

Laborgebäude des Fraunhofer ISE mit Kälteverbund und neuen Fassadenelementen

Doreen Kalz und Nicolas Réhault

Die Ingenieure des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg nutzten einen Laborneubau, um neueste Gebäudetechnik zu erforschen. So entstand ein Nahwärme- und Kälteverbund mit einem gebäudeintegrierten Kaltwasserschichtspeicher, der in dieser Form das erste Mal eingesetzt wurde. In die Gebäudehülle wurden zwei verschiedene Photovoltaik-Fassadensysteme integriert.

Überblick Gebäude und Nutzung

Auf dem Areal des Neubaus mussten auch bestehende Gebäude saniert und in ein Energiekonzept einbezogen werden. Der Energiebedarf wird vom Kältebedarf der Labore dominiert und so entstand die Idee eines Gesamtenergiekonzepts, bei dem die angrenzenden Gebäude mit der dabei entstehenden Abwärme versorgt werden. Kernstück ist das neu gebaute sechsgeschossige Laborgebäude mit einer Nettogrundfläche von 4.240 m², das für drei Technologien konzipiert wurde:

- Photonik und Mikrostrukturierung; Anwendung z. B. für höhere Solarzellenwirkungsgrade oder zur Kontrastverbesserung in Displays
- Konzentratoroptik, wie sie für konzentrierende Photovoltaik- oder solarthermische Kraftwerke benötigt wird
- Beschichtung, beispielsweise für solarthermische Absorber oder Fensterscheiben.

Die Labore stellen höchste Anforderungen an Versorgungssicherheit, Prozesskälte, Konstanz der Raumtemperatur und Erschütterungsfreiheit. Im Gebäude ist auch ein Seminarraum untergebracht. Die angrenzenden Bestandsgebäude wurden saniert und werden von der Energiezentrale des Laborgebäudes mit Wärme versorgt.

Das Laborgebäude hat einen berechneten Heizwärmebedarf (Nutzenergie) von 45,4 kWh_{therm}/m² a. Der berechnete Kühlenergiebedarf für Klimakälte (nur Kühlung, keine Entfeuchtung) beträgt 26,1 kWh_{therm}/m² a (Nutzkälte) und für die Prozesskälte 8,5 MWh_{therm} pro Betriebstag.

Die Autoren



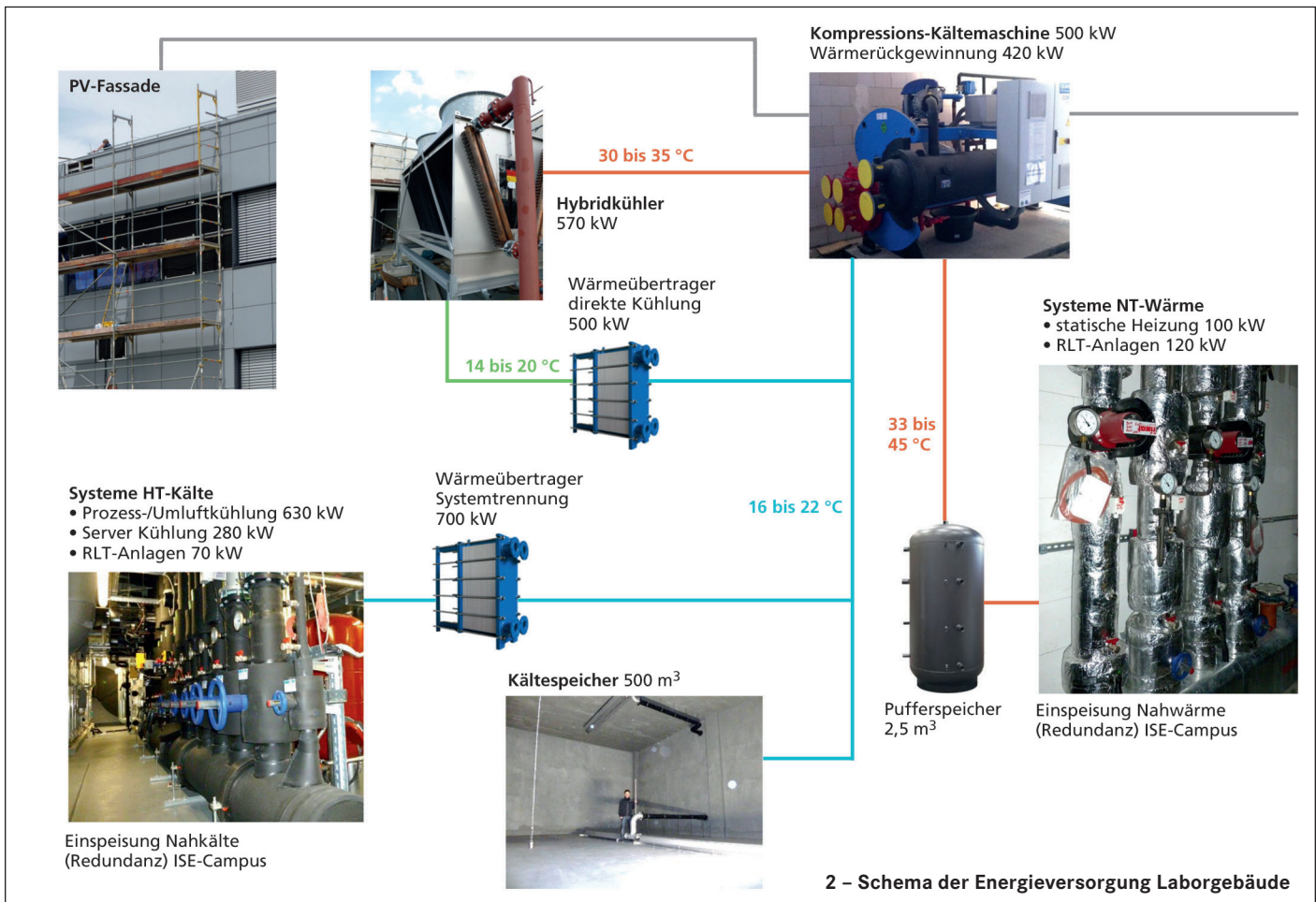
Dr.-Ing. Doreen Kalz
Leiterin der Gruppe Gebäudeanalyse und Energiekonzepte, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg



Nicolas Réhault
Leiter der Gruppe Betriebsführung, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

1 – Neubau Laborgebäude (grau) mit saniertem weißem Gebäude





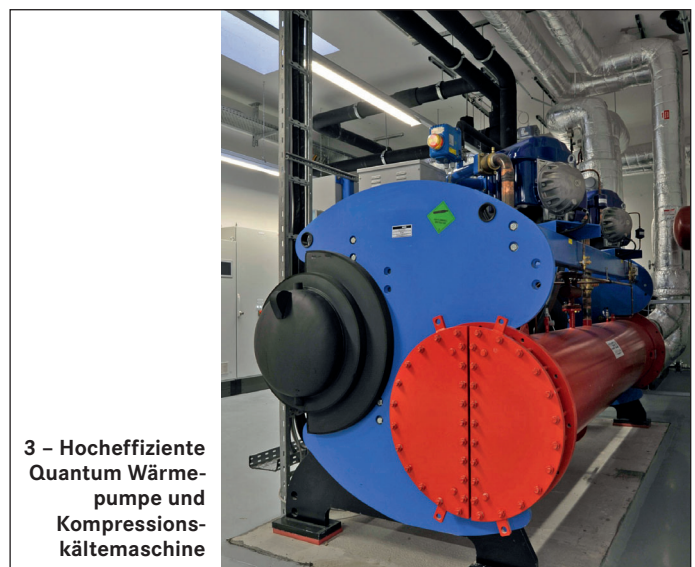
Laborgebäude und Gesamtenergiekonzept

Die Labore im Neubau haben großen, stochastisch verteilten Bedarf an Kühlwasser. Sie brauchen für die wissenschaftlichen Untersuchungen hohe Versorgungssicherheit, thermische Stabilität ($22\text{ °C} \pm 0,1\text{ K/h}$) und Schwingungsfreiheit. Gleichzeitig sollte demonstriert werden, dass auch unter diesen Umständen sowohl eine hohe Energieeffizienz als auch eine netzdienliche Glättung der Lastschwankungen möglich sind.

Für den Energieverbund mit den Bestandsgebäuden wurde deshalb ein Kälte- und Wärmeversorgungskonzept mit einer hocheffizienten 500 kW_{therm} Wasser/Wasser-Wärmepumpe erarbeitet (Bild 2).

Im Heizfall erzeugt die Wärmepumpe Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau von etwa 35 °C für die Versorgung von statischen Heizflächen und für Lüftungsanlagen. Im Wärmepumpenbetrieb wird die Wärmequelle von einem Kaltwasserspeicher auf einem hohen Temperaturniveau von 16/22 °C gebildet, die Prozesse, statische Kühlflächen und Lüftungsanlagen versorgt. Im Bestandsgebäude wurde im Rahmen einer Sanierung das vorhandene Hochtemperatur-Heizsystem auf Wärmeübergabe mit Niedertemperaturniveau umgestellt.

Im Sommer wird das Laborgebäude bis zu einer mittleren Tagesaußentemperatur von 14 °C vorrangig mit direkter Kühlung über einen hybriden Rückkühler versorgt. Die Kälte kann entweder direkt in den Verbraucherkreis oder in den Kaltwasserspeicher eingespeist werden. Bei höherer Kältebedarfsanforderung und höheren Außenlufttemperaturen wird die Wärmepumpe als außenluftgekühlte Kältemaschine betrieben.



Das System basiert auf einem Niedrigexergie-Ansatz: Die Wärmequelle mit hohem und die Wärmesenke mit niedrigem Temperaturniveau ermöglichen hohe Jahresarbeitszahlen des Kompressionsprozesses.

Auch die Gebäudehülle ist energieeffizient: So unterschreiten die U-Werte der Gebäudehüllbauteile die EnEV-Anforderungen um 26 % für die transparenten Außenbauteile und um 63 % für die opaken Bauteile. Der mittlere U-Wert ist 0,31 W/m² K.

Der Primärenergiebedarf laut Energieausweis beträgt 77 kWh/m² a und unterschreitet den zulässigen Wert damit um 55 %. Die Einhaltung der Planwerte wird durch ein betriebsbegleitendes Langzeitmonitoring kontrolliert.

Zwei Arten innovativer Photovoltaik sind in das Gebäude R integriert: Opak an der Süd-West-Fassade, transparent mit Sonnenschutzfunktion im Seminarraum.

Kältemaschine und Wärmepumpe in einem

Die Kälte- und Wärmeversorgung erfolgt über eine neuartige 500 kW_{therm} Wärmepumpe, die zugleich Wärme und Kälte zur Verfügung stellt und die anfallende Prozessabwärme nutzbar auskoppeln kann.

Die relativ junge Technologie des magnetgelagerten Turboschraubenverdichters hat die Effizienz gegenüber Maschinen mit klassischen Verdichtertechnologien gesteigert.

Beim Anlauf und im Teillastbereich wird durch die gute Regelbarkeit der Turboverdichter eine höhere Elektroeffizienz erreicht. Die Magnetlagerung reduziert die Reibungsverluste und ermöglicht einen ölfreien Betrieb, der die Wärmeübertragung zwischen Kühlmedium und Kältemittel verbessert. Mit der geplanten hohen Wärmequellentemperatur von rund 22 °C und der niedrigen Wärmesenktemperatur von etwa 30 °C sollen Arbeitszahlen JAZ über 7,5 kWh_{therm}/kWh_{end} erreicht werden.

Gebäudeintegrierter Kaltwasserspeicher

Wegen der hohen Anforderungen an Versorgungssicherheit und Temperaturstabilität, des stark schwankenden Kältebedarfs, wie

sie Sputter- oder Belichtungsprozesse mit Laser verursachen, wurden bereits in der Vorplanung Lösungen für die thermische Energiespeicherung untersucht.

Die kurzzeitige Kaltwasserspeicherung bietet viele Vorteile hinsichtlich der energetischen, betriebstechnischen, ökologischen und wirtschaftlichen Verhältnisse beim Kälteversorgungssystem. So reduziert sie die notwendige installierte Kälteleistung und ermöglicht einen energetisch und wirtschaftlich effizienten Betrieb der Kältemaschinen.

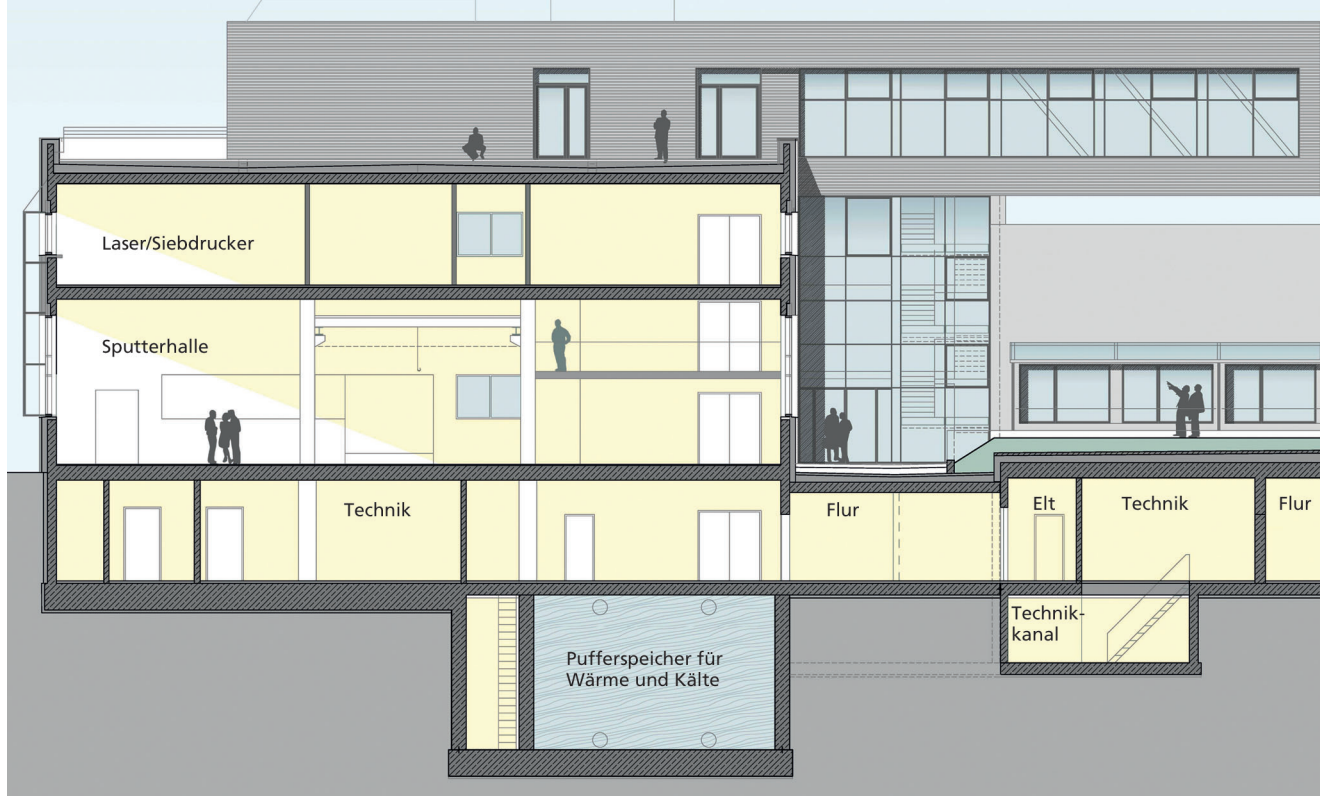
Nachts sinkt im Allgemeinen der Kältebedarf, die verfügbare Kälteleistung der Kältemaschine oder der Rückkühleinrichtung kann dann für die Speicherbeladung eingesetzt werden. Der Kaltwasservorrat kann z. B. am darauf folgenden Tag für die Spitzenlastdeckung eingesetzt werden und so Bezugsspitzen im Netz kappen.

Die architektonische Integration eines Speichervolumens von 500 m³ war eine Herausforderung für das Planungsteam. Wegen des begrenzten verfügbaren Raums im und neben dem Gebäude wurde eine Variante mit unterirdischem Betonspeicher gewählt.

Die Funktion des gesamten Systems hängt stark vom thermischen Schichtungsbetrieb im Speicher ab. Um eine ausgeprägte Schichtung und somit ein möglichst großes Kaltwasservolumen im Be- sowie Entladebetrieb zu erreichen, müssen mehrere sensible Parameter betrachtet werden. Einer davon ist die absolute Höhe des Speichers, die aus baulichen Gründen auf 5 m begrenzt war.

Um den Schichtungsbetrieb bei den sehr geringen Dichtedifferenzen des Wassers im betrachteten Temperaturbereich zu ge-

4 – Schnitt durch das Gebäude R mit Kaltwasserschichtspeicher im 2. UG





5 – Rohbau Kaltwasserspeicher

währleisten, mussten die Be- und Entladeeinrichtungen besonders sorgfältig gestaltet werden. An der TU Chemnitz in der Fakultät Maschinenbau, Professur Technische Thermodynamik, wurden dazu eigene Modelle entwickelt und u. a. die Radialdiffusoren konzipiert, die Be- und Entladen in einer Schicht ohne Verwirbelung ermöglichen.

Der Speicher ist an den Seitenwänden und der Decke gedämmt, um Verluste und Leitungseffekte, die die Schichtung beeinträchtigen können, zu vermeiden. Der Speicherboden bleibt ungedämmt und macht so positive Effekte der thermischen Wechselwirkung des Speichers mit dem Erdreich möglich.

Gebäudeintegrierte Photovoltaik

In die Fassade des Seminarraums wurde eine neue Generation von teiltransparenten PV-Modulen mit winkelselektiver Transmission integriert. Sie werden unter der Bezeichnung PVShade® am Fraunhofer ISE entwickelt.

Diese Module bestehen aus zwei Lagen mit streifenförmigen Solarzellenstrings, die zueinander in einem definierten Winkel zum einfallenden Sonnenlicht ausgerichtet und in die Verbundglas-Außenscheibe der Dreifachverglasung integriert sind. Sie ermöglichen den Blick nach außen und dienen zugleich als Sonnenschutz für den Innenraum, wodurch der Kühlenergiebedarf gesenkt wird.

An der Südwest-Fassade des Laborneubaus kommen neuartige kristalline PV-Module für die Verkleidung der Außenwand zum Einsatz. Sie basieren auf innovativer Solarzellentechnologie mit rückseitiger Kontaktierung – nach dem hausintern entwickelten und patentierten so genannten High Performance Metal Wrap Through (HIP-MWT)-Konzept.

Die Solarzellen wurden im Photovoltaik Technologie Evaluations-Center des Fraunhofer ISE in einer Pilotfertigungslinie hergestellt. Die Verschaltung erfolgt mittels strukturierter Zellverbinder, die am Fraunhofer ISE entwickelt und patentiert wurden. Neu ist auch die Verkapselung der verschalteten Solarzellen zwischen zwei Gläsern mit ebenfalls am Institut entwickelter TPedge Randversiegelung zur Kostenreduktion.

Erste Ergebnisse

Seit Mai 2013 werden Daten zu Temperaturen im Speicher aufgezeichnet, sie bestätigen die Erwartungen der Planer. Im Sommer wurde der Speicher vorrangig über die Kältemaschine mit



6 – Laborgebäude: PV-Module mit HIP-MWT Solarzellen

einer thermischen Leistung von rund $250 \text{ kW}_{\text{therm}}$ beladen. Bei niedrigen Außentemperaturen erfolgt die Beladung wie geplant über das hybride Rückkühlwerk mit freier Kühlung.

Die gesamte Anlage befindet sich noch in der Einregulierungsphase. Wegen der sukzessiven Inbetriebnahme der Labore und Versuchsstände fand noch kein Regelbetrieb statt. Ab Frühjahr 2014 werden Messdaten für das Gebäude und die gesamten haustechnischen Anlagen vorliegen.

Die PVShade® Elemente überzeugten nicht nur, weil sie Blendung und hohe Temperaturen vermieden, sondern auch durch das harmonische Zusammenspiel der Photovoltaik-Anteile im unteren Drittel und der Lamellenelemente im oberen Bereich. Von innen ergibt sich ein einheitlich wirkender Ausblick nach draußen, von außen sieht die gesamte Front dunkel aus.

Viel Lob ernteten die opaken PV-Module an der Südwestfassade: Da das Erscheinungsbild frühzeitig bei der Planung berücksichtigt wurde, konnten die Größen der Module und der Faserzementplatten aufeinander abgestimmt werden. Am Schluss wurden einfach einige Fassadenplatten gegen PV-Module ausgetauscht.

Fazit

Insgesamt ist ein innovativer Nutzbau für die Solarforschung entstanden, der viele Forschungselemente enthält und der im Rahmen eines Monitoring-Programms selbst Gegenstand von Forschung sein wird. Doch das Gesamtkonzept des Kälte-/Wärmeverbunds und die effiziente Bauweise des Gebäudes können schon heute Vorlage sein für Gewerbe- und Produktionsgebäude mit großem Prozesskältebedarf und hohen Ansprüchen an die Versorgungstabilität.

An der Realisierung des Neubaus waren über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren rund 30 Projektpartner beteiligt. Die Kosten von 10,2 Mio. € wurden je zur Hälfte von Bund und Land (vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF und dem Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg) getragen. Der Laborneubau dient im Projekt „LowEx: Bestandsgewerbebauten (Niedrig-Exergie Wärme- und Kälteversorgungs-konzepte für Bestandsgewerbebauten)“ als Demonstrations- und Entwicklungsobjekt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi gefördert (Fördernummer 03ET1035A). Das Bundesumweltministerium BMU förderte die Fassadenelemente unter dem Kennzeichen 0325355.