

Neubau einer Schule

Solare Kraft-Wärme-Kopplung in Kombination mit Geothermie

Frank Hartmann

Im Bewusstsein der sozio-kulturellen Relevanz eines Schulgebäudes zeigt der Neubau der Otto-Seeling-Schule in Fürth, wie durch das planerische Engagement sowohl Sachzwänge als auch Widerstände zu überwinden und zielorientierte Problemlösungen zu einem Gesamtkonzept gestaltet und umgesetzt werden können.



Außenansicht Schulgebäude

Der Neubau eines Schulgebäudes ist ein durchaus anspruchsvolles wie auch sehr spannendes Aufgabenfeld – worin große Potenziale liegen, besonders zukunftsweisende Gebäude im Dreiklang von Gestaltung, Konstruktion und Technik (im wahren Sinne des Wortes) der nachwachsenden Generation vorzustellen und erlebbar zu machen. Dies ist bei diesem Projekt auf vorbildliche Art und Weise gelungen.

Ausgangssituation

Das Raumklima beeinflusst das Lernklima in einem Schulgebäude erheblich. Wobei diesbezüglich klar die Frage zu stellen ist, ob eine gute Raumluftqualität als Komfortanspruch zu begreifen ist oder schlicht

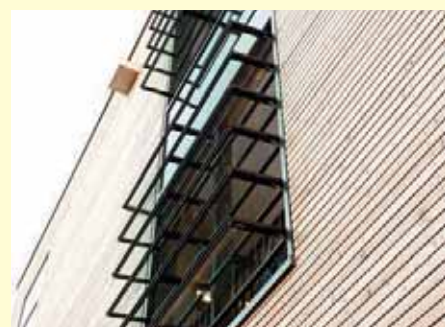
Der Autor

Frank Hartmann, Geschäftsführer Forum Wohnenergie – Zentrum für energieeffizientes Bauen & Modernisieren Erneuerbare Energien, Haustechnik & Baubiologie, Zeilitzheim



Heizkreisstation mit Umwälzpumpe zur Versorgung der Fußbodenheizungsflächen

eine natürliche Selbstverständlichkeit darstellt. Insbesondere bei Schulen, wo der Vorsatz des Aufenthalts ja immer noch Lernen bedeuten soll, ist ein den physiologischen Anforderungen des Menschen entsprechendes Raumklima als Grundlage vorauszusetzen. Und wenn man schon von Komfort sprechen will und doch allzu oft den technischen Aufwand meint, ist das Lüftungskonzept in dieser Schule ein gutes Beispiel dafür, dass eine Lüfterneuerung und Sicherstellung der Raumluftqualität innerhalb des umbauten Raums nicht nur mit hohem wirtschaftlichem und baulichem Aufwand oder gar High-Tech sicherzustellen ist.



Ansicht der in die Fassade integrierten Lamellenfenster

Doch zunächst stellte sich – nachdem die Entscheidung für den Schulneubau gefallen war – für die beiden federführenden gebäudetechnischen Fachplaner der Stadt Fürth Dipl.-Ing. (FH) Katrin Egyptiadis-Wendler und Dipl.-Ing. (FH) Hans-Peter Fecher die Frage, wie das Gebäude auf einer nachhaltigen Grundlage (auch unter wirtschaftlichsten und dennoch nachhaltigen Aspekten) mit Wärme versorgt werden kann. Dabei sollte eine energieeffiziente Gebäudetechnik zugunsten guter Lernbedingungen zum Einsatz kommen.

Vergleich von Optionen und Varianten

Um dies herauszufinden, wurden verschiedene Anlagenvarianten für die Beheizung auf einen Nutzungszeitraum von 25 Jahren verglichen. Als Standardvariante wurde eine Brennwerttherme bewertet. Hier stehen niedrige Investitionskosten den immer schneller steigenden Kosten für die knapper werdenden fossilen Energien entgegen. Unabhängig von EEWärmeG und dergleichen sollte jedoch nicht auf fossile Energieträger gesetzt, sondern eine zukunftsfähige und nachhaltige Lösung erarbeitet werden. Die Beheizung mit Biomasse aus regional nachwachsenden Energieträgern wurde als erste alternative

Variante betrachtet. Hier waren es aber vor allem die beengten Platzverhältnisse für die Vorhaltung von Hackschnitzeln im innerstädtischen Raum, die die Kosten ansteigen ließen. Als wirtschaftlichste und ökologischste Lösung stellte sich innerhalb der Voruntersuchung eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage heraus, die mittels eines Erdwärmesondenfelds, das mit einem Wasser-Frostschutzmittelgemisch (so genannte „Sole“) als Wärmeträgermedium betrieben wird und als Wärmequellenanlage Wärme aus der Erde der Wärmepumpe zuführt.

Weiter wurde untersucht, ob sich eine Luft/Luft-Wärmepumpe mit Nutzung der Abluftwärme einsetzen lässt. Hier steigen die Investitionskosten vor allem durch die Installation einer Zu- und Abluftanlage erheblich an. Diese Investitionen konnten, insbesondere durch die zeitlich eingeschränkte Nutzung im Schulbetrieb, nicht amortisiert werden. Zudem liegt die Schule in einem verkehrsberuhigten Gebiet am Stadtpark, so dass eine gezielte Fensterlüftung hier gut möglich ist und daher in Abstimmung mit dem Architekten eine freie Lüftung realisiert wurde.

Integraler Planungsansatz

In die Planungen und Voruntersuchungen der Gebäudetechnik war von Beginn an der Architekt Thomas Moertel mit eingebunden. Dabei wurden die jeweils untersuchten Anlagenvarianten gemeinsam diskutiert, verglichen, bewertet und in den Entwurf eingearbeitet.

Da der geplante Neubau im Rahmen einer Eigenplanung der Stadt Fürth realisiert werden sollte, war es auch wichtig zu erkennen, wann externe Planungsleistungen und Untersuchungen erforderlich werden, die nicht durch Eigenleistung abgedeckt werden können.

Nach der Entscheidung zur Ausführung einer geothermischen Wärmeversorgung war allen Planungsbeteiligten klar, dass in Bezug auf die Größe der Anlage ein geothermischer Fachplaner in der Person von Dipl.-Geol. Alexander Eber unterstützend in die Planung einbezogen werden muss.

Baugrunduntersuchung mit der Option Grundwasser

Eine Wärmeversorgung des Schulneubaus mittels Erdwärme wurde nun genauer untersucht. Aus Erfahrungen von Brunnenbohrungen in der näheren Umgebung wurde für das Gebiet des Baugrundstücks eine hohe Grundwasserergiebigkeit prognostiziert. Daher erfolgte zunächst eine

Untersuchung anhand einer Probebohrung, ob Grundwasser als effizientere (da direkte Wärmequelle im Vergleich zu solegeführten Erdwärmesonden) nutzbar wäre. Dieser Ansatz musste allerdings wieder verworfen werden, da die Wasserspende am Probebrunnen nicht ausreichend war. So fiel die Entscheidung auf die Errichtung eines Erdwärmesondenfelds.

Nach der Erkundung der Ertragserwartung aus geologischen Karten und anderen frei verfügbaren Datenquellen wurde eine Mess-Sonde gebohrt und daran ein Thermal-Response-Test durchgeführt. Aufgrund der Messergebnisse des Tests wurde mittels thermodynamischer Simulation die Auslegung des Erdwärmesondenfelds vorgenommen und der zu erwartende Wärmeentzug aus dem Erdreich ermittelt (siehe Infokasten „Thermal Response-Test“).

Detailplanung des Erdwärmesondenfelds

Das Erdwärmesondenfeld musste aus Platzgründen unter dem Gebäude ausgeführt werden, da der geplante Baukörper längsseits zum einen von den Außenanlagen der Schule und einer Erschließungsstraße begrenzt wird, zum anderen wird das Gebäude rückseitig unmittelbar durch das angrenzende Nachbargrundstück begrenzt, wobei auch aus rechtlichen Gründen ebenfalls keine Sonden angeordnet werden können. Dies war allerdings problemlos möglich, da die natürliche Regeneration des Erdwärmesondenfelds fast vollständig aus dem geothermischen Wärmefluss aus dem Inneren der Erde resultiert. Eine Überbauung von Erdwärmesonden ist also durchaus möglich, da der Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung und Niederschlag nahezu irrelevant ist.

Die Probebohrung lieferte in Verbindung mit den Messergebnissen des Thermal-Response-Tests und der auf dieser Grundlage parametrisierten Langzeitbetrachtung die Erkenntnis, dass die verfügbare Wärmeentzugsleistung bereits nach zehn Jahren deutlich abnehmen wird.

Aufgrund dieses Ergebnisses und der beengten Platzverhältnisse empfahl der geothermische Fachplaner Alexander Eber eine aktive Regeneration des Erdwärmesondenfelds in die weiteren Planungsschritte einzubeziehen, da hiermit die Auskühlung verlangsamt, die Anzahl der erforderlichen Erdsonden verringert und damit gleichzeitig die Baukosten reduziert werden können.

Aktive Regeneration des Erdwärmesondenfelds

Unter aktiver Regeneration der Erdwärmesonden versteht man im Gegensatz zur natürlichen (passiven) Regeneration aus dem geothermischen Wärmestrom aus dem Erdinneren das Einbringen überschüssiger Wärme in den Sommermonaten in das Erdreich und das anschließende zeitversetzte Entnehmen dieser im Erdreich gespeicherten Wärme in den Wintermonaten. In diesem Fall wirkt das Erdwärmesondenfeld als Wärmesenke.

Für die angestrebte Sondenregeneration wurde zunächst das Fußbodenheizungssystem so ausgelegt, dass im Sommer das Schulhaus über eine freie Kühlung (bzw. passive Kühlung) gekühlt werden kann. Dies bedeutet, dass keine aktive Kühlung durch eine Kältemaschine erfolgt. Die dabei realisierbare Raumtemperierung erbrachte aber keinen ausreichenden Wärmeeintrag ins Erdwärmesondenfeld, die eine weitgehende Regeneration des Erdreichs ermöglicht. Deshalb wurden weitere Wärmequellen in Betracht gezogen, ohne jedoch auf die passive Kühlung im Sommer durch das Fußbodenheizungssystem zu verzichten, da dies zusätzlich auch das Raumklima positiv beeinflusst.

PV-Module als Wärmequelle für das Erdwärmesondenfeld

Schließlich bot sich die ohnehin auf dem Dach des Schulgebäudes geplante Photovoltaik-Anlage als zusätzliche Wärmequelle und damit auch als ergänzendes Regenerationspotenzial an. Dabei wurde ein Teil der Module als gekühlte PV-Module ausgeführt. Diese Photovoltaik-Elemente werden über die im Erdwärmesondenfeld zur Verfügung stehende Kälte ebenfalls über eine freie Kühlung gekühlt. Dies zählt sich in zweierlei Hinsicht positiv aus: Neben der Bereitstellung der für die Regenerierung des Erdwärmesondenfelds erforderlichen Wärmemenge ist es somit möglich, den temperaturabhängigen Wirkungsgrad der Solarzellen parallel zu steigern. Die gesamte PV-Anlage wurde so bemessen, dass der jährliche Stromertrag aus der Sonnenenergie den jährlichen Stromverbrauch der Wärmepumpen zur Beheizung des Schulneubaus deckt. Somit erzeugt das Gebäude den notwendigen Wärmepumpenstrom (mit dem Stromnetz als Puffer) autark und emissionsfrei.

Für die Umsetzung einer oberflächennahen geothermischen Wärmequellenanlage ergaben sich aufgrund der dargestellten Planungsschritte 30 Doppel-U-

Erdwärmesonden, die bis auf drei Sonden unter dem Gebäude angeordnet sind. Die Tiefe der Sonden beträgt dabei ca. 90 m.

Heizlast des Gebäudes

Mit der Wärmepumpe sollte nur die Raumwärme für das Schulgebäude bereitgestellt werden. Der Warmwasserbedarf war so gering, dass sich eine dezentral-elektrische Trinkwassererwärmung als die wirtschaftlichste und hygienischste Variante erwies. Die ermittelte Norm-Gebäudeheizlast für eine Nutzfläche von 2.675 m² umfasst rund 160 kW. Damit ergibt sich eine spezifische Gebäudeheizlast von 43 W/m². Die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (2007) werden um 30 % unterschritten. Die Wär-

mepumpenanlage besteht aus zwei zweistufig modulierenden Wärmepumpen von je 80 kW. Zur Pufferung der Wärme wurde ein Pufferspeicher mit 2.000 l Inhalt eingebaut.

Photovoltaik-Anlage (solegeführt)

Die installierte Photovoltaik-Anlage besteht aus fünf Modulreihen mit einer Gesamtleistung von 55 kW (Peak), die auf dem begrünten Dach des Schulneubaus errichtet wurden. Hiervon sind 162 thermische PV-Module mit je 180 Wp in drei Reihen für den gekühlten Betrieb (zur Erhöhung des Wirkungsgrads und der damit verbundenen Regeneration des Erdwärmesondenfelds) vorgesehen. Weiter wurden noch 142 PV-Hochleistungsmodule

Thermal Response Test

Planungssicherheit und Kostenreduzierung

Wärmequellenanlagen bis zu einer Gesamt-Heizleistung von 30 kW können gemäß VDI-Richtlinie 4640 ausgelegt und dimensioniert werden. Ist die benötigte Leistung jedoch größer als 30 kW, empfiehlt sich ein Thermal-Response-Test als anerkannte Feldmethode zur genauen Bestimmung der effektiven Wärmeleistung aus dem anliegenden Untergrund. Mit dieser Methode besteht eine standortspezifische Analyse der thermischen Eigenschaften im Untergrund, wo Erdwärmesonden geplant sind. Dieser Test bildet eine unabdingbare Grundlage für die Planung und Installation einer Erdwärmesondenanlage. Die Wärmeleitfähigkeit ist ein wesentlicher Parameter bei der Bemessung von Erdwärmesonden, Energiepfählen und erdberührten Bauteilen.

Diese Inside-Messung der Wärmeleitfähigkeit vor Ort ermöglicht den Planern auf Sicherheitszuschläge bei der Bemessung zu verzichten, da genau an der Stelle, wo beispielsweise ein Erdwärme-Sondenfeld geplant ist, diese Messung in der Tiefe des Untergrunds vorgenommen wird. Insbesondere bei mittleren und großen Erdwärmeanlagen können so teils erhebliche Investitionskosten eingespart und dennoch maximale Planungssicherheit hergestellt werden. Es kann aber auch geprüft werden, ob eine Erdwärmesondenanlage ent-

sprechend den jeweiligen Anforderungen überhaupt möglich ist. Auch kann der Einfluss von Erdwärmesonden aufeinander ermittelt werden, was insbesondere bei größeren Sondenfeldern nicht irrelevant ist. Der Response Test ist den Labormessungen qualitativ überlegen, da lithologische und bodenphysikalische Parameter durch die Methodik nicht verfälscht werden. Neben der Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit lässt sich für Erdwärmesonden und Energiepfähle auch der so genannte thermische Bohrlochwiderstand ermitteln. Dieser Parameter gibt an, wie gut die Installation der Erdwärmesonde ist bzw. ob das Verpressmittel einen hohen thermischen Widerstand aufweist.

Ein Response Test wird im Allgemeinen an einer Testbohrung (Ausbau der Testbohrung mit einer Erdwärmesonde) oder an der ersten Bohrung des vorgesehenen Erdwärmesondenfelds durchgeführt. Beim Response Test wird zumeist eine konstante Wärmemenge in den Untergrund eingetragen und die Temperatur-Antwort (engl. Response) gemessen. Mit Hilfe moderner SPS-Technik kann die Ausfallrate auf ein Minimum reduziert werden, so dass Response Tests schnell, zuverlässig und vor allem kostengünstig durchgeführt werden können.



Raumluftqualitätssensor, wie er sich in jedem Klassenzimmer befindet und den Zeitpunkt der Fensterlüftung anzeigt

mit je 180 Wp in zwei Reihen für den konventionellen Betrieb eingesetzt. Mit dem Jahresertrag von mindestens 50.000 kWh kann der Strombedarf für den Betrieb der Wärmepumpe gedeckt werden. Dabei wird eine CO₂-Einsparung von jährlich 30 t erzielt.

Erforderliche Anpassungen für die Regeneration des Erdwärmesondenfelds

Im Hinblick auf die Realisierung der sommerlichen Erdwärmesondenregeneration war es erforderlich eine Anpassung des unterschiedlichen Temperaturniveaus beider Wärmequellen umzusetzen. Hierfür wurden für beide Systemkreise folgende Temperaturen als Auslegungsparameter festgelegt: Fußbodenkühlung Vorlauftemperatur 15 °C, Rücklauftemperatur 20 °C. Für die Photovoltaik-Module erfolgte die Festlegung einer maximalen Rücklauftemperatur von 40 °C. Im Erdwärmesondenkreislauf (Primärkreislauf) wurde dieser Festlegung durch Einsatz von PeXa als Rohrleitungswerkstoff und thermisch verbesserten Verfüllbaustoffen Rechnung getragen.

Weiter erfolgte eine Aufteilung des Erdwärmesondenfelds in zwei hydraulisch voneinander trennbare Teilfelder im Verhältnis 13:17 Sonden. Diese Aufteilung erlaubt eine separate Regenerierung der Teilfelder mit jeweils nur einer – wahlweise auch beiden – Wärmequellen. Zudem gestattet diese Konfiguration im Winter (während der Betriebszeit der Wärmepumpen) die Temperatur des Sole-Rücklaufs über die Solar-Module anzuheben. Dieser Effekt verstärkt sich gegenläufig zur Entladung des Erdwärmesondenfelds.

Lüftungskonzept (Unterrichtsräume)

Neben einer effektiven und behaglichen Wärmeversorgung wurde auch großer Wert auf eine gute Luftqualität innerhalb der Unterrichtsräume gelegt. Das Behaglichkeitsgefühl der Gebäudenutzer hängt auch von einer Vielzahl physikalischer Bedingungen ab. Hierzu zählen Luftqualität, Luftfeuchte, Luftbewegung und Temperatur. Dies soll durch so genannte Lüftungsampeln erfolgen, da der Einbau einer mechanischen Lüftung (siehe Variantenvergleich) aufgrund der mangelnden Wirtschaftlichkeit als Lösung ausschied. Um die verbrauchte Luft in den Klassenzimmern abzuführen, ist eine gezielte Lüftung (Stoßlüftung) notwendig. Durch weit geöffnete Fenster wird innerhalb weniger Minuten das gesamte Luftvolumen des Klassenraums ausgetauscht, die Raumluftqualität verbessert und die Konzentration gesteigert. Dieses effiziente Lüften soll den Schülern pädagogisch vermittelt werden.

Die Kennzahl zur Bestimmung der Luftqualität ist der in der Raumluft vorhandene CO₂-Gehalt. In Fachkreisen gilt eine CO₂-Konzentration in Höhe von 1.000 bis 1.500 ppm (parts per million) als oberer Grenzwert. Dieser Wert wird in einem Klassenraum mit einem Raumvolumen von ca. 190 m³ und einer Belegung von 30 Schülern (bei geschlossenen Fenstern) schon nach ungefähr 20 min erreicht. Um jedoch während der gesamten Schulstunde eine gute Luftqualität zu gewährleisten bzw. ein gezieltes Lüften zu ermöglichen, stellt die „Lüftungsampel“ eine ideale Kontrollmöglichkeit dar. Sie ist gut sichtbar im Raum angebracht und gibt durch mehrfarbige LEDs, von grün – gelb – orange bis rot, Auskunft über die vorhandene CO₂-Konzentration im Raum. Zusätzlich wird die im Raum vorhandene Luftfeuchtigkeit angezeigt.

Lüftungskonzept (Gebäude)

Um eine gute natürliche Durchlüftung des gesamten Gebäudes mit einem Brutto-rauminhalt von 15.399 m³ zu ermöglichen, wurden die Fenster in den Fluren (im westlichen und östlichen Teil des Gebäudes) als zentral steuerbare Lamellenfenster ausgeführt. Im Aufgangsbereich der Aula wurden an der Nord- und Südseite der Fassade großflächig motorisch steuerbare Lamellenfenster integriert. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich der größte Lamellenfensteranteil in Höhe des 2. Obergeschosses befindet, so dass bei Wind-

stille vermehrt die entstehende Thermik zu einer natürlichen Durchlüftung des Gebäudes führen kann. Auch lassen sich mit den natürlich erzeugten Luftvolumenströmen durch die steuerbaren Lamellenfenster höhere Wärmelasten sowie Schad- und Geruchstoffe aus dem Gebäude abführen.

Anlagenüberwachung/Monitoring

Die Anlage wird nun im Betrieb immer weiter optimiert. Zu diesem Zweck sind an einzelne Erdwärmesonden in jeweils drei geologisch/hydrogeologisch repräsentativen Einheiten Temperaturfühler angebracht. Ziel ist es, die Temperaturentwicklung im Erdwärmesondenfeld zu beobachten und auch zu bilanzieren. Dadurch können die Energiekreisläufe und die Regelparameter für Kühlung, Photovoltaik, Kühlung Gebäude, Beheizung Gebäude und Rücklaufanhebung Sole optimal aufeinander abgestimmt werden.

„Bei unserem Projekt war das Ziel, die Umsetzung einer regenerativen Wärmeversorgung, relativ schnell klar. Nur der Weg dorthin war in Abschnitten doch recht steinig und ungewiss. Einmal kam die Befürchtung auf, in eine Sackgasse gelangt zu sein. Doch dann, nach einiger Zeit, war es schön zu sehen, wie in einer offenen und ausgeglichenen Planungsatmosphäre eine tolle Lösung entstehen kann. Und dann das Beste: Die Erkenntnis, dass dieser gemeinsame Prozess eine der schönsten Stellschrauben der Motivation sein kann“, resümiert Frau Katrin Egyptiadis-Wendler zu diesem Projekt.

Fazit

Bei der Neuerrichtung einer Schule wie auch bei der Sanierung eines Schulgebäudes gibt es ein breites Spektrum von Zielvorgaben. Im Mittelpunkt steht hier einerseits eine nachhaltige Energienutzung auch unter wirtschaftlichen Aspekten, andererseits der gleichzeitige Wunsch, den Nutzerkomfort zu erhöhen sowie die Institution Schule sozio-kulturell aufzuwerten.

Da das Raumklima in einem Schulgebäude auch das Lernklima beeinflusst, geht es um mehr als nur Energiekosten. Eine hohe Energieeffizienz kann aber nicht nur zu geringeren Energiekosten und schonendem Umgang mit Ressourcen führen, sie kann auch dazu beitragen, eine behagliche Schumatmosphäre zu schaffen und darüber hinaus pädagogisch genutzt werden, um den nachhaltigen Umgang mit Energie zu vermitteln.