



▲ Luftaufnahme des Schul- und Sportzentrums Lohr am Main

Foto: Ernst Huber

Sanierung Schul- und Sportzentrum Lohr am Main

Gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation

von Gernot Haslinger und Moritz Wagner

Der Zweckverband Schul- und Sportzentrum Lohr am Main plant die Sanierung des Schul- und Sportzentrums Nägelsee mit dem Ziel, zukünftig einen CO₂-neutralen Gebäudebetrieb sicherzustellen, Barrierefreiheit zu erlangen und den heutigen pädagogischen Standards zu entsprechen. Das etwa 25.000 m² große Areal (NF) beinhaltet ein Schulgebäude (Mittelschule und Gymnasium) sowie eine Dreifachturnhalle mit angeschlossenem Hallenbad und wurde 1970 bis 1978 im Kasseler Schulmodell errichtet.

Unter dem Motto „vom Energiefresser zum sparsamen Klassenprimus“ soll die Sanierung bis Ende 2017 in fünf Bauabschnitten erfolgen. Neben der thermischen Ertüchtigung der Gebäudehülle wird die bisherige Energieversorgung durch innovativste Technologien ersetzt. Hierfür geeignete Konzepte und Systeme wurden in einem integralen Planungsprozess auf Grundlage von Machbarkeitsstudien ausgewählt. Mit Hilfe von gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulationen wurden die komplexen Wechselwirkungen zwischen Klima, Nutzer, Gebäude und Anlagentechnik

überprüft sowie das geplante Energiekonzept in einem iterativen Planungsprozess optimiert.

Ausgangsbasis Bestandssituation

Nach den Ergebnissen aus /1/ werden derzeit etwa 8 km² Rapsfelder benötigt, um das Areal für ein Jahr mit Wärme und Strom zu versorgen. In den vergangenen 30 Jahren wurde für die Grundversorgung mit Gas, Wasser und Strom ein zweistelliger Millionenbetrag benötigt. Jährlich ist ein sechstelliger Betrag für Reparaturen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik erforderlich.

Aufgabenstellung

Das Hauptziel der Sanierung ist anhand der zuvor genannten Zahlen offensichtlich. Doch der Zweckverband geht mit dem gesamten Planungsteam einen Schritt weiter und wird mit der Generalsanierung ein Zeichen setzen. So soll gezeigt werden, wie die gegenwärtigen Energieprobleme auf dem eigenen Areal gelöst werden und der Bezug externer Ressourcen minimiert – im besten Fall vermieden – wird.

Doch wie wird ein visionäres Gebäude- und Energiekonzept für eine Schulsanierung, dessen Gesamtergebnis aus verringerter CO₂-Emission, hoher Effizienz mit niedrigstem fossilen Primärenergieanteil sowie höchstem regenerativen Energieanteil resultiert, greif- und beherrschbar?

Numerische Berechnungen

Die raumklimatischen und energetischen Verhältnisse umbauter Räume hängen von einer Vielzahl bekannter und ebenso unbekannter Randbedingungen ab. Diese reichen vom makro- und mikroklimatischen Standort des Raumes, von der Beschaffenheit der Raumschließungsflächen über die anlagentechnische und regelungstechnische Versorgung bis hin zur eigentlichen Nutzung. Zeitlich sehr stark variierende und meist nur schwer vorhersagbare Randbedingungen führen zu einem komplexen dynamischen System, was mit konventionellen Planungsinstrumenten nur näherungsweise und meist unzureichend beschrieben werden kann. Im Gegensatz dazu eignet sich die moderne, innovative Simulationstechnik hervorragend, um einzelne Maßnahmen in Hinblick auf ihre Wirksamkeit realistisch zu bewerten.

Um die Auswirkungen der hoch gesteckten Projektziele auf die Planung greifbar zu machen, waren innovative Planungswerkzeuge erforderlich, mit denen die zeitliche Dynamik sowie die wechselseitige Beeinflussung von baulichen und anlagentechnischen Komponenten realitätsnah abgebildet werden konnte. So wurde der Gebäudeentwurfsprozess auf Grundlage gekoppelter, stündlich dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen auf Areal-, Gebäude- sowie Raumebene unterstützt und optimiert /2/.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass trotz der mathematischen Präzision der den Simula-

TABELLE 1: GEGENÜBERSTELLUNG BESTAND UND PLANUNG

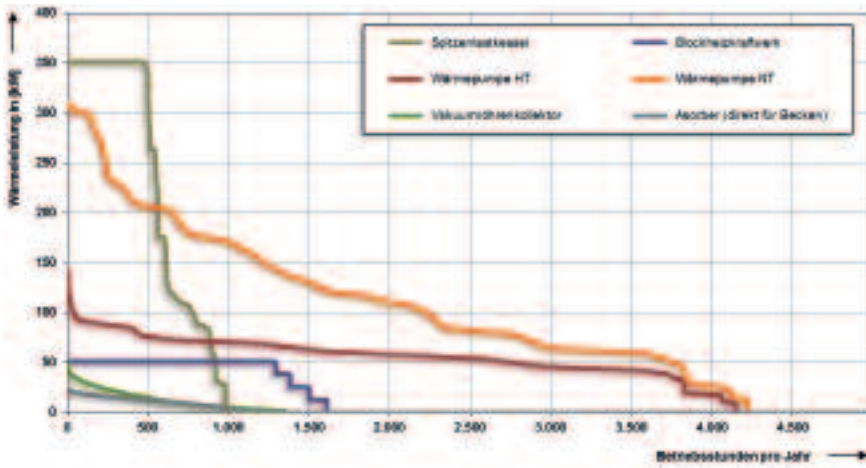
Bereich	Bestand	Planungsvariante
Thermische Hülle	Transparente Bauteile U-Wert Fenster: 3,0 bis 4,2 W/m ² K (thermisch nicht getrennt) Opake Bauteile U-Wert Fassade: 2,00 W/m ² K (4cm Mineralfaserdämmung) Wärmebrückenbehaftet Spez. Transmissionswärmeverlust H _T - Sportzentrum: 1,17 W/m ² K - Schulzentrum: 1,11 W/m ² K	Transparente Bauteile U-Wert Fenster: 0,7 W/m ² K (thermisch getrennt) Opake Bauteile U-Wert Fassade: 0,15 W/m ² K (20cm Wärmedämmung) Wärmebrückenfrei Spez. Transmissionswärmeverlust H _T - Sportzentrum: 0,31 W/m ² K - Schulzentrum: 0,33 W/m ² K
Luftdichtheit	hohe Gebäudeundichtigkeit	- dichte Gebäudehülle
Beleuchtung	Hoher Stromverbrauch durch Leuchtmittel und fehlender Regelung	Einsatz effizienter Leuchtmittel in Kombination mit tageslichtabhängiger Regelung und optimierter Sonnenschutzsteuerung
Belüftung	Hoher Stromverbrauch durch Ventilatoren und unregelmäßigem Betrieb der RLT-Anlagen (konstant hoher Luftwechsel bei stark variierender Belegung in den Klassenzimmern)	Kontrollierte Be- und Entlüftung durch Kombination aus zentralen und dezentralen RLT-Anlagen mit bedarfsgeregelter Betriebsweise (Präsenz + CO ₂)
Wärmeerzeuger	3 Gaskessel à 3.000 kW (Ganzjahresbetrieb) - hohe Abgasverluste - hoher Energieverbrauch der Umwälzpumpen - übermäßige Verteilverluste durch hohe Vorlauftemperatur und geringen Wärmedämmstandard der Verteilleitungen	Hochtemperaturnetz (HT) - 2 Wärmepumpen à 50 kWth + Heißgas - 1 Blockheizkraftwerk mit 50 kWth Niedertemperaturnetz (NT) - 4 Wärmepumpen à 70 kWth Backup (HT und NT) 1 Gas-Spitzenlastkessel mit 350 kWth
Energierückgewinnung	keine Energierückgewinnung	Wärme-, Kälte- und Enthalpierückgewinnung - RLT-Anlagen - Abwasser - Serverabwärme - Erdwärme (Regeneration Eisspeicher)
Brauchwasser	Konventionell Bereitstellung mit hohem Temperaturniveau	Energiesparsamste Wassertechnik durch Einsatz von Diaphragmalyse
Speicherung	keine Wärmespeicherung	Kurzzeitspeicher - 130 m ³ Schichtspeicher Langzeitspeicher - 1.500 m ³ Eisspeicher
Solarenergie	keine Nutzung von Solarenergie	Solarthermie - Umweltabsorber - 560 kWth - Vakuumröhrenkollektoren - 60 kWth Solarstrom - Photovoltaikanlage - 350 kWp (inkl. Fassadenintegriert)

tionsprogrammen zugrunde liegenden Algorithmen numerische Berechnungsverfahren immer nur Näherungsergebnisse liefern können. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt dabei von den verwendeten physikalisch-mathematischen Modellen, den angesetzten Berechnungsparametern und vor allem von den angenommenen Randbedingungen ab. Bestehen Unschärfen bei der Festlegung und Ableitung dieser Randbedingungen, so be-

stimmen diese den Grad der Verlässlichkeit der Berechnungsergebnisse. Die größte Unwägbarkeit dabei ist neben den angesetzten Außenklimadaten das zukünftige Nutzerverhalten. Auch hier gilt: Umso detaillierter und komplexer die Fragestellung ist, desto genauer müssen die Randbedingungen formuliert werden und desto mehr Erfahrung sollte derjenige haben, der die Simulation durchführt.

Ergebnisse

In der Tabelle ist die Bestandssituation der simulationsgestützten Planungsvariante gegenübergestellt. Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz von erneuerbaren Energien im Gebäudesektor ist die Minimierung des Heizwärme-, des Kühlkälte- und des Strombedarfs. Dies ist passiv wie aktiv durch bauliche und anlagentechnische Maßnahmen realisierbar. Eine hervorragende Dämmung



PROJEKTBETEILIGTE

Bauherr

Zweckverband Schul- und Sportzentrum Lohr am Main

Architekt

Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

TGA-Planer

REA Beratende Ingenieure GmbH, Würzburg

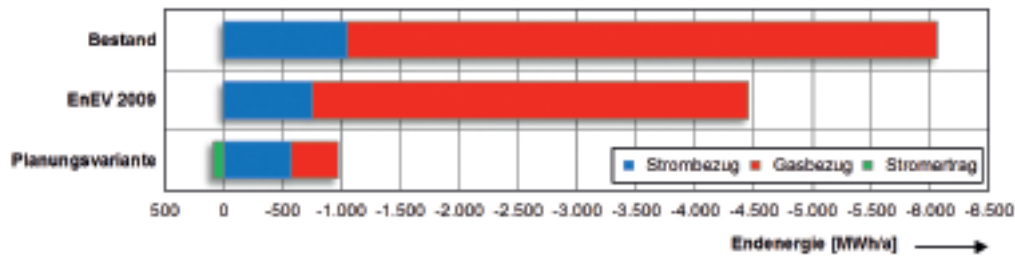
Simulationen

Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH, Nürnberg

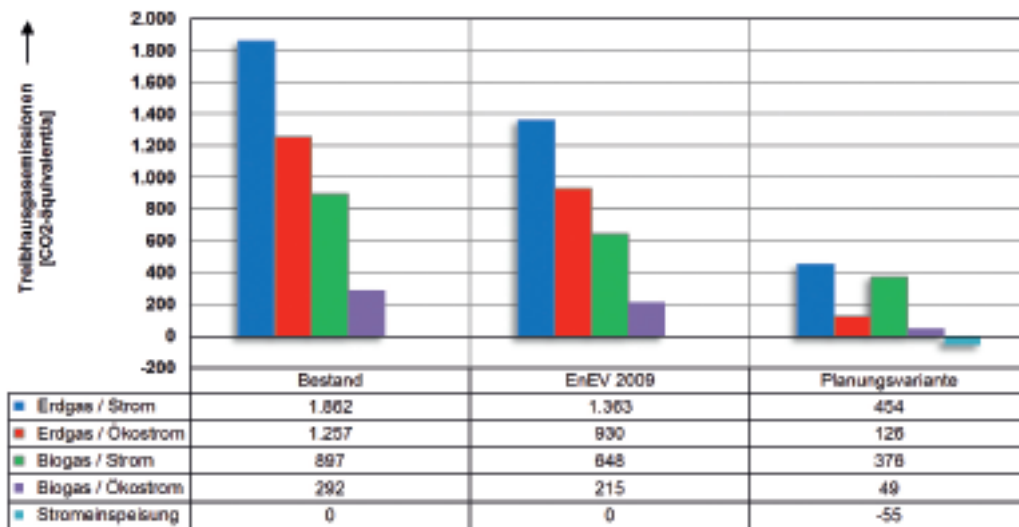
Fördergeber

DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt

▲ Simulierte Erzeugerlaufzeiten



◀ Gegenüberstellung der Endenergiebilanzen



◀ Prognostizierte Treibhausgasemissionen

der thermischen Hülle sowie die gezielte simulationsgestützte Optimierung der Raumautomation in den Bereichen

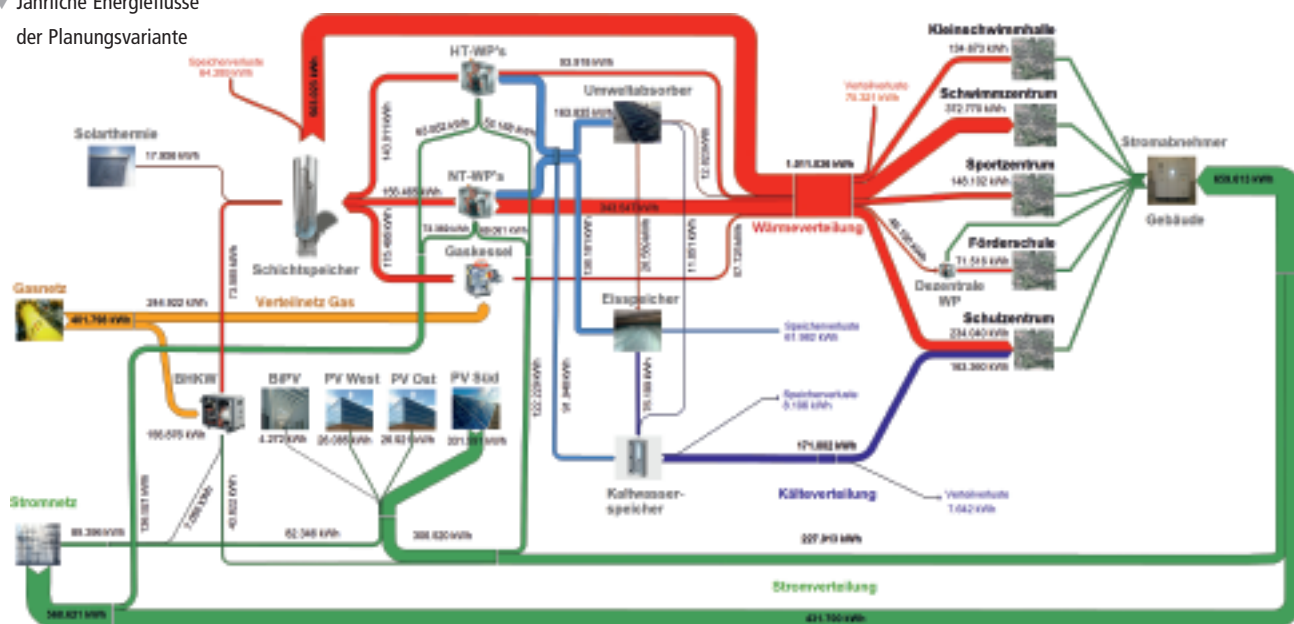
- Belüftung (nat./mech./hybrid),
- Kunstlichtregelung,
- Tageslichtnutzung und
- Sonnenschutz/Lichtlenkung

bilden die Basis des Konzeptes. In Kombination mit einer hocheffizienten Wärme-, Kälte- und Enthalpierreuegewinnung und durch

den Einsatz einer Diaphragmanalyse (Wasserdesinfektionsverfahren) bei der Brauchwarmwasserbereitstellung wird der zukünftige Heizwärme- und Kühlkältebedarf des Areals drastisch reduziert. Die Hochtemperatur-Verbraucher werden mit solarthermischen Kollektoren, zwei Wärmepumpen mit Heißgasauskoppelung, einem Blockheizkraftwerk sowie einem Gas-Spitzenlastkessel als Backup versorgt. Das BHKW, die

solarthermischen Kollektoren und die Heißgasauskoppelung werden direkt in einen 130 m³ großen Schichtspeicher geführt. Die Kondensationswärme der HT-Wärmepumpen und der Gas-Spitzenlastkessel versorgen die HT-Verbraucher vorrangig direkt. Der Niedertemperatur-Bereich wird überwiegend direkt mit vier Wärmepumpen versorgt. Bei ausreichend Stromertrag der 350 kW_p Photovoltaikanlage wird der Schichtspeicher mit

▼ Jährliche Energieflüsse
der Planungsvariante



10 K über der benötigten Vorlauftemperatur gezielt überladen. Durch simulationsgestützte Optimierung können so PV-Strom-betriebene Wärmepumpen in Kombination mit einem Kurzzeitspeicher die nächtlichen Transmissionswärmeverluste solar decken.

Die Wärmepumpen nutzen als Wärmequelle einerseits Umweltabsorber mit einer thermischen Leistung von 560 kW_{th}, eine Abwasserwärmerückgewinnung im Bereich des Sportzentrums sowie die sensible und latente Energie eines Eisspeichers mit 1.500 m³ Wasserinhalt. Auf Grundlage der gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation wurden die erforderliche Speichergröße und Regelungsstrategien so ermittelt, dass das während der Heizperiode im Eisspeicher erzeugte Eis den Kühlkältebedarf im Sommer deckt.

Die Simulationen zeigten zudem, dass eine Zweiteilung des Absorberfeldes zwingend erforderlich ist, um zeitgleich den direkten Antrieb der Wärmepumpen sowie die Regeneration des ungedämmten Eisspeichers sicherzustellen. Auf Grundlage einer simulationsgestützten Potenzialanalyse wird der Umweltabsorber zusätzlich zur direkten Beckenwassererwärmung zur nächtlichen Strahlungskühlung über die Heiz- und Kühldecken im Schulzentrum genutzt. Die erforderlichen Deckenflächen wurden unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse durch den Gebäudetechniker projiziert.

Ein aufeinander abgestimmtes Speicherma-

nagement aus Schichtspeicher und Eis-Wasser-Speicher ermöglicht die Nutzung von Latentwärme, die Pufferung von BHKW-Abwärme sowie den Einsatz von Solarwärme. Mit diesem, bereits in /1/ funktional beschriebenen Ansatz werden Lastspitzen minimiert (bestenfalls vermieden), Energieverwendungen verlagert, Solarerträge besser genutzt sowie Erzeugerlaufzeiten optimiert. Im Vergleich zum Bestand wurde der Gasbezug um etwa 92 % und der Strombezug um etwa 46 % reduziert.

Ein vollständig CO₂-neutraler Betrieb des Schul- und Sportzentrums ist mit der Planungsvariante bei Gegenrechnung der Strom-einspeisung aus den PV-Anlagen und gezielter Auswahl von Ökostrom oder Biogas als Endenergieträger möglich. Dies beinhaltet neben der Wärme- und Kältebereitstellung auch den gesamten Betrieb einschließlich Strombedarf für Beleuchtung, Lüftung, Pumpen, Geräte und technische Einrichtungen.

Die Reduktion der Treibhausgasemissionen liegt bei der Planungsvariante im Vergleich zum Bestand je nach Bezug von Ökostrom bzw. Biogas zwischen 58 % und 90 %. In der Grafik oben ist das simulierte Energiekonzept in Form von jährlichen Energieflüssen zwischen den einzelnen Erzeugern und Abnehmern einschließlich Verteilungs- und Speicherverlusten dargestellt – eine Möglichkeit der Visualisierung, die kein konventionelles Planungswerkzeug bietet!

Ausblick

Grundsätzlich gilt: Je komplexer die Fragestellung, umso größer die Gefahr, dass konventionelle, meist stark vereinfachte Berechnungsverfahren zu Über- bzw. Unterdimensionierungen sowie zu Planungsunsicherheiten führen. Neben der Gebäude- und Anlagensimulation sind weitere Detailuntersuchungen im Bereich der Regelungstechnik wichtige Bausteine bei nachhaltigen Sanierungen.

Ein begleitendes zweijähriges Monitoring wird die Steuerung der Gesamtanlage überwachen und ein bestmögliches Zusammenspiel der Einzelkomponenten sicherstellen.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Gernot Haslinger,
Dipl.-Ing. Moritz Wagner,
Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für
Bauphysik GmbH, Nürnberg

Quellen:

/1/ Haase W.: Abschlussbericht über die integrale Planungsphase zur nachhaltigen Erneuerung und Bewirtschaftung des bestehenden Nägelsee Schul- und Sportzentrums in Lohr a. M., AZ: 28279, DBU, Abschlussbericht Schul- und Sportzentrum Lohr a. M., Karlstadt 2011.
/2/ Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH: Abschlussbericht über die gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation des Schul- und Sportzentrum Lohr am Main, 2012 (bisher unveröffentlicht).