) aus den Raumakustiksimulationen. Blau eingetragen sind die schallabsorbierend zu gestaltenden Oberflächen.

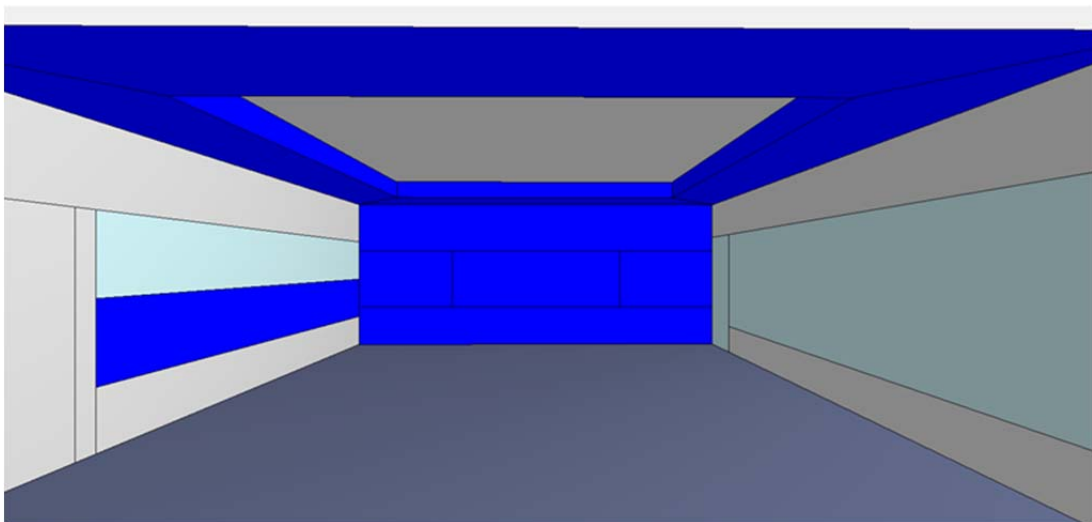


Abbildung 76: Akustisches Modell eines Klassenraums mit optimierten baulichen Schallabsorptionsflächen (blau).

Wie Berechnungen und Simulationen gezeigt haben, können mit den beschriebenen Maßnahmen bei entsprechender Detailplanung und Abstimmung die hohen raumakustischen Anforderungen erfüllt werden.

Die verschiedenen Schritte der akustischen Effizienz- und Flächenoptimierung sind in untenstehender Grafik zusammenfassend gezeigt.

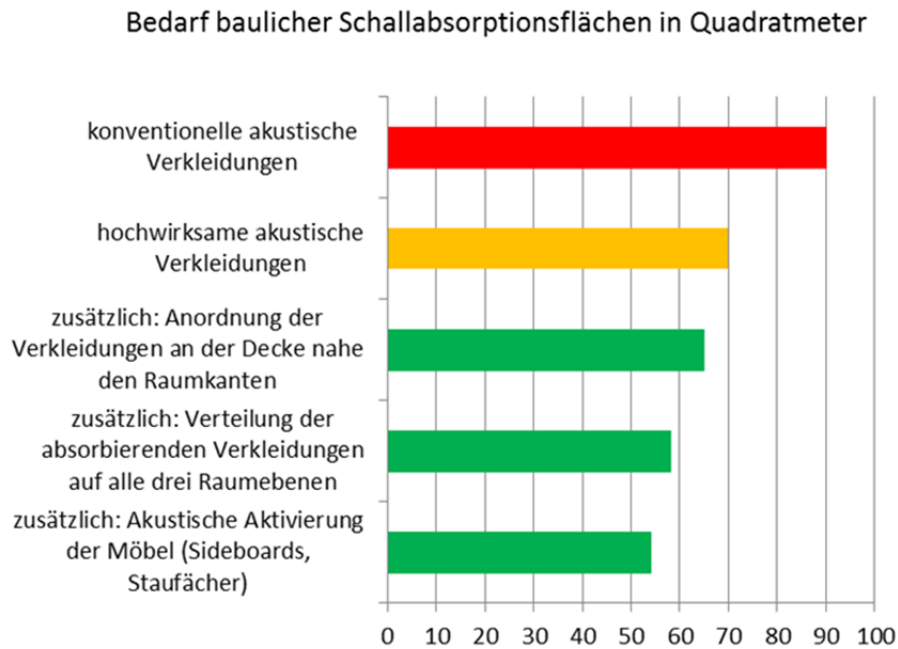


Abbildung 77: Bauliche Schallabsorptionsflächen in m² für die 60 m² großen Klassenräume, die zum Erreichen der erhöhten raumakustischen Anforderungen gemäß Zielvereinbarung erforderlich sind.

Die berechnete Nachhallzeit im besetzten Klassenraum unter Berücksichtigung unterschiedlicher absorbierender Maßnahmen sowie der frequenzabhängige Zielbereich für die Nachhallzeit ist in der folgenden Abbildung 78 dargestellt.

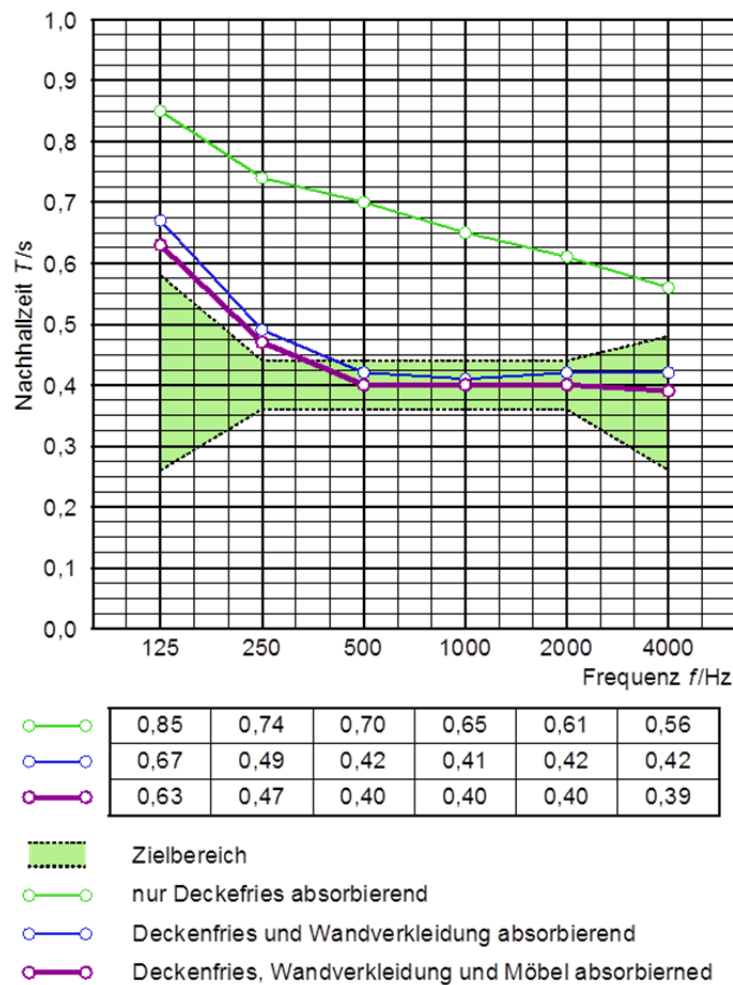


Abbildung 78: Berechnete Nachhallzeiten im besetzten Klassenraum.

Bei tiefen Frequenzen < 250 Hz ist die Nachhallzeit noch um ca. 0,03...0,05 Sekunden zu lang. Dies ist in der weiteren Planung durch entsprechende Tiefenabsorber zu berücksichtigen, zum Beispiel:

- Gestaltung und Anordnung der Schränke und Sideboards
- Abstand der Tafel zur Wand
- Gestaltung der absorbierenden Wandverkleidung

7.1.4 Brandschutz

Bei dem Objekt handelt es sich um einen Sonderbau der Gebäudeklasse 3. Die tragenden, aussteifenden, raumabschließenden Bauteile sind feuerhemmend auszubilden. Innere Brandwände zur Unterteilung in Brandabschnitte müssen hochfeuerhemmend ausgebildet werden.

Das Gebäude soll in zwei Brandabschnitte unterteilt werden. Gem. § 2.2 MSchulbauR kommt es bei der Brandabschnittslänge zu einer Überschreitung. In diesem Zusammenhang wird jedoch die zulässige Brandabschnittsfläche unterschritten.

Des Weiteren soll die Aula als eine Halle gem. § 2.4 MSchulbauR über alle Geschosse ausgebildet werden. Da diese durch die geplante notw. Treppe bis ins Kellergeschoss reichen soll, sollen die Wände der Halle feuerbeständig ausgebildet werden. Dadurch erfolgt eine weitere Unterteilung der Überschreitung der Brandabschnittslänge. Durch die Bildung einer Halle kann gem. § 3.1 MSchulbauR ein baulicher Rettungsweg (notw. Treppe) auch ohne notw. Treppenraum ausgebildet werden.

Um der Besonderheit dieses pädagogischen Konzeptes Rechnung zu tragen, soll bei der Brandschutzkonzeption auf die klassischen Elemente der Ausbildung notwendiger Flure verzichtet werden. Damit soll erreicht werden, dass die steril wirkenden Flure eines konventionellen Schulkonzeptes der Vergangenheit angehören und die Klassenräume zu den Fluren hin geöffnet werden können. Damit soll erreicht werden, dass die Flure Teil des pädagogischen Lernkonzeptes werden. Für ‚offenen Gänge‘ werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gefordert, die sonst vorhandenen Flurwände in F30 entfallen. Zudem entfallen auch Anforderungen an die Verlegung von Leitungen in den Fluren.

Somit wird es jedoch erforderlich, alternative Rettungswegkonzepte zu entwickeln, da der sonst übliche brandlastfreie notwendige Flur, über den sowohl der erste als auch der zweite Rettungsweg geführt werden darf, in seiner urtypischen Ausbildung und Funktion nicht mehr gegeben ist.

Um hier die Schutzziele der Landesbauordnung adäquat zu erfüllen, beinhaltet die derzeitige Rettungswegkonzeption, einen Rettungsweg über den – jetzt nicht mehr notwendigen – Flur zu führen. Der zweite Rettungsweg wird jedoch, anders als in klassischen Schultypen üblich, durch direkte Ausgänge aus den Klassen-/ Gruppenräumen ins Freie bzw. über Außenbalkone und Außentreppen geführt.

Der erste Rettungsweg im Erdgeschoss kann somit über den Spielflur zu direkten Ausgängen ins Freie bzw. über den notw. Treppenraum mit direkten Ausgang ins Freie gewährleistet werden. Für den zweiten Rettungsweg muss jeder Aufenthaltsraum einen direkten Ausgang ins Freie besitzen.

Im Obergeschoss benötigt jeder Aufenthaltsraum einen Zugang zum Fluchtbalkon. Über diese Fluchtbalkone kann eine notw. Außentreppe bzw. eine notw. Treppe mit notw. Trep-

penraum und direkten Ausgang ins Freie erreicht werden. Der weitere Rettungsweg verläuft über den Flur durch die Aula (Halle) mit notw. Treppe und direkten Ausgang ins Freie bzw. zur notw. Treppe mit notw. Treppenraum und direkten Ausgängen ins Freie.

Unterstützt wird diese Rettungswegkonzeption durch die Bildung von „Nutzungsbereichen“, getrennt durch F90-Wände. Somit ergeben sich pro Geschoss und pro „Haus“ zwei kleingliedrige brandschutztechnisch voneinander abgetrennte Einheiten, wodurch es neben den oben bereits dargestellten Rettungswegen zudem die Möglichkeit gibt, in den benachbarten Abschnitt zu flüchten. Dieser Konzeptionsansatz bringt es in der Folge auch mit sich, die üblicherweise hochfeuerhemmenden (F60) Brandwände auch unter dem Gesichtspunkt der Trennwände von Nutzungsbereichen zu betrachten und somit in F90 auszuführen.

Um den Lehrern/ Betreuern ein frühzeitiges Einleiten von Räumungsmaßnahmen zu ermöglichen und den Zeitpuffer, der bei klassischen Schulkonzepten durch die brandlastfreien notwendigen Flure gegeben ist, wieder herzustellen, ist zur Umsetzung des pädagogischen Lernkonzeptes eine frühzeitige Erkennung eines Brandgeschehens und damit verbunden eine frühzeitige Alarmierung der Nutzer zwingend erforderlich. So wird bei der KTS eine Brandmeldeanlage mit Rauchmeldern vollflächig im Gebäude eingebaut. Die Alarmierung erfolgt über eine Sprachalarmierungsanlage. Hierdurch soll einerseits vermieden werden, eine Panikreaktion durch die Sirenen auszulösen, andererseits ist es auch möglich, den betroffenen Bereich zielgerichtet zu Räumen, ohne dass Personen eines nicht betroffenen Bereiches in den Gefahrenbereich flüchten.

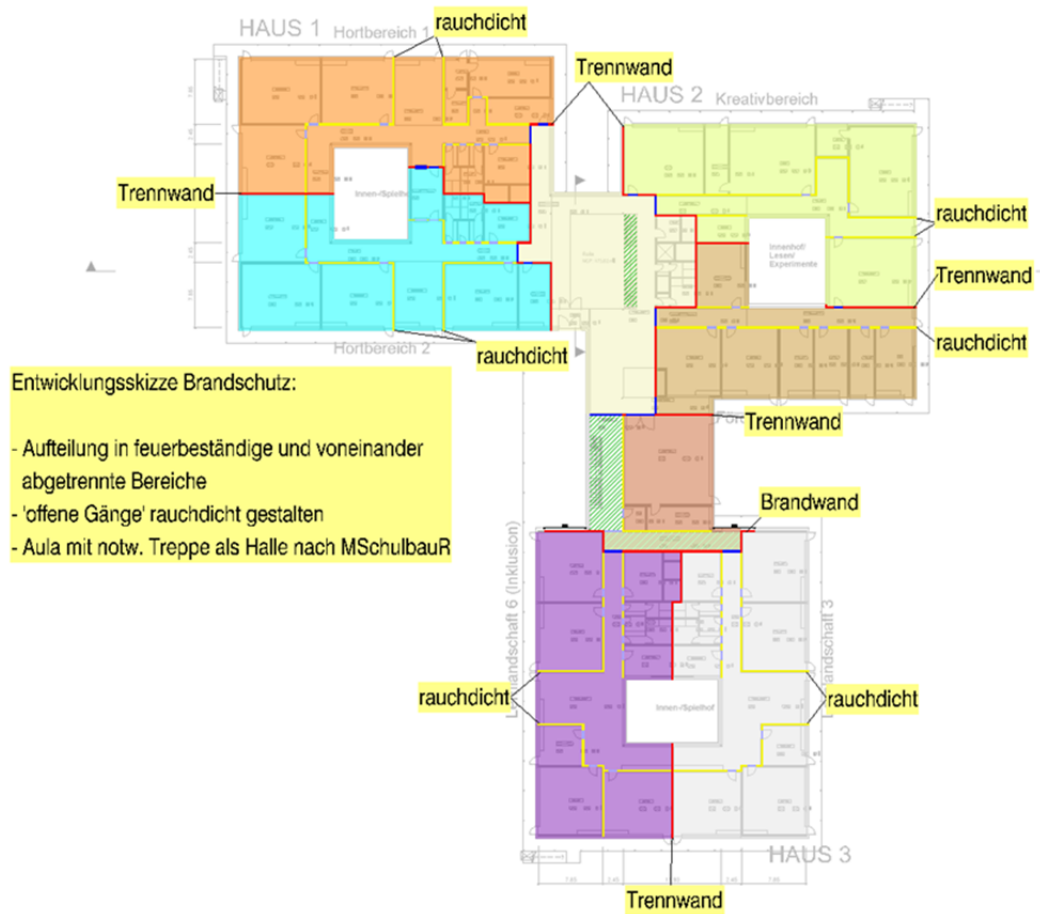


Abbildung 79: Entwicklungsskizze - Prinzip des Brandschutzes (Erdgeschoss)

Im Kellergeschoss befinden sich mit Ausnahme einer Hausmeisterwerkstatt lediglich Technikräume und ein Archiv. Diese Räume sind nicht für einen dauerhaften Aufenthalt definiert. Damit stellen Sie keinen ständigen Aufenthaltsbereich im Sinne der Bauordnung dar. Der erste Rettungsweg wird über eine notw. Treppe mit notw. Treppenraum gewährleistet. Auf Grund der Hausmeisterwerkstatt, welche einen Aufenthaltsraum darstellt, wird in diesem Bereich ein notw. Flur zur zweiten Rettungswegführung notwendig. Hierbei ist der zweite Rettungsweg über die an den notw. Flur angrenzende Aula mit einer notw. Treppe und direkten Ausgang ins Freie sichergestellt.

7.1.5 Haustechnik

7.1.5.1 Lüftungs-, Wärme- und Kälteversorgungskonzept

Für das Schulgebäude wird eine hybride Lüftung realisiert. Die mechanische Be- und Entlüftung deckt die Grundlüftung und die Beheizung je Lernhaus ab. Eine Stoßlüftung kann natürlich über die Fenster erfolgen. Bei der mechanischen Be- und Entlüftung wird ein neuartiges, innovatives Konzept verfolgt, welches im Folgenden beschrieben ist.

Über dezentral angeordnete Zuluftgeräte im Fassadenbereich wird die Außenluft angesaugt und gefiltert. Nachdem die Zuluft das Klassenzimmer durchströmt hat, gelangt sie über Überströmöffnungen in die Flure. Im Bereich der Innenkerne (Garderobe / WC-Räume) der jeweiligen Lernhäuser und im Bereich der zentralgelegenen Aula wird die Abluft jeweils erfasst und abgesaugt. Im Abluftgerät wird die Luft über ein Kreislaufverbundsystem (KVS) geführt. Dabei wird die in der Raumluft enthaltene Wärme an ein Trägermedium übergeben, welches wiederum zu den dezentralen Zuluftgeräten geleitet wird, um die Zuluft über ein Heizregister zu konditionieren. Im Anschluss an das KVS wird die Abluft über eine Abluft-Wärmepumpe geführt, welche zur Heizlastabdeckung aktiv Wärme erzeugt und eine Nacherhitzung der Zuluft ermöglicht. Überschüssige Wärme wird in einen Pufferspeicher eingelagert. Der Schallschutz wird mittels Schalldämpfern in den Überströmöffnungen gewährleistet. Im Zusammenhang mit dem Brandschutz sind Brandschutzklappen vorgesehen.

Mit diesem System ist es möglich, die Klassenzimmer durch eine Klappe ausschließlich über die Zuluft im Umluftbetrieb zu beheizen.

In den Sommermonaten funktioniert das System reversibel und ermöglicht eine energieeffiziente Kühlung der Zuluft. Es kann ein hoher Wärmerückgewinnungsgrad realisiert werden, welcher mit den Werten konventioneller, zentraler Lüftungsgeräte vergleichbar ist. Die Lüftungswärmeverluste werden stark reduziert und ermöglichen somit einen energiesparenden Betrieb des Gebäudes. Gleichzeitig kann auf eine aufwändige und kostenintensive Schachtführung sowie zusätzliche Heizungsanlagen und Kältemaschinen verzichtet werden.

Um möglichst wenig Energie für eine aktive Kühlung zu verwenden, wird eine Nachtauskühlung vorgesehen. Hierzu werden im Sommer, wenn die Außentemperatur unterhalb der Raumtemperatur ist, die Zuluftgeräte der Klassenräume EIN-geschaltet und gleichzeitig geeignete Oberlichter, RWA-Öffnungen sowie Fensterflächen geöffnet.

Der Mehrzweckraum sowie die Räume im Untergeschoss erhalten eine eigenständige Zuluftanlage, welche ebenfalls im KV-System mit der zentralen Abluft verbunden ist.

Beschreibung Heiz- / Lüftungskonzept Schulgebäude

Die Wärme- und Frischluftversorgung erfolgt ausschließlich über die Zuluftgeräte im Fassadenbereich sowie mittels Überströmung der Zuluft in die Flure und Nebenräume, wo je Lernhaus und zentral an der Aula die Ablufferfassung vorgesehen ist.

Im Abluftgerät wird die Luft über ein Kreislaufverbundsystem (KVS) geführt. Dabei wird die in der Raumluft enthaltene Wärme an ein Trägermedium übergeben, welches wiederum zu den dezentralen Zuluftgeräten geleitet wird. Die Zuluft wird über ein Heizregister geführt und so konditioniert, dass die Heizlast ausreichend abgedeckt wird.

Im Anschluss an das KVS wird die erfasste Abluft über eine Abluft-Wärmepumpe geführt, welche zur Heizlastabdeckung aktiv Wärme erzeugt und für die Nacherhitzung der Zuluft dient. Überschüssige Wärme wird in einen Pufferspeicher eingelagert.

Sobald kein Außenbetrieb erforderlich ist, können die dezentralen Lüftungsgeräte auf Umluftbetrieb umgeschaltet werden. Dadurch wird im Betrieb die Leistungsaufnahme reduziert. Bei Betrieb mit reduzierter Luftmenge wird am zentralen Abluftgerät ein Bypass nach außen geöffnet, damit die Wärmepumpe ausreichend mit Luft beaufschlagt ist.

Die Abluft gibt an den Verdampfer der Wärmepumpe die Wärme ab und wird über den Kältemittelkreislauf auf ein höheres Temperaturniveau transferiert. Die an den Kondensator abgegebene Wärme wird an ein Wasser/Glykol-Gemisch übertragen und in das KVS zur Versorgung der dezentralen Zuluftgeräte eingebunden.

In den Sommermonaten funktioniert das System reversibel und ermöglicht eine energieeffiziente Kühlung der Zuluft. Es kann ein hoher Wärmerückgewinnungsgrad realisiert werden, welcher mit den Werten konventioneller, zentraler Lüftungsgeräte vergleichbar ist.

Die zentrale Abluftanlage mit Abluft-Wärmepumpe und der Pufferspeicher sind in einer Technikzentrale im UG untergebracht. Die Fortluft wird im Außenbereich ausgeblasen. Die geruchsbelastete Abluft aus den WC-Bereichen wird separat erfasst und über das Dach ausgeblasen. Der Mehrzweckraum erhält zur Heizlastabdeckung und zur ausreichenden Luftversorgung eine eigene Zuluftanlage, welche im zentralen KVS eingebunden ist.

Die Auslegungskriterien/ Luftwechselrate bzw. Luftmengen sind wie folgt mit der Bauherrschaft abgesprochen und festgelegt worden:

Klassenräume, Gruppenräume, etc. (DIN EN 13779)	20 m ³ /h Person
Verwaltung, Aula, MZR, etc. (DIN EN 13779)	20 m ³ /h Person
Essensausgabe	10 m ³ /h je m ²
Lagerräume	LW= 0,5 je h
WC-Räume (ASR)	11 m ³ /h m ²

Bei einer maximalen Klassenbelegung von 30 Personen und den vorgenannten Daten wurde eine Gesamtluftmenge von rd. 32.800 m³/h ermittelt. Bei dieser gewählten Luftmenge ist bereits eine Reduzierung durch die Doppelnutzung der Zuluft durch Nachströmung in WC-Bereiche, Aula und weiteren Nebenräumen berücksichtigt. Die Luftmengenermittlung ist in Anlage 6 enthalten.

Nachfolgende RLT-Anlagen mit folgenden Funktionen sind vorgesehen:

RLT 01: dezentrale Zuluftgeräte mit zentraler Abluft und separater Abluftanlagen für WC-Bereiche:

- Temperatur-Regelung der Zuluft an den dezentralen Zuluftgeräten in Abhängigkeit der Außen- und Raumtemperatur, als Sequenz Heizen, WRG, WP-Betrieb, Pufferspeichermanagement. Die Umschaltung zwischen Außen- und Umluftbetrieb erfolgt über Präsenzmelder. Die zentrale Abluft erfolgt mit variablen Luftmengen
- Zeitprogramm, mit möglicher Hinterlegung von Stundenplänen

RLT 02: Zuluftanlage Mehrzweckraum / Untergeschoss:

- Variable-Temperatur-Regelung der Zuluft als Sequenz Heizen, WRG, WP-Betrieb.
- Konstante Temperaturregelung und Volumenströme in Untergeschossräume
- CO₂-Regelung im Mehrzweckraum
- Zeitprogramm

RLT 03-05: Abluftanlagen WC-Bereiche, Haus 1 bis 3:

- Abluftbetrieb mit konstanten Luftmengen, in Sequenz lüften, WRG in Verbindung mit RLT 01 (Zuluftversorgung)
- Zeitprogramm

Parameter dezentrale Zuluftgeräte Schule

Für die Entwicklung des Geräts sollen aus Sicht der Planung u. a. folgende Parameter berücksichtigt werden:

- Nachheizung auf mindestens 24 °C Zulufttemperatur im Winter
- Kühlung der Außenluft im Sommer über die Register
- Standardluftmenge Klassenzimmer: 300-600 m³/h bzw. 500-800 m³/h
- Boostfunktion mit erhöhter Luftmenge für die Klassenräume mit 500 m³/h bzw. 800 m³/h (Nachluftspülung)
- Bypass für die Nachlüftung
- Umluftbetrieb zur Beheizung des Raums, wenn die Lüftung aus ist, muss möglich sein (Klappe intern im Gerät wärmegeklämt)
- Außenluftfilter (F7) muss von innen tauschbar sein

- aus akustischer Sicht ist als Anforderung für die Nutzung ein Schalldruckpegel von max. 30 dB(A) am Arbeitsplatz der Schüler anzustreben.
 - o Schalleistungspegel max. 35 dB(A) bei 435 m³/h
 - o Schalleistungspegel max. 40 dB(A) bei 600 m³/h
- Berechnung der max. Heiz- und Kühlleistungen
- Anforderungen an die Wärmetauscher beachten
- Leckgerate Klappen beachten
- Regelbarkeit des Gerätes (z. B. 3 Stufen,...)
- Standby-Leistungsaufnahme max. ca. 2 W
- Druckverlust (intern + extern) bei Taglüftung max. 300 Pa, bei Nachtlüftung max. 100 Pa. In volumetrischen Kennwerten ausgedrückt: bei Taglüftung max. 0,13 Wh/m³, bei Nachtlüftung max. 0,04 Wh/m³
- Brüstungsgeräte (alle Klassenzimmer): max. 800 mm hoch, Breite bis 3000 mm möglich, Tiefe max. ca. 300 mm
- Wärmedämmung des Gehäuses im kalten Bereich berücksichtigen, Bauteil sollte wärmetechnisch nahezu Passivhausstandard haben (Dämmung, Wärmebrücken)

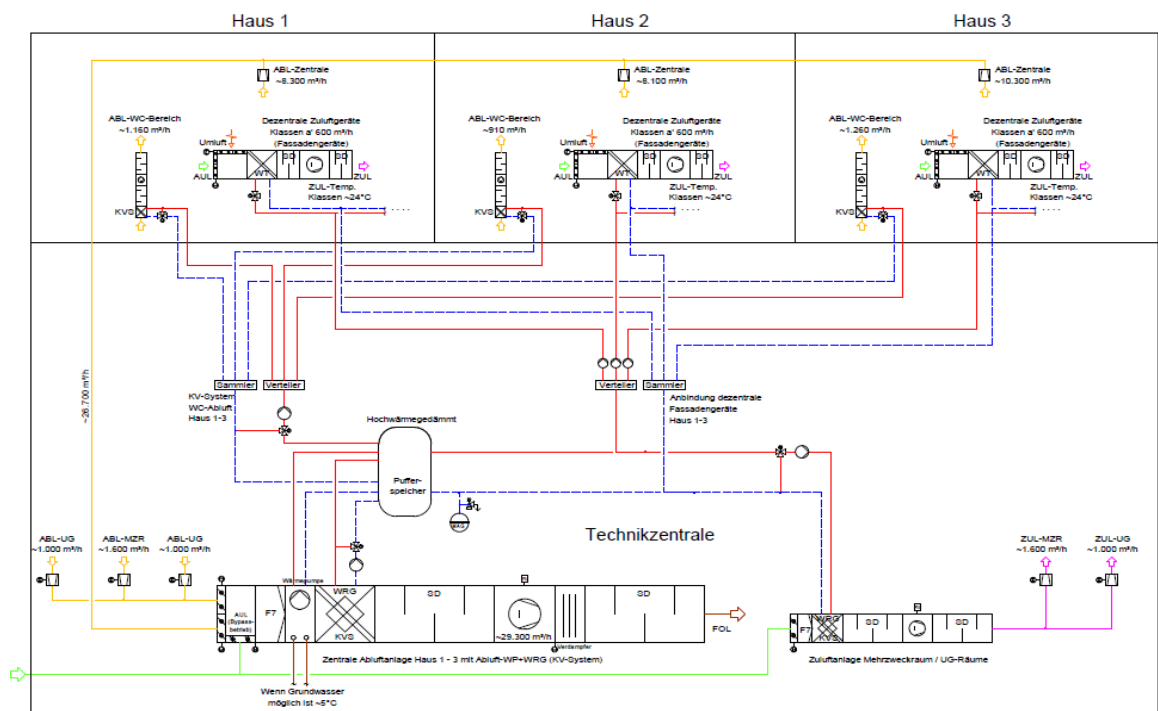


Abbildung 80: Energieschema Schulgebäude

Sommerlicher Wärmeschutz

Um möglichst wenig Energie für eine aktive Kühlung zu verwenden, wird eine Nachtauskühlung vorgesehen. Hierzu werden im Sommer, wenn die Außentemperatur unterhalb der

Raumtemperatur ist, die Zuluftgeräte der Klassenräume EIN-geschaltet und gleichzeitig geeignete Oberlichter, RWA-Öffnungen sowie Fensterflächen geöffnet.

Warmwasserbereitung

Die Warmwasserversorgung erfolgt grundsätzlich dezentral, mittels elektrischer Warmwassergeräte.

7.1.5.2 Elektroinstallation

Die Energieverteilung erfolgt von der Gebäudehauptverteilung im Untergeschoss zu den Unterverteilungen. Die einzelnen Etagen bzw. Nutzungsbereiche werden über zugeordnete Etagenunterverteiler versorgt. Die Installation der Klassenräume wird mit dezentralen Elektrounterverteilern, ausgebildet als Mediensäule im Raum, vorgesehen. Vorteile bei dieser Installationsart:

- Minimaler Verkabelungsaufwand
- Minimale Brandlasten; Minimierter Kupferbedarf
- Geringer Platzbedarf für die Unterverteilung
- Sehr flexibel bei Nutzungsänderung

Für das Gebäude wird das Installationsbussystem KNX eingeplant, welches folgende Vorteile birgt:

- Verringerung der Brandlast (dezentrale Systemarchitektur)
- Energieeffizienz (Abschaltungen, tageslichtabhängig gesteuerte Beleuchtung)
- Lichtszenen variabel und flexibel programmierbar
- Schnelle Anpassung und hohe Flexibilität bei Nutzungsänderungen
- Problemlose Erweiterung
- Flexible Planung und einfache Installation
- Regelung der Beleuchtungsstärken (DALI/KNX) und Abschaltung der Vorschaltgeräte (keine Stand-By-Verluste)
- Schnittstelle zu übergeordneten Systemen (Gebäudeleittechnik- z.B. Schnittstelle BACnet- IP/KNX) bzw. Fremdsystemen (Mediensteuerung z.B. Schnittstelle AMX/KNX, LAN z.B. Schnittstelle KNX/IP)

Die Steuerungen der Beleuchtungsanlagen erfolgt für das Gebäude über ein zentrales KNX-BUS-System, über welches auch Betriebs- und Störmeldungen an ein übergeordnetes GLT-System ausgegeben bzw. visualisiert werden können.

Die Beleuchtung der Aufenthaltsbereiche wird grundsätzlich präsenzgesteuert und tageslichtabhängig ausgeführt. Eine Reduzierung des Energiebedarfs um bis zu 45-50% ist bei präsenz- und tageslichtabhängiger Steuerung möglich. Die Beleuchtung der Technikräume

wird schaltbar ausgeführt, wobei die Leuchtengruppen im Raum einzeln über Taster geschaltet werden können. Die Beleuchtung der Sanitäranlagen, Treppenhäuser und Flure erfolgt über Präsenzmelder. Die Beleuchtungssteuerung für den Außenbereich erfolgt zentral über den Bus über einen Dämmerungsschalter. Zusätzlich kann die Außenbeleuchtung über Zeitimpulse geschaltet werden. Im Fall eines Brandalarms, eines Einbruchs oder bei der Detektion einer Person kann die Beleuchtung automatisch eingeschaltet werden.

Für das Gebäude ist nach geltenden Vorschriften (DIN VDE 0108, VKV, ASR, MSchulBauR) eine Sicherheitsbeleuchtung einzuplanen. Die Rettungszeichen- und Sicherheitsleuchten werden in LED-Technik ausgeführt. Ob Einzelbatterieleuchten oder eine Zentralbatterie zum Einsatz kommen, muss noch genauer untersucht werden.

Für das Gebäude wird ein wirksamer äußerer sowie innerer Blitzschutz vorgesehen. Das Gebäude wird mit einer Fundament-, Blitzschutz- und Erdungsanlage nach DIN VDE 0185, VDE EN 62305, VDE 50164, VDE 0100 und 0190 sowie nach der örtlichen Bauordnung ausgerüstet. Nach DIN EN 62305-3 ist für die Festlegung der Blitzschutzklasse eine Risikobewertung durchzuführen. Dies kann gemäß DIN EN 62305-3, Bbl. 1 auch in Einvernehmen mit dem Bauherrn festgelegt werden. Die Zustimmung des Bauherrn zur Empfehlung des Fachplaners ist dafür Voraussetzung. Nach Bewertung der Nutzung des Gebäudes, des Standortes und Abwägung des Schadenrisikos wird das Gebäude gemäß VDS-Blatt 2010 in die Blitzschutzklasse III eingestuft (Vom Bauherrn bzw. ggf. dem Sachversicherer ist diese Vorgehensweise in der kommenden Leistungsphase noch zu bestätigen).

Das Gebäude wird, entsprechend den geltenden Richtlinien (VDE 0100, VDE 0833, DIN 14675 Blatt 2, EN 54, DIN 14661, Richtlinien des VdS und des DIBt) mit einer Brandmeldeanlage ausgerüstet. Zum derzeitigen Planungszeitpunkt gibt es noch keine Anforderungen an ein Amokalarmsystem. Dies muss in den weiteren Planungsphasen noch detaillierter betrachtet werden.

7.1.6 Digitales Medienkonzept

Die Planung setzt zum jetzigen Stand eine direkte Anbindung beider Einheiten (Schule und Hort) über die Dienstleister ans WLAN voraus. Beide Einheiten erhalten einen breitbandigen Internetzugang mit hardwarebasierter Sicherheitsausstattung für den Zugriffs- und Virenschutz sowie für die Bereitstellung von den jeweiligen Altersstufen der Schülerinnen und Schüler entsprechenden Inhalten.

Die Verwaltungsbereiche werden über ein von der übrigen Infrastruktur getrenntes Kabelnetz mit Informations- und Telekommunikationsdiensten versorgt. Für das Schulnetz wurden mehrere Varianten in Betracht gezogen, aber nur ein hochverfügbares, hochleistungsfähiges Funknetz kann die Anforderung an einen flexiblen Einsatz der Medien im Unterricht erfüllen.

Bei diesem Projekt werden dabei nicht, wie sonst üblich, die im Gebäude verteilten WLAN-Sendeeinrichtungen nach gebäudetechnischen Gegebenheiten wie Verlauf der Flure, Treppenhäuser oder Schächte verteilt, sondern eine umfangreiche Analyse des Gebäudemodells zugrunde gelegt. Basierend auf den 3D-Daten und zusätzlichen Messungen externer Störfaktoren wird eine Simulation der Funkabdeckung im kompletten Gebäude errechnet. Wesentlicher Bestandteil der WLAN-Infrastruktur ist ein Leistungsmanagement, damit die zugrundeliegenden Berechnungsdaten in der Praxis auch umgesetzt werden können. Vorteile einer solchen Vorgehensweise sind:

- Gleichmäßig gute Abdeckung aller Gebäudebereiche (Prinzipiell sinken die benötigten Funkleistungen bei besserer Abdeckung und weniger Interferenzen)
- Vermeidung von HF-Störungen und dadurch bedingte Erhöhung der Sendeleistungen oder Verringerung der Datenraten.
- Manuelle und automatische Abschaltung und Leistungsminimierung temporär nicht benötigter oder wenig genutzter Teilbereiche.
- Damit: Die geringstmögliche Funkemission (und damit auch die Minimierung des Energieverbrauchs) kann für jeden Gebäudebereich und letztlich für das Gesamtsystem sichergestellt werden.

Die detaillierte Planung erfolgt mit der Ausführungsplanung des Gebäudes und der Haustechnik, um Baukonstruktion, Werkstoffe, technische Installationen usw. bei der Analyse und Berechnung zu berücksichtigen. Vorgesehen ist ebenso die Überprüfung der tatsächlichen Leistungsdaten über Messung der Funkspektren und Nachjustierung der WLAN-Komponenten und der Programmierung um die theoretischen Ergebnisse in der Praxis zu überprüfen.

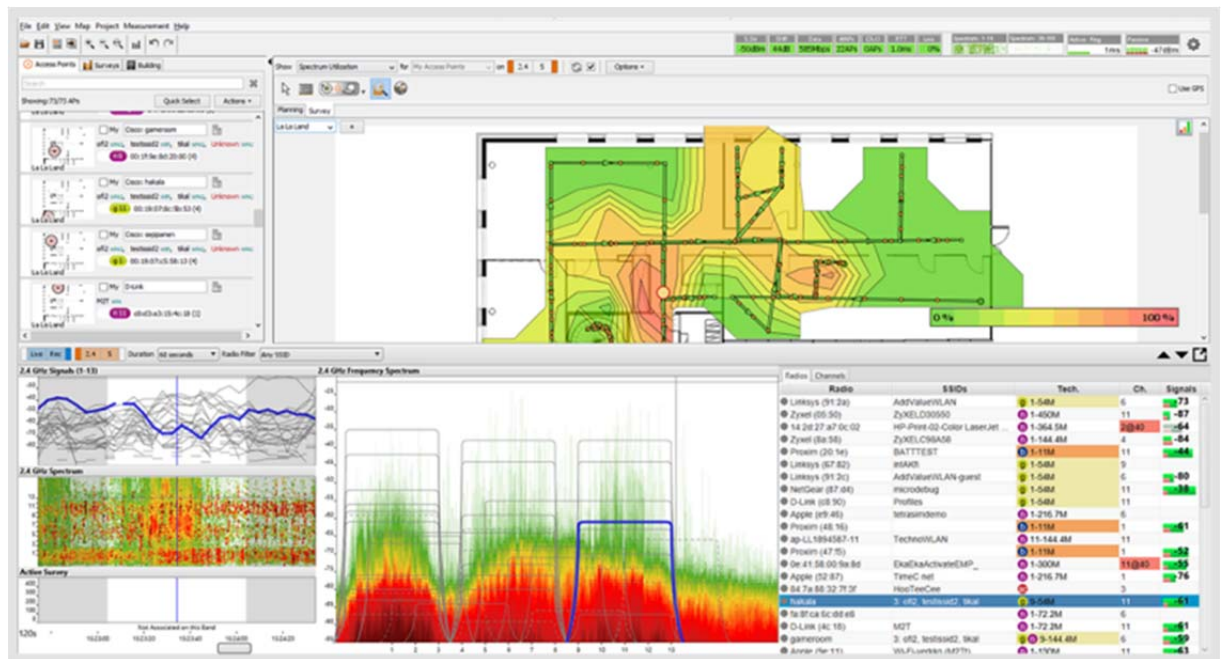


Abbildung 81: Beispiel WLAN Planung: Ekahau Site Survey/ Spectrum Analyzer ©Ekahau Inc.

Für die Verwaltungsbereiche werden energieverbrauchsoptimierte PCs und Komponenten verwendet. Soweit möglich mit leistungsniedrigen Clientkomponenten einer Terminalserver-Architektur und der Fernanbindung an die IuK der Stadt Kelsterbach bzw. der externen Dienstleister HZD (Hessische Zentrale für Datenverarbeitung) und den Caritasverband Offenbach. Außerdem wird soweit möglich auf eigene Verwaltungsserver verzichtet und auf die Verzeichnislogik im Rechenzentrum der Stadt Kelsterbach per VPN-Verbindung zurückgegriffen. Auch bei Peripheriegeräten wie Druckern und Kopierern werden die Kennwerte Energieeffizienz und Emissionen berücksichtigt.

Für das Schulnetz liegt der Schwerpunkt auf der flexiblen, schnellen und einfachen Bereitstellung von Medieninhalten. Die Basis bietet die hohe Verfügbarkeit von gesichertem, schnellem Internetzugang per WLAN. Dazu gibt es im Bereich der Marktplätze mobile Flachbildfernseher mit eigener Rechenleistung und Steuersoftware, die praktisch sofort nach dem Einschalten nutzbar sind und von Internetplattformen, über Datensticks oder per Zuspieslung vom Tablet aus mit Software und Inhalten bespielt werden. Die Bedienung erfolgt analog zu modernen Tablets oder Smartphones (Android/ iOS), so dass kein größerer zusätzlicher Lernaufwand für die Bedienung notwendig wird.

Zusätzlich sind alle Klassen- und Fachräume mit Beamer ausgestattet, die kabellos über Tablets angesteuert werden. Auch hier gilt der Grundsatz der einfachen Bedienbarkeit. Die Kennwerte Energieeffizienz und Emissionen werden hier ebenso besonders berücksichtigt.

Die offene, flexibel gestaltbare Lernumgebung verlangt nach ebenso flexibel einsetzbaren Geräten. Mögliche Ausstattungsvarianten mit festinstallierten Geräten kamen nicht in Frage. Die Planung sieht für die Schüler von jeweils zwei Klassen einen mobilen Tabletswagen vor mit ca. 25 Geräten, der gleichzeitig als sichere Aufbewahrung und als Ladestation für die Schülergeräte dient.

Kernbestandteil und zentrale Steuerung des Systems ist ein Managementsystem (Mobile Device Management) für alle mobilen Geräte, Schüler- und Lehrertablets, mit folgenden Leistungsmerkmalen:

- Einfache, zentrale Aufspielung von Software und Updates
- Sperrung und Freigabe des Internetzugangs, wahlweise „Nur-Lese Modus“, Sperre und Freigabe einzelner Portale, Datenbereiche, Plattformen. Freigaben auf ausgewählten Tablets manuell oder über „Ticket“-System
- Einfache Verteilung und Bereitstellung von Daten und Medieninhalten
- Einfache Steuerung der Präsentation auf die Mediengeräte

Die komplette Infrastruktur wird soweit wie möglich systemoffen realisiert. Eine Mischung der eingesetzten Hard- und Softwaresysteme ist grundsätzlich möglich. Clouddiensten wird, wo es datenschutzrechtlich möglich ist, der Vorzug vor lokaler Speicherung gegeben. Eine Option auf eine künftige Nutzung und das Management selbst mitgebrachter Geräte (Bring Your Own Device) wird berücksichtigt.

7.2 Sporthalle

Gebäude und Tragwerk

Aus den verschiedenen Überlegungen für die Situierung und die Konstruktion der Sporthalle hat sich nach langen Diskussionen folgende Überlegung als am sinnvollsten herausgestellt: Die Sporthalle wird als reine Sporthalle an das bestehende Umkleidegebäude des großen Kunstrasenfeldes „angedockt“. Somit ist ein großer Bestandteil der Sporthalle (Umkleidebereich) bereits als Bestand vorhanden. Der eigentliche Hallenbaukörper wird über eine „Fuge“ mit dem Umkleidegebäude verbunden.

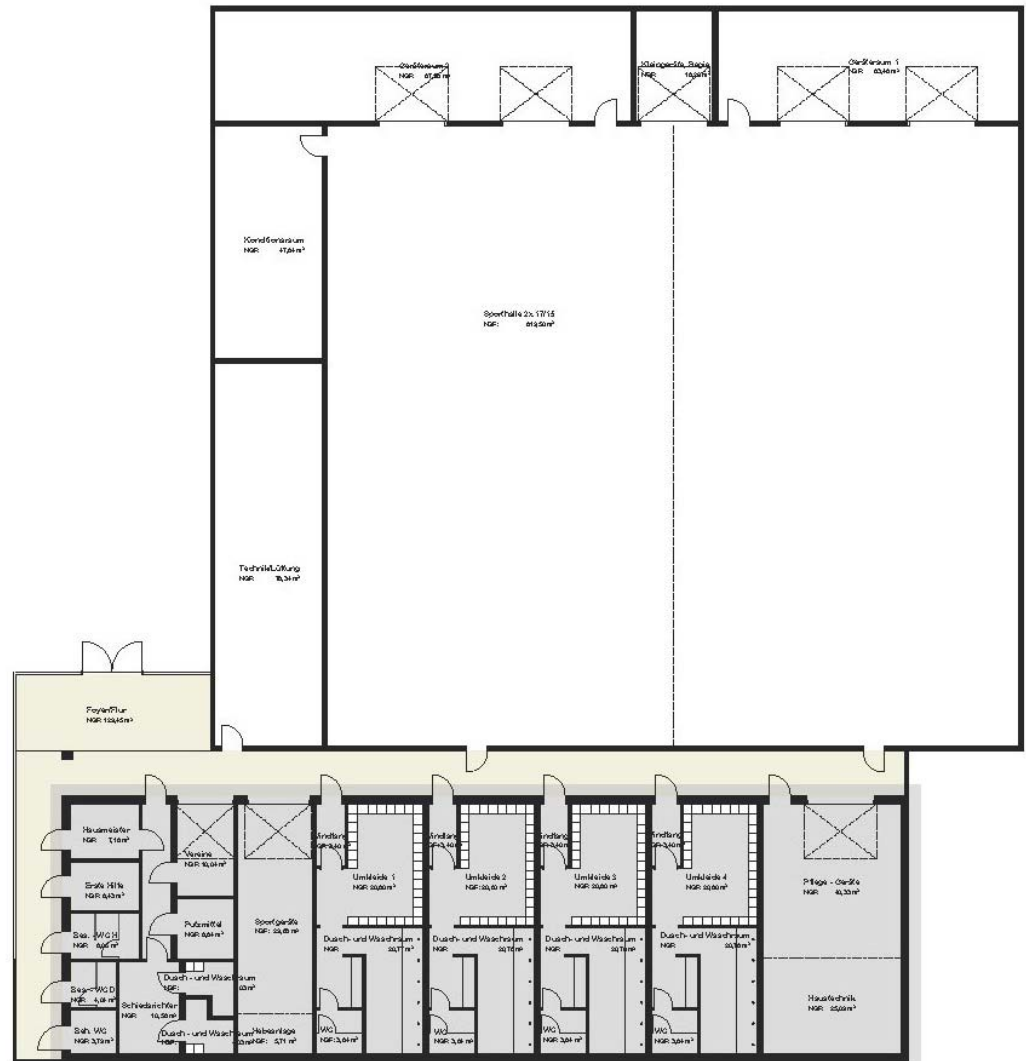
Somit ergibt sich eine optimale Synergie mit den bestehenden Strukturen vor Ort und das Gebäude der Sporthalle kann sehr wirtschaftlich und ressourcenschonend erstellt werden.

Der eigentliche Sporthallenkörper hat eingeschossige Anbauten für Technik (Lüftungsgeräte) und Geräteräume. Diese werden in Stahlbetonweise errichtet. Die Sporthalle selbst mit einer lichten Höhe von 5,50 m erhebt sich wie eine „Glaslaterne“ über die Anbauten und wird mit einer Holzkonstruktion überspannt.

Die Sporthalle stellt einen eigenständigen und unabhängigen Baukörper dar. Ziel war hier eine möglichst leichte Konstruktion, die zudem ein umlaufendes Lichtband für eine natürliche Belichtung ermöglicht.

Die Sporthalle wird entsprechend dem Schulgebäude in Stahlbeton mit Plattengründung im Bereich der Umkleide- und Nebenräume sowie mit Streifenfundamenten im Bereich der Halle und der Geräteräume vorgesehen. Das Funktionsgebäude und der untere Teil der Sporthalle werden durch die Stahlbetonwände ausgesteift.

Die Dachkonstruktion der Halle besteht aus einem leichten Holzdach mit Bindern aus Brett-schichtholz und einer Beplankung. Die Binder spannen parallel zum Trennwandvorhang, der hier in der Konstruktionshöhe verschwindet. Das Holzdach ruht auf einer Stahlkonstruktion aus Stahlstützen mit umlaufender Glasfassade, die eine natürliche Belichtung der Halle ermöglicht. Die Aussteifung der Dachkonstruktion erfolgt über die Dachfläche und vertikalen Stahlauskreuzungen im Bereich des Lichtbandes.



SPORTHALLE

Abbildung 82: Vorentwurf Sporthalle

Konzeptbeschreibung Haustechnik

Für die Sporthalle wird ebenfalls eine hybride Lüftung realisiert. Die mechanische Be- und Entlüftung deckt die Grundlüftung und -heizung ab, die Stoßlüftung erfolgt natürlich über öffentbare Elemente in Wand und Decke.

Die Abluft wird über eine Abluft-Wärmepumpe geführt, welche aktiv Wärme erzeugt und eine Nacherhitzung der Zuluft ermöglicht. Somit wird die erforderliche Heizlast über das Lüftungssystem abgedeckt. Der Schallschutz wird mittels Schalldämpfern gewährleistet.

Beschreibung Heiz- / Lüftungskonzept Schulgebäude

Die Wärme- und Luftversorgung der Sporthalle erfolgt über ein zentrales Lüftungsgerät mit integrierter Wärmepumpe. In diesem Lüftungsgerät erfolgt in ähnlicher Weise (wie oben beschrieben) die Wärmeerzeugung, wobei allerdings der Kondensator die Abwärme direkt an die Zuluft abgibt.

Auch hier ist durch den reversiblen Betrieb der Wärmepumpe in den Sommermonaten eine Kühlung der Zuluft möglich.

Die Zuluft einbringung erfolgt je Hallenteil an einer Längsseite mittels Zuluftgitter oder Düsen. Diese können an der Decke oder im oberen Bereich der Prallwand angeordnet werden. Innerhalb der Geräteräume wird die Abluft erfasst und dem Lüftungsgerät zugeführt.

Die Auslegungskriterien/ Luftwechselrate bzw. Luftmengen, sind wie folgt mit der Bauherrschaft abgesprochen und festgelegt worden:

Sporthalle (DIN 18032) 60 m³/h Sportler

Konditionsraum (DIN 18032) LW = 6 je h

Bei einer Sporthallenbelegung von bis zu 30 Personen und den vorgenannten Daten wurde eine Gesamtluftmenge von rd. 4.800 m³/h ermittelt. Hierbei ist ebenfalls eine Doppelnutzung der Luft berücksichtigt, da durch Nachströmung in die Geräteräume keine zusätzliche Zuluft aufbereitet wird.

RLT 06: Zu-/Abluftanlage Sporthallen 1 und 2

- Konstant-Temperatur-Regelung der Zuluft in Abhängigkeit der Außen- und Raumtemperatur als Sequenz Heizen, WRG, WP-Betrieb mit getrennter Schaltung je Hallenteil
- Konstante Volumenströme
- Einzelraumregelung für Halle 1 und 2 sowie für den Konditionsraum mittels Volumenstromregler (Schaltung über Präsenzmelder)
- Zeitprogramm mit möglicher Hinterlegung von Stundenplänen

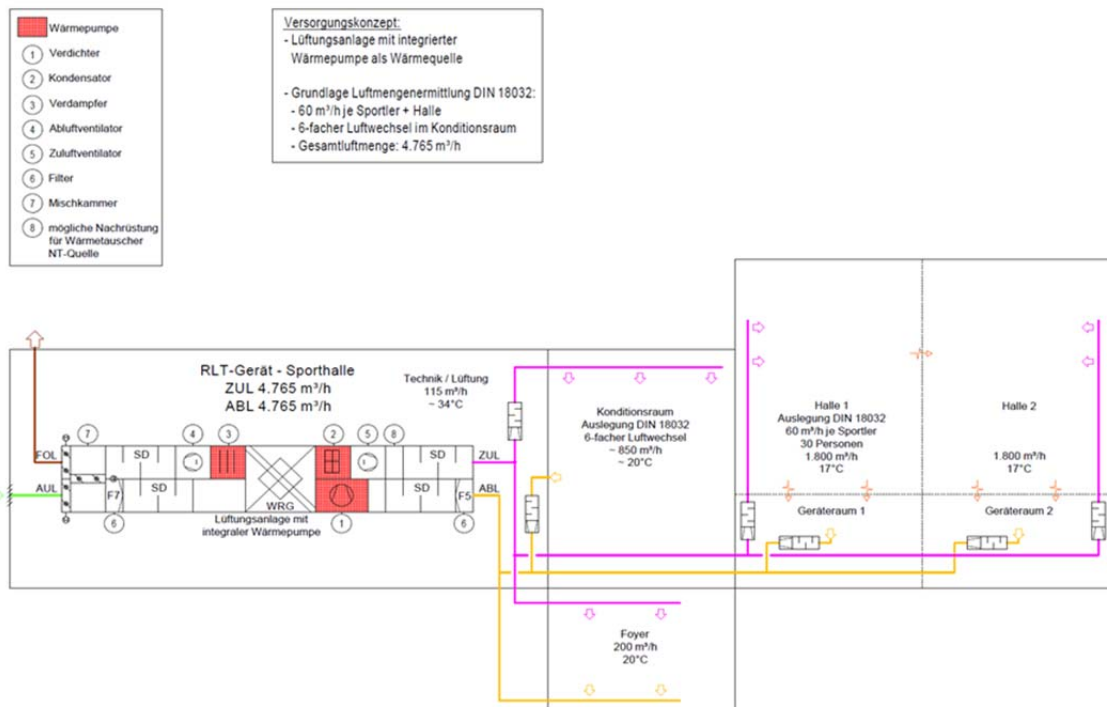


Abbildung 83: Energieschema Sporthalle

Im weiteren Planungsverlauf erfolgt eine vertiefende Betrachtung der Sporthalle, sofern im Rahmen der anstehenden Beschlüsse ein positiver Bescheid für deren Umsetzung ergeht.

7.3 Gebäudekomplex

7.3.1 Freianlagenplanung

Allgemeines

Angesichts umfangreicher bautechnischer, gesetzlicher Anforderungen und Bestimmungen in Deutschland ist eine überwiegend naturnahe Umsetzung eines derartigen Freianlagenprojekts relativ schwierig. Standardisierten bzw. genormten Bauweisen v. a. im Verkehrswegebau, Spielplatzbau und Sportplatzbau muss aus haftungstechnischen Gründen der Vorzug gegeben werden. Umwelttechnisch vorteilhaftere Bauweisen werden hierbei selbstverständlich bevorzugt. Das ökologische Hauptaugenmerk wird allerdings auf ausgewählte Einzelbereiche gerichtet.

Erdbau

Die Höhenlage der Freianlagen wird, in Abhängigkeit von den örtlichen und geplanten baulichen Anlagen, so gewählt, dass die Kosten für Erdbaumaßnahmen sowie etwaige Folge-

kosten für Geländeabfangungen / Geländeabtreppungen etc. möglichst gering gehalten werden. Der vorhandene Lärmschutzwall wird nur so weit als baulich notwendig zurückgebaut, der verbleibende Teil des Walls soll weiterhin als Lärmschutzwall und gleichzeitig als Spielhügel dienen. Laut Bodengutachten ist der anstehende Boden zumindest teilweise mit Schadstoffen belastet; eine kostenintensive Entsorgung des Aushubs ist leider zu erwarten.

Entwässerung

Das anfallende Niederschlagswasser der Dächer, der Verkehrsflächen sowie der Sport- und Spielplatzflächen wird vollständig auf dem Schulgrundstück versickert. Gewählte Bauweisen/ Verfahren: Kies-Rigolen als Rohr-Rigolen-Versickerungsanlagen, wasserdurchlässige Pflasterbeläge (soweit nutzungsbedingt bzw. bautechnisch möglich), wasserdurchlässige Sport- und Spielplatzbeläge sowie Flächenversickerung in angrenzenden Grünflächen (soweit entwässerungstechnisch möglich). Für den Kanalbau kommen Bauteile aus Beton, PP und PE zum Einsatz; auf den Einsatz von PVC-Materialien wird gänzlich verzichtet. Für die oberirdische Entwässerung werden handelsübliche Abläufe und Kastenrinnen aus wiederverwertbaren Materialien wie Beton und Metall herangezogen.

Elektrotechnische Anlagen

Bei der Verkabelung der Schrankenanlage und der Außenbeleuchtung wird auf den Einsatz von PVC-haltigen Materialien verzichtet. Die geplanten Außenleuchten werden mit energiesparenden und umweltfreundlichen Leuchtmitteln ausgestattet.

Verkehrsanlagen

Die geplanten Verkehrsflächen werden nach den aktuell geltenden Regeln der Technik entsprechend der zu erwartenden Verkehrsbelastung hergestellt. Die jeweils vorgesehenen Beläge können dem Planungskonzept entnommen werden. Um die Flächenversiegelung auf ein Minimum zu reduzieren, kommen, soweit nutzungsbedingt bzw. bautechnisch möglich, sickerfähige Pflastersysteme aus Beton zum Einsatz. Auf Rasenfugenpflaster wird aus Sicherheitsgründen (große Fugen) und aus Gründen eines erhöhten Pflegeaufwands verzichtet. Nur in verkehrstechnisch höher belasteten Bereichen (Parkplatz-Fahrgassen, Anlieferzonen etc.) wird auf stabile, unempfindliche Asphaltbeläge zurückgegriffen. Belagseinfassungen und erforderliche Stufenanlagen werden aus kostengünstigen und wiederverwertbaren Bauteilen/ Baumaterialien aus Beton hergestellt. Auf unter hohem Energieeinsatz veredelte Baumaterialien wird bewusst verzichtet.

Stützmauern / Lärmschutzwand

Erforderliche Stützwände werden aus kostengünstigen und wiederverwertbaren Fertigteilen aus Beton hergestellt. Die geplante Lärmschutzwand im Bereich des Parkplatzes soll als einfache, baustoffextensive Steinkorbwand mit regionaler Natursteinfüllung ausgeführt werden.

Spiel- und Sportanlagen

Die geplanten Spiel- und Sportanlagen werden entsprechend den derzeit geltenden Normen und Richtlinien hergestellt. Als Beläge sind derzeit Kunstrasen (Kleinspielfeld), Kunststoffbelag (Laufbahn) und verschiedene DIN-gerechte Fallschutzbeläge (Spielbereiche) vorgesehen. Alle Beläge werden in wasserdurchlässiger Bauweise ausgeführt. Die besagten Flächen werden mit normalen und, wo erforderlich, mit fallschutzwirksamen Einfassungen aus Beton eingefasst. Bei der Geräteausstattung wird auf die Verwendung langlebiger, nachhaltiger und schadstofffreier Bauteile geachtet.

Überdachungen / Ausstattungen / Einfriedungen

Auch wenn die Anfangsinvestitionskosten zunächst höher liegen, wird bei der Auswahl der besagten Freiraumelemente auf robuste, langlebige, möglichst umweltverträgliche und wiederverwertbare Bauteile und Baumaterialien geachtet. Auf unnötig veredelte Bauelemente soll verzichtet werden.

Begrünung

Ein Großteil der Rasenflächen soll den Schülern als Bewegungs- und Spielraum zur Verfügung stehen. Sämtliche intensiv genutzten Rasenflächen im Außenbereich der Karl-Treutel-Schule werden deshalb mit belastbaren Gräserarten (Sport- und Spielrasen) hergestellt. Alle übrigen Grünflächen werden überwiegend als extensive Pflanz- und Rasenflächen geplant. Durch die Verwendung entsprechender standortgerechter Saatgutmischungen und standortgerechter, heimischer Gehölze soll der Pflegeaufwand auf einem möglichst niedrigen Niveau gehalten werden. In einzelnen ausgewählten repräsentativen Bereichen kommen jedoch auch Formgehölze (Geschnittene Hecken) sowie fremdländische Stauden und Gehölze zum Einsatz. Der anstehende Oberboden soll in jedem Falle fachgerecht gesichert und zur Wiederverwendung herangezogen werden.

Freiraumplanerische Integrierung in bestehenden Schulstandort

Generell soll in die unmittelbaren Außenbereiche der IGS Kelsterbach nicht eingegriffen werden; die freiraumplanerischen und später baulichen Eingriffe beschränken sich deshalb vorwiegend auf die östlichen und südlichen Rand- und Anschlussbereiche. Die derzeitige Grundstückseinfriedung östlich der IGS soll auch künftig aufrecht erhalten werden.

Das Planungskonzept sieht vor, die Freianlagen der bestehenden IGS und der geplanten Karl-Treutel-Schule weitestgehend voneinander getrennt zu halten, um Konfliktsituationen unter den Schülern aufgrund unterschiedlicher Altersstrukturen zu vermeiden. Eine parallele Mischnutzung der beiden Freianlagenbereiche IGS und KTS erscheint somit wenig sinnvoll. Nach der von beiden Schulen gemeinsam genutzten Bushaltestelle an der Mörfelder Straße bzw. nach den öffentlichen Zugangswegen sollen sich aus o. g. Grund auch die Wege der Schüler möglichst trennen. Die gemeinsame Nutzung der beiden schulischen Freiflä-

chen sollte sich auf übergeordnete temporäre Veranstaltungen (Schulfeste etc.) beschränken.

Im Zuge des geplanten Neubaus der Karl-Treutel-Schule müssen vorhandene Sportanlagen der IGS zurückgebaut bzw. modifiziert werden. Als Ersatz für die künftig wegfallenden Sportflächen (Kunstrasen-Großspielfeld, Mehrzweckspielfeld und Beachvolleyballplatz) ist ein neues, 38 x 60 m großes Kleinspielfeld zwischen IGS und KTS vorgesehen. Die bestehende Laufbahn mit Sprunggrube wird zurückgebaut und später in verkürzter Ausführung (75 m) jedoch wieder neu hergestellt. Eine gemeinsame Nutzung der neuen Sportanlagen sollte in jedem Fall angestrebt werden, ggf. geregelt über versetzte Nutzungszeiten.



Abbildung 84: Freianlagenplanung

Der Freianlagenplan ist zudem in Anlage 1 beigelegt.

7.3.2 Schallschutz

Aus Gründen des Schallschutzes ist zwischen dem vorhandenen Schulsportplatz und der im Osten davon an der Baugéstraße befindlichen Wohnbebauung ein Schallschutzwall vorhanden. Dieser muss im Zuge der Erstellung der neuen Grundschule teilweise rückgebaut werden. Die schalltechnischen 3D Simulationen zum Schallimmissionschutz unter Berücksichtigung der neuen Sport- und Spielflächen und dem neu geplanten Baukörper der Karl-Treutel-Schule haben gezeigt, dass damit eine gute Abschirmung der Schallimmissionen vom Sportplatz zur Wohnbebauung vorhanden ist und tatsächlich eine Reduzierung der Immissionspegel an der Wohnbebauung an der Baugéstraße erreicht wird.

Allerdings zeigt sich, dass dadurch dass an die Stelle des bisherigen Volleyball- und Basketballfeldes ein neues Spielfeld (Bolzplatz) kommt, was tendenziell einen höheren Schallemissionspegel aufweist, die Immissionspegel an der nördlich angrenzenden Frodshamerstraße um 2...3 dB steigen, sofern nicht entsprechende zeitliche Einschränkungen gemacht werden. Die Anordnung der Immissionsorte der Wohnbebauung IO 1 bis IO 6 ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 85: Darstellung der Immissionsorte und der derzeitigen Bebauungs- und Spielfeldsituation. Copyright Google: Luftbild erstellt mit lizenzierte Version von Google Earth Pro.

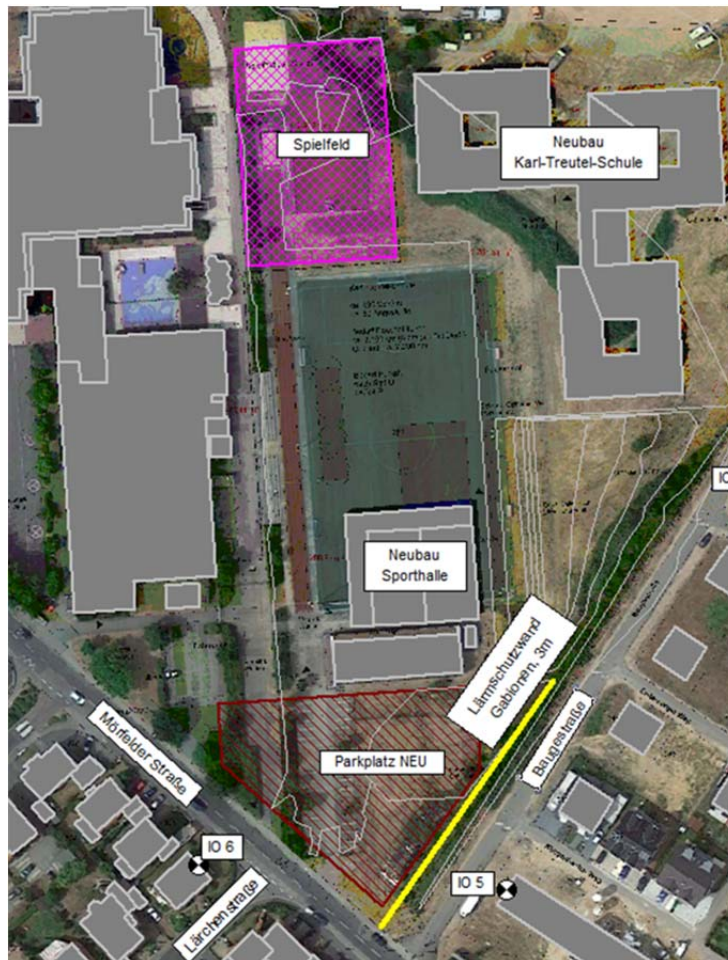


Abbildung 86: Darstellung der geplanten Bebauung und Spielfeldsituation. Copyright Google: Luftbild erstellt mit lizenzierte Version von Google Earth Pro.

Die berechnete Veränderung der Immissionspegel an den sechs Immissionsorten zeigt folgende Tabelle:

Immissionsort	Adresse	Veränderung Beurteilungspegel zu bisher
I01	Frodshamerstraße	+2 dB
I02	Frodshamerstraße	+3 dB
I03	Baugéstraße	-3 dB
I04	Baugéstraße	-4 dB
I05	Baugéstraße	-1 dB
I06	Mörfelderstraße	0 dB

Tabelle 19: Veränderung der Beurteilungspegel an den sechs Immissionsorten zwischen der bisherigen Situation und der geplanten Situation.

7.4 Kostenschätzung

Für die Gesamtmaßnahme wurden die Kosten nach DIN 276 aufgestellt. Die Kosten wurden gemäß des gültigen BKI ermittelt. Als Grundlage dienten dabei interne Kosten- und Erfahrungswerte. Die Kostenschätzung weist eine relativ hohe Genauigkeit durch die intensive Bearbeitung der Leistungsphase 2 insbesondere im Hinblick auf die Mehrkosten auf. Nachfolgend ist die bauteilorientierte Kostenschätzung für den Neubau der KTS Kelsterbach dargestellt. Lediglich die Kosten der Sporthalle sind lediglich auf Basis von Kennwerten geschätzt worden.

Nr.	Kostengruppe	Ansatz Referenzschule EnEV 2016 Kosten netto [€]	Mehr-/Minderkosten ggü. EnEV	Ansatz Plusenergieschule mit offenen Lernlandschaften Kosten netto [€]	Anteil Mehrkosten an Referenzschule in %	Ansatz Kosten Sporthalle ¹⁾ netto [€]	Gesamtsumme
200	Herrichten und Erschließen						
210	Herrichten						
	Summe 210	274.500,00 €	- €	274.500,00 €		50.500,00 €	325.000,00
220	Öffentliche Erschließung						
	Summe 220	69.400,00 €	- €	69.400,00 €			69.400,00
230	Nichtöffentliche Erschließung						
	Summe 230						
240	Ausgleichsabgaben						
	Summe 240						
250	Übergangsmaßnahmen						
	Summe 250						
	Summe 200	343.900,00 €	- €	343.900,00 €		50.500,00 €	394.400,00

300	Bauwerk - Baukonstruktionen						
310	Baugrube						
	Summe 310	78.750,00 €		78.750,00 €		37.200,00 €	115.950,00
320	Gründung						
	Verbesserte Dämmung Boden		79.500,00				
	Summe 320	1.046.150,00 €	79.500,00	1.125.650,00 €		263.400,00 €	1.389.050,00
330	Außenwände						
	Verbesserte Dämmung Wände		37.500,00				
	Verbesserter U-Wert Fenster		56.200,00				
	Verbesserter Sonnenschutz und Blendschutz		100.000,00				
	Einbau Lüftungsgeräte (Fassadendurchdringung)		145.000,00				
	Fluchtbalkon als zusätzlicher Rettungsweg		200.000,00				
	Summe 330	1.827.900,00 €	538.700,00	2.366.600,00 €		353.900,00 €	2.720.500,00
340	Innenwände						
	Erhöhte Transparenz/ zusätzliche Verglasung		150.000,00				
	Akustikmaßnahmen für offene Lernlandschaften		100.000,00				
	Summe 340	1.311.000,00 €	250.000,00	1.561.000,00 €		189.000,00 €	1.750.000,00
350	Decken						
	Optimierung Geschosshöhe		-550.000,00				
	Effizienz Lüftungskanalführung		-33.500,00				
	Summe 350	2.719.200,00 €	-583.500,00	2.135.700,00 €		92.100,00 €	2.227.800,00
360	Dächer						
	Summe 360	1.435.500,00 €	81.500,00	1.517.000,00 €		465.350,40 €	1.982.350,40
370	Baukonstruktive Einbauten						
	Summe 370	200.000,00 €		200.000,00 €		100.200,00 €	300.200,00
390	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen						
	Verbesserung Schadstofffreiheit und Innenraumhygiene		58.700,00				
	Summe 390	91.300,00 €	58.700,00	150.000,00 €		116.300,00 €	266.300,00
	Summe 300	8.709.800,00 €	424.900,00 €	9.134.700,00 €	4,9%	1.615.800,00 €	10.750.500,00 €
400	Bauwerk - Technische Anlagen						
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen						
	Summe 410	556.300,00 €		556.300,00 €		37.000,00 €	593.300,00
420	Wärmeverorgungsanlagen						
	Pufferspeicher		20.000,00				
	Summe 420	141.000,00 €	20.000,00	161.000,00 €			161.000,00
430	Lufttechnische Anlagen						
	reversible Wärmepumpe		36.000,00				
	Verbesserung Luftförderung und Druckverlust		40.000,00				
	Entwicklung innovative Lüftungsgeräte		45.000,00				
	Verbesserung Regelung Lüftung		64.000,00				
	Summe 430	863.200,00 €	185.000,00	1.048.200,00 €		227.600,00 €	1.275.800,00
440	Starkstromanlagen						
	Energieeffizientere Leuchten		15.000,00				
	Nutzerfreundliche Regelungstechnik		45.000,00				
	Verbesserte Regelung Kunstlicht		42.500,00				
	Elektrospeicher		100.000,00				
	Photovoltaikanlage		480.000,00				
	Summe 440	586.200,00 €	682.500,00	1.268.700,00 €		69.900,00 €	1.338.600,00
450	Fernmelde- und informationst. Anlagen						
	Brandmeldeanlage mit SAA		85.000,00				
	Summe 450	169.300,00 €	85.000,00	254.300,00 €		27.800,00 €	282.100,00
460	Förderanlagen						
	Summe 460	50.000,00 €		50.000,00 €			50.000,00
470	Nutzungsspezifische Anlagen						
	Minimierung Strahlungsbelastung WLAN		15.000,00				
	Summe 470	314.600,00 €	15.000,00	329.600,00 €			329.600,00
480	Gebäudeautomation						
	Lastmanagement Speicher		3.500,00				
	Verbesserte Lamellensteuerung mit Wetterstation		12.000,00				
	Summe 480	322.000,00 €	15.500,00	337.500,00 €		77.500,00 €	415.000,00
490	Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen						
	Summe 490						
	Summe 400	3.002.600,00 €	1.003.000,00 €	4.005.600,00 €	33,4%	439.800,00 €	4.445.400,00 €

Nr.	Kostengruppe	Ansatz Referenzschule EnEV 2016 Kosten netto [€]	Mehr-/ Minderkosten ggü. EnEV	Ansatz Plusenergieschule mit offenen Lernlandschaften Kosten netto [€]	Anteil Mehrkosten an Referenzschule in %	Ansatz Kosten Sporthalle 1) netto [€]	Gesamtsumme
500	Außenanlagen						
610	Geländeflächen						
	Summe 510	871.750,00 €		871.750,00 €			871.750,00
620	Befestigte Flächen						
	Summe 520	1.500.525,00 €		1.500.525,00 €			1.500.525,00
630	Baukonstruktionen in Außenanlagen						
	Ökologischer Materialeinsatz ²⁾		27.500,00				
	Verbesserung Nutzbarkeit Freiraum/ Zonierung		150.000,00				
	Summe 530	322.250,00 €	177.500,00	499.750,00 €			499.750,00
640	Technische Anlagen in Außenanlagen						
	Summe 540	1.275.000,00 €	100.000,00	1.375.000,00 €			1.375.000,00
650	Einbauten in Außenanlagen						
	Summe 550	228.500,00 €		228.500,00 €			228.500,00
660	Wasserflächen						
	Summe 560						
670	Pflanz- und Saatflächen						
	Summe 570	284.000,00 €		284.000,00 €			284.000,00
690	Sonstige Außenanlagen						
	Summe 590	50.000,00 €		50.000,00 €			50.000,00
	Summe 500	4.532.000,00 €	277.500,00 €	4.809.500,00 €	6,1%	60.600,00 €	4.870.100,00
600	Ausstattung und Kunstwerke						
610	Ausstattung						
	flexible Möblierung		23.000,00				
	Summe 610	892.030,00	23.000,00	915.030,00 €		149.500,00 €	1.064.530,00
620	Kunstwerke						
	Summe 620						
	Summe 600	892.030,00 €	23.000,00 €	915.030,00 €	2,6%	149.500,00 €	1.064.530,00
	Kostengruppe 200 - 600 Gesamt	17.480.330,00 €	1.728.400,00 €	19.208.730,00 €	9,9%	2.316.200,00 €	21.524.930,00 €
700	Baunebenkosten ³⁾						
710	Bauhermaufgaben						
	Summe 710						
720	Vorbereitung der Objektplanung						
	Summe 720						
730	Architekten- und Ingenieurleistungen						
	Sonderleistungen DBU Phase 1						
	Sonderleistungen DBU Phase 2 - geschätzt						
	Summe 730	4.370.100,00 €		4.802.200,00 €		579.100,00 €	5.381.300,00
740	Gutachten und Beratung						
	Summe 740						
750	Kunst						
	Summe 750						
760	Finanzierung						
	Summe 760						
770	Allgemeine Baunebenkosten						
	Summe 770						
790	Sonstige Baunebenkosten						
	Zusätzliche Sensorik Monitoring		136.000,00				
	Blower Door Test		10.000,00				
	Summe 790		146.000,00	146.000,00 €			146.000,00
	Summe 700	4.370.100,00 €	146.000,00 €	4.948.200,00 €	3,3%	579.100,00 €	5.527.300,00
	ZUSAMMENSTELLUNG						
	Kostengruppe 200	343.900,00		343.900,00		50.500,00	394.400,00
	Kostengruppe 300	8.709.800,00	424.900,00	9.134.700,00	4,9%	1.615.800,00	10.750.500,00
	Kostengruppe 400	3.002.600,00	1.003.000,00	4.005.600,00	33,4%	439.800,00	4.445.400,00
	Kostengruppe 300 - 400	11.712.400,00	1.427.900,00	13.140.300,00	12,2%	2.055.600,00	15.195.900,00
	Kostengruppe 500	4.532.000,00	277.500,00	4.809.500,00	6,1%	60.600,00	4.870.100,00
	Kostengruppe 600	892.030,00	23.000,00	915.030,00	2,6%	149.500,00	1.064.530,00
	Kostengruppe 200 - 600 Gesamt	17.480.330,00	1.728.400,00	19.208.730,00	9,9%	2.316.200,00	21.524.930,00
	Kostengruppe 700	4.370.100,00	146.000,00	4.948.200,00	3,3%	579.100,00	5.527.300,00
	Kostengruppe 200 - 700 Gesamt	21.850.430,00	1.874.400,00	24.156.930,00	8,6%	2.895.300,00	27.052.230,00
	Gesamt brutto	26.002.011,70	2.230.536,00	28.746.746,70	8,6%	3.445.407,00	32.192.153,70

¹⁾ In den Kosten ist kein höherer Qualitäts- und Umweltstandard berücksichtigt

²⁾ Diese Kosten sind noch nicht abschließend beziffert

³⁾ Diese Kosten sind noch pauschal mit 25% beziffert. Genauere Berechnung erfolgt noch.

Die Mehrkosten für die Ausführung des Gebäudes im Plusenergiestandard mit offenen Lernlandschaften und ökologischer Bauweise betragen 8,6 % bezogen auf die gesamten Baukosten.

8. Ökonomische Qualität des geplanten Schulneubaus

8.1 Entwicklung Monitoringkonzept

8.1.1 Ausgangssituation und Zielstellung

Für den Neubau der Karl-Treutel-Grundschule haben sich die Stadt Kelsterbach als Auftraggeber und das Planungsteam hohe Ziele in Bezug auf Energieeffizienz, Nachhaltigkeit (Plusenergiestandard) und netzdienliches Betriebsverhalten gesteckt. Gleichzeitig wird ein pädagogisches Konzept umgesetzt, das offene Lernlandschaften im Grundschulbereich mit differenzierten Arbeitsformen und einem Ganztagesbetrieb ermöglicht. Um diese ehrgeizigen Ziele auch zu erreichen, sind zusätzliche Arbeitspakete notwendig, die bei herkömmlichen Bauten nicht im Leistungsumfang enthalten sind.

Ein wichtiger Baustein 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 erfordert eine überwachte Inbetriebnahme mit einer anschließenden Optimierungsphase. 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 und der Netzdienlichkeit zu dokumentieren und nachzuweisen. Dabei werden auch die in der Planungsphase getroffenen Annahmen und Auslegungen im Gebäudebetrieb überprüft, um so in Zukunft eine Optimierung der Planungsprozesse zu erreichen. Die im energetischen Pflichtenheft zusammengestellten energetischen Vorgaben für die Fachplaner werden nach Baufertigstellung im Gebäudebetrieb überprüft. Insbesondere werden die Funktionalität und Effizienz von Wärme- und Kälteerzeugung, der Speichersysteme, der PV-Anlage und der LRT-Anlagen bis hin zu einzelnen Komponenten wie z.B. Pumpen untersucht. Überprüft werden weiterhin die Komfortanforderungen wie z.B. die Beleuchtungswerte für Kunstlicht und die Raumlufttemperaturen im Sommerfall.

Eng verzahnt mit dem Monitoring ist auch eine umfangreicher Qualitätssicherung während der gesamten Planungs- und Ausführungsphase zur Sicherstellung von definierten Eigenschaften, Anforderungen und Projektzielen.

Das Gesamtpaket Monitoring/Betriebsoptimierung für das Projekt „Karl-Treutel-Grundschule“ wird in 3 Stufen abgearbeitet.

- Erstellung eines Monitoringkonzepts (Bestandteil des 1. Förderantrags)
- Aufbau der Messdatenerfassung zum Monitoring (Bestandteil des 2. Förderantrags, geplanter Leistungszeitraum: Ende 2017 bis Ende 2019)

-
- Messdatengenerierung und -auswertung incl. Betriebsoptimierung (Bestandteil eines 3. Förderantrags, geplanter Leistungszeitraum: Ab Inbetriebnahme, Dauer 3 Jahre)

8.1.2 Definition von Projektzielen für das Monitoring

Vor der Erstellung eines Messtechnikkonzepts sind die Ziele des Monitorings genau zu beschreiben, um die Messgrößen und Messstellen darauf abzustimmen. Für die Schule in Kelsterbach sind im Wesentlichen vier Bereiche von Bedeutung:

1. Sicherstellung von Anforderungen an Komfort und Behaglichkeit
2. Netzdienliches Betriebsverhalten mit Hilfe eines Speichersystems
3. Plusenergiehausstandard mit sehr hoher Energieeffizienz
4. Schaffung einer umfangreichen Datenbasis für eine ganzheitliche Betriebsoptimierung

Für die beschriebenen Bereiche ist eine Vielzahl von Aspekten von Bedeutung, die im Folgenden aufgezählt werden.

Themengebiet Komfort und Behaglichkeit

- Innenraumluftqualität (insbesondere CO₂-Konzentration, Flüchtige organische Verbindungen VOC = volatile organic compound)
- Zugfreie Einbringung der Zuluft über die mechanische Lüftungsanlage
- Thermische Behaglichkeit (operative Raumtemperatur und Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte)
- Hoher Tageslichtquotient (zur Erhöhung der Behaglichkeit und Unterstützung der pädagogischen Architektur, gesundheitlicher Aspekte sowie Reduktion des Kunstlichteinsatzes)
- Visuelle Behaglichkeit (ausreichender Blendschutz)
- Raumakustik (Quelle innen: z.B. Marktplatz/Klassenraum)
- Schallschutz (Quelle außen: z.B. Straße)
- Nutzerzufriedenheit (Umfrage unter Schülern und Mitarbeitern der Schule)
- Vermeidung von Schadstoffemissionen

Themengebiet Netzdienlichkeit

- Speichersystem (elektrische und thermische Speicher, Wärme- und Kälteerzeuger, PV-Anlage, Bedarfslasten Strom/Wärme/Kälte)
- Betriebs- und Regelstrategie in Bezug auf Netzdienlichkeit bei höchstmöglicher Wirtschaftlichkeit
- Ertragsprognose für PV-Ertrag und Bedarfsprofile zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Themengebiet Energieeffizienz/Nachhaltigkeit

- Jahresenergiebilanz der Gebäudeenergieversorgung unter Einbeziehung der Verbräuche für Sondernutzungen
- Energiebilanz der Einzelanlagen (Wirkungsgrade, Optimierungspotential)
- Performance von dezentralen Zuluftgeräten mit WRG
- Performance der Photovoltaikanlage (Ertrag, Wirkungsgrad, Verluste)
- Normierter, witterungsbereinigter Energieverbrauch (Vergleichswert)
- Primärenergiebilanz (Erreichung des Plusenergiestandards)
- CO₂-Bilanz / GWP=global warming potential (Einsparung von Treibhausgas-Emissionen gegenüber herkömmlichen Gebäudekonzepten)
- Überprüfung von Simulationen, Annahmen und Dimensionierungen in der Planungsphase
- Abgleich mit den Anforderungen im energetischen Pflichtenheft

Themengebiet Betriebsoptimierung

- Energie-/Kosteneffizienz der Einzelanlagen (Wärme- und Kälteerzeuger, RLT-Anlagen mit WRG, Pumpen, PV-Anlage, Energiespeicher)
- Energie-/Kosteneffizienz Gebäudebetrieb (Gebäudeleittechnik-GLT, Mess- und Regeltechnik-MSR)
- Energie-/Kosteneffizienz Gesamtgebäude (Betriebszustände, Zusammenspiel Einzelanlagen)
- Komfort Erfüllung in allen Zonen (v. a. Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, CO₂-Konzentration, Helligkeit)
- Funktionalität aller haustechnischen Anlagen

8.1.3 Erstellung Monitoringkonzept

Das Monitoringkonzept soll den Aufbau einer Sensorik vorbereiten, deren Ziel es ist, für die o. g. Maßnahmen geeignete Messwerte bereitzustellen. Nach Inbetriebnahme des Gebäudes können dann Daten aufgenommen, aufbereitet, in einer Datenbank gespeichert und auf die Projektziele fokussiert ausgewertet werden. Der Aufbau einer Messdatenerfassung ist Basis und Voraussetzung für die spätere Betriebsoptimierung.

In der ersten Projektphase ist ein Konzept zur Umsetzung einer detaillierten Messdatenerfassung erstellt worden. Basis sind die von den Fachplanern vorgestellten Gesamtkonzepte für Nutzung, Gebäude und Anlagentechnik. Da insbesondere die Planung der Haustechnik noch nicht abgeschlossen ist und aktuell noch keine endgültige Entscheidung über die verwendete Versorgungstechnik für Heizen, Kühlen und Lüften getroffen wurde, basiert das Konzept in Teilen auf Annahmen, die sich aus vergleichbaren Monitoringprojekten wie z. B. der FOS/BOS Erding oder dem Gymnasium Diedorf ergeben. Insbesondere für die projektspezifisch noch zu konzipierenden Zuluftgeräte gibt es noch keine Planzeichnungen, sodass das Monitoringkonzept dieser Komponente im Projektverlauf angepasst werden muss.

In einem zweiten Schritt sind Anforderungen z. B. für eine integrierte Messtechnik und die Gebäudeleittechnik ausgearbeitet und mit dem Planungsteam und dem Auftraggeber abgestimmt worden. Ziel war dabei u. a. eine vollständig integrierte Monitoring-Sensorik, die einerseits kostengünstig ist und andererseits auch über die Projektlaufzeit hinaus weiter genutzt werden kann. Dabei sollte auch die bisher übliche Mehrfachinstallation von Sensoren reduziert werden.

Für den Gebäudebetrieb ist in einem gewissen Umfang Sensorik notwendig, um Systemgrößen zu messen und damit Betriebsmodi zu steuern (MSR) oder Komponenten zu regeln. Ein Monitoring erfordert allerdings zusätzliche Sensorik und Energiezähler, die für den Gebäudebetrieb nicht zwingend erforderlich sind. Diese sind im Rahmen einer integralen Planung insbesondere mit den Fachplanern für HLS und ELT abgestimmt worden und umfassen im Wesentlichen folgende Positionen:

- genaue Vermessung von 4 Referenzräumen (Hort, Werkraum, Klassenraum, Marktplatz, im Projektverlauf noch endgültig abzustimmen)
- redundante Vermessung von relevanten Anlagen (Heizung, Kühlung, Lüftung, Speicherung)
- genaue Datenaufzeichnung von Sondernutzungen (Server, Sporthalle)
- ergänzende Erfassung von Stromflüssen (teilweise exemplarisch) nach Nutzungsarten (Beleuchtung, nutzerinduzierte Verbräuche über Steckdosen, Pumpen, PC-Arbeitsplätze, PV-Anlage etc.)
- verbesserte Erfassung der meteorologischen Parameter zur Optimierung des Gebäudebetriebs und der Energiebilanzierung

Das Ziel der Vermessung von Referenzräumen ist die Erlangung einer detaillierten Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Regelparametern, Energieeffizienz, Raumluftkomfort, Nutzer- und Betriebsverhalten.

Bei der Auswahl war die Abdeckung aller Randbedingungen, die Einfluss auf die Zielparameter haben, zu berücksichtigen. Die wichtigsten Randbedingungen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Orientierung: N, O, S, W
- Lage: EG, OG

- Nutzung: Fachraum, Marktplatz, Klassenraum
- Nutzergruppe: Hort, Grundschule

Um die Anzahl der Referenzräume bestmöglich zu begrenzen, wurden bei dem Vorschlag für die vier in Abbildung 87 beschriebenen Räume so ausgewählt, dass die genannten Randbedingungen weitgehend erfasst werden.

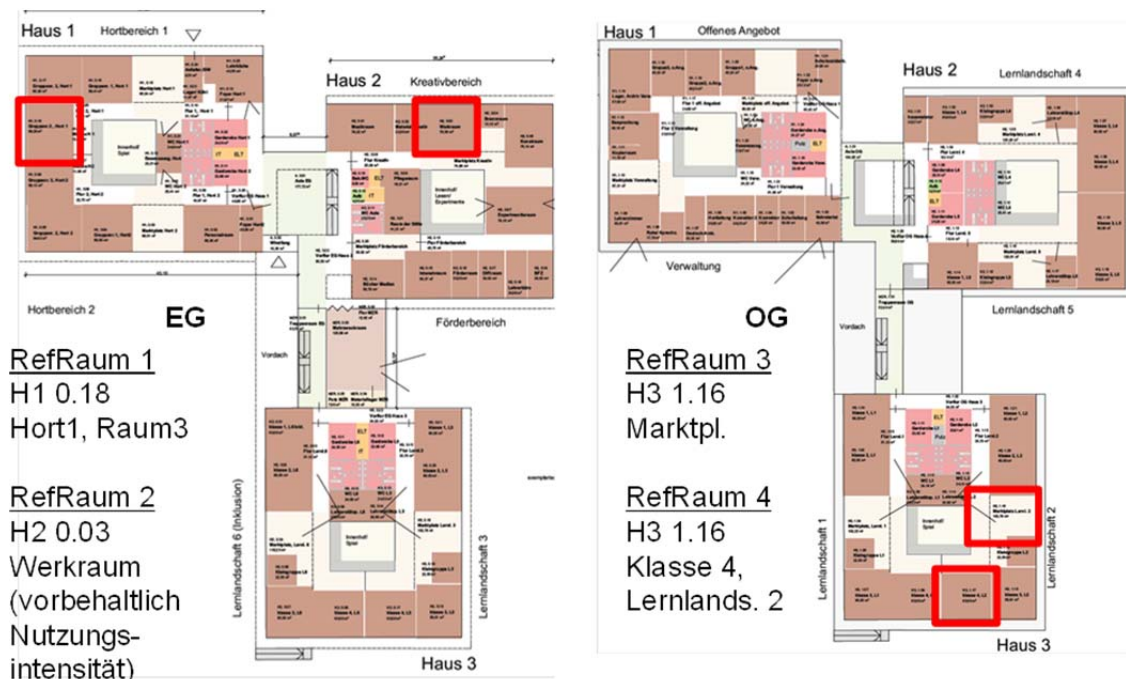


Abbildung 87: Vorgeschlagene Referenzräume des Monitoringkonzeptes

Für die erweiterte Monitoringsensorik in den Referenzräumen werden nach Bedarf zusätzliche Messfühler eingebaut (s. a. Tabelle 20).

Für den weiteren Projektverlauf (Arbeitspakete, Kostenaufstellung) wurde die Zuständigkeit der Messsensorik für die jeweiligen Fachplaner definiert. Die Fachplaner für HLS und ELT berücksichtigen in ihren Arbeitspaketen nur die von ihnen standardmäßige und für den Gebäudebetrieb notwendigen Sensoren. Alles was darüber hinausgeht wie z. B. präzisere Fühler oder die erwähnte ergänzende Sensorik ist im Arbeitspaket Monitoring enthalten. Aus diesem Grund enthalten die Kostenschätzungen der Gewerke selbst keine erhöhten Kosten- und Arbeitsblöcke für das Monitoring.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vorläufige geplante Sensorik, die auf den aktuellen Konzepten der Fachplaner basiert:

<p><u>Wetterdatenerfassung</u></p> <p>Rel. Luftfeuchte Absolutdruck Windgeschwindigkeit Windrichtung Niederschlag Helligkeit nach Orientierungen Strahlung nach Orientierungen</p>	<p><u>Strommessung Speichersystem</u></p> <p>PV-Anlage DC/AC Batterie DC/AC Gebäudelast AC</p>
<p><u>Referenzräume</u></p> <p>Raumlufttemperatur Strahlungstemperatur Bauteilfühler Rel. Raumluftfeuchte CO₂-Konzentration VOC Helligkeit Präsenz ggf. Fensterschließkontakte Zu-, Um-, Außenluft: Kombifühler Temp/rF Zuluft: Massenstrom WMZ/KMZ KVS Zuluft Strom Leistung/Energie für <ul style="list-style-type: none"> - Beleuchtung - Zuluftgerät - Steckdosen - Verschattung </p>	<p><u>Zentrale Technik</u></p> <p>WMZ/KMZ Pufferladung WRG WMZ/KMZ Pufferladung WP ggf. WMZ/KMZ Grundwasser WMZ/KMZ KVS WC-Verteiler WMZ/KMZ KVS Zuluft-Verteiler Pel/Wel Umwälzpumpen Pufferspeichertemperaturen Pel/Wel Ventilatoren Pel/Wel WP Luftzustände (Vol, T, rF) <ul style="list-style-type: none"> - Zentrale Abluft - Mehrzweckraum - WC Anlagen - Zuluftgeräte Klassenraum Hauptkaltwasserzähler</p>
<p><u>Gebäudebetrieb</u></p> <p>Rückmeldungen Ventilstellungen/ Volumenstromregler Betriebsstatus Pumpen, Verschattung, Beleuchtung Interne Maschinendaten (WP, Zuluftgeräte, Batterie, Wechselrichter) Betriebsmodi Sollwerte Regelung Binäre Steuer- und Freigabesignale Raumluftparameter (Temp., ggf. CO₂)</p>	<p><u>Strommessung Gebäude</u></p> <p>Abgänge Hauptverteilung Abgänge Unterverteilung Abgänge Etagenverteilung Serverraum Außenbeleuchtung Küche</p>

Tabelle 20: Geplante Monitoringsensorik auf Basis des aktuellen Planstandes

8.1.4 Ausblick

Das vorhandene Messtechnikkonzept wird laufend an den aktuellen Planstand angepasst, dies betrifft insbesondere die zentralen Anlagen der Haustechnik und die dezentralen Zu- luftgeräte. Nach der definitiven Entscheidung für eine Versorgungsstrategie für Heizen, Kühlen und Lüften wird spezifiziert, an welcher Stelle, welche Sensoren platziert werden und welche Anforderungen an z. B. Genauigkeit und zeitliche Auflösung erfüllt werden müssen. Schließlich ist die ergänzende Messtechnik in das Konzept der GLT und MSR einzu- binden, in der auch die für den Gebäudebetrieb notwendigen Daten eingebunden werden. Die zusätzliche Monitoring-MSR unterliegt somit synchron den Phasen Planung, Umset- zung, Inbetriebnahme und Mängelbeseitigung.

8.2 Entwicklung Qualitätssicherungskonzept

8.2.1 Ausgangssituation und Zielstellung

Kosten- und Zeitdruck, mangelnde Erfahrung und fehlende Qualifikationen führen bei der Konzeption, Planung und Ausführung von Gebäuden immer mehr zu mangelnder Qualität (3. Bauschadensbericht der Bundesregierung, DEKRA Baumängelbericht). 75% der Baumän- gel entfallen auf die KG 300, 25% auf technische Anlagen. Die Folge sind Bauschäden, ein- geschränkte Nutzbarkeit, geringerer Komfort, hohe Betriebskosten, Wertverlust oder teure Sanierungen. Dies stellt bei klassischen, konventionellen Bauvorhaben bereits ein erhebli- ches Problem dar. Wenn neben der normalen Baudurchführung innovative Konzepte umge- setzt werden müssen, wird dies zum fast unüberwindlichen Hindernis. So sind beim Projekt KTS-Kelsterbach anspruchsvolle Ziele in Bezug auf Nachhaltigkeit, Netzdienlichkeit und Lernkomfort zu erfüllen.

Erfahrungen aus anderen innovativen Projekten haben gezeigt, dass die gesetzten Projekt- ziele und Qualitäten nach Baufertigstellung nicht erreicht worden sind. Teilweise werden unwirtschaftliche Konzepte ohne Variantenuntersuchung umgesetzt. Ein generelles Prob- lem sind falsche Dimensionierungen von Systemen und Komponenten, die zu unnötigen In- vestitionsmehrkosten oder funktionalen Problemen führen. Um umfangreiche Optimie- rungsmaßnahmen mit Neuinstallation von falsch dimensionierten Komponenten oder feh- lender bzw. nicht optimal programmierter MSR auf ein Minimum zu beschränken, ist eine ganzheitliche und über alle Projektphasen durchgehende Qualitätssicherung sinnvoll.

8.2.2 Konzeptionelle Überlegungen

Es gibt besonders sensible Bereiche, bei denen das 4-Augen Prinzip angewendet werden sollte. So sind bei wesentlichen Entscheidungen neben den zuständigen Fachplanern jeweils unabhängige Zweitgutachter hinzuzuziehen (externe Fachingenieure, wissenschaftliche Ein- richtungen), um eine hochwertige und fehlerfreie Projektierung und Ausführung sicherzu- stellen. Darüber hinaus sind für bestimmte Problemfelder zusätzliche Maßnahmen der Qua- litätssicherung notwendig. Dazu gehören z. B. die Durchführung eines Blower-Door-Tests zur Sicherstellung einer leckagefreien Luftdichtheitsebene, Thermographieaufnahmen für

eine wärmebrückenarme thermische Hülle oder der Aufbau einer Musterfassade bzw. eines Musterraums zur optimierten Bauausführung der Firmen. Gerade in den frühen Projektphasen werden entscheidende Weichenstellungen vorgenommen, die mit einem vergleichsweise geringen Aufwand überprüft werden können. In der fortgeschrittenen Planungs- und Bauphase nimmt der Aufwand zu, besonders wichtig sind hier die Vermeidung von irreversiblen Fehlentwicklungen und die konsequente Verfolgung eines funktionierenden Gesamtkonzeptes.

Ein umfassendes Konzept zur Qualitätssicherung an der Karl-Treutel-Schule beinhaltet die folgenden Themenfelder, die sich über alle Projektphasen (Konzeption, Planung, Bau) erstrecken:

- Sicherstellung von hohen Komfortanforderungen
- Technische Qualität der Baukonstruktion und Anlagentechnik
- Nachhaltigkeitsbetrachtung über den gesamten Lebenszyklus
- Optimierung der Prozessqualität

Zusammenfassend lassen sich für alle Problemfelder Parallelen erkennen, die Kennzeichen einer erfolgreichen Qualitätssicherung sind. Dazu gehören insbesondere:

- Variantenuntersuchung in der Konzeptphase für alle weitreichenden Entscheidungen zur Erreichung der Projektziele (insbesondere für die Bereiche Gebäudeentwurf, Gebäudehülle, pädagogische Architektur/Nutzungskonzept, Versorgungsstrategien Heizen, Kühlen, Lüften)
- Detaillierte Planung aller relevanten Gewerke durch Fachleute mit hoher Kompetenz
- Detaillierte Leistungsbeschreibung in der Ausschreibung
- Technische und wirtschaftliche Kontrolle der Bauausführung
- Durchführen einer systematischen Inbetriebnahme mit anschließender Betriebsoptimierung
- Integrale Planung
- Ganzheitliche Qualitätssicherung von unabhängigen Fachleuten
- Umfangreiche Dokumentation aller relevanten Projektphasen und -entscheidungen

Zur einer ganzheitlichen Qualitätssicherung über alle Leistungsphasen gehört auch, die Umsetzung der verschiedenen Maßnahmenpakete der Qualitätssicherung zwischen den einzelnen Projektpartnern zu koordinieren und für eine Umsetzung im Planungs- und Bauablauf zu sorgen. Oft ist es aufgrund eines Kostendeckels nicht möglich, eine umfassende Qualitätssicherung über den gesamten Projektzeitraum und über alle relevanten Themenfelder zu realisieren. In diesem Fall müssen die besonders sensiblen Bereiche unter Berücksichtigung der Komplexität der Aufgabenstellung, der Zielstellungen und nicht zuletzt der Quali-

tät der Projektbeteiligten identifiziert werden, um die verfügbaren Mittel für die Qualitätssicherung entsprechend punktuell sinnvoll einzusetzen.

Im vorliegenden Projekt wird der Schwerpunkt in der Haustechnik gesehen. Insbesondere die neu zu entwickelnden Zuluftgeräte und das für einen netzdienlichen Betrieb notwendige Speichersystem, bestehend aus elektrischem und thermischem Speicher, der reversiblen Wärmepumpe und der PV-Anlage muss unter Berücksichtigung der Lastprofile für Strom, Wärme und Kälte detailliert geplant werden, was eine besondere Herausforderung darstellt.

8.2.3 Themenschwerpunkte Konzeptphase

In der Konzeptphase sind schwerpunktmäßig folgende Themengebiete einer ersten Revision unterzogen worden:

Entscheidungsmatrix Haustechnikkonzept (Heizen, Kühlen, Lüften)

Eine tragende Säule für die Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Nutzerzufriedenheit ist ein schlüssiges Gesamtkonzept für die Versorgungsfunktionen Heizen, Kühlen und Lüften. Dazu müssen schon in den frühen Projektphasen ausreichend detaillierte Variantenvergleiche durchgeführt werden, um die beste Konfiguration zu ermitteln. Falsche Entscheidungen können später nur mit großem Aufwand wieder rückgängig gemacht werden. Aus diesem Grund ist eine Qualitätssicherung an dieser Stelle sinnvoll. Es muss dafür gesorgt werden, dass die gemachten Annahmen zu Energien, Leistungen, Laufzeiten oder Wirkungsgraden realistisch sind. Werden Komponenten überdimensioniert, erhöhen sich die Investitionskosten unnötig, bei Unterdimensionierung wird die Funktionalität nicht erreicht. Wichtig ist ebenfalls die Berücksichtigung der Lebenszyklen insbesondere bezüglich der Wirtschaftlichkeit. Ein weiteres Problem ist oft, einen einheitlichen Bilanzraum für alle Varianten zu definieren. Dieser ist jedoch zwingend notwendig, um die Vergleichbarkeit herzustellen.

Bewertungskriterien Systemwahl (ökologisch, wirtschaftlich)

Ziel der Bewertungsmatrix Heizen/Kühlen/Lüften ist es, eine Basis für eine Systementscheidung zu generieren. Dazu sind beim Projekt KTS-Kelsterbach Ökobilanzwerte (Primärenergie, CO₂-Äquivalent) notwendig, um den geforderten Plusenergiestandard zu bewerten. Zu diesem Zweck wurden aus der frei verfügbaren und wissenschaftlich anerkannten Ökobilanzdatenbank Gemis (Version 4.95) die aktuellen Umweltbelastungen für die entsprechenden Prozesse, die in den verschiedenen Versorgungskonzepten verwendet werden, ermittelt worden und werden in die Bewertungsmatrix eingearbeitet.

Output	Prozessbezeichnung in Gemis 4.95 (Stand April 2017)	CO ₂ -Äquivalent [g/kWh]	KEA-ne [kWh/kWh]
Strom-Mix-Endverbraucher	1 kWh Elektrizität geliefert von 'Netz-el-DE-Verteilung-NS-2015'	564	1,92
Strom-Mix-Erzeugung	1 kWh Elektrizität geliefert von 'El-KW-Park-DE-2015'	547	1,86
Verdrängungsstrommix	eigene Ermittlung aus 86% Steink., 1,4% Braunk., 11,4% GuD, 0,7% Heizöl; Basis: El-KW-Park-DE-2015	913	2,59
Gas-BW (Nutzenergie bezogen)	1 kWh Raumwärme geliefert von 'Gas-Heizung-DE-2010'	289	1,33
Gas-BW (Endenergie bezogen)	1 kWh Raumwärme geliefert von 'Gas-Heizung-DE-2010 (Endenergie)' Nutzfaktor 100%	250	1,15
Pellets (Nutzenergie bezogen)	1 kWh Warmwasser geliefert von 'Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-Heizung-50 kW-2015 (Nutzenergie)'	29	0,1
Pellets (Endenergie bezogen)	1 kWh Warmwasser geliefert von 'Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-Heizung-50 kW-2015 (Endenergie)'	27	0,1
PV			
PV-monokristallin	1 kWh Elektrizität geliefert von 'Solar-PV-mono-Rahmen-mit-Rack-DE-2010'	61	213
PV-multikristallin	1 kWh Elektrizität geliefert von 'Solar-PV-multi-Rahmen-mit-Rack-DE-2010'	48	171
PV-amorph	1 kWh Elektrizität geliefert von 'Solar-PV-amorph-DE-2010'	42	140

Tabelle 21: Ökobilanzwerte zu Versorgungsprozessen für Strom und Wärme

Zielparameter zur Entwicklung eines dezentralen Zuluftgerätes

Für die Belüftung der Klassenräume soll eine projektspezifische Anlage konzipiert und entwickelt werden. Dabei ist keine komplette Neuentwicklung notwendig, sondern vielmehr eine Modifizierung bestehender Systeme. Kern ist die Steigerung der Luftleistung auf mindestens 600 m³/h, um den im Vergleich zur Büronutzung deutlich höheren Belegungsdichten und damit einem erhöhten Frischluftbedarf Rechnung zu tragen. Für die Prototypenentwicklung müssen dem Hersteller Zielparameter in Form einer Leistungsbeschreibung gemacht werden. Auch hierbei war die Qualitätssicherung involviert. Gerade bei der Neuentwicklung von Komponenten ist darauf zu achten, dass weder der Projektzeitplan noch das Budget gefährdet wird. Ebenso ist ein „Plan B“ weiterzuerfolgen, um die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Unwägbarkeiten einer Neuentwicklung gegebenenfalls durch Alternativen abzufangen.

Gebäudekonzept

Nachhaltige Gebäudekonzepte müssen schon in den ersten Projektphasen den kompletten Lebenszyklus der Immobilie berücksichtigen. Dabei sind die Einflussmöglichkeiten auf den Nutzungskomfort oder die Energieeffizienz in der Konzeptphase am größten. Durch vergleichsweise einfache Planungsgrundsätze lassen sich negative Auswirkungen minimieren, die sonst oft durch einen erhöhten haustechnischen Aufwand abgemildert werden müssen. So hat z. B. die Ausrichtung der Klassenzimmer einen signifikanten Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz. Dabei ist in der Regel eine Nord-Süd-Orientierung deutlich günstiger als eine Ost-West-Ausrichtung. Weitere wichtige Aspekte sind eine kompakte Bauform (A/V-Verhältnis) zur Minimierung der Transmissionsverluste und eine gute Tageslichtversorgung zur Minimierung des Kunstlichteinsatzes und einem physiologischen Wohlempfinden. Kriterien sind dabei ein hoher Tageslichtquotient in der Raumtiefe durch optimierte Fensteröffnungen (Brüstungs- und Sturzhöhe) oder die Minimierung der starren Verschatt-

tung durch die Fluchtbalkone und ein darauf angepasster Sonnen- und Blendschutz. Ziel der Qualitätssicherung war es, diese Grundsätze im Planungsprozess zu verankern.

Konzeption Speicher/ -management

Beim vorliegenden Projekt soll ein netzdienlicher Betrieb umgesetzt werden. Dazu tragen neben thermischem und sensiblem Speicher vor allem die Wärmepumpe und das PV-System bei. Mit der Anzahl der Komponenten, die zu einem funktionierenden System zusammengefasst werden müssen, steigt die Komplexität insbesondere in Bezug auf die Regelung. Zusätzlich müssen mehrere Gewerke (v. a. HLS, ELT, Energieberatung) eng verzahnt zusammenarbeiten, was zu Problemen führen kann. Aufgabe der Qualitätssicherung ist, die Konzeption konstruktiv zu begleiten und Fehler zu minimieren.

8.2.4 Ausblick

Sicherlich die größte Aufgabenstellung für die nächste Berichtsperiode ist die Entwicklung eines schlüssigen Speichermanagements zur Gewährleistung der Netzdienlichkeit mit akzeptablen Kosten. Dazu müssen vorhandene Modelle präzisiert oder erweitert und mit projektspezifischen Angaben wie z. B. Lastkurven für Wärme, Kälte und Frischluft ergänzt werden. Des Weiteren muss eine intensive Untersuchung zu Wirtschaftlichkeit (Investitionskosten Speicher, Managementsysteme, PV-Generator, Fördermöglichkeiten) erstellt und im Planungsteam diskutiert werden.

Weitere Punkte sind die definitive Systementscheidung für das Versorgungssystem Heizen, Kühlen, Lüften auf Basis der erstellten Variantenmatrix in Abstimmung mit dem Planungsteam und dem Bauherrn sowie die kritische Begleitung der projektspezifischen Neuentwicklung der dezentralen Zuluftgeräte.

8.3 Lebenszyklusanalyse

8.3.1 Allgemein

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 ggf. 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.

8.3.2 Baukosten modelliert

Die Baukosten wurden für alle in der Ökobilanz beschriebenen Varianten durch eine bauteilbasierte Modellierung in der integralen Planungssoftware auf der Basis der sirAdos-Baudatenbank ermittelt. Grundlage dafür war die von den Architekten durchgeführte Massenermittlung für die Bauteile der Kostengruppe (KGR) 300 der Bauvariante B „Planung 2016“ ohne Sporthalle. Diese Massenermittlung wurde auf die Variante A „EnEV Standard 2016 umgerechnet. Diese Neuberechnung betraf die Geschoßerhöhung auf 4,1 m und die veränderte Be- und Entlüftung.

Die Massenermittlung wurde von den Architekten mit Baukosten für die einzelnen Bauteile hinterlegt. Dadurch konnte ein Vergleich mit den Kostenansätzen in der SirAdos-Datenbank durchgeführt werden. Die Kostenansätze sind nahezu identisch, so dass für die Kostenschätzung für die KGR 300 keine Abweichung festgestellt werden konnte. Die Herstellungskosten für die KGR 400 „Technische Anlagen“ für beide Varianten wurden ebenfalls in LEGEP modelliert. Die dadurch ermittelte Kostenschätzung für die einzelnen Kostengruppen

wurde mit der Kostenschätzung der Fachingenieure verglichen. Die Abweichungen wurden als „Sonstige Kosten“ in der Zusammenstellung ergänzt.

Die Kostengruppen 600 (Ausstattung) und 700 (Planungskosten) wurden aus den Angaben von den Architekten der Vollständigkeit halber übernommen. In der Lebenszykluskostenberechnung werden nur die Herstellungskosten der Kostengruppen 300 und 400 berücksichtigt.

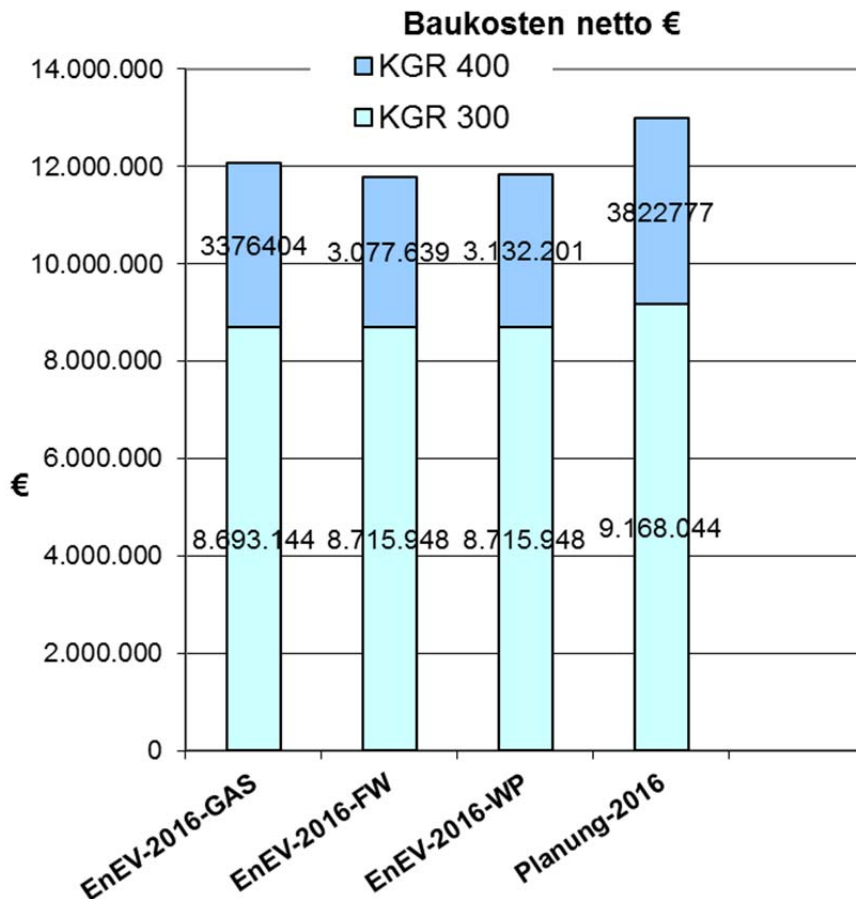


Abbildung 88: Vier Gebäudemodelle Herstellungskosten KGR 300/400

Die Variante „Planung-2016“ ist ca. 9,5% teurer als die Variante A im Durchschnitt. Von den absoluten Mehrkosten von 1,242 Mio. € entfallen ca. 500.000 € auf die PV-Anlage. Der Rest ist der Aufwand für die verbesserten U-Werte der Hüllflächen. Der flächenbezogene Kennwert €/m² BGF zeigt einen Wert von durchschnittlich 1.500.- €/m² BGF netto für die Variante A und 1609 €/m² BGF für die Variante „Planung 2016“.

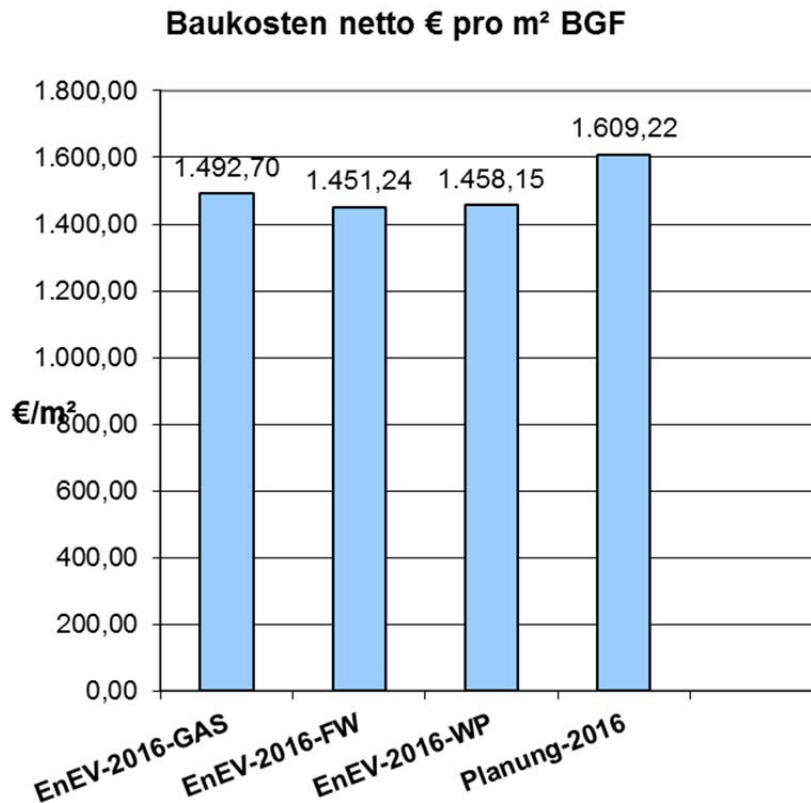


Abbildung 89: Vier Gebäudemodelle Herstellungskosten KGR 300/400/m² BGF

Fazit

Die Baukosten des Forschungsprojektes liegen in den Kostengruppen 300 und 400 um ca. 9,5% über den Kosten einer Standardschule (EnEV-Standard 2016 mit Be- und Entlüftung zentral; Geschoßhöhe 4,1 m). Ca. 43% der Kostensteigerung entfallen auf den Einbau der PV-Anlage.

8.3.3 Nutzungskosten

Während des angenommenen Nutzungszeitraums von 50 Jahren 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.

Nutzungskosten (Folgekosten) statisch

Die Versorgungskosten mit Energie wurden von der Endenergiebedarfsberechnung übernommen. Die Kosten für die Energieträger entsprechen den aktuellen Bezugskosten der Gemeinde. Der Wasserbedarf wurde für alle Varianten gleich angenommen.

Die Reinigungskosten wurden für „starke Verschmutzung“ ermittelt. Berücksichtigt werden alle Boden-, Fenster- und Türflächen mit entsprechenden Zyklen. Die tatsächlichen Reinigungskosten können durch zusätzliche Aufwendungen für Kindergartenbetrieb außerhalb der Schulzeiten 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 aufgrund von Verordnungen (z.B. Heizungswartung). Weiterhin berücksichtigt werden die Empfehlungen der AMEV⁹. 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. 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 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.

In der folgenden Abbildung werden die vier oben angeführten Nutzungskostengruppen für ein Nutzungsjahr als Nettobetrag dargestellt. Wesentlich für den Gesamtbetrag sind die Kosten für die Reinigung und die Instandsetzungsrücklage. Die Energiekosten sind in ihrer Bedeutung stark rückläufig. Bei der Variante „Planung-2016“ erreichen sie nur noch 3% des Gesamtaufwands.

⁹ [AMEV2006] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden Vertragsmuster, Bestandsliste, Leistungskatalog, Berlin 2006

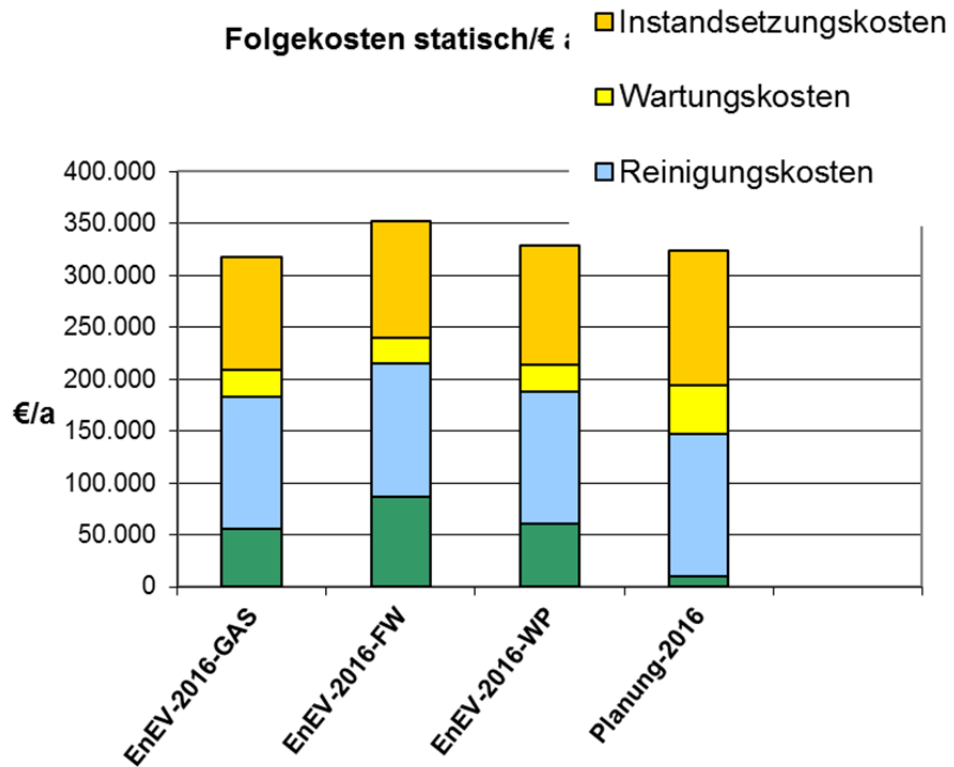


Abbildung 90: Vier Gebäudemodelle Folgekosten statisch berechnet €/a

Bei der Kennwertermittlung Folgekosten pro m² BGF weist die Planungsvariante mit 40,15 €/m² BGF den günstigsten Wert auf.

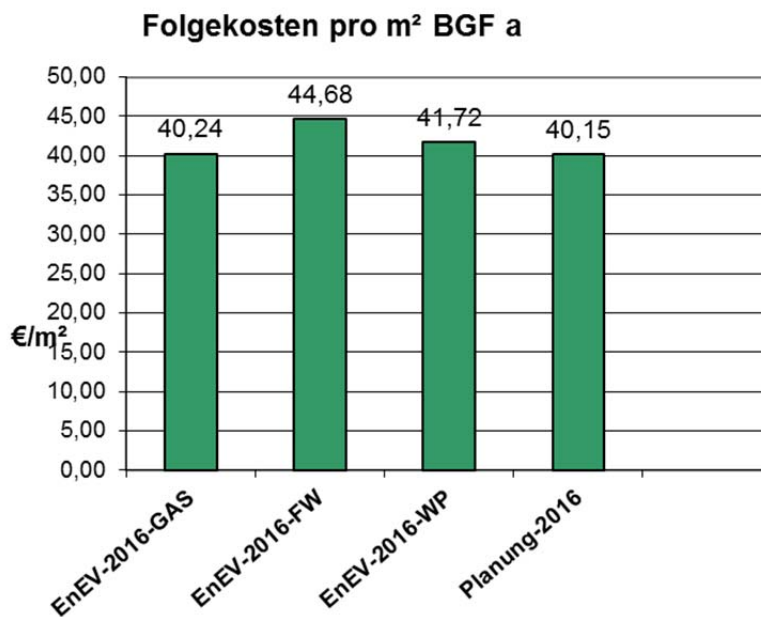


Abbildung 91: Vier Gebäudemodelle Folgekosten statisch berechnet €/m² BGF a

Folgekosten dynamisch 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 + 5%/a (2013: 4%)
- Wasserkosten: +0%/a
- Kapitalzinssatz: +3,5%/a (2013: 5,5%)
- Barwertzins + 1,5%/a (2013: 3,5%)

Durch die Änderung des Kaitalzinssatzes und die Absenkung des Barwertzinssatzes in dem neuen BNB-System 2015 fallen die Barwertberechnungsergebnisse wesentlich höher aus als die Berechnungen mit den alten Ansätzen von 2013. Die Versorgungskosten werden um 1% jährlich stärker gesteigert, der Barwertzins wird um 2% jährlich kleiner. Damit verringert sich der Abzinsungseffekt erheblich und später anfallende Kosten bei Instandsetzungsmaßnahmen werden damit „teurer“. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre.

Im Barwert der Lebenszykluskosten werden auch die Herstellungskosten vollständig berücksichtigt. Der durchschnittliche Barwert der drei Modelle der Variante A EnEV-Standard-2016 liegt bei 3.213 €/m² BGF, der Barwert der Variante B „Planung-2016“ bei 3.170 €/m²BGF.

Fazit

Die Berechnung zeigt, dass bei der Variante „Reale Planung“ trotz der Mehrkosten in der Herstellung, die niedrigeren Nutzungskosten in der Lage sind gegenüber der kostengünstigeren Variante A vorteilhaft abzuschneiden. Dies bedeutet, dass die Reduzierung der Umwelteinträge, wie sie in der Ökobilanz nachgewiesen wurden, für den Betreiber der Schule auch ökonomisch vorteilhaft ist.

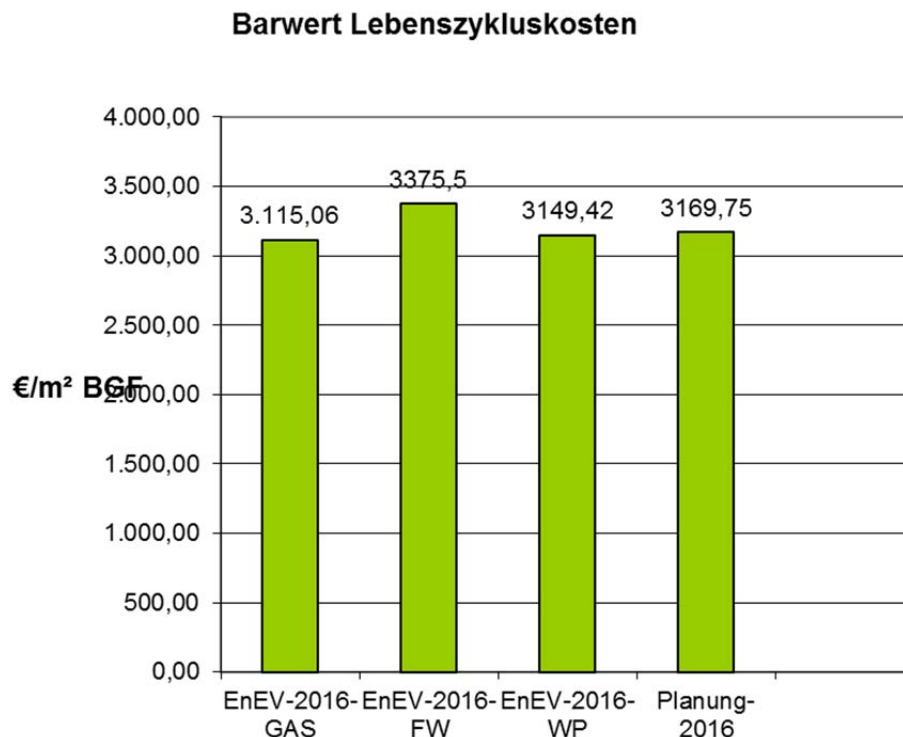


Abbildung 92: Vier Gebäudemodelle Barwert berechnet €/m² BGF a

8.3.4 Ermittlung der Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit Baukosten Gesamtmaßnahme

Ein Vergleich der Baukosten (Stand April 2017) mit dem BKI (Stand 1. Quartal 2016) zeigt, dass die Kosten pro m² BGF für den Neubau der KTS an der Obergrenze des BKI liegen. Es wird ersichtlich, dass das sehr ambitionierte Forschungsprojekt im Rahmen der ausgewiesenen BKI-Kosten realisiert werden kann.

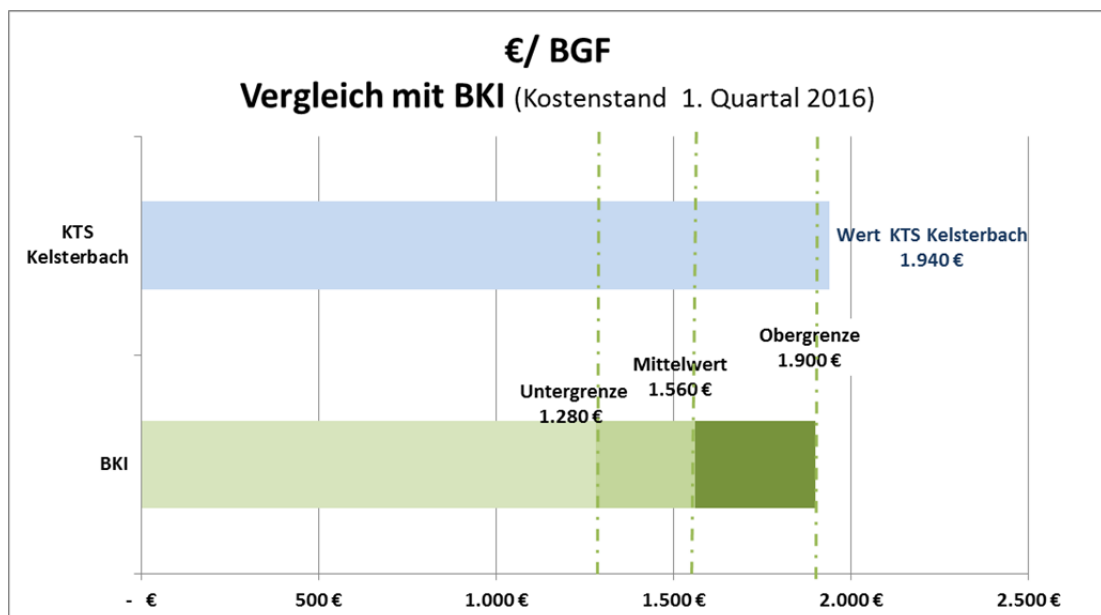


Abbildung 93: Vergleich mit BKI

Die in diesem Kostenansatz enthaltenen Mehrkosten für die Ausführung des Gebäudes als Plusenergieschule mit offenen Lernlandschaften in ökologischer Bauweise betragen ca. 10% bezogen auf die KG 200-600 der Baukosten (einer vergleichbaren Standardschule). 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 des Neubaus der Karl-Treutel-Schule muss daher im Rahmen der Kostenschätzung bewertet werden, welche Kosten zwangsläufig aus der pädagogischen Architektur bzw. einer höheren Lern- und Nutzungsqualität entstehen und welche Aufwendungen aufgrund höherwertiger Dämmstandards oder energieeffizienter Gebäudetechnik entstehen, die zu den sog. umweltrelevanten Kosten gehören.

Für die Bewertung der Effizienz energetischer Maßnahmen oder der Planung von hochenergieeffizienten Neubauten, wie Passivhäusern oder Plusenergiegebäuden, spielt die

Wirtschaftlichkeit für den Bauherrn eine entscheidende Rolle. Die Wirtschaftlichkeit sollte sich am Verhältnis der eingesetzten Mittel zum tatsächlichen Einspareffekt bzw. dem zu erzielenden energetischen Verbrauchsstandard bemessen. Daher werden im Abschnitt 8.3.5 „Kosteneffizienz Plusenergiestandard“ einzelne Mehrkosten für Maßnahmen zur Energieeffizienz der KTS gesondert auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Hierbei handelt es sich um rentierliche Kosten, die sich in der Regel durch Einsparungen im Betrieb finanzieren lassen. Diese Kosten sind in Punkt 1.1 der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Übersicht bauliche/investive Mehrkosten KTS Kelsterbach ¹⁾	1.896.000,00 €
1. umweltrelevante Kosten	
1.1 Kosten ressourcenschonendes ganzheitliches Plusenergiekonzept	806.000,00 €
Innovatives Lüftungs- und Energiekonzept	
Hochwertige Gebäudehülle	
Einsatz von Speichertechnologien	
Einsatz PV-Anlage zur Erreichung Plusenergieziel	
1.2 Kosten Verbesserung Schadstofffreiheit/ Innenraumlufthygiene - Reduktion Risikostoffe	187.000,00 €
Verbesserung Schadstofffreiheit/ Reduktion Risikostoffe	
Ökologische Bauweise/ nachhaltige Materialien	
2. qualitative Kosten	
2.1 Kosten nachhaltige Lern- und Nutzungsqualität	753.000,00 €
Hochwertige Raumatmosphäre (Akustik und Licht)	
Hoher sommerlich thermischer Komfort	
Zukunftsfähiges flexibles pädagogisches Raum- und Nutzungskonzept	
2.2 Kosten Qualitätssicherung Planung, Bau und Betrieb	150.000,00 €
Integraler Planungsprozess ¹⁾	
Monitoring	
¹⁾ planerische Mehrkosten nicht berücksichtigt	

Tabelle 22: Übersicht der baulichen Mehrkosten KTS (ohne planerische Mehrkosten)

Flächeneffizienz

Ein weiteres relevantes Kriterium zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit stellen Volumen- und Flächenkennwerte sowie der Flexibilisierungsgrad des Gebäudes dar. Die Flächeneffizienz ist eine Maßzahl zur Ermittlung der Ausnutzung von Flächen innerhalb von Gebäuden. Insbesondere eine effiziente Flächennutzung in der Planung sichert den wirtschaftlichen Umgang mit der Ressource Gebäude, da jeder m² gebaute Fläche mit Kosten in der Errichtung und im Betrieb verbunden ist. An dem Verhältnis von Verkehrs- zu Nutzflächen erkennt man deutlich, wie sich verschiedene Gebäudestrukturen auf die Flächeneffizienz auswirken.

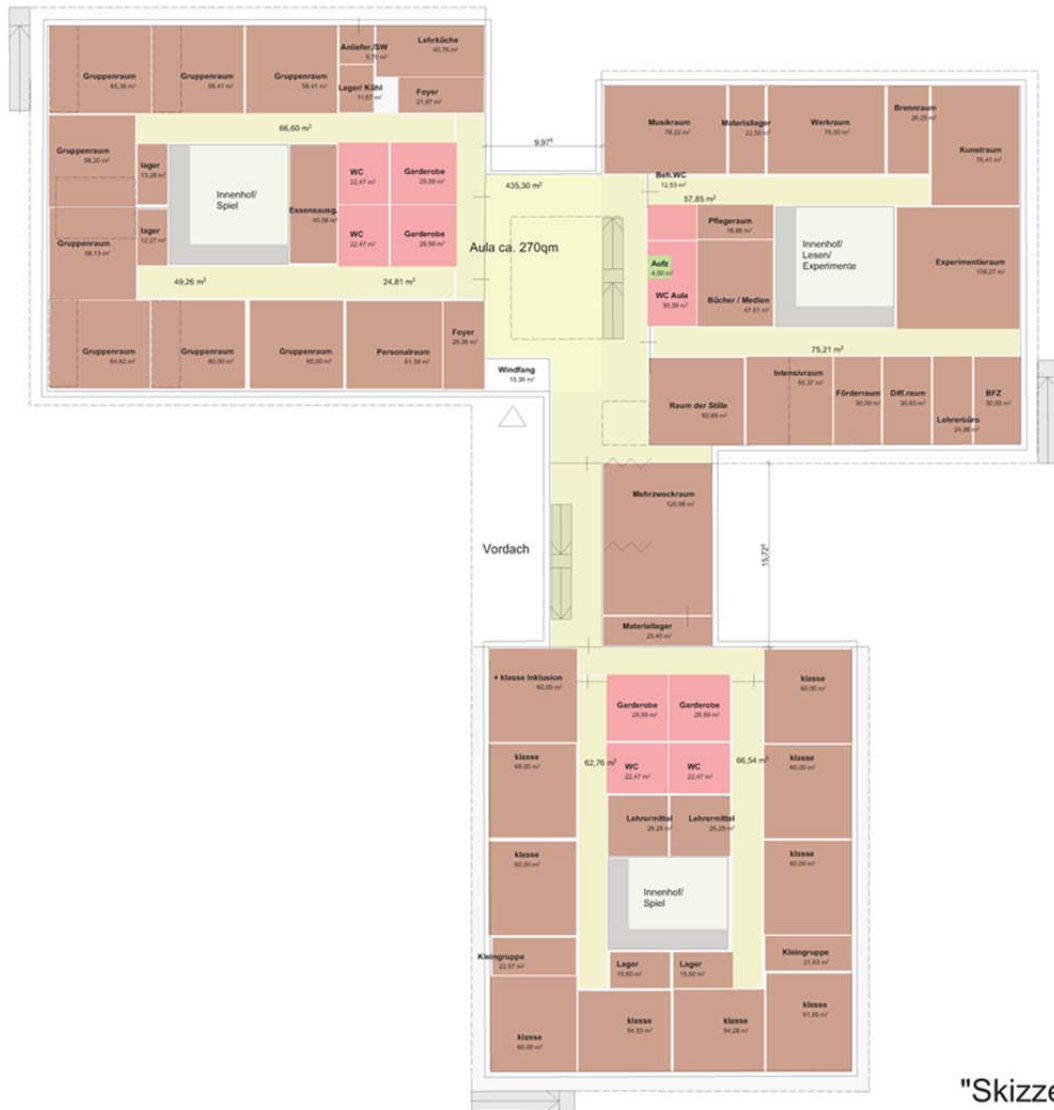
Bei der Karl-Treutel Schule wurde zunächst das zu bauende Volumen in mehreren Schritten optimiert:

- Zunächst wurden im Rahmen der Entwicklung des Raumprogramms u.a. Synergien durch Mehrfachnutzung von Räumen geprüft, Essensausgaben direkt in die Cluster integriert oder nicht nutzbare Erschließungsflächen durch Systematisierung in Lerncluster reduziert.
- Im Anschluss wurde bei der Entwicklung des Gebäudekonzepts verschiedene Varianten geprüft und u.a. hinsichtlich ihrer Hüll- und Bruttogeschossflächen verglichen.
- Im weiteren integralen Planungsprozess wurden Technikflächen in die einzelnen Häuserstrukturen wirtschaftlich integriert, Geschosshöhen durch durchdachte Techniklösungen reduziert und der Unterkellerungsbedarf auf ein Minimum beschränkt.
- Darüber hinaus wurden Überlegungen zur Umsetzung einer maximalen Flexibilisierung der Raumausnutzung diskutiert und umgesetzt. Dazu gehört insbesondere die Vergrößerung der Gruppenräume auf 60 m² (Klassenraumgröße) in den Hortclustern, um eine einfache Umnutzung in Lerncluster im Bedarfsfall zu erreichen.

Folgende Kennwerte lassen sich auf Basis des aktuellen Planungsstandes bei der KTS ermitteln:

- $NF/BGF = 72\%$
- $VF/NF = 11\%$
- $VF/NGF = 9,4\%$
- $NF/NGF = 83,4\%$
- $NF/Schüler = 11,6 \text{ m}^2$ (Annahme: 500 Schüler)
- $NF/Schüler = 9,8 \text{ m}^2$ (nur Lerncluster und Hort, ohne Verwaltung, Aula/ Mehrzweckraum)

Im Ergebnis konnten die konstruktiv bedingt gleiche Größe der „Lernhäuser“ und die insbesondere durch das pädagogische Konzept erreichte Minimierung der Erschließungsflächen im Gebäudeentwurf zusätzliche Flächenpotentiale erschlossen werden, die in pädagogisch sinnvolle Nutzfläche umgesetzt werden konnte.



"Skizze Referenzschule"

M 1:200

Abbildung 94: Skizze Referenzschule

Die geplante Karl-Treutel-Schule erreicht durch die ineinander übergehenden Räume der Lernlandschaften und durch die Ausgestaltung der Flurbereiche als Marktplätze einen sehr geringen Verkehrsflächenwert, so dass das Verhältnis von Verkehrs- zu Nutzflächen mit

11% sehr günstig ausfällt. Klassische zweibündige Flurschulen weisen in der Regel eine vergleichsweise große Verkehrsfläche (VF) auf. 30% der Nutzfläche entfällt hier in der Regel auf die VF.

Die Montag Stiftungen, der BDA und der VBE haben im Jahr 2013 Leitlinien für leistungsfähige Schulbauten in Deutschland formuliert und bundesweit eine Spanne von 4,5 bis 5,5m² pädagogische Nutzfläche pro Schülerin und Schüler empfohlen.

Durch vielfältige Raumarrangements und differenzierte Lernräume kann bei der KTS eine höhere Flächeneffizienz als bei einer Referenzschule mit Standardraumprogramm erzielt werden, so dass die tatsächlich nutzbare Fläche je Schüler mit 9,8 m² deutlich größer wird.

Dennoch bleibt die NGF aufgrund des geringeren Verkehrsflächenanteils, der Mehrfachnutzung von Räumen ggü. einer Standardschule und des konstruktiv bedingten zusätzlichen Flächenpotentials fast gleich.

„Qualitative“ Kosten

Im Hinblick auf die Umsetzung der Lernlandschaften und die Komfortziele entstehen zusätzliche Kosten, die in rein wirtschaftlicher Sicht keine rentierlichen Kosten darstellen, dafür jedoch eine deutliche Erhöhung der Lernqualität und eine flexible Raumnutzung mit sich bringen. Folgende qualitative Vorteile, entstehen durch den Neubau der Karl-Treutel-Schule:

- Hochwertige Raumatmosphäre
- Differenziertes räumliches Angebot
- Flexibilität des Clusterprinzips für neue Lernmethoden
- guter sommerlicher thermischer Komfort
- Reduzierung von Risikostoffen im Hinblick auf Gesundheit und Umweltentlastung

Das neue Lernkonzept verursacht durch das Clusterprinzip in Verbindung mit den offenen Marktplätzen 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 zu einer qualitativ hochwertigeren Lern- und Arbeitsumgebung für Schüler und Lehrer, die sich jedoch nicht monetär bewerten lässt.

Zukunftsfragen von Schulen werden jedoch ohne die Einbeziehung von Raumqualitäten nicht zu lösen sein. Das offene und anpassungsfähige Raum- und Lernkonzept der KTS erlaubt nicht nur das flexible Eingehen auf heutige Schul- und Lernformen, sondern ermöglicht auch spätere Anpassungen an künftige Entwicklungen, die durch die flexiblen Raum-

strukturen teilweise schon vorweggenommen werden, so dass teure Umbauten später nicht notwendig werden. Insbesondere das Clusterprinzip ist hier für ganz unterschiedliche Organisationsprinzipien einer Schule nutzbar. Vor dem Hintergrund einer zukunftsfähigen Grundschule, die flexible und neue Lehr- und Lernmethoden ermöglicht, könnten diese Kosten in Zukunft bereits als Sowieso-Kosten anfallen. In jedem Fall werden teure Umbauten vermieden, wenn zukünftig neue Lehr- und Lernpläne umgesetzt werden müssen, die ansonsten durch standardisierte Schulkonzeptionen und Raumkonzepte nicht oder nur unzureichend unterstützt werden. Durch die kontinuierliche Einbeziehung der Nutzer in den Planungsprozess und späteren Bauablauf können die im Schulbau üblichen Nachtragsangebote und die damit verbundenen Nachtragsangebote minimiert, im besten Fall sogar vollständig vermieden werden. Für diese Aspekte müssen der Vollständigkeit halber entsprechende finanzielle Risiken im Variantenvergleich im Hinblick auf die Bewertung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden.

8.3.5 Darstellung Kosteneffizienz ganzheitliches Plusenergiekonzept

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 Luft-Wasser-Wärmepumpe die wirtschaftlichste Energieversorgung für das Energiekonzept in Kelsterbach bietet.

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

Energetischer Vorteil Plusenergiestandard (ohne PV-Anlage) ggü. EnEV 2016		
Energiestandard	Endenergiebedarf	Primärenergiebedarf
Plusenergieschule mit Luft-Wasser-Wärmepumpe	195.403 KWh	426.680 KWh
EnEV-Schule mit Wärmepumpe (EnEV 2016)	360.120 KWh	777.019 KWh
Energieeinsparung absolut	164.717 KWh	350.339 KWh
Energieeinsparung in %	45,7%	45,1%

Tabelle 23: Energetischer Vorteil Plusenergieschule

Energieverbrauch durch	Plusenergieschule		Standardschule (EnEV 2016)	
	EEB in kWh/a	Jährliche Energiekosten bei 15,4 ct/kWh in EUR/ a	EEB in kWh/a	Jährliche Energiekosten bei 15,4 ct/kWh in EUR/ a
Beleuchtung	45.645	7.029 €	101.796	15.677 €
Heizen	26.371	4.061 €	92.300	14.214 €
Luftförderung	29.128	4.486 €	67.285	10.362 €
Kühlung	5.990	922 €	8.459	1.303 €
Diverse Technik	36.400	5.606 €	38.411	5.915 €
WW	17.285	2.662 €	17.285	2.662 €
Nutzbezogen	34.584	5.326 €	34.584	5.326 €
Summe	195.403	30.092 €	360.120	55.458 €
Kostenvorteil in € p.a.		25.400 €		
Kostenvorteil in % ggü. EnEV 2016		46%		

Tabelle 24: Kostenvorteil Plusenergieschule

Es wird deutlich, dass Plusenergieschulen bei geringen baulichen Mehrkosten und unter Voraussetzung eines angemessenen Nutzungsverhaltens eine entscheidende Reduzierung der Energieverbräuche ermöglichen. Sie tragen damit wesentlich zur Umweltentlastung bei und können einen wichtigen Beitrag zum nachhaltigen Bauen liefern.

Kosteneffizienz von Einzelmaßnahmen

Im Hinblick auf die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energiesparmaßnahmen werden beim Projekt KTS einzelne Mehrkosten für Maßnahmen zur Energieeffizienz des Plusenergiestandards gesondert auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

Dazu wird in einem ersten Schritt eine Amortisationsrechnung durchgeführt. Dieses in der Praxis häufig eingesetzte Verfahren, trifft eine Aussage nach welchem Zeitraum sich eine Investition selbst finanziert hat. Die statische Amortisation berücksichtigt dabei keine Kapitalkosten und keine Preissteigerungen und hat daher nur eingeschränkte Aussagekraft, da mögliche Gewinne nach der Amortisationszeit unberücksichtigt bleiben.

Dennoch ist die Amortisationsrechnung wichtig für die Praxis. Sie zeigt zwar nicht, wie rentabel der Einsatz des eigenen Kapitals ist, aber sie macht deutlich, wie lange es dauert, bis das eingesetzte Kapital durch die Energieeinsparungen zurückgeflossen ist.

Maßnahme	Endenergiebedarf Strom ohne die Maßnahme, kWh/a	Endenergiebedarf Strom nach Einführung der Maßnahme, kWh/a	Jährliche Kosteneinsparung, gemittelt über die nächsten 15 Jahre; EUR/a	Kosten der Maßnahme, €	Statische Amortisation der Maßnahme, a
Verbesserung der U-Werte der opaken Bauteile	360.121	350.835	1.773	200.000,00 €	112,8
Verbesserung der U-Werte der transparenten Bauteile	350.835	332.573	3.487	56.000,00 €	16,1
Blower-Door-Test	332.573	310.287	4.255	10.000,00 €	2,3
Energieeffizientere Wärmepumpe	310.287	302.205	1.543	36.000,00 €	23,3
Lüftungsanlage mit verringertem Druckverlust, besserer Regelung und besserer WRG	302.205	256.547	8.718	84.000,00 €	9,6
Einzelraumregelung (nur Temperatur)	256.547	255.000	296	20.000,00 €	67,7
Verwendung von Fensterkontakten	255.000	253.710	246	5.000,00 €	20,3
LED + Vorschaltgeräte Dali / EVG (-> verringerte spez. Leistung KL)	253.710	218.960	6.635	60.000,00 €	9,0
Präsenzmeldung Beleuchtungsregelung (grobe Schätzung!)	218.960	205.880	2.498	23.000,00 €	9,2
TL-abhängige Kunstlichtregelung (grobe Schätzung!)	205.880	195.404	2.000	20.000,00 €	10,0

Tabelle 25: Statische Amortisation von Einzelmaßnahmen zur Energieeffizienz

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 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 15 Jahren zu Grunde gelegt. Es wird unterstellt, dass die energiebedingten Mehrkosten zu 100 Prozent mit Fremdkapital finanziert werden (kalkulatorischer Zinssatz 3%; vollständige Tilgung über den Betrachtungszeitraum). Finanzierungen über öffentliche Fördermittel

wurden hierfür zunächst nicht berücksichtigt. Die annuitätischen Erlöse setzen sich aus Energieeinsparungen und Mehrkosten bei der Wartung zusammen. Für den Energieträger Strom wurde eine Preissteigerung von 3% pro Jahr angesetzt.

Übersicht Kosten Plusenergiestandard	Plusenergieschule ggü. EnEV
Mehrkosten (ohne PV-Anlage)	326.000,00 €
Annuitätische Kosten p.a.	27.300,00 €
Energieeinsparung in kWh/ a	164.717 kWh
Annuitätische Erlöse p.a.	27.600,00 €
Kostenvorteil p.a.	300,00 €

Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit Energiekonzept

Die Umsetzung der geplanten Maßnahmen in ein ressourcenschonendes Energiekonzept können somit bei langfristiger Betrachtung insgesamt als wirtschaftlich bezeichnet werden.

Hierbei ist zudem zu beachten, dass aufgrund des frühen Planungsstadiums der zu erwartende zusätzliche wirtschaftliche Vorteil des Einsatzes von Speichertechnologien noch nicht in die Bewertung der Wirtschaftlichkeit eingeflossen ist, obwohl die Speicherkosten bereits in den baulichen Mehrkosten für den Plusenergiestandard berücksichtigt sind.

Die PV-Anlage wurde in der obigen Einschätzung der Wirtschaftlichkeit ebenfalls nicht berücksichtigt, da sie sich in der Regel alleine trägt. Die Wirtschaftlichkeit dieser PV-Anlage wird in Anlage 8 gesondert dargestellt.

9. Einbindung Nutzer und Öffentlichkeitsarbeit

9.1 Einbindung Nutzer

Mit dem Fach- und Alltagswissen der Nutzer können praxistaugliche Lösungen sowohl für die Gebäudekonzeption und Grundrissgestaltung als auch für Baudetails entwickelt werden, die die pädagogische Arbeit unterstützen und neue Lernformen ermöglichen. Die Beteiligung von Schulleitung, Lehrern, Schülern, Eltern und des Hausmeisters am laufenden Planungsprozess führt dazu, dass die Nutzer das Vorhaben unterstützen und sich mit dem neuen Schulgebäude identifizieren können.

Insbesondere die individuelle Entwicklung von flexiblen Flächennutzungskonzepten setzt bei allen am Bau Beteiligten einschließlich der Lehrer ein hohes Verantwortungsbewusstsein, regelmäßige Abstimmungstermine und den Respekt vor anderen Standpunkten voraus. Beim Projekt KTS gibt es hierzu eine pädagogisch-technische Beratung, die kontinuierlich im Planungsprozess die Bedürfnisse und Vorgaben entsprechend „übersetzt“, visualisiert und wieder zusammenführt, damit Prioritäten gesetzt und Entscheidungen gefällt werden können, mit denen Nutzer, Gestalter und Entscheidungsträger gleichermaßen gut leben können und die ambitionierten Zielstellungen nicht übergestülpt werden, sondern mit Blick auf den zu bewältigenden schulischen Alltag in eine funktionierende Schule umgesetzt werden.

Im Vorfeld der eigentlichen Planungen wurden in der „Phase 0“ mit den Nutzern intensiv an den funktionalen und räumlichen Zusammenhängen gearbeitet. Als Ergebnis dieser ersten Runde wurden unter anderem eine verbindliche Zusage zum Cluster-Konzept, zur Transparenz und zu gemeinsam genutzten „besonderen Räumen“ getroffen und mit weiteren Informationen im „pädagogischen Raumfunktionsbuch“ fixiert, siehe dazu auch Kapitel 3.3.

Spannend für Nutzer und Planer gleichermaßen wurde es, als es nach dem Beschluss einen Neubau zu errichten, darum ging, in der von den Architekten entwickelten Gebäudekonzeption alle Funktionen unterzubringen. Das vorgegebene Flächenbudget und der in der ersten Schülerprognose nicht vorhersehbare Zuwachs an Schülern (zwei zusätzliche Intensivklassen für Flüchtlingskinder) zeigen hier anschaulich, warum eine Miteinbeziehung der Nutzer in die weiteren Planungen wichtig ist.

Hierbei gehört auch, dass pädagogisch sinnvolle Ideen in Einklang mit wirtschaftlichen und architektonischen Rahmenbedingungen gebracht werden.

Durch die Größe der Gruppenräume des „offenen Angebotes“ von 60 qm beispielweise können diese Räume flexibel auch für Unterrichtszwecke genutzt werden. Das Häuserprinzip, das dem Vorentwurf zu Grunde liegt, bietet hierfür den geeigneten architektonischen Rahmen, da hier aufgrund der gleichen Größe der Häuser und der Minimierung der Er-

schließungsflächen diese Flächen umgesetzt werden können. Zudem sind für die funktionale Zukunftsfähigkeit eines Gebäudes gleichgroße Räume sehr zuträglich.

Ein anderes Beispiel ist Lösungen in konkrete neue Funktionsabläufe zu bringen, die es bisher nicht gab und deren Alltagstauglichkeit mit den später „Betroffenen“ zu klären ist. Dabei sind die technischen Voraussetzungen detailliert zu entwickeln. Konkret geschehen ist dies am Vorschlag, die Kinder direkt in den Hortbereichen Essen zu lassen. „Im Detail ist hier vorgesehen, dass die Kinder das aus der Mensa angelieferte Essen mit Transportwägen in die jeweiligen Hortbereiche fahren. Dazu müssen in allen Hortbereichen und im offenen Angebot geeignete Essensausgabestellen (nicht mobil, hygienischer Bereich mit Ausgabestelle, Handwaschbecken, Theke, weiterem frischem Geschirr und Kühl- und Warmhalte-möglichkeiten sowie Abfallbehälter) vorgesehen sein. Das Essen könnte in den Gruppenräumen stattfinden (Tische können hier schnell zu Essgruppen zusammengestellt werden, quadratische Tische und leicht stapelbare Stühle wären hier denkbar). Zusätzliche Lagerkapazitäten werden hierfür nicht benötigt, da dieses Mobiliar sehr vielseitig stell- und nutzbar auch im Hortbetrieb ist.“ Der kurze Ausschnitt eines Workshop-Protokolls zeigt eine sehr exakte Darstellung der Abläufe, die Ausstattung der dafür anzufertigenden Ausgabestelle und auch, wie die Nutzungsüberlagerung in die Hort-Gruppenräume eingreift.

In den Besprechungen entstehende Handskizzen auf Transparentpapier haben sich als gutes Mittel erwiesen, diesen Kommunikations- und Entwicklungsprozess gelingen zu lassen.

Im Planungsprozess wurde nicht nur Flächen bewertet und diskutiert, sondern davon abhängige funktionale Zusammenhänge intensiv untersucht.

In dem folgenden Beispiel wurde den Lehrern nahegebracht, wie man trotz der nachzuweisenden und in den Lernlandschaften nachträglich noch unterzubringenden Technikflächen den Garderobebereich und den Lehrerstützpunkt immer noch funktional in der jeweiligen Lernlandschaft ausgestalten kann:

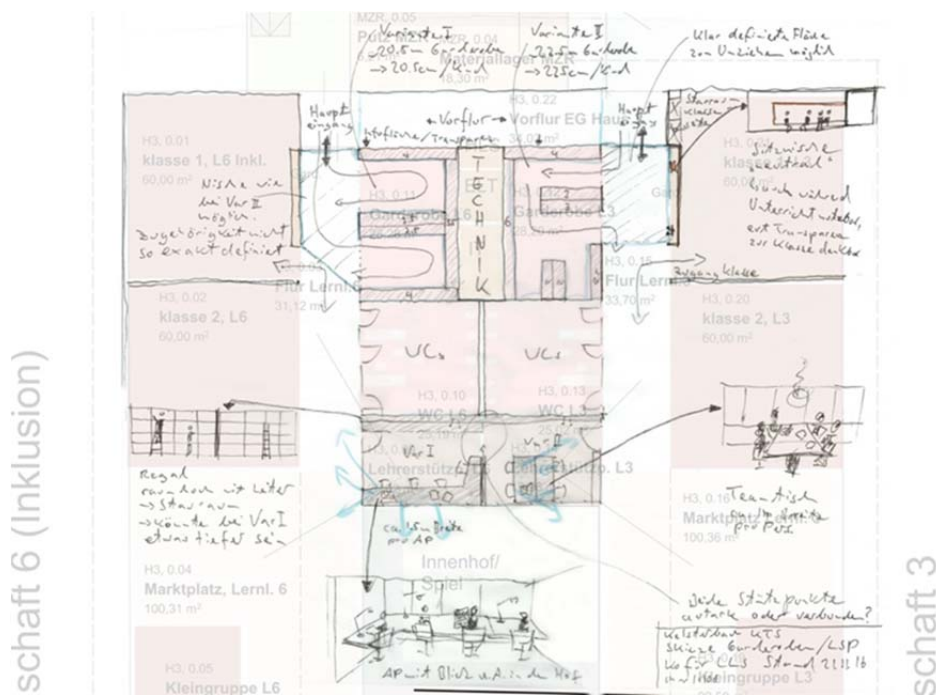


Abbildung 95: Beispiel Handskizze auf Transparentpapier: Technikfläche/ Garderobenbereich/ Lehrerstützpunkt

Dieser Beteiligungs- und Kommunikationsprozess ist für alle Seiten zeitintensiv. Sie verhilft dem Projekt jedoch zu einer hohen gestalterischen und funktionalen Qualität, die vom Nutzer lange wertgeschätzt werden wird und dabei ökonomisch im Rahmen bleibt. Bei der KTS soll diese Art der Zusammenarbeit durch die nächsten Projektphasen fortgeführt werden.

9.2 Öffentlichkeitsarbeit

Die politischen Gremien konnten sich in der ersten Projektphase zweimal mit den Planungsständen detailliert befassen. Vor dem Hintergrund, dass erst zum Abschluss des Projektes in der Maisitzung Grundsatzbeschlüsse zu dem Vorentwurf geplant waren, wurde in dieser ersten Phase ein zurückhaltender Umgang mit den Planungs-Zwischenständen in der Öffentlichkeit geübt. Daher wurden diese vorläufigen Planungen nicht allen schulischen Gremien bzw. der örtlichen Presse vorgestellt.

Um dennoch die wesentlichen Nutzergruppen einzubeziehen, ging die Schule hier einen anderen Weg: Nachdem ein erster gesicherter Zwischenstand der Planung Ende Dezember erreicht war, wurde dieser durch die Schulleitung den Lehrern in der Fachkonferenz vorgestellt und auf Nachfragen erläutert. In einem weiteren Termin Anfang Mai wurden in der Lehrerfachkonferenz durch einen Teil des Planungsteams die wesentlichen Forschungsthemen und der vertiefte Planungstand dargestellt mit dem Ziel Unsicherheiten und Vorbehal-

te z.B. ggü. dem neuen Lüftungskonzept auszuräumen. Beide Termine waren jeweils mit dem Hinweis auf die Vorläufigkeit der Planung und mit der Bitte, diese nicht an die breite Öffentlichkeit weiterzugeben, verbunden.

Die Schulleitung und die Schulkindbetreuung waren zudem im Rahmen des integralen Planungsprozesses in die laufende Planung einbezogen. (vgl. hierzu auch Einbindung der Nutzer).

Erst wenn die Stadtverordnetenversammlung Mitte Juni zustimmend von den endgültigen Planungen Kenntnis genommen hat, ist geplant, die wesentlichen Bestandteile (Vorentwurf, Grundriss einer offenen Lernlandschaft, Energiekonzept etc.) öffentlich zu machen.

Hierzu werden im Laufe der nächsten Monate die offiziellen Gremien der Schule und die Eltern über die Pläne informiert. Außerdem soll ein gemeinsamer öffentlicher Termin stattfinden, über den dann auch die örtliche Presse berichtet, so dass die breite Öffentlichkeit davon Kenntnis nehmen kann.

Über den Fortgang der Planungen und den Bauprozess wird die Öffentlichkeit zukünftig fortlaufend über die Homepage der Stadt unterrichtet.