



## Schulsanierung mit solarer Nahwärme verknüpft

Abb. 1



- ▶ **Schul- und Sportzentrum: Gebäudesanierung und solares Nahwärmesystem in einem Projekt**
- ▶ **4.500 Kubikmeter saisonaler Kies-Wasser-Wärmespeicher mit neuen Ansätzen u. a. bei Abdichtungsbauart und Speicherfüllung**
- ▶ **Gesamtsystem derzeit in Erprobung**

*Mit der Installation von großmoduligen Solardächern konnten bei Dachsanierung und -montage Kosten gespart werden.*

**E**ine bereits vorhandene Nahwärmestruktur, zu sanierende Gebäude und ausreichend Platz für Speicher und Solaranlage sprachen dafür, in Eggenstein-Leopoldshafen bei Karlsruhe ein solares Nahwärmesystem im Schul- und Sportzentrum zu installieren. In Verbindung mit einer Sanierung der Bestandsgebäude sollte so der Heizenergiebedarf gesenkt werden.

Die Projektnehmer mussten die Sanierung von zum Teil maroden Gebäuden und den Wunsch nach einem hohen solaren Deckungsanteil von bis zu 40% in Einklang bringen. Entgegen der gängigen Vorgehensweise, sanierten sie zuerst das Heiznetz. Dies kann man als Tribut an den schlechten Zustand der Gebäudetechnik interpretieren. Die Sanierung der Gebäude folgte in Einzelschritten, da der Schulbetrieb aufrecht erhalten werden musste. Der Einsatz von Solardächern trug

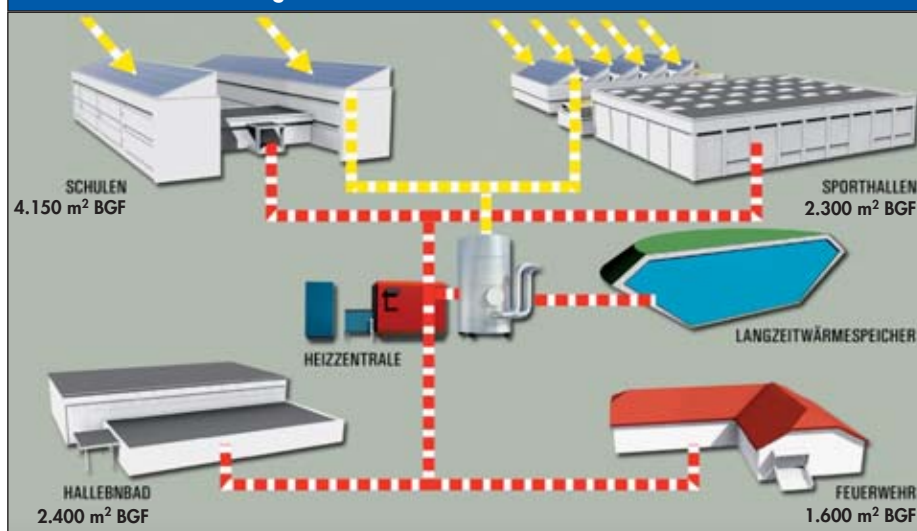
dazu bei, dass bei der Dachsanierung Kosten eingespart wurden. Insgesamt wurden 1.600 Quadratmeter Kollektorfläche installiert. Um solare Deckungsanteile von 35 bis 40% erreichen zu können, setzten die Verantwortlichen mit einem Kies-Wasser-Wärmespeicher auf saisonale Speicherung. Hier wurden erstmalig Forschungsergebnisse aus dem Labor- und Versuchsmaßstab direkt in einem Großspeicher umgesetzt. Dies stellte neue Anforderungen an Planer, Errichter und Betreiber und bedeutete ein hohes technisches Risiko. Innovative Ansätze beim Be- und Entladesystem, der Abdichtungsbauart, der Wärmedämmung und der Füllung des Speichers boten zusätzliche Herausforderungen. Seit einiger Zeit wird der Speicher beladen und befindet sich aktuell in der Erprobungsphase. Das Projekt wird unter anderem aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

## ► Am Startpunkt: Gebäude im 60er-Jahre Flair

Das am Ortsrand gelegene Schul- und Sportzentrum besitzt die typische Struktur und Architektur der sechziger Jahre. Größtes Gebäude ist die Grund- und Hauptschule mit einer Bruttogeschossfläche (BGF) von 4.150 m<sup>2</sup>. Die im Gebäude befindliche Heizzentrale versorgte von Anfang an weitere Gebäude des Schulzentrums über ein Nahwärmenetz mit Wärme aus einem Gas- und zwei Ölkesseln. Die weiteren Gebäude des Schulzentrums, die über die Nahwärme versorgt wurden, sind eine Wettkampfsporthalle, ein Hallenbad sowie ein Feuerwehrhaus.

Außer wenigen Maßnahmen zum Bauernhalt gab es bis 2001 keine weiteren Modernisierungen an der thermischen Hülle. Die Bausubstanz verschlechterte sich und die Anzahl der Reparaturen an der Gebäudetechnik stieg. Diese war in allen Gebäuden Erstausrüstung, sodass die technische Lebensdauer weit überschritten war. Das Alter der Gebäude und ihre Bauweise im Stil der sechziger Jahre trugen dazu bei, dass die Energieverbräuche sehr hoch waren. Ursachen waren ein ungenügender Wärmeschutz mit

**Abb. 2: Gesamtenergiekonzept des Schul- und Sportzentrums nach der Sanierung mit Be- und Entladeschema**



vielen Wärmebrücken, wie etwa luft- und schlagregendurchlässige Fenster mit hohen Wärmedurchgangskoeffizienten für Rahmen und Verglasung. Heizkörper standen zum Teil vor Verglasungen. Die durchfeuchtete

Dämmung der Flachdächer steigerte den Energieverbrauch zusätzlich. Der Gaskessel war seit 2001 defekt. Die Ölkessel (je 750 kW) stammten aus dem Jahr 1970.

## ► Der Weg zum solaren Nahwärmesystem

### Chronik der Sanierungsmaßnahmen

2002	Sanierung des Nahwärmenetzes im gesamten Schulzentrum und Erneuerung der Kesselanlage und Heizzentrale
2002 – 2003	Neubau der Sporthalle B mit 600 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
2003 – 2004	Sanierung der Sporthalle A
2004 – 2006	Sanierung der Grund- und Hauptschule mit Installation 1000 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
2007	Bau des Kies-Wasser-Langzeitwärmespeichers
Seit 2008	Erweiterung der Heizzentrale
2009	seit September: Sanierung Hallenbad seit Juli: Gesamtanlage belädt den Langzeitwärmespeicher Wärmepumpe in Erprobungsphase (Stand: Oktober 2009)

Im ersten Ausbauschritt wurden die defekte Kesselanlage und das 300 m lange, undichte Nahwärmenetz ersetzt. Anschließend wurde die neue Sporthalle mit einer Kollektorfläche von 600 m<sup>2</sup> gebaut. In den Schulgebäuden trugen eine verbesserte und neu installierte Wärmedämmung sowie der Einbau einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung bereits erheblich zur Reduktion des Energieverbrauchs für die Raumheizung bei. Nach der Sanierung sollte hier der Jahresheizenergiebedarf um 69% reduziert sein, das heißt von 832 MWh/a im Bestand auf

258 MWh/a sinken. Ein Jahresheizwärmeverbrauch von 257 MWh/a im Jahr 2007 bestätigt, dass diese Wegmarke erreicht werden konnte.

Die so genannten „solar roofs“ mit 1.000 m<sup>2</sup> Kollektoren verwandelten die Flachdächer der Grund- und Hauptschule in 30°- geneigte Pultdächer. Da das Kollektorfeld hier den Dachbelag ersetzt, konnten durch den Einsatz der Solardächer Kosten bei Montage und Sanierung der Flachdachdämmung und -abdichtung eingespart werden. Im unterhalb der Kollektoren entstandenen

**Abb. 3: Grund- und Hauptschule in Vogelperspektive**



Dachraum fand die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung Platz. Eine für den solaren Ertrag optimale Neigung von 45° wurde aus Rücksicht auf die Architektur nicht realisiert. Der solare Deckungsanteil am jährlichen Gesamtwärmebedarf des Nahwärmesystems liegt entsprechend dynamischer Simulationen zwischen 35% und 40%. Zwei Gaskessel mit jeweils 600 kW Heizleistung decken den Restwärmebedarf als Spitzenlastwärmeerzeuger.

## ► Innovative Ansätze beim Langzeitwärmespeicher

Die Wärme, die die Kollektoren liefern, wird entweder in den Pufferspeicher geladen und von dort direkt im Nahwärmenetz genutzt oder im 4.500 m<sup>3</sup> Kies-Wasser-Wärmespeicher eingelagert. Im Sommer kann der Speicher bis zu einer Temperatur von 80 °C beladen werden. Die Entladung

findet zunächst direkt statt. Ab etwa 35 °C kann eine 60-kW-Wärmepumpe den Wärmespeicher bis auf 10 °C entladen und so dafür sorgen, dass seine Wärmekapazität voll ausgenutzt wird. Hieraus resultieren höhere Nutzungsgrade bei Wärmegewinnung und -speicherung.

### Speicherfüllung

In Eggenstein kam ein mit Kies, Sand und Wasser gefüllter Erdbecken-Wärmespeicher zum Einsatz. Nach Aushub der Speichergrube zeigte sich, dass im Untergrund fast nur Sand und kaum Kies vorhanden sind. Um die Baukosten gering zu halten, wurde anzufah-

Abb. 4: Kiesbefüllung des Speichers



render Kies nur im unteren und oberen Bereich des das Speichervolumen bildenden Doppelkegelstumpfes eingebaut. Der mittlere Teil, ca. 50% des Gesamtvolumens, wurde mit dem ausgehobenen und an der Baustelle zwischengelagerten Sand aufgefüllt.

**Be- und Entladung**

Zwei Brunnen, die in die untere und obere Kiesschicht eingebunden sind, beladen den Wärmespeicher im direkten Wasseraustausch über den Deckel. Da sich die Strömungsrichtung durch die Brunnen vom Sommer zum Winter umdreht, dienen diese jeweils abwechselnd als Förder- oder als Schluckbrunnen.

**Wärmedämmung und Abdichtung**

Der Speicher ist am Boden und in den Wänden mit 50 cm Blähglasgranulat und auf dem Speicherdeckel mit 90 cm Schaum-

glasschotter wärmedämmt. Die äußere Abdichtung besteht aus einer Folie auf PE-Basis, in die in der Mitte Aluminium einlamiert wurde. Das Material kann geschweißt werden und sichert die Wasserdampfdichtigkeit. Die Primär- und Sekundärtaschen bestehen ebenfalls aus Kunststoffolie. Die Erstgenannten werden auf die Folie geschweißt, es wird Blähglasgranulat hineingebblasen, anschließend werden sie evakuiert. Die Sekundärtaschen entstehen automatisch zwischen den Primärtaschen durch Aufschweißen einer Verbindungsfolie von einer Primärtasche zur nächsten. Die Sekundärtaschen werden ebenfalls mit Granulat gefüllt und evakuiert. An insgesamt 30 Prüffeldern an Boden, Wand und Decke wird überprüft, ob der so entstandene Unterdruck konstant bleibt. Durch die konstante Prüfung auf Unterdruck werden auch kleine, undichte Stellen frühzeitig bemerkt.

Abb. 5: Die Sekundärtasche entsteht durch das Aufschweißen einer Verbindungsfolie von einer Primärtasche zur nächsten.



**Bauweise**

Da sich der Grundwasserspiegel 7,5 Meter unter der Geländeoberkante befindet, war es nicht möglich, den kompletten Speicher unterirdisch zu bauen. Aus thermodynamischen Gründen und da eine geringe Oberfläche erstrebenswert ist, war das Ziel eine kompakte und hohe Bauweise. Mit drei Metern über der Geländeoberkante entstand schließlich ein Kies-Wasser-Langzeitwärmespeicher, der sich zum Teil oberirdisch befindet. Die Speichersole ist sieben Meter unter der Erde. Die Abdichtung der Außenwand durch Kunststoffolie trägt mit dazu bei, dass auch bei einem möglichen Ansteigen des Grundwasserpegels durch Hochwasser keine Beeinträchtigung des Speicherbetriebs stattfindet.

**► Ergebnisse und Erfahrungen**

Unter anderem beim Speicherwandaufbau, der inneren und äußeren Abdichtung sowie der beschriebenen Methode der Evakuierung wurden Forschungsergebnisse des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart umgesetzt. Das Besondere war, dass die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Labormaßstab direkt in die realen Maßstäbe des Wärmespeichers übertragen wurden. Dies stellte neue Anforderungen an Planer, Errichter und Betreiber. Das eingegangene hohe technische Risiko zahlte sich letztlich aus. Es zeigte sich, dass neue Materialien und Konzepte teilweise kostengünstiger in einem Außenlabor als in einem realen Pilotspeicher getestet werden konnten und der Speicher dadurch in einigen Punkten sicherer und technisch besser war. Die gemittelten Energieverbrauchswerte von 1988 bis 2000 dienten als Basis für die Entwicklung des Energiekonzeptes. Der gemessene Stand 2008 zeigt, dass wesentliche Ziele, wie etwa die Halbierung der Jahreswärmearbeit, bereits erreicht sind. Der Wär-

mebedarf der Sporthallen kann nur gesamt erfasst werden. Auch eine getrennte Erfassung von Raumheizung und Warmwasserbereitung ist nicht möglich. Um eine differenzierte Auswertung zu erhalten und einen direkten Vergleich mit der unsanierten Sporthalle A durchführen zu können, wäre es sinnvoll gewesen in jedem Gebäude Wärmemengenzähler zu installieren.

Um eine hohe Effizienz des Solar-systems erreichen zu können, ist für alle sanierten Bereiche eine Rücklauf-temperatur von maximal 30 °C erforderlich. Diese kann aktuell noch nicht überall erreicht werden, da in einigen Gebäuden noch Sanierungen ausstehen. Hier übersteigt die Rücklauf-temperatur zum Teil die 50 °C – Grenze.

Der geplante Endausbau soll Ende 2010 (vgl. Abb. 6) erreicht sein. Bei den aufge-

**Abb. 6: Energieerzeugung und -verbrauch**

Energieerzeugung in MWh/a	Bis 2000	2008	Geplanter Endausbau bis 2010
Solar	0	143	400
Kessel 1 + 2	2.170	1007	900
<b>Summe</b>	<b>2.170</b>	<b>1.150</b>	<b>1.300</b>
Energieverbrauch in MWh/a	1988-2000*	2008	Geplanter Endausbau bis 2010
Schule	780	275	260
Sporthalle A	400	240	240
Sporthalle B	0	240	150
Hallenbad	540	320	300
Feuerwehr	150	127	150
Nahwärmeleitung	150	88	100
Verluste Heizzentrale	150	100	100
<b>Summe</b>	<b>2170</b>	<b>1150</b>	<b>1300</b>

\* gemittelte Werte

fürten Werten wird davon ausgegangen, dass die Hallenbadsanierung beendet ist, sämtliche Sanierungen von Sporthalle A, Schule und Hallenbad durchgeführt sind sowie die Erprobungsphase des Gesamtsystems erfolgreich abgeschlossen ist.

## Fazit

Durch die verschiedenen Sanierungsmaßnahmen wurde in einem ersten Schritt der Energieverbrauch gesenkt. Dieser reduzierte Verbrauch soll so weit wie möglich solar gedeckt werden. Der Langzeitwärmespeicher ermöglicht die im Sommer gespeicherte Wärme im Winter zu nutzen. Unterhalb einer Temperatur von 35 °C kann die Wärmepumpe den Speicher bis auf 10 °C entladen. Die Wärmeenergie kann in das Heizsystem eingespeist werden. Außerdem führt das niedrige Temperaturniveau im Speicher zu einer hohen Wärmespeicherkapazität und zu hohen Kollektorerrträgen durch niedrige Kollektorrücklauftemperaturen. Neue Ansätze bei Material, Bauweise und Technik trugen dazu bei, den Kenntnisstand im Bereich der Speichertechnologie weiter zu verbessern.

Eine besondere Herausforderung des Projektes lag darin, die Sanierung von zum Teil stark überalterten Gebäuden mit der Installation eines solaren Nahwärmesystems in Einklang zu bringen. Hier waren sowohl fachliche als auch organisatorische Kompetenzen gefragt. Die unterschiedlichen Verbrauchsprofile von Schule, Sporthalle und Hallenbad mussten bei Sanierung und Auslegung der Anlagen berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden. Viele Arbeiten fanden während des laufenden Schulbetriebs statt. Unterricht wurde zum Teil in Containern ausgelagert, lärmende Arbeiten mussten auf die Ferien verlegt werden. Da sich die Arbeiten über einen längeren Zeitraum zogen und die unterschiedlichen Bereiche und Arbeiten aufeinander abgestimmt werden mussten, war ein gut funktionierender Informationsfluss hier besonders wichtig. Eine abschließende Bewertung der Energieeinsparung des Schul- und Sportzentrums ist erst nach Auswertung der ersten Betriebsjahre möglich. Da der Gebäudebestand ein großes Potenzial zur Energieeinsparung und Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bietet, wird das solare Nahwärmesystem in Eggenstein-Leopoldshafen vermutlich kein Einzelprojekt bleiben.

### PROJEKTADRESSEN

#### Planung und Bauüberwachung

- Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft GmbH & Co. KG  
Holger Koch  
Marienstraße 37  
70178 Stuttgart

#### Wissenschaftliches Messprogramm

- Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)  
Dr. W. Heidemann  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6  
70550 Stuttgart

#### Wissenschaftlich-technische Beratung

- Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme  
Dipl.-Ing. Dirk Mangold  
Nobelstraße 15  
70569 Stuttgart

#### Langzeitwärmespeicher

- Züblin Spezialtiefbau GmbH  
Albstadtweg 1  
70567 Stuttgart

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Literatur

- Kley, C.: Nachhaltige Sanierung einer Grund- und Hauptschule mit Integration in eine solare Nahwärme mit Langzeitwärmespeicher. In: Ostbayerisches Technologie-Transfer Institut e. V. (OTTI), Regensburg (Hrsg.): 3. Internationales Anwenderforum Energetische Sanierung von Gebäuden. Bad Staffelstein, 26.-27. März 2009. Tagungsband. 2009
- Pfeil, M.: Energieeffiziente Schulprojekte: Sanierung Schul- und Sportzentrum mit solarer Nahwärme/ Neubau Berufskolleg mit innovativem Lüftungskonzept. Vortrag im Fachseminar „Integrale Planung für Nichtwohngebäude mit Erneuerbaren Energien“. Stuttgart, 11. März 2009.
- Riegger, M.; Mangold, D.: Planungsoptimierung und Bau des solaren Nahwärmesystems mit saisonalem Kies-Wasser-Wärmespeicher in Eggenstein-Leopoldshafen. In: Ostbayerisches Technologie-Transfer Institut e. V. (OTTI), Regensburg (Hrsg.): 18. Symposium Thermische Solarenergie. Bad Staffelstein, 23.-25. April 2008. Tagungsband. 2008

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1 bis 6: Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft GmbH & Co. KG, Stuttgart

#### Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter [www.bine.info](http://www.bine.info) im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

### PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
11055 Berlin

Projektträger Jülich  
Geschäftsbereich Erneuerbare Energien  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr.-Ing. Peter Donat  
Zimmerstraße 26-27  
10969 Berlin

- Förderkennzeichen  
0329607M

### IMPRESSUM

- ISSN  
0937 – 8367

- Version in Englisch  
Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter [www.bine.info](http://www.bine.info) an.

- Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- Nachdruck  
Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

- Autorin  
Birgit Schneider

### BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

#### Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**? Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44

 **BINE**  
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)