Lebenszyklusoptimierte Gebäudeplanung – Die Energiewende in der Immobilienwirtschaft

Dr. Henric Hahr
Geschäftsführer BAM Immobiliendienstleistungen GmbH
Wolframstraße 62, 70191 Stuttgart

Dipl.-Wirt.-Ing. Marie-Christine Geißler
Partnerschaftsmodelle / Projektkoordination HESMOS, BAM Deutschland AG
Mönchhaldenstraße 26, 70191 Stuttgart

1 Lebenszyklusoptimierte Gebäudeplanung

Der fortschreitende Klimawandel, Ressourcenverknappung sowie steigende Energie- und Rohstoffpreise erfordern ein nachhaltiges Planen, Bauen und Betreiben von Immobilien. Neben der Erfordernis einer hohen Energieeffizienz spielen zudem Kriterien zur Steigerung des Nutzerkomforts eine wichtige Rolle. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, verfolgen Unternehmen im Zuge von Public Private Partnership (PPP) Projekten und Partnerschaftsmodellen mit langen Laufzeiten bis zu 30 Jahren einen ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Ansatz zur Projektumsetzung. Bei diesem trifft ein **integrales Projektteam**, bestehend aus Architekten, Fachingenieuren, Fachplanern, Kalkulatoren sowie Immobilienmanagern, bereits in einer frühen Planungsphase wesentliche **effizienz-, komfort- und kostenbeeinflussende Entscheidungen** und trägt somit zur Entwicklung nachhaltiger und wirtschaftlicher Immobilien bei. Um diesen Ansatz durchgängig softwaretechnisch zu unterstützen entwickelt die BAM zusammen mit der TU Dresden und weiteren europäischen Unternehmen im Rahmen des **Europäischen Forschungsprojektes** „Holistic Energy Efficiency Simulation and Life Cycle Management of Public Use Facilities (**HESMOS**: 2010-2013)“ ein Integriertes Virtuelles Energielabor.

1.1 Prozesse zur Lebenszyklusoptimierung

Im Zuge von Partnerschaftsprojekten werden in einer frühen Planungsphase, innerhalb eines integralen Projektteams, lebenszyklusoptimierte Gebäudeplanungen entwickelt. Aus der Analyse und Auswertung der Prozesse dieser Projekte ging hervor, dass die einzelnen Projektbeteiligten im integralen Projektteam jeweils mit ihren, auf ihren speziellen Bereich zugeschnittenen, Softwaretools arbeiten und eine durchgängige Prozessunterstützung auf Basis von Gebäudemodellen (Building Information Model – BIM) nicht erfolgt. Dies ist aber gerade für einen effizienten Datenaustausch und eine zielgerichtete Projektumsetzung zwingend erforderlich.

Als Grundlage für die Entwicklung des Integrierten Virtuellen Energielabors (IVEL) im Rahmen des HESMOS Forschungsprojektes wurden die Prozesse innerhalb eines Partnerschaftsprojektes, die Rollen und Aufgaben der involvierten Projektbeteiligten sowie der notwendige Datenaustausch analysiert und nach dem Standard der „ISO 29481-1:2010 Building information modelling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format“ für die Planungsphase sowie Betriebs- und Optimierungsphase dokumentiert.

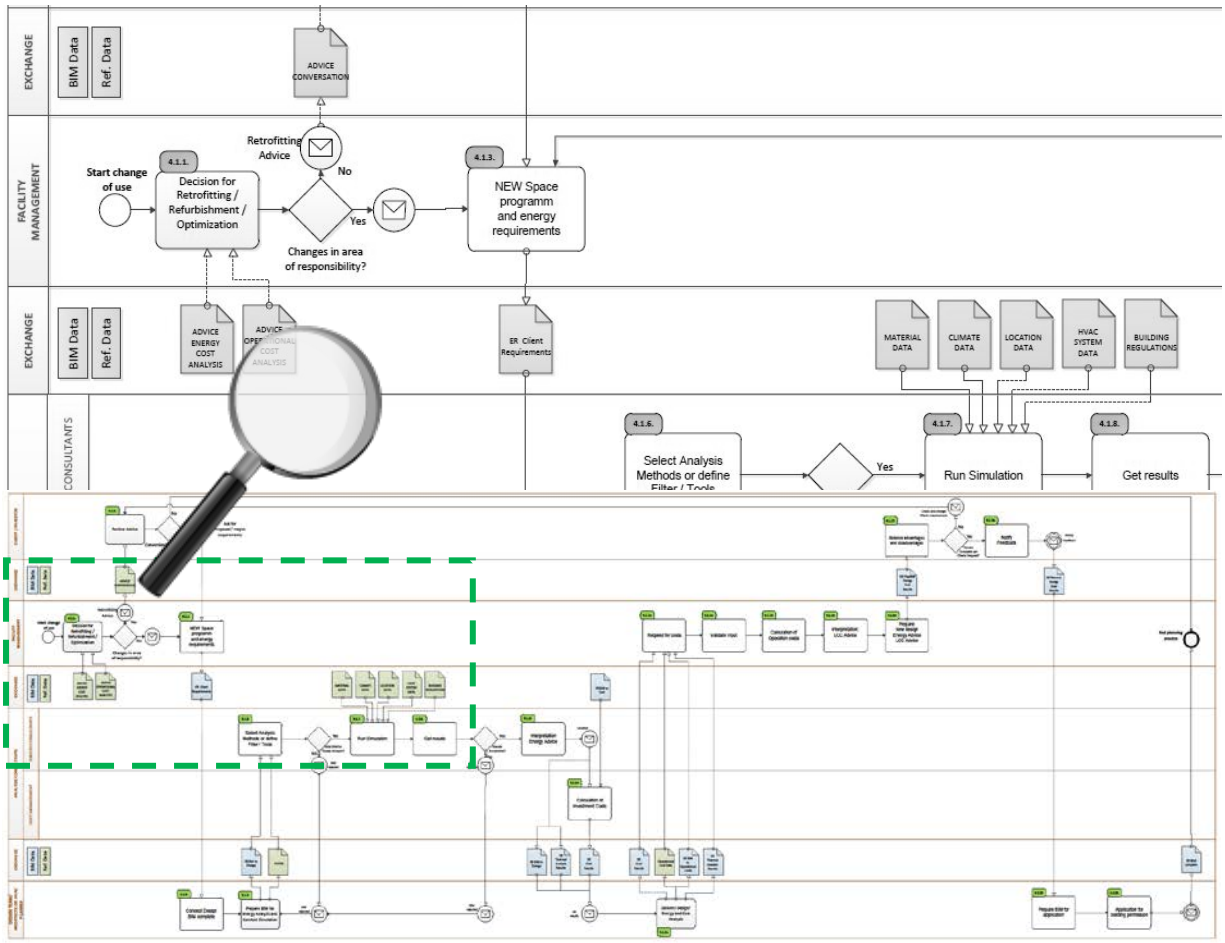

Abb. 1: Dokumentation der Prozesse über Information Delivery Manuals [2]

Im Folgenden wird ein Überblick der Anforderungen und Abläufe in den einzelnen Lebenszyklusphasen eines Projektes gegeben und auf die Entwicklungen im Rahmen des HESMOS Forschungsprojektes eingegangen.

1.1.1 Planungsphase

In einem iterativen Prozess während der Planungsphase eines Gebäudes strebt das in einem Projekt installierte integrale Planungsteam an, die Qualität des Gebäudes bezüglich der Nutzeranforderungen zu optimieren und gleichzeitig die Lebenszyklus-kosten möglichst zu minimieren.

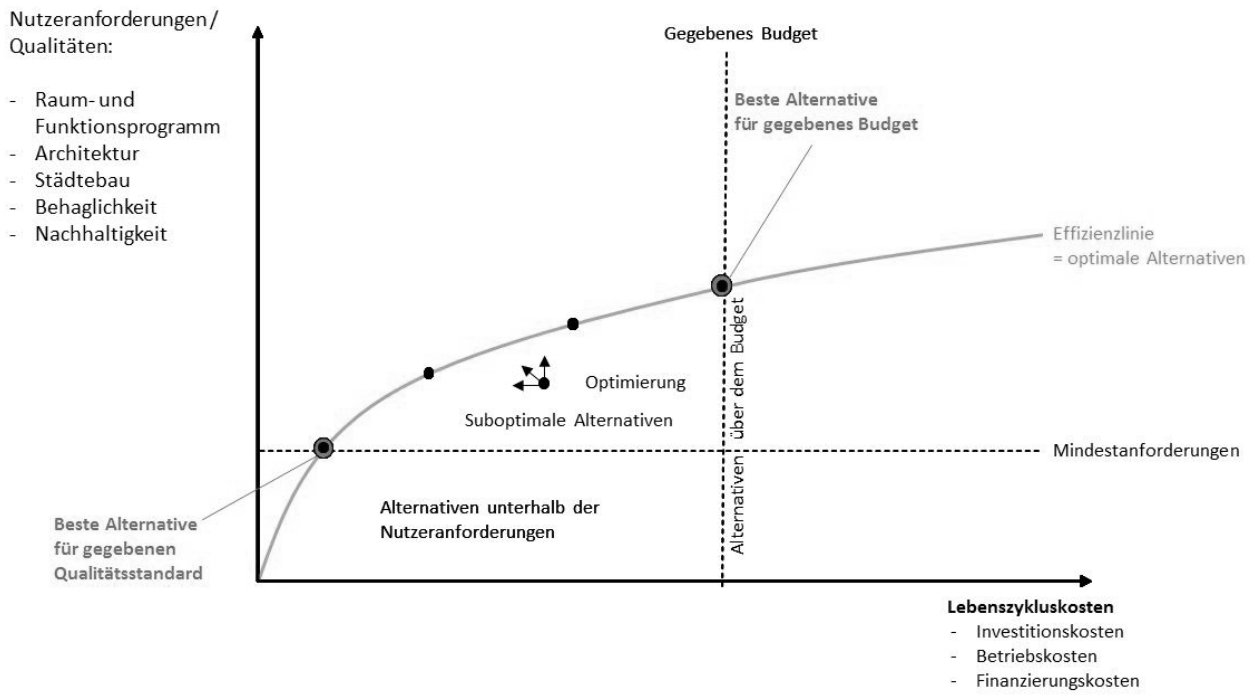

Abb. 2: Ziele integraler Planung

1.1.2 Umsetzungsphase

In der Umsetzungsphase werden die Daten im Gebäudemodell vervollständigt und nachgeführt. Das Gebäudemodell kann hier für Auswertungen, wie Bauablaufsimulationen, Leistungsstandbewertungen etc. genutzt werden. Durch das Standardaustauschformat Industry Foundation Classes (IFC), entwickelt von buildingSMART e.V., kann das Gebäudemodell in IFC zertifizierten Softwaretools weiterverwendet werden. Da das HESMOS Energielabor mit den relevanten Simulationen zum Variantenvergleich in der Planungsphase und dem Monitoring sowie Optimierungen während des laufenden Betriebes zum Einsatz kommt, wird im Folgenden nicht mehr näher auf die Umsetzungsphase eingegangen.

1.1.3 Betriebs- und Optimierungsphase

Innerhalb der Betriebsphase von Gebäuden müssen sämtliche anfallenden betriebsbezogenen Leistungen, wie z.B. Leistungen der Instandhaltung, Reinigung, Personalkosten für Hausmeisterleistungen oder Energieverbrauchsmengen und Kosten des Energiebezuges fortlaufend überprüft werden, um ein möglichst optimales Verhältnis von Betriebskosten zur Qualität der erbrachten Leistungen zu erzielen. Die Medienver- und -entsorgung ist einer der maßgebenden Kostentreiber der immobilienbezogenen Kosten. Beeinflusst werden kann der Medienverbrauch zum einen durch ein gezieltes Einwirken auf das Nutzerverhalten bzw. Steuerung des Nutzer-

verhaltens, zum anderen durch durchdachte Gebäudeplanung mit damit einhergehender optimierter Energiekonzeption.

Im Zuge des HESMOS-Projektes wird im Rahmen der Betriebsphase der Fokus im Speziellen auf die Gebäudeenergetik, Verbrauchsmengen und mögliche Optimierungs- und Einsparpotenziale gerichtet. In der Projektumsetzung erfolgt dies anhand eines Monitorings der Lüftungsanlagen eines real existierenden und in der Betriebsphase befindlichen Objektes.

Um Gebäude innerhalb der Betriebsphase zu überwachen und Soll-Ist Abweichungen zu vermeiden, ist es erforderlich, ein aktives Energiemanagement mit folgenden Prozessschritten einzusetzen:

- Auswertung von Mess- und Verbrauchsdaten mit automatischer Datenübernahme in die Datenbank des HESMOS Energielabors: Monatliche graphische Auswertung der Mess- und Verbrauchsdaten.
- Entwicklung möglicher Optimierungsmaßnahmen: Identifizierung von Optimierungsmaßnahmen z.B. der Steuerung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) mittels Mess-, Steuer-, Regeltechnik (MSR), Verbesserung des Nutzerverhaltens durch Trainingsmaßnahmen oder Umsetzung investiver (baulicher) Maßnahmen.
- Umsetzen identifizierter Einsparmaßnahmen: Vorlegen einer Strategie zur Energieeinsparung, welche Investitionsmaßnahmen (z.B. Optimierung der Fassade) und sofortige, direkt wirksame Verbesserungsmöglichkeiten (z.B. Optimierung der Steuerung der TGA) berücksichtigen.

1.2 Integriertes Virtuelles Energielabor

Das HESMOS Integrierte Virtuelle Energie Labor (IVEL) ist eine webbasierte Plattform, welche die integrale Planung und Entscheidungsfindung sowie das Energiemanagement über den kompletten Lebenszyklus von Partnerschaftsprojekten unterstützt.

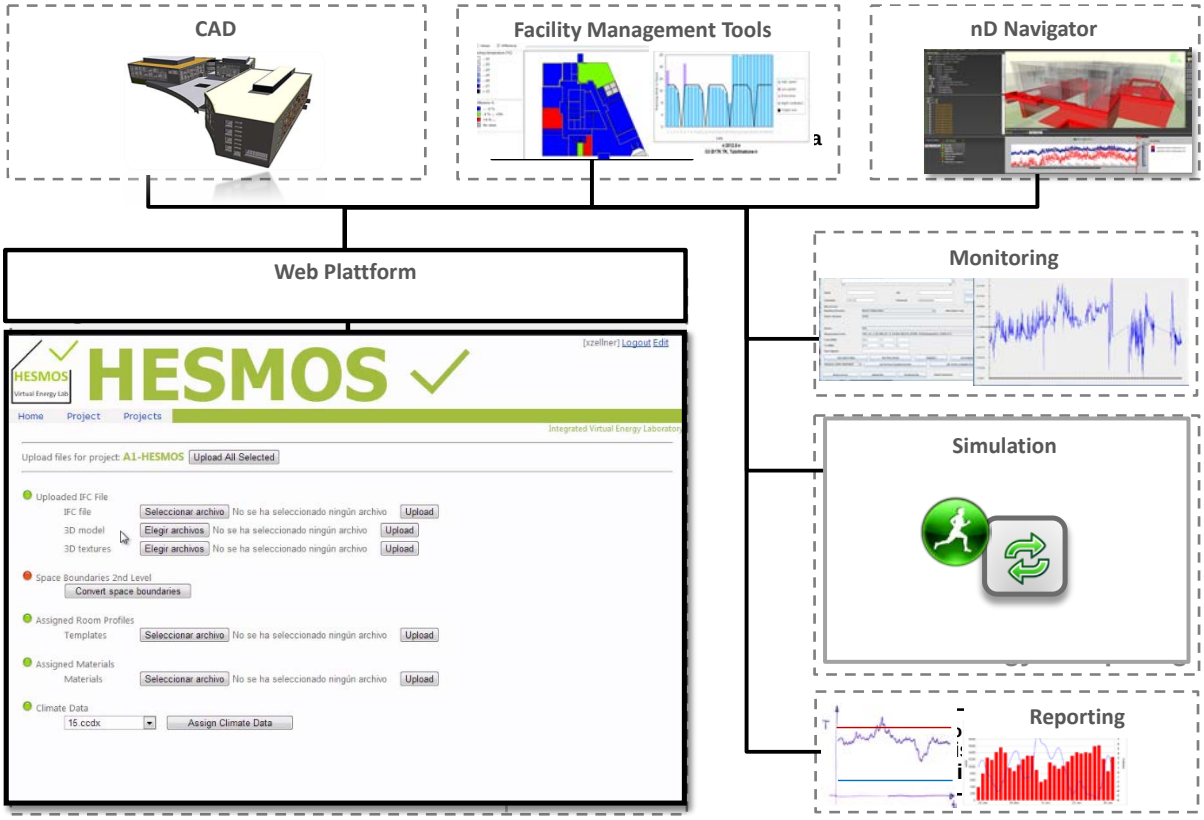

Abb. 3: HESMOS Virtuelles Energielabor und seine Komponenten

Das HESMOS IVEL setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen [3]:

- Planungs - Modul: Im CAD System werden Gebäudemodelle zum standardisierten Austausch von Modelldaten über das Industry Foundation Classes (IFC) Format als Grundlage für den Planungs-, Betriebs- und Optimierungsprozess erstellt.
- Simulations - Modul: Mit Hilfe der Simulationssoftwarelösungen NANDRAD bzw. RIUSKA, werden auf Basis des, um energierelevante Daten ergänzten Gebäudemodells, Energie bzw. Komfortkriterien simuliert.
- Monitoring - Modul: Mit dem Monitoring Modul erfolgt durch intelligente Abfragen von Sensordaten der Gebäudeautomation inkl. Fehleranalyse eine Überwachung des Gebäudes, sowie die Aufbereitung von übersichtlichen Grafiken und Wertetabellen mit Bezug zum im CAD System erstellten Gebäudemodell.
- Report & Analyse - Modul: Das Report und Analyse - Modul ermöglicht die Aufbereitung von Simulationsergebnissen als Basis einer Auswertung anhand von energierelevanten Leistungskennzahlen (Endenergie, Emissionen, Energie – und Investitionskosten).
- nD Navigator - Modul: Mittels eines nD Navigators kann das 3D Modell eines Gebäudes in einem komfortablen Viewer dargestellt werden. Nach Zuordnung von Nutzeranforderungen, Klimadaten und Konstruktionen mit bauphysikalischen Kennwerten zu den einzelnen Elementen im Geometriemodell, kann ein „energy-

enhanced Building Information Model (eeBIM)“ zur Simulation eingesetzt werden. Außerdem ermöglicht der nD Navigator die graphische Auswertung der aufbereiteten Ergebnisse über Grafiken und Wertetabellen mit Bezug zum Gebäudemodell.

– Facility Management - Modul: Das FM Modul stellt mit WebROOMEX ein webbasiertes Anforderungsmanagement zur Auswertung des thermischen Komforts zur Verfügung. Des Weiteren wurde RYHTI Metrix zur Auswertung der Leistung der Lüftungsanlagen entwickelt. Im Rahmen des HESMOS-Pilotprojektes wurde identifiziert, dass ein kontinuierliches Monitoring der Laufzeit und Wärmerückgewinnung von Lüftungsanlagen und die daraus resultierenden Optimierungsmöglichkeiten, das größte Energie- und CO_2 Einsparpotential liefern kann. Durch den vorgegebenen Terminrahmen des Forschungsprojektes wurde sich im HESMOS Energielabor auf die Auswertung des thermischen Komforts und die Leistung der Lüftungsanlagen fokussiert. Diese können in Folgeforschungsprojekten um zusätzliche Leistungskennzahlen ergänzt werden.

1.2.1 Virtuelles Energielabor in der Planungsphase

Innerhalb der Planungsphase wird dem integralen Planungsteam das im Planungsmodul modellierte und anhand des nD Navigators visuell dargestellte Gebäudemodell im HESMOS IVEL zur Verfügung gestellt.

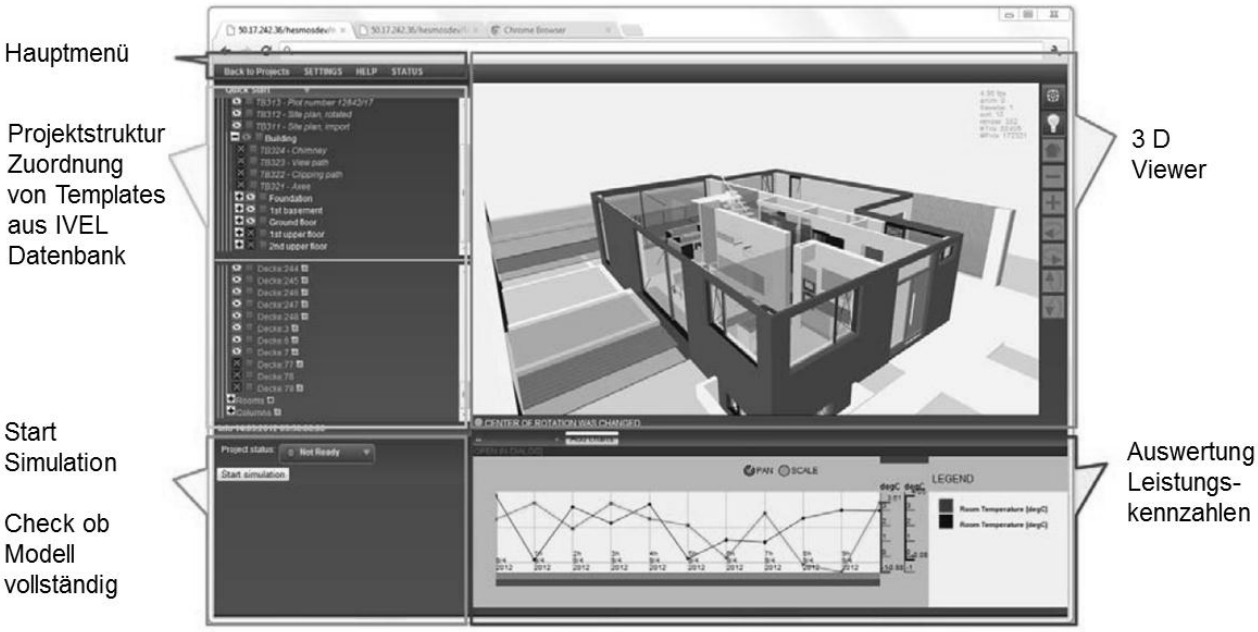

Abb. 4: nD Navigator, Nemetschek

Als Grundlage für die Gebäudesimulation und einen Vergleich von Planungsalternativen können im nD Navigator den Elementen des Gebäudemodells alle wesentlichen Eingangsdaten über nach EU Normen vordefinierten aber auch bezüglich speziellen

Nutzeranforderungen editierbaren Templates (Bauphysikalische Eigenschaften, Klimadaten, Nutzerprofile) zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Gebäudesimulation werden so aufbereitet, dass diese im nD Navigator durch Entscheidungsträger nach den Leistungskennzahlen Endenergie, CO_2 Emissionen, Thermischer Komfort, Investitions- und Energiekosten ausgewertet und verglichen werden können. Auf Basis der hinterlegten Datenbank mit vordefinierten Templates können in einer frühen Planungsphase auf schnellem Wege Planungsalternativen aufgestellt, nachfolgend simuliert und die Gebäudehülle bezüglich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften, der daraus hervorgehenden energetischen Verluste sowie ihrer Investitionskosten optimiert werden. Darüber hinaus kann die Einhaltung der raumklimatischen Nutzeranforderungen je Raum durch Auswertungen der Simulationen im nD Navigator auf einfache Weise überprüft werden.

Folgende Vorteile wurden im Rahmen der Umsetzung des Forschungsprojektes anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse für die Planungsphase [3] identifiziert:

Prozess: Zeit

- Schnellere Iterationen durch komfortable Datenbanken mit energierelevanten Basisdaten (bauphysikalische Werte, Nutzerprofile, Klimadaten).
- Schnellere Entscheidungsfindung bei verschiedenen Planungsalternativen.
- Effektivere Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten.
- Automatisiertes Anforderungsmanagement durch fest definierte Nutzeranforderungen.

Prozess: Qualität

- Transparenz in der Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten.
- Übersichtliche Nutzeroberfläche zur Analyse von Leistungskennzahlen.
- Verbesserter Informationsaustausch und dadurch verbessertes Informationsmanagement als Basis für Simulationen und Auswertungen.

Gebäude: Qualität

- Optimierung des Gebäudes hinsichtlich Energie, CO_2 und (Nutzer-)Komfort.

Gebäude: Kosten

- Identifikation von Alternativen mit dem Ziel eines optimalen Kosten - Qualitätsverhältnisses.

1.2.2 Virtuelles Energielabor in der Betriebs- und Optimierungsphase

In der Betriebs- und Optimierungsphase können aktuelle Sensordaten der Gebäudeautomation über das HESMOS IVEL webbasiert abgerufen werden und nach zu-

grunde gelegten Leistungskennzahlen wie z.B. Laufzeit und Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen sowie Einhaltung der thermischen Komfortanforderungen analysiert werden. Mit Hilfe von WebROOMEX aus dem FM Modul des HESMOS IVEL kann die Einhaltung des thermischen Komforts in den einzelnen Räumen via Webzugang über Farbschemata der Grundrisse ausgewertet werden.

Auf der WebROOMEX Oberfläche unter „Spaces – Räume“ kann der Gebäudemanager sich die digitalisierten Nutzeranforderungen (Minimum / Maximum Temperaturen, Zuluftraten) je Raum sowie die inneren Lasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung, welche als Grundlage für die Simulationen angesetzt wurden, anzeigen lassen. Unter „Space Groups – Nutzungsgruppen und Zonen“ ist farblich hinterlegt, welche Räume zu welcher Nutzungsgruppe nach DIN 277 gehören, bzw. welche Räume zu welcher TGA Zone gehören. Des Weiteren können unter „Comparison–Vergleich“, die Messdaten mit den Nutzeranforderungen bzw. Simulationsergebnissen verglichen werden. Dies ermöglicht dem Objektleiter zeitnah Abweichungen zu definierten Komfort- bzw. Nutzeranforderungen zu identifizieren.

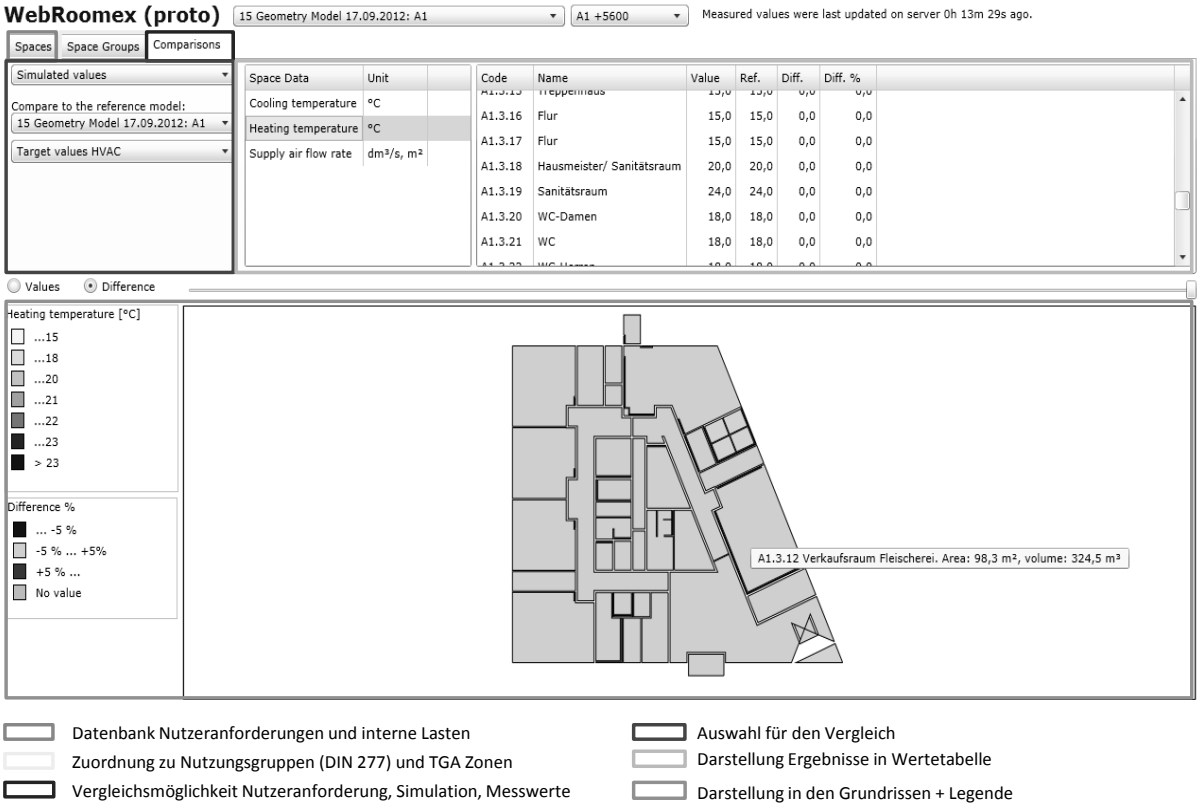

Abb. 5: Nutzeroberfläche WebROOMEX, Granlund Oy

Bei negativen Abweichungen können durch das Simulationswerkzeug RIUSKA Optimierungsalternativen der baulichen Rahmenbedingungen und des Energiekonzeptes untersucht werden. Hier macht sich die zugrunde gelegte, durchgängige modellbasierte Arbeitsweise bezahlt. Da bereits ein aktuelles Gebäudemodell besteht, müssen nicht zeitaufwändig notwendige Informationen für die Optimierungssimulati-

onen zusammengestellt werden. Somit kann ohne großen Aufwand untersucht werden, ob die nutzer- und komfortspezifischen Anforderungen unter angepassten Rahmenbedingungen wieder eingehalten werden, beispielsweise wenn Zuluftraten im Sommer erhöht werden oder zusätzliche Wärmedämmung eingeplant wird, um Komforttemperaturunterschreitungen im Winter zu vermeiden.

Mittels RYHTI Metrix erfolgt die Überwachung der Lüftungsanlagen zur Schaffung eines besseren Verständnisses der Parameter, welche die Leistung einer Lüftungsanlage zur Erreichung einer möglichst optimalen Luftqualität bei möglichst geringem Energieverbrauch und Energiekosten, beeinflussen können. Ziel der Überwachung ist es Leerlaufzeiten zu vermeiden und eine optimale zeitliche Steuerung der Lüftungsanlage zu erzielen bzw. den Grad der Wärmerückgewinnung optimal auszunutzen, um dadurch eine energieoptimale Regelung der Anlage zu erhalten sowie den thermischen Komfort zu verbessern.

Abb. 6: Nutzeroberfläche RYHTI Metrix, Granlund Oy [4]

Auf der in Abb. 6 dargestellten Weboberfläche kann der Gebäudemanager die Leistung der Lüftungsanlage überwachen. Auf der 1. Ebene der Nutzeroberfläche wird die Leistungskennzahl als Verhältnis der gemessenen Werte gegenüber den Zielwerten für das komplette Gebäude veröffentlicht und klassifiziert (gut = 90-100, zufriedenstellend =80-90, schlecht = unter 80). Diese wird als Mittelwert der beiden Kenn-

zahlen, der Effizienz der Laufzeit der Anlage (aktuelle Laufzeit zur optimalen Laufzeit) und der Effizienz der Wärmerückgewinnung (kalkulierte Rückwärmezahl auf Basis von Messwerten bezogen auf den Zielwert aus den Herstellerangaben), berechnet.

Des Weiteren kann der Trend dieser Leistungskennzahl über das Jahr hinweg nachverfolgt werden. Zudem wird eine Übersicht über die Lüftungsanlagen, welche sich nicht optimal verhalten, generiert. Die Auslöser für eine nicht zufriedenstellende Leistung der Lüftungsanlagen, können auf der 2. Ebene der Weboberfläche überprüft werden. Hier können die Kennzahlen Laufzeit der Lüftungsanlagen und Wärmerückgewinnung getrennt voneinander genau untersucht werden. Auf der 3. Ebene der Weboberfläche können die Messdaten mit Hilfe von Zeitreihenplots ausgewertet werden. In den Grafiken wird der Zielwert immer als Nulllinie dargestellt. Somit kann schnell erkannt werden, ob die Lüftungsanlage länger läuft als geplant oder die Rückwärmezahl durch zu hohe Luftvolumenströme, Leckagen, Druckverluste etc. nicht eingehalten werden kann.

Bei Identifizierung von Abweichungen zur optimalen Anlagenlaufzeit oder von der Rückwärmezahl aus den Herstellerangaben, können mittels des Simulationswerkzeugs RIUSKA auf Basis des zugrunde gelegten Gebäudemodells Optimierungsalternativen simuliert werden. Hierdurch kann verifiziert werden, wie viel Energie und CO_2 – Emissionen durch die jeweilig angesetzte Optimierungsalternative eingespart werden kann.

Folgende Vorteile wurden im Rahmen der Umsetzung des Forschungsprojektes anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse für die Betriebs- und Optimierungsphase [3] identifiziert:

Prozess: Zeit

- Schnellerer Zugang zu aktuellen Gebäudedaten und deren Nutzung.
- Möglichkeit des Webzugriffs zu aktuellen Sensordaten im Objekt.
- Reduzierter Aufwand für die Weiterentwicklung des definierten Anforderungsmanagements.
- Automatische Aufbereitung von Daten für zeitnahe gebäudebezogene Analysen.

Prozess: Qualität

- Vermeidung von Beschwerden durch kontinuierliches Monitoring der definierten Nutzeranforderungen.
- Unmittelbare Reaktion des Immobilienbetreibers auf Abweichungen durch übersichtlichere Analysemöglichkeiten.

Gebäude: Qualität

- Optimierung der Performance von Lüftungsanlagen und des Nutzerverhaltens.
- Kontinuierliches Energiemanagement bei Gewährleistung des Nutzerkomforts.

Gebäude: Kosten

- Einsparung von Energiekosten.

2 Energieeffiziente Konzepte

Um der europäischen Gebäuderichtlinie „Energy Performance of Building Directive (EPBD) 2010“ [6] zu entsprechen, welche fordert, dass nach dem 31. Dezember 2018 neue Gebäude, die von Behörden als Eigentümer genutzt werden Niedrigstenergiegebäude sind und nach dem 31. Dezember 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude sind, entwickelte das Ingenieurbüro Simon in Zusammenarbeit mit J.L. Effiziente Gebäude GmbH und der BAM Deutschland AG ein innovatives Raumkonditionierungssystem - die Thermo Aktive Klimadecke (TAK).

Durch dieses Raumkonditionierungssystem und dessen Umsetzung im Zusammenhang mit einer integralen Projektplanung kann den Anforderungen an nachhaltige Gebäude und weiteren Erhöhungen des passiven Wärmeschutzes, des Anteils an erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch und den Anforderungen an eine technisch kontrollierte Lüftung, bereits zum heutigen Zeitpunkt entsprochen werden.

2.1 Thermo Aktive Klimadecke

Bei der Thermoaktive Klimadecke (kurz „TAK“) handelt es sich um ein Raumkonditionierungssystem im Niedrigsttemperaturbetrieb mit kontrollierter Lüftung. Wesentliche Vorteile zur Reduzierung des Energiebedarfs ergeben sich durch:

- Niedrigsttemperatursystem (geringe Verluste zwischen End- und Nutzenergie).
- Verzicht auf Lufterhitzer und Kältemaschinen.
- Horizontalverschiebung der Heiz- u. Kühlwasservor- und -rücklauftemperaturen.

Bedingt durch den geringen erforderlichen Gesamtenergiebedarf und den hohen Anteil an regenerativen und Umweltenergien ist auch der CO_2 - „Footprint“ des Gebäudes sehr gering.

Gebäude mit integriertem TAK-Raumkonditionierungssystem ermöglichen aber nicht nur Energie- und CO_2- Einsparungen, sondern gewährleisten auch die vollständige

Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen der Nutzer gemäß DIN EN 15251 und DIN EN ISO 7730:

- behagliche Raumtemperaturen
- geringe Strahlungstemperaturasymmetrien
- zugfreie Frischluftzufuhr

Das TAK-System ist ein sehr flexibles System und bietet maximale Flächeneffizienz durch:

- Hohe Variabilität in der Grundrissorganisation / Trennwandstellung
- Entfall von statischen Heizkörpern
- Glatte Deckenuntersichten

Gebäudekonzepte mit der TAK werden durch integrale Planung hinsichtlich der Lebenszykluskosten optimiert, d.h.

- geringe Investitionskosten
- sehr niedrige Verbrauchswerte / Verbrauchskosten
- geringe Wartungs- und Betriebskosten

Darüber hinaus wird Wert auf die systemimmanente Erfüllung wesentlicher Kriterien nach dem Deutschen Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und anderen Zertifizierungssystemen wie z.B. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) etc. gelegt.

In den folgenden Abschnitten wird das System für Heizen, Kühlen und Lüften, sowie die unterschiedlichen Systemvarianten beschrieben.

2.1.1 Heizen / Kühlen mit der TAK

Die Raumtemperierung mit dem TAK-System erfolgt primär mittels Betonkernaktivierung und einem zusätzlich in die Stahlbetondecke integrierten Lüftungssystem. Im Winter dient die Stahlbetondecke als Wärmespeicher für die Beheizung der Räume und im Sommer als Kältespeicher zur Kühlung.

Heizung über Thermoaktive Decke

Die Heizung erfolgt über Baukernaktivierung im Niedrigsttemperatursystem mit einer Vorlauftemperatur bis 28 °C um die geforderten operativen Raumtemperaturen von ca. 22 °C im Winter einzuhalten. Durch die sehr geringen Temperaturdifferenzen (Vorlauftemperatur, Heiz/Kühlwassertemperatur) wird Wärme über Wärmeübertragung durch das Heizwasser von wärmeren Räumen in kühlere Räume verschoben. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der Heiz- und Kühllast (je nach Ausrichtung des Gebäudes 20...30% Einsparung) [5]. Die gesamte Heizlast kann durch die

TAK abgedeckt werden. Optional können wegen der Trägheit des Systems zusätzlich kleine Heizflächen angeordnet werden, um eine individuelle Einzelraumregelung zu ermöglichen.

Für die Energieerzeugung wird ein nachhaltiges Gesamtsystem vorgesehen, welches einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien erfordert und durch folgende Energieträger abgedeckt werden kann:

- Erdkollektor / Energiepfähle
- Erdwärmesonden mit Wärmepumpen
- Warmwasser-Akquifer (Tiefengeothermie) mit Wärmepumpen
- Adiabatische Kühlung
- Fernwärme über Kraft-Wärmekopplung
- Blockheizkraftwerk (BHKW)

Natürliche Kühlung über die Thermoaktive Decke

Wegen der hohen Wärmedämmung moderner Gebäude und der beträchtlichen inneren Wärmelasten durch Beleuchtung, Arbeitsmittel und Nutzer, ist eine Kühlung des Gebäudes und seiner Nutzungseinrichtungen aus physiologischen und ökonomischen Gründen notwendig [5]. Die Kühlung mit Vorlauftemperaturen bis 18 °C erfolgt ausschließlich mittels regenerativer Energie. Die Grundlast für die Kühlung des umlaufenden Wassers in den thermoaktiven Bauteilen wird mit einem adiabatischen Rückkühlwerk realisiert. Durch die erzwungene Verdunstung von Wasser kann das Medium ohne weitere Zuführung von Energie (adiabatisch) gegenüber der Umgebungsluft abgekühlt werden. Das Rückkühlwerk weist durch dieses Verfahren einen um den Faktor 100 höheren COP-Wert (Coefficient of Performance) auf als eine klassische Kältemaschine [5].

2.1.2 Lüften mit der TAK

Lüftung

Zur Reduzierung der Wärmeverluste durch einen unkontrollierten Luftwechsel (Fensterlüftung) und zur Verbesserung der hygienisch- klimatischen Verhältnisse, werden die Gebäude mit maschinellen Lüftungsanlagen ausgestattet. Die Lüftungsgeräte werden mit einer Wärmerückgewinnung mit Plattenwärmetauscher und einer Rückwärmzahl > 85% ausgeführt. Die Nachwärmung / Nachkühlung erfolgt raumtemperaturgeregelt durch die aktivierte Decke (TAD) des jeweiligen Raumes, deshalb sind keine Lufterhitzer bzw. Luftkühler erforderlich. Einzelne Raumgruppen (Arbeits- oder Mietbereiche) erhalten Volumenstromregler und / oder motorischen Absperrklappen, die entsprechend Präsenz, CO_2 oder Feuchtedifferenz geregelt werden. Das Konzept führt zu:

- sehr niedriger zugfreier Luftaustrittsgeschwindigkeit
- einem bis zu 10-fachen Luftwechsel je Stunde
- 100 % Frischluftzufuhr auch für Gebäude mit sehr großen Nutzungstiefen
- Wärmerückgewinnung mit Plattenwärmetauscher und einer Rückwärmezahl
- > 85 %

2.1.3 TAK Systemvarianten

Das TAK-System kann in 3 Varianten realisiert werden.

TAK-Standard

Zum einen das bereits patentierte TAK-Standard-System, bei dem die Hauptzuluftrohre für die Lüftung sowie die Hauptwasserverrohrung für den Heizwasser- und Kühlwasservor- und -rücklauf im abgekofferten Flurbereich unterhalb der Stahlbetondecke untergebracht sind. Vorteile dieser Variante sind:

- Geringe Gesamtdeckenaufbauhöhe (Stahlbetondeckenstärke ca. 30 cm + Hohlraumboden)
- Niedrige Investitionskosten

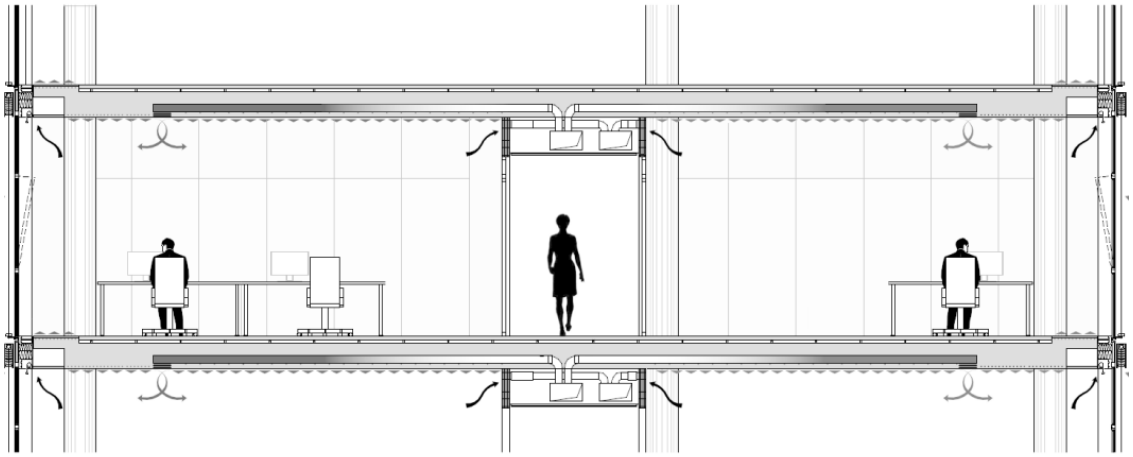

Abb. 7: TAK-Standard

Die beiden anderen Varianten sind die TAK-Integral in Stahlbetondecken (Mehrfelddecken mit Mittelstützenreihe) und die TAK-Integral in Spannbetondecken. Für beide Systemvarianten hat die BAM Deutschland AG in 2012 den Gebrauchsmusterschutz erhalten.

TAK-Integral in Stahlbetondecken

Bei der TAK-Integral in Stahlbetondecken ist das TAK-System in Mehrfelddecken mit Mittelstützenreihe integriert und weist folgende Vorteile auf:

- Insgesamt glatt durchlaufende Deckenuntersicht
- Stahlbetondeckenstärke ca. 32 cm + Hohlraumboden
- Erhöhte Flexibilität hinsichtlich der Büroraumnutzung

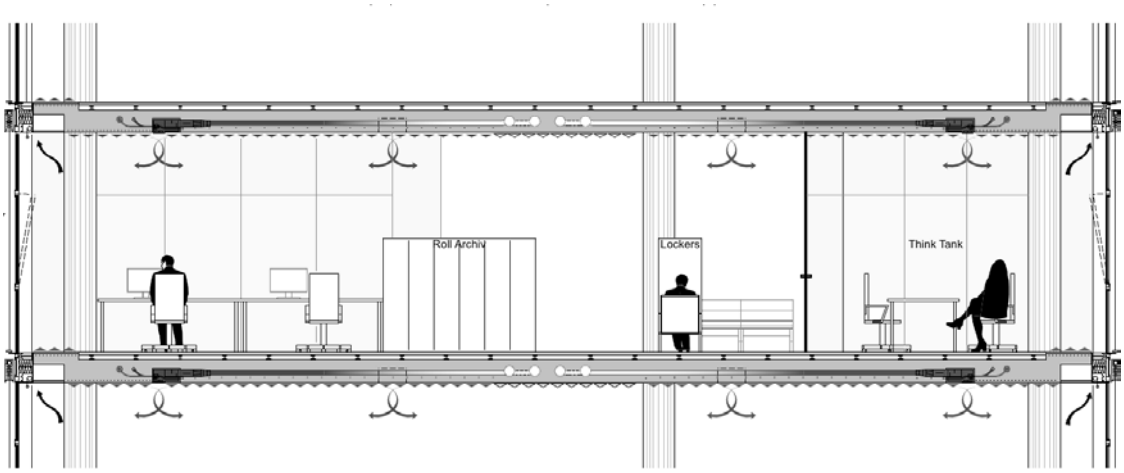

Abb. 8: TAK-Integral in Stahlbeton (Mehrfelddecke mit Mittelstützenreihe)

TAK-Integral in Spannbetondecken

Bei dieser Variante ist das gesamte TAK-System in Spannbetondecke integriert und bietet folgende Vorteile:

- Insgesamt glatt durchlaufende Deckenuntersicht
- Maximale Flexibilität durch stützenfreie Spannweiten bis zu ca. 18 m
- Spannbetondeckenstärke ca. 40 cm + Hohlraumboden
- Keine störenden Elemente im Raum → flexible Wandstellungen möglich

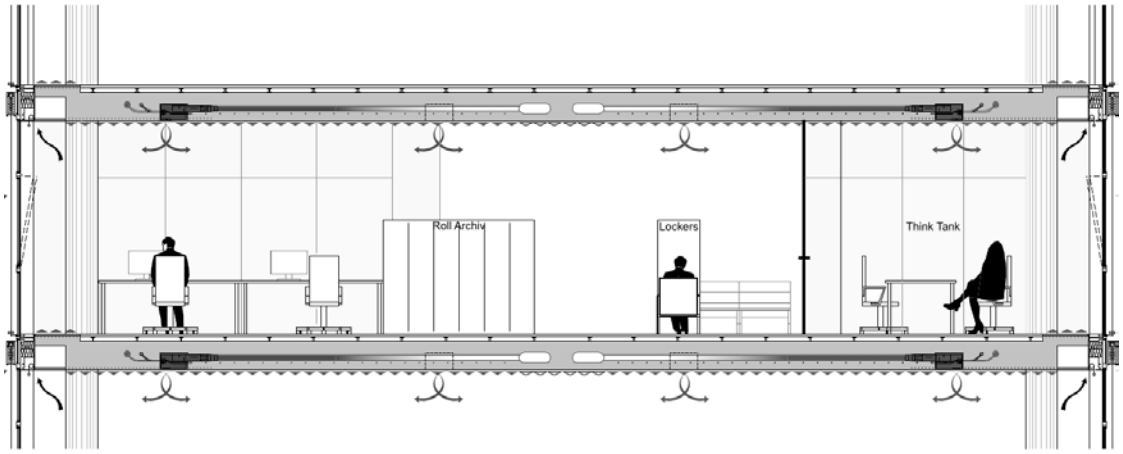

Abb. 9: TAK-Integral in Spannbetondecke

2.2 Lebenszyklusoptimierte Referenzprojekte

Eines der Pilotprojekte des HESMOS Forschungsprojektes, bei denen das Integrierte Virtuelle Energielabor für Auswertungen eingesetzt wird, ist die Alfons-Kern-Schule in Pforzheim. Dieses Projekt wurde mit der „Thermo Aktiven Klimadecke (TAK)“ als PPP Projekt realisiert. Ein weiteres Projekt, bei dem das effiziente Raumkonditionierungssystem zum Einsatz kommt, ist das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Berlin.

2.2.1 Alfons-Kern-Schule Pforzheim

Bei Planung, Bau und Betrieb der Alfons-Kern-Schule in Pforzheim wurde besonders auf die städtebauliche Integration, sowie den Einsatz von energie- und wassersparenden Lösungen, Wert gelegt. Die Entwurfsplanung der Alfons-Kern-Schule wurde von der agn Niederberghaus & Partner GmbH übernommen, die Ausführungsplanung und Realisierung von der BAM Deutschland AG und der Betrieb über 30 Jahre von der BAM Immobilien-Dienstleistungen GmbH. Im Jahr 2009 wurde die AKS Pforzheim mit dem Innovationspreis des Bundesverbandes PPP ausgezeichnet.

Abb. 10: Alfons-Kern-Schule Pforzheim

Bei der TGA - Planung setzten die Verantwortlichen auf das effiziente TAK-Standardsystem zur Heizung, Kühlung und Belüftung der Berufsschule. Die Wärmebereitstellung erfolgt über Fernwärme für Heizung und Warmwasserspitzen, sowie Solarenergie für die kontinuierliche Warmwasserbereitstellung. Die Kühlung erfolgt über ein adiabates Rückkühlwerk und über einen Erdkollektor zur Abdeckung von Spitzenlasten. Das effiziente Konzept wird durch helligkeitsabhängige Konstant-Lichtregelung sowie sonnenstandsabhängige Verschattung ergänzt [7].

2.2.2 Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin

Mit dem Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) Berlin wird ein energetisch optimiertes Gebäude mit hoher architektonischer Qualität und hoher Innenraumqualität im Projektteam aus dem Architekturbüro Heinle Wischer und Partner, der BAM Deutschland AG und der BAM Immobilien-Dienstleistungen GmbH geplant, umgesetzt und betrieben. Das Gebäude ist im Gold-Standard nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) vorzertifiziert und hat im Jahr 2012 den Innovationspreis des Bundesverbandes PPP erhalten.

Abb. 11: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Heinle Wischer und Partner)

Beim Neubau des BMBF wird das TAK-System in Kombination mit einzelraumregulierbaren Randzonenelementen zum Einsatz gebracht. Zur Eigenerzeugung von Strom und vielseitig nutzbarer Hochtemperatur-Wärmeenergie, wird ein Brennstoffzellen-Kraftwerk der Fuel Cell Energy Solutions GmbH unter Beteiligung der Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V. installiert. Gekühlt wird das Gebäude über freie Kühlung in der Übergangszeit sowie mit Wärmepumpen im Kühlwasserkreislauf. Ergänzt wird das Konzept durch Photovoltaikelemente auf den Dächern und an der Fassade, sowie LED Technologie für die Beleuchtung. Die effiziente Energieversorgung erfolgt über die Vernetzung der einzelnen Anlagenkomponenten durch ein Smart Grid [8].

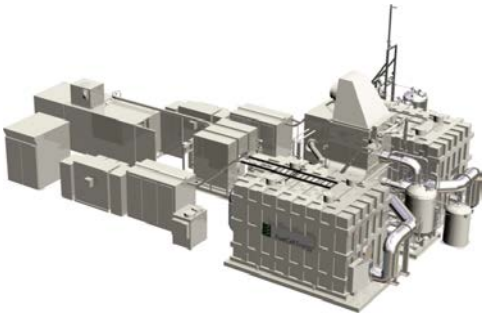

Abb. 12: Fuel Cell Module, Copyright 2012. Fuel Cell Energy, Inc.

Literatur

Projektberichte

[1] Bort Bastian, Geißler Marie-Christine: Lebenszyklusorientierte Optimierung von PPP Projekten - Life Cycle oriented optimization of PPP projects, Tagungsband 2. Fachkonferenz Bauinformatik – Baupraxis, 2011

[2] Bort Bastian, Geißler Marie-Christine, Guruz Romy, HESMOS Deliverable D1.1: Gap Analysis, Use Case Scenarios and Requirements Specification, © HESMOS Consortium, Brussels, 2011

[3] Bort Bastian, Geißler Marie-Christine, Jonas Friedrich: HESMOS Deliverable D9.2.1: Recording evidence on benefits and costs, © HESMOS Consortium, Brussels, 2012

[4] Laine Tuomas, Forns-Samso Francisco, Kukkonen Eino, Geißler Marie-Christine.: HESMOS Deliverable D6.3: Web service and interface client for interoperable energy management support, © HESMOS Consortium, Brussels, 2013

Planungsgrundsätze TAK-System

[5] Simon, Holger, Technisches Konzept für Thermoaktive Decken mit kontrollierter Lüftung, Grundsätze zur TAK Planung, Teil 1, nicht veröffentlicht, 2012

Normen

[6] DIRECTIVE 2010/31/EU of the European parliament and of the council on the energy performance of buildings, 19 May 2010

Internetveröffentlichungen

[7] BACnet / IP-Netzwerk in der Berufsschule, http://www.hoerburger.de/reporter/articles/article59/files/Alfons-Kern-Schule%20-%20Pressebericht.pdf, 2010

[8] FuelCell Energy Solutions erhält den ersten Auftrag für ein stationäres Brennstoffzellen-Kraftwerk von der BAM Deutschland, http://www.ikts.fraunhofer.de/de/pressemedien/pressemitteilungen/FuelCell_Energy_Solutions.html, 2012