

# Passivhausschule im Praxistest

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow<sup>1</sup> und M. Eng. Katharina Gebhardt<sup>2</sup>

*1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser Umwelt Bau und Sicherheit,  
Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg, kati.jagnow@hs-magdeburg.de*

*2 Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser Umwelt Bau und Sicherheit,  
Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg, katharina.gebhardt@hs-magdeburg.de*

## Kurzfassung

Seit 2013 ist die Passivhausgrundschule St. Franziskus in Halle/Saale im Langzeitmonitoring der Hochschule Magdeburg. Nachfolgend werden wichtige Erkenntnisse zusammengefasst.

Aus Sicht des Monitorings ist das Grundkonzept der St. Franziskus-Schule (Passivhaus, Luftheizung, Photovoltaik, Solarthermie für die Küche) nachahmenswert. Jedoch um einige Dinge bereinigt (Batterieanlage, Windrad, Salzhydratspeicher, Erdwärmetauscher) oder ergänzt (getrennte Nord-/Süd-Zonierung der Klassenräume). Bei anderen Elementen gibt es keine eindeutige Tendenz zur Nachahmung (Kastenfenster, Regenwassernutzung).

Für die regelungstechnischen Einstellungen und Feinoptimierungen (Umschaltung Fernwärme auf Vorlauf, Schaltprogramme Lüftungsanlage, Nachjustierung der Volumenstromregler und Beleuchtung) braucht es zunächst einmal ein Jahr Betriebsphase, dann ein immer noch verfügbares Planungsbüro und eine überdurchschnittliche Fachfirma mit geschulten Monteuren. Und vor allem braucht es Zeit und – aus Sicht des Bauherrn – im Jahr 2 oder 3 nach Inbetriebnahme erneut Geld für diese Optimierung. Der in der HOAI für die Leistungsphase 9 angesetzte prozentuale Honoraranteil passt für Gebäude in vorbeschriebener Art nicht zum erforderlichen Aufwand.

## Schlüsselwörter

Passivhaus, Energiekonzept, Monitoring, Luftheizung, Regenwassernutzung, Photovoltaik

## Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

Vor dem Einblick in die Projektdetails sei Folgendes angemerkt: der Duden versteht unter Kritik Verschiedenes, in erster Linie jedoch eine "[fachmännisch] prüfende Beurteilung und deren Äußerung in entsprechenden Worten". Das Monitoring der Passivhausschule St. Franziskus in Halle (Saale) brachte positive und negative Kritik zum Vorschein. Einerseits gibt es ein Grundkonzept für Nutzung, Baukörper und TGA, welches nachahmenswert ist - andererseits ergibt sich aber eine längere Liste von Details, die beim nächsten Projekt gern vermieden werden dürfen.

Das Problem mit negativer Kritik ist, dass sich einige Projektbeteiligte – Architekt, Bauleiter, Fachplaner, Handwerk – "auf die Füße getreten" fühlen, wenn verbesserungswürdige Dinge offen angesprochen werden. Dies gilt auch, wenn es nicht oder nur teilweise in ihrem Einflussbereich lag, den Fehler überhaupt zu vermeiden. Andererseits gibt es auch die ewigen Ignoranten und Nörgler in der Baubranche, die nur auf Kritik an innovativen Konzepten warten, um mit einem "das habe ich doch schon immer gewusst, dass das nicht funktionieren kann" beim Althergebrachten bleiben zu dürfen.

Und zu guter Letzt bringt die Kritik an einem Bauprojekt auch immer ein Spannungsfeld zwischen Bauherrn und Nutzern: wo auch nur Schwachstellen seitens der Nutzer erahnt werden, gibt es Unmut über Lebens- oder Arbeitsverhältnisse.

Die Kritiker der St. Franziskus-Grundschule sind externe Projektbeteiligte, die weder dem Bauherrn, noch den Nutzern oder einem der beteiligten Bauschaffenden verpflichtet sind. Ihre Aufgabe ist in erster Instanz, das Gute zu loben, aber auch alle vermeidbaren Fehler aufzudecken und Verbesserungen zu benennen - die Schule der Zukunft soll sich dabei optimalerweise herauskristallisieren. Wem wäre geholfen, dies nicht so zu tun?



Bild 1 Nordansicht der St. Franziskus-Grundschule

## Über das Gebäude und den Bauherrn

Bauherrin und Betreiberin der St. Franziskus-Grundschule ist die Edith-Stein-Schulstiftung des Bistums Magdeburg. Das Gebäude in der Mumansker Str. 13, Halle (Saale) wurde zwischen 2012 und 2014 errichtet. Die Eröffnung für den Schulbetrieb mit ca. 180 – 200 Schülern in 8 Schulklassen fand im Februar 2014 statt.

Der kompakte Bau ist dreigeschossig, nicht unterkellert und weist 3090 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche auf. Es handelt sich um zwei zueinander versetzte fast gleich große Quader – dem Klassen- und Horttrakt sowie dem Verwaltungstrakt mit Hausmeisterwohnung (113 m<sup>3</sup>) und Schulküche (82 m<sup>2</sup>). Das Gebäude wurde im Passivhausstandard errichtet, jedoch nicht zertifiziert.

Das Gebäude ist eine zweizügige Grundschule mit Hortbetrieb von 6 – 8 Uhr sowie 12 – 17 Uhr. Insbesondere in der Zeit nach Schulschluss bis 15 Uhr werden etwa  $\frac{2}{3}$  der Kinder im Hort betreut. In der integrierten Schulküche werden etwa 300 Essen an normalen Schultagen sowie 50 – 100 Essen in Ferienzeiten frisch zubereitet. Ein Teil der Essen wird von Schülern der benachbarten Sekundarschule eingenommen.

Die für Passivhäuser obligatorischen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung – getrennte Systeme für die verschiedenen Nutzungszonen – versorgen das Gebäude mit Luft und Wärme. Es gibt keine statischen Heizflächen. Die Küche wird über Solarthermie grundversorgt. Ein Teil des Wasserverbrauchs entstammt einer Regenwassernutzungsanlage. Zur teilweisen Deckung des Stromverbrauchs sind zwei PV-Felder sowie ein Mikrowindrad vorhanden.

Die Nutzung regenerativer Energien sowie nachhaltiger Baustoffe und die Lüftungsthematik sind Teil des Schulkonzeptes, sodass viele Technologien sichtbar für die Schüler installiert sind. Es gibt ein von Schülern und Lehrern selbst verfasstes Kinderbuch, in dem der heilige Franziskus – von Papst Johannes Paul II. zum Patron des Umweltschutzes und der Ökologie ernannt – das Gebäudekonzept kindgerecht erläutert.

## Umfang des Monitorings

Während der Vorplanungsphase förderte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) die Erarbeitung eines ökologischen Konzeptes. Für die Umsetzung und das anschließende Monitoring konnte eine Förderung des BMWi erlangt werden (FKZ 0327 430 O). Die St. Franziskus-Grundschule ist Teil des bundesweiten Querschnittsprojektes EnEff:Schule.

Parallel zur Bauantragsphase wurde 2011 das Monitoringkonzept erstellt. Die Installation der entsprechenden Messtechnik erfolgte teils parallel zur Bauphase, teils auch erst nach Inbetriebnahme. Seit Ende 2015 läuft die reguläre Datenerfassung. Die BMWi-Förderung des Monitorings begann bereits im April 2013 kurz vor dem eigentlich geplanten Bezug der Nutzer. Zeitliche Verzögerungen beim Bau, vor allem ausgelöst durch die Insolvenz des Hauptfachplaners, führten zu mehrfach notwendigen Verlängerungen der Monitoringphase – geplant bis März 2018.



Bild 2 Schulmensa und Aula mit Bibliothek im Obergeschoss  
Das Monitoring wird von der Hochschule Magdeburg-Stendal – namentlich von den Autoren und studentischer Unterstützung – durchgeführt. Ziele der Datenauswertung

sind einerseits die Benennung konkreter Handlungsempfehlungen für den Bauherrn und Betreiber zur Betriebsverbesserung, andererseits aber auch die Verallgemeinerung der Erkenntnisse für künftige Schulbauten in Deutschland.

Zum Zwecke des Monitorings werden jeweils monatlich Daten aus fünf Quellen zusammengeführt: einem zentralen Monitoringserver, der alle Messstellen enthält, die extra für das Projekt installiert wurden (405 Datenpunkte), den ohnehin vorhandenen Speichereinheiten der beiden zentralen Lüftungsanlagen (232 Messpunkte), der Solarthermie (32 Messpunkte) und der Photovoltaik (7 Messpunkte). Zusätzlich werden Stromzählerdaten der Stadtwerke Halle (3 Datenpunkte) implementiert.

Abgedeckt sind folgende Themengebiete: Erstellung von jährlichen Übersichten zum Energie- und Medienfluss, Auswertung von Raumklimaparametern mit Tiefenanalyse zweier Klassenräume und der Aula (Bild 2), Effizienzmessungen für die regenerativen Energien und Raumluftechnik, Messungen der Gebäudehülle sowie Nutzerbefragungen.

Aufgrund der Insolvenz des Hauptplaners mitten in der Bauphase gingen viele Fachplanungsdetails verloren bzw. waren nur noch als PDF oder Papier vorhanden. Das Monitoring umfasst daher – unvorhergesehen – auch die Wiederherstellung von CAD-Plänen, fast die komplette Nach- oder Neuplanung der TGA, EnEV-, Passivhaus- und Wärmebrückennachweise sowie des sommerlichen Wärmeschutzes. Auch alle Simulationen für die regenerativen Energien wurden neu erstellt. Im Rahmen der Bearbeitung wurden bislang 25 Abschlussarbeiten (Bachelor, Master) abgeschlossen, 9 weitere sind in Arbeit.

## Energieflussbild und Kennwerte

Für die Medien – Fernwärme, Strom und Wasser/Regenwasser – werden in regelmäßigen Abständen Energieflussbilder erstellt. Das Wärmeflussbild der ersten Messperiode 2014/2015 zeigt

Bild 3. Es liefert wichtige Ansätze für weitere Recherchen:

- 75% sind Nutzwärme, 25 % des Wärmeeinsatzes sind Netzverluste. Da die Hauptfernwärmeinspeisung auf der gegenüberliegenden Straßenseite in einer 70 m entfernten Nachbarschule angeordnet ist, gibt es entsprechend lange Wärmeleitungen im Erdreich. Der Netzverlust wurde plausibilisiert und ist realistisch.
- Der größte Wärmeabnehmer ist die Lüftungsanlage für Aula, Verwaltung und Flure mit insgesamt  $\frac{2}{3}$  der Nutzwärmeabnahme (8 + 8 MWh/a). Diese Räume machen aber nur knapp 45 % der Gesamtfläche aus. Der anteilige Verbrauch ist also überproportional hoch und wird näher untersucht, siehe unten.
- Der Klassentrakt verbraucht im Gegensatz dazu trotz halber Gebäudefläche nur 2 MWh/a, also extrem wenig (8 % des Nutzens). Das ist grundsätzlich erfreulich, aber auch hier werden Gründe untersucht.

- Die Küche benötigt insgesamt 6 MWh/a für Luftheizung.
- Der Solarpufferspeicher wird überhaupt nicht mit Fernwärme nachgeladen, was ebenfalls Recherchen auslöste.

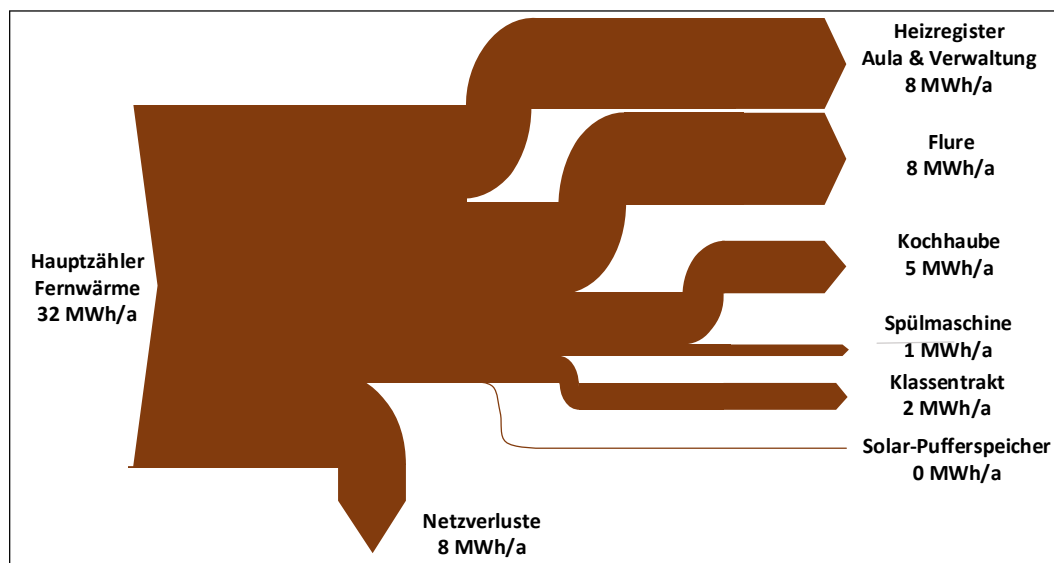


Bild 3 Energieflussbild für Wärme im ersten Betriebsjahr

Insgesamt führt der gemessene Verbrauch zu einem Wärmeenergiekennwert von 11 kWh/(m<sup>2</sup>a), einschließlich Netzerlusten. Damit liegt die St. Franziskus-Grundschule unter den Planwerten, erreicht das Passivhausniveau (aus Wärmesicht) und verbraucht nur 1/10 des Bundesdurchschnitts für Grundschulen (VDI 3807). Vergleichbare Auswertungen für Strom und Wasser führen zu nachfolgenden Erkenntnissen der Gesamtsituation:

- Der Stromverbrauch beläuft sich auf insgesamt 118 MWh/a, davon 65 % aus dem Netz bezogen und 35 % (Autarkiegrad) selbst produziert.
- Die Photovoltaik-Anlagen erzielen einen jährlichen Stromertrag von 76 MWh/a. Die Selbstnutzungsquote des erzeugten Stroms liegt bei 53 %.
- Der bilanzielle Stromgesamtkennwert (Verbrauch minus Produktion) liegt bei 13 kWh/(m<sup>2</sup>a), der tatsächliche Verbrauch allerdings bei 39 kWh/(m<sup>2</sup>a). Das liegt fast Faktor 4 über dem Bundesdurchschnitt.
- Der Wasserverbrauch des gesamten Gebäudes beläuft sich auf 941 m<sup>3</sup>/a, davon 71 % als Trinkwasser eingekauft und 29 % als Regenwasser aufgefangen und als Brauchwasser für die WC-Anlagen genutzt.
- Der bilanzielle Wasserverbrauchskennwert (Verbrauch minus Regenwasser) liegt bei 215 l/(m<sup>2</sup>a), der Verbrauch bei 305 l/(m<sup>2</sup>a). Dieser Kennwert liegt ebenfalls deutlich über dem typischen Wasserverbrauch von 140 l/(m<sup>2</sup>a).

Die Detailanalyse zeigt, dass der hohe Wasserverbrauch durch die überdurchschnittliche Nutzung des Gebäudes (Schulhort, Ferienhort, Schulküche) erklärt werden kann. Für den Stromverbrauch ergeben sich dagegen in der Detailanalyse Handlungs- und Optimierungsempfehlungen, die nachfolgend erläutert werden.

## Gebäudehülle und Luftdichtheit

Die Hülle ist zu großen Anteilen aus erneuerbaren (Holz, Zellulose) oder recycelten (Betonschotter, Schaumglasschotter) Baustoffen errichtet. Der U-Wert der opaken Außenbauteile liegt zwischen 0,10 und 0,13 W/(m<sup>2</sup>K) – das ist etwa doppelt so gut wie nach geltender EnEV gefordert. Das Monitoring des Temperatur- und Feuchteverlaufs in den Bauteilen zeigte keine Probleme und bestätigt die U-Werte. Die gewählte Holzrahmenkonstruktion – siehe Bild 4 – kann ohne Abstriche wieder so errichtet werden.



Bild 4 Holzrahmenkonstruktion mit Kastendoppelfenster

Das Gebäude ist sehr kompakt und praktisch wärmebrückenfrei. Die Luftdichtheit wurde zweimal gemessen. In der Bauphase wurde ein Prüfluftwechsel von  $n_{50} = 0,24 \text{ h}^{-1}$  nachgewiesen. Eine Nachmessung im Januar 2017 hat nach 3 Jahren Betrieb den Wert bestätigt ( $0,26 \text{ h}^{-1}$ ).

Die Fenster sind mehrheitlich als Kastenfenster ausgeführt, deren innere und äußere Flügel jeweils aus Zweifachwärmeschutzglas bestehen. Im Kasten ist eine Jalousie angebracht. Die Fenster können jederzeit geöffnet werden. Es gibt keine regelungstechnische Kopplung an die Lüftungsanlage. Der Sommerbetrieb sieht eine Öffnung des äußeren Flügels vor, um Stauwärme im Kasten zu vermeiden. Der Winterbetrieb setzt auf eine Öffnung des inneren Flügels. Jegliche Öffnung hat manuell zu erfolgen.

Die Empfehlung zur Nachahmung ist zwiegespalten. Der Kasten schützt die Jalousie vor Wind und Vandalismus. Auch die winterliche Wärmepufferung ist messtechnisch nachweisbar. Kritisch ist der Sommerfall: wird das äußere Fenster nicht rechtzeitig geöffnet, steigt die Temperatur im Kasten auf so hohe Werte, dass die Fenstergriffe des äußeren Flügels nicht mehr gefahrlos angefasst werden können. Auch kann den Lehrern ein ständiges Öffnen und Schließen nach Wetterlage nicht zugemutet werden. Der Realbetrieb sieht daher so aus, dass der Hausmeister mit dem pauschalen Öffnen der Außenflügel im Frühjahr den Sommer einleitet – unabhängig vom wirklichen Bedarf. Eine Automatisierung wäre jedoch ebenfalls viel zu aufwändig.

## Lüftungs- und Heizkonzept

Für die Lüftung des Gebäudes sind 4 Anlagen vorgesehen (Klassentrakt 7500 m<sup>3</sup>/h, Aula trakt 10.000 m<sup>3</sup>/h, Grundlüftungsanlage Küche und Wohnungslüftung Hausmeister). Darüber hinaus gibt es eine separate WC-Abluftanlage sowie 2 Prozesslüftungsanlagen in der Küche (über Herd und Spülmaschine). Die Anlagen übernehmen auch die Heizfunktion. Es gibt keine statischen Heizflächen.

Es ist aus den Messdaten erkennbar, dass die Vortemperierung der Außenluft im vorhandenen Erdwärmeübertrager (Länge 650 m) gut funktioniert. Auch die Wärme- und Feuchterückgewinnung der Lüftungsanlagen arbeitet wie geplant (Umschalt Speicher mit 0 ... 92 % Rückgewinnung). Insgesamt sind der sehr geringe Verbrauch sowie die erreichten hohen Luftqualitäten als erfolgreich einzuschätzen, dennoch gibt es Optimierungsansätze.

Die Lüftungsanlage für den Aula- und Verwaltungstrakt wird mit zu großen Luftvolumenströmen in den Schwachnutzungsphasen betrieben. Auch wenn sich niemand in der Aula aufhält, wird dort stark gelüftet. Die nach CO<sub>2</sub> und Raumtemperatur arbeitende Anlage regelt die lokalen Volumenstromregler auf ihren Minimaldurchlass ab. Allerdings wurde dieser bei der Planung zu hoch gewählt. Konsequenzen sind überhöhte Wärmeverbräuche, stark überhöhte Stromverbräuche (geschätzt Faktor 3 für die Ventilatoren), aber eine sehr gute Luftqualität – im Mittel des Jahres 2016 wurde eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von nur 470 ppm gemessen.

Da das ursprüngliche Planungsunternehmen insolvent ist, gab es in der Phase der Ausführung und Inbetriebnahme zwar einen neuen TGA-Planer, der jedoch keine Planung durchgeführt hat. Engagiert wurde er auf Basis der vorhandenen Datenlage für die HOAI-Phasen 8 und 9. Das ausführende Unternehmen wurde gewählt, weil es den günstigsten Preis abgegeben hatte. Soweit die ungünstigen Randdaten, wobei keinem der Beteiligten wirklich ein Vorwurf hinsichtlich des Problems zu machen wäre. Gäbe es das Monitoring nicht, wäre der Mehrverbrauch vermutlich nicht aufgefallen, evtl. hätte die erhöhte Geräuschkulisse bei geringer Belegung zu Beschwerden geführt. Die Beseitigung des Problems soll nun durch ein ausführendes Fachunternehmen aus der Region erfolgen, welches aber erst gefunden werden muss. Der Fachbetrieb, welcher die Anlage eingebaut hat, sieht sich dazu nicht in der Lage.

Das zweite Problem geht auf die Idee zurück, den gesamten Klassentrakt mit einer gemeinsamen Lüftungsanlage und einem Heizregister zu versorgen, ohne auf Nord-/Süd-Zonierung Rücksicht zu nehmen. Gegenüber dem ersten TGA-Fachplaner wurden vor Baubeginn von mehreren Seiten Bedenken geäußert. Dieser überzeugte den Bauherrn jedoch von der Machbarkeit und bot vor allem an, nach Inbetriebnahme eine notfalls notwendige Optimierung vorzunehmen. Da er unterdessen insolvent ist, kam es nicht dazu. Die Notwendigkeit besteht allerdings: es gibt im Winter eine stetige Ungleichversorgung der Klassenräume. Allen Räumen wird der Luftvolumenstrom zugeteilt, welcher nach Belegung erforderlich ist. Die Zulufttemperatur passt dann entweder für die Nord- oder die Südräume zu einer einigermaßen angemessenen Beheizung. Eine Optimierung durch leichte Volumenstromanpassungen wird in Kürze angestrebt. Das Grundproblem kann jedoch nicht behoben werden.



Bild 5 Großzügige Bewegungsfläche und Lüftungsanlage im Klassenraum

Andere Optimierungsansätze betreffen die sommerliche Nachtlüftung, die Grundlüftung der Küche sowie eine verbesserte Wiederaufheizung des Gebäudes nach der Wochenendabsenkung.

Als Zwischenfazit zur Heizung und Lüftung ergibt das Monitoring: mit der Luftheizung als solches sind die Nutzer zufrieden und auch aus energetischer Sicht ist die Anlage nachahmenswert. Die Ungleichversorgung des Gebäudes muss in künftigen Projekten durch Einzelraum- oder Zonenregelung abgestellt werden, da die nachträgliche Optimierung sehr begrenzt machbar ist. Außerdem kann – im Normalfall – nicht von einem mehrjährigen Intensivmonitoring ausgegangen werden. Und es braucht vor allem ausführende Unternehmen, die in der Lüftungstechnik bewandert sind – nicht den günstigsten Anbieter.

Der Erdreichwärmeübertrager ist aus Sicht der Bauherren und des Monitorings nicht zur Nachahmung empfohlen. Er erfüllt alle Erwartungen, die energetisch vorher prognostiziert waren. Jedoch stehen Kosten und Nutzen in keinem Verhältnis. Insbesondere dann nicht, wenn wie im konkreten Fall die erste Totalsanierung bereits vor der Inbetriebnahme fällig wird. Ein Wassereinbruch ins System führte zu einer aufwändigen Abdichtung mit Epoxydharz.

## Solarthermie und Latentwärmespeicher

Der Schulbetrieb nutzt nur im Ausnahmefall Warmwasser, welches dezentral in elektrischen Durchlauferhitzern erwärmt wird. Für die zentrale Trinkwassererwärmung ist eine Solarthermieanlage mit einem Pufferspeicher (Küche, 2000 l) und einem Trinkwasserspeicher (Hausmeister, 200 l) vorhanden.

Das 36 m<sup>2</sup> große Flachkollektorfeld ist an der Südfassade angebracht. Es liefert etwa 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) kollektorbezogenen Ertrag. In Anbetracht der 5-Tage-Woche (somit



fallen 2/7 der Nutzungstage statistisch aus), des Ferienbetriebs (verminderte Essenszahl im Sommer) sowie der senkrechten Anordnung der Kollektoren entspricht das Ergebnis den Erwartungen.

Die Nachheizung des Küchenpufferspeichers erfolgt mit Strom – im Vorrang PV-Strom, sonst

Netzstrom. Die eigentlich vorgesehene Nutzung von Fernwärme findet nicht statt. Das System ist prinzipiell korrekt installiert, jedoch ist die Fernwärmetemperatur stets zu gering für die Trinkwassererwärmung. Das Monitoring liefert die Erkenntnis, dass die Energiekosten deshalb etwa 300 €/a höher liegen als notwendig.



Bild 6 82 m<sup>2</sup> Schulküche für 300 Essen

Die Fernwärme wird im Regelbetrieb dem Rücklauf des benachbarten Gymnasiums entnommen (Reihenschaltung der Verbraucher). Die Planung sieht dies mit Auslegungstemperaturen von 45/35 °C vor. Die Luftheizung ist problemlos mit diesem Temperaturniveau machbar.

Für die ggf. erforderliche Speichernachladung in der Vormittagsphase ist eine Umschaltung auf den Fernwärmeverlauf installiert (Parallelschaltung der Verbraucher). Damit könnte eine Vorlauftemperatur von über 75 °C erreicht werden. Aufgrund der TGA-Planerinsolvenz wurde dieses System zwar installiert, jedoch kam es nie zu einer korrekten Inbetriebnahme der Regelung bzw. zur Kopplung der Heizungs-, Lüftungs- und Solarthermieregulierung.

Das Problem wird künftig abgeschafft. Bei einem in Planung befindlichen Turnhallenneubau neben der St. Franziskus-Grundschule soll die vorhandene Fernwärmeleitung sowie das hohe Temperaturniveau auch für die dortige Warmwasserbereitung genutzt werden. Ob das System praktikabel ist, kann das Monitoring heute noch nicht bestätigen.



Bild 7 Solarthermie und Mikrowindkraft am Haupteingang

Eines ist jedoch schon ersichtlich: ein im Solarsystem installierter Latentwärmespeicher (128 kWh) war eine Fehlinvestition. Der Salzhydratspeicher arbeitet grundsätzlich korrekt. Jedoch ist das Solarkollektorfeld nicht so groß bemessen, dass es zu nennenswerten solaren Überschüssen käme, die in dem Speicher eingelagert werden könnten. Der Salzhydratspeicher wird also derzeit kaum benutzt. Er kann evtl. im Zusammenhang mit dem Turnhallenneubau verwendet werden.

## Photovoltaik, Mikrowindkraft und Batterieanlage

Für die Stromversorgung der Schule gibt es drei Anlagen zur Selbsterzeugung: zwei PV-Felder mit insgesamt 481 m<sup>2</sup> Fläche (knapp 81 kW<sub>peak</sub>) und eine Mikrowindkraftanlage (1 kW Nennleistung). Komplettiert wird das Versorgungssystem durch eine elektrochemische Batterie. Das Gesamtsystem incl. der wichtigsten Verbraucher wird durch ca. 40 Stromzähler überwacht, von denen etwa 10 ... 20 % ohne das Monitoring vorhanden wären.



Bild 8 Photovoltaik und Fortluftkanäle

Die Produktion von Strom mit den PV-Anlagen übersteigt die Werte der Simulation, sodass von einer korrekten Funktion der Module (und Wechselrichter) auszugehen ist. Die Nutzung der PV-Anlage kann ohne Einschränkungen auch anderen Schulen empfohlen werden.

Eine Vorauswertung der Daten der Mikrowindkraftanlage zeigt, dass die Nebenaggregate einen hohen Stillstandsverbrauch bewirken. Er übersteigt in der Jahresbilanz den Ertrag (um etwa den Faktor 10!). Dem Hersteller ist dieses Problem bekannt; es müssen bauseits Vorkehrungen getroffen werden, um die Anlage in Schwachwindphasen vom Netz zu nehmen. Die notwendige Abstimmung mit dem Elektroplaner hat es jedoch nicht gegeben, da die Installation der allgemeinen Elektroanlagen und des Windrades um mehr als ein Jahr zeitversetzt stattfanden. In Abstimmung mit dem Windkrafthersteller soll nun eine regelungstechnische Beseitigung des Problems bis Projektende gefunden werden. Dieser Fehler wäre vermutlich ohne das Monitoring nicht aufgefallen, da die verschwendeten Energiemengen insgesamt eher gering sind – verglichen mit sonstigen Großverbrauchern in der Schule (Lüftungsanlage, Küche). Eine Empfehlung zur Installation eines solchen Windrades kann nicht ausgesprochen werden. Selbst ohne das Problem der Betriebsbereitschaftsverluste wird kein wirtschaftlicher Betrieb erreicht.

Ein bei der Beleuchtung vermutetes Verschwendungspotential durch Stillstandsverluste der Klassenraumbeleuchtung entpuppte sich glücklicherweise als Fehlmessung. Die für das Monitoring ausgewählte Messtechnik konnte nicht zwischen Blind- und Wirkleistung unterscheiden. Hier half erst der Einsatz professioneller Messeräte des ausführenden Elektroinstallateurs zur Klärung des Problems.

Kritisch zu bewerten ist die Batterieanlage. Zunächst wurde eine Lithium-Batterie mit 25,6 kWh Kapazität installiert. Sie lief nur wenige Wochen im Sommer 2014 und wurde nach dem ersten Software-Update der Laderegulierung nicht mehr erkannt. Es waren Bauteile zweier Hersteller zum Einsatz gekommen. Die Empfehlung des Regelungsherstellers: man möge eine Batterie aus dem eigenen Sortiment kaufen, anders ist das Problem nicht zu beheben. Der ausführende Elektrofachbetrieb entfernte die vorhandene Batterie nach mehrjährigem ungelöstem Streit im Sommer 2016. Zwischen April und August 2017 lief das Ersatzmodell einwandfrei, danach musste es aus noch ungeklärten Gründen erneut stillgelegt werden.

Ob diese Problematik verallgemeinert werden kann, ist unklar. Bezieht man den messtechnisch erreichten Nutzungsgrad von nur 67 % (während der 5 Monate des Jahres 2017) ein, kann die Batterieanlage wirtschaftlich für die Nutzung in der Schule nicht empfohlen werden. Zumal die PV-Erträge und der Strombedarf ohnehin zeitlich gut korrespondieren.

Weitere Optimierungsansätze, die an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden, betreffen die Stromverbraucher: Aufzug, Server samt Kühlung, die Kühlzellen der Küche, Whiteboards in den Klassenräumen.

## Raumklima und Nutzerzufriedenheit

Eine Vollüberwachung des Gebäudes war weder gewünscht noch finanzierbar. Daher beschränken sich die intensiven Untersuchungen auf wenige exemplarische Räume:

- ein Klassenraum auf der Nordseite, obere Etage, Ecklage mit 3 Außenseiten
- ein Klassenraum auf der Südseite, mittlere Etage, Innenlage mit 1 Außenseite
- Aula im Erdgeschoss auf der Südseite

Gemessen werden Temperaturen (auch in verschiedenen Höhen), die Luftfeuchte, CO<sub>2</sub> sowie das Fensteröffnungsverhalten. In weiteren Räumen werden in geringerem Umfang Messungen der Temperatur und Feuchte durchgeführt.



Bild 9 Blick auf Tafel und viele kleine Tische

Die Messwerte für CO<sub>2</sub> in den beiden intensiv untersuchten Klassenräumen zeigen sehr gute Ergebnisse. Innerhalb der Anwesenheit von Personen ergeben sich nur vernachlässigbar geringe Überschreitungen (unter 1 % der Zeit) des Grenzwertes von 1500 ppm. Die Bemessung der Lüftungsanlage mit nur 18 m<sup>3</sup>/h je Schüler war ausreichend. Und auch das Regelungskonzept – allein nach Präsenzmelder entweder offene oder geschlossene Volumenstromregler – war zielführend. Nach einer Einregulierungsphase gab es keine Nutzerbeschwerden mehr hinsichtlich der Luftqualität. Im Aulatrakt sind noch bessere Luftqualitäten festzustellen, siehe oben.

Anders ist die Nutzerrückmeldung zur Temperatur in den Räumen: das regelungstechnische Konzept führte auch im dritten Betriebsjahr noch zu Beschwerden über zu kalte Nordräume, insbesondere morgens und im Erdgeschoss. Mit den zu warmen Südräumen konnten sich die Nutzer besser arrangieren. Dabei sollte es nicht Ziel sein, dass an 26 % der Anwesenheitszeit die Raumlufttemperatur das behagliche Niveau übersteigt. Eine Verbesserung ist angestrebt; künftig ist das Konzept zu vermeiden.

Sporadisch zu bestimmten Themen durchgeführte Befragungen zeigten ein gemischtes Bild zur Kenntnis der Nutzer über die Zusammenhänge zwischen

Anlagenbedienung und Auswirkungen auf das Raumklima. Insbesondere die kombinierte Bedienung der Jalousien, Fenster und Beleuchtungsregelung ist offensichtlich nicht selbsterklärend. Folgende Einflüsse hätten die Nutzer:

- Raumlufttemperatur durch Öffnen der Kastenfenster (ein oder beide Flügel) sowie Einstellungen der Jalousien (schwarz/silber, hoch/runter, geschlossen/geöffnet),
- Blendung und Tageslichtversorgung durch Einstellungen der Jalousien (schwarz/silber, hoch/runter, geschlossen/geöffnet),
- Beleuchtungsstärke durch Kunstlichteinstellungen (Programme, Übersteuerung) sowie Einstellungen der Jalousien (hoch/runter, geschlossen/geöffnet).

Der Nutzereinfluss – und damit eine mögliche Verbesserung des Raumklimas – durch Ausschöpfen aller gegebenen Optionen ist größer als die meisten befragten Nutzer dies vermuten. Bis Projektende sollen einfache Bedienungsanleitungen verfügbar sein.

## Fazit

Aus Sicht des Monitorings ist das Grundkonzept der St. Franziskus-Schule (Passivhaus, Luftheizung, Photovoltaik, Solarthermie für die Küche) nachahmenswert. Jedoch um einige Dinge bereinigt (Batterieanlage, Windrad, Salzhydratspeicher, Erdwärmetauscher) oder ergänzt (getrennte Nord-/Süd-Zonierung der Klassenräume). Bei anderen Elementen gibt es keine eindeutige Tendenz zur Nachahmung (Kastenfenster, Regenwassernutzung).

Für die regelungstechnischen Einstellungen und Feinoptimierungen (Umschaltung Fernwärme auf Vorlauf, Schaltprogramme Lüftungsanlage, Nachjustierung der Volumenstromregler und Beleuchtung) braucht es zunächst einmal ein Jahr Betriebsphase, dann ein immer noch verfügbares Planungsbüro und eine überdurchschnittliche Fachfirma mit geschulten Monteuren. Und vor allem braucht es Zeit und – aus Sicht des Bauherrn – im Jahr 2 oder 3 nach Inbetriebnahme erneut Geld für diese Optimierung. Der in der HOAI für die Leistungsphase 9 angesetzte prozentuale Honoraranteil passt für Gebäude in vorbeschriebener Art nicht zum erforderlichen Aufwand.

Ansonsten bleibt noch als Quintessenz zu sagen, wie wichtig für Inbetriebnahme und Optimierung eine sorgfältige Dokumentation, ein interessierter Hausmeister, der sich bestenfalls als Energiemanager versteht, und mindestens ein Minimal-Monitoring sind.

Mit dem Abschlussbericht ist im Sommer 2018 zu rechnen. Alle Erkenntnisse werden dann auch mit aktuellen Zahlen hinterlegt.