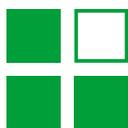


Neubau des TWK Karlsruhe

Energiespeicher mit Wärme-Kälte-Verbund



Beim Neubau des Test- und Weiterbildungszentrums Wärmepumpen und Kältetechnik in Stutensee/Karlsruhe wurde eine besonders große Anzahl an Innovationen umgesetzt. Mittelpunkt ist ein Energiespeicher, der als saisonaler Latent-Energiespeicher Abwärme aus Prüfständen aufnimmt bzw. als Wärmequelle für Sole-/Wasser-Wärmepumpen unterschiedlicher Hersteller zur Temperierung des Gebäudes zur Verfügung steht. Eine prädiktive Raumtemperatursteuerung auf der Basis regionaler Wetterdaten zur Beschickung der thermisch aktiven Bauteilsysteme und Flächenheiz-/kühlsysteme mit vorausgerechneten Energiepaketen ist in Vorbereitung.

Dipl.-Ing. Fritz Nüßle
Bereichsleiter Energetische
Gesamtlösungen bei Uponor sowie
freier Berater und TGA-Ingenieur
in Weil der Stadt

Der Neubau der TWK Karlsruhe erhielt den Preis der Jury des „Chillventa Awards“ der NürnbergMesse.



Die Architektur ist zurückhaltend, aber typisch für viele Gewerbebauten. Abgesehen von dem markant vor dem Gebäude platzierten Außengeräten der vier Luft/Wasser-Wärmepumpen und der aus hydraulischen Gründen vor dem Gebäude installierten Verrohrung deutet äußerlich nichts auf das wegweisende TGA-Labor hin, das sich im Innern des Test- und Weiterbildungszentrums Wärmepumpen und Kältetechnik (TWK) am neuen Standort Stutensee-Blankenloch verbirgt (Bilder 1 bis 3).

Zu den Herausforderungen des Projekts so viel vorweg: Die dort verbaute Gebäudetechnik mit innovativer Energiespeichertechnologie, Wärme-Kälte-Verbund und Wärmeübergabesystemen auf Niedrigst-Temperaturniveau konnte der mit dem EnEV-Nachweis (Version 2009) beauftragte

Tragwerksplaner mit den heute üblichen Nachweisprogrammen nicht abbilden. Stattdessen wurde der EnEV-Nachweis über die Aufwandszahlenmethode erbracht.

Einzelvergabe anstatt Generalunternehmen

Gewerbebauten, in diese Gattung fällt der Neubau des TWK, werden meist von einem Generalunternehmen schlüsselfertig erstellt. Vom Bauherrn eingebrachte Innovationswünsche sind dabei eher unerwünscht und werden oft durch „saftige“ Preisaufschläge erschwert. Typisch für Gewerbebauten sind bewährte und robuste HLK-„Schubladenlösungen“, die gerade die Grundanforderungen der EnEV erfüllen.

Zum Energiekonzept des TWK-Neubaus sei vorausgeschickt, dass der Autor in seiner Funktion als ehemaliger Geschäftsführer der Zent-Frenger GmbH, Heppenheim (seit 2012 eine 100%ige Tochter der Uponor-Gruppe), auf diversen Fortbildungsveranstaltungen über die Themen Wärmepumpe, oberflächennahe Geothermie, thermisch aktive Bauteilsysteme (TABS), Heiz-/Kühldecken und Energiespeicherung referierte, u.a. auch auf dem TWK-Symposium „Kalte Nahwärme und Eisspeicher als alternative Wärmequellen für Wärmepumpen“. Das dort im Jahr 2013 vorgestellte Referenzprojekt „Volksbank Karlsruhe“ zeigte auf, welche Energieeinsparungen bei gewerblichen Gebäuden durch Wärme-Kälte-Verbundsysteme möglich sind. Deshalb war es für den Bauherrn nur konsequent, auf das spezifische Know-how von Zent-Frenger schon im Planungsstadium zurückzugreifen

Äußerlich unterscheidet sich der TWK-Neubau kaum von den heute üblichen Gewerbebauten. Die Dichte der realisierten Innovationen kommt jedoch einem TGA-Labor gleich.

1



2



mit dem Ziel, innovative Gebäudetechnik auf höchstem Niveau zu realisieren. Denn mehr als bisher stehen bei den Fortbildungsveranstaltungen und Schulungen des TWK die Themen Energieeffizienz, Wärme-Kälte-Verbund, Nutzung regenerativer Energiesysteme und Wärmerückgewinnung im Vordergrund.

Die für die Baugenehmigung gültige Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009) galt für den Bauherrn indessen nur als Leitlinie; beim TWK-Neubau werden die behördlichen Vorgaben sowohl beim Dämmstandard als auch bei der Effizienz der gebäudetechnischen Anlagen bei Weitem übertroffen.

Eine der Herausforderungen für den Bauherrn lag darin, individuelle Wünsche an die Gebäudenutzung und Energieeffizienz mit den Geboten der Wirtschaftlichkeit innerhalb des vorgegebenen Finanzierungsrahmens zu realisieren. Es zeigte sich, dass industrielles Bauen mit vorgefertigten Bauelementen zwar gewisse Beschränkungen in der Ausgestaltung der Architektur auferlegt, andererseits aber zu erheblichen Einsparungen bei der Investition führt. Allerdings gibt es auch hier Einschränkungen, vor allem wenn der Bauherr eine in Gewerbebauten bislang unübliche Wärme-Kälte-Verbundanlage anstrebt. Auch die Aussicht auf eine Förderung durch das Klimaschutz-Plus-Förderprogramm des Landes Baden-Württemberg in Höhe von 60.000 € für das vorgelegte Energiekonzept mit einem Latent-Energiespeicher und Nutzung der Abwärme der Prüfstände beeinflusste die Vergabestrategie. Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile entschied sich der Bauherr für eine getrennte Vergabe der TGA-Gewerke an lokale Fachunternehmen (Bild 4).

Um die Chancen für die Bewilligung einer öffentlichen Förderung zu erhöhen, wurden zunächst auch Überlegungen in Richtung eines Gebäudes im Passivhausstandard angestellt. Da aber die prognostizierte jährliche Abwärme aus den Prüfständen den jährlichen Heizenergiebedarf bei Weitem überstiegen hätte, wurde schnell klar, dass sich die höheren Investitionskosten in den zusätzlichen Wärmeschutz nicht rechnen würden. Stattdessen entschied sich der Bauherr unter Abwägung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses den in der EnEV 2009 für das Referenzgebäude festgelegten Dämmstandard um ca. 20 % zu unterschreiten, was

Die vier markant vor dem TWK-Gebäude platzierten Luft-/Wasser-Wärmepumpen (links) und die drei Sole-/Wasser-Wärmepumpen (rechts) sind so ...



zu niedrigeren Systemtemperaturen für Heizen und Kühlen und damit zu deutlich höheren Leistungs- und Jahresarbeitszahlen für die Wärmepumpen führt.

Bei der Konzeption des Gebäudes präferierte der Bauherr eine modular aufgebaute, stützenfreie Konstruktion mit 15 m Spannweite. Dadurch war eine sehr individuelle Raumaufteilung mit nichttragenden Wänden möglich. Eine besondere Herausforderung für den Stahlbetonfertigteile-Hersteller lag in der Fertigung und im Transport der 66 werkseitig mit PE-Xa-Rohrleitungen für die Betonkernaktivierung ausgerüsteten Spannbetonpaneele. Sie bilden die Geschosstrenndecken über dem Erdgeschoss und dem Obergeschoss und tragen maßgeblich zur Temperierung des Gebäudes bei.

Latentspeicher anstatt Erdwärmesonden

Ohne effiziente Wärmepumpenanlagen ist die Energiewende am Wärmemarkt kaum umzusetzen. Deshalb plante der Bauherr zunächst, das TWK-Gebäude über Erdwärmesonden (EWS) zu temperieren und die Abwärme aus den Prüfständen teilweise

im Erdreich einzuspeichern. Durch eine entsprechende Anordnung der EWS wäre so ein saisonaler Erdwärmespeicher entstanden. Zum Schutz des Grundwassers war jedoch der Bohrhorizont von behördlicher Seite auf etwa 35 m Tiefe begrenzt, so dass dieses an sich effiziente Energiekonzept aus Gründen des Gewässerschutzes nicht umgesetzt werden konnte. Der nun realisierte, ganz auf die Belange des TWK dimensionierte erdbedeckte Latent-Energiespeicher hat gegenüber der EWS-Variante den Vorteil, dass im Winterhalbjahr ein höheres Temperaturniveau – ähnlich dem einer Grundwasser-Wärmequelle – zur Verfügung steht und die Sole-/Wasser-Wärmepumpen mit günstigen Leistungszahlen (COP) betrieben werden können. Ausschlaggebend für die Speicherdimensionierung war die Spitzenbelastung des Latentspeichers durch die Wärmepumpen, die beim TWK während längerer Betriebspausen (Weihnachtsfeiertage, Jahreswechsel) anfällt. In dieser Zeit wird dem Speicher nur Wärme entnommen, aber keine Abwärme von den Prüfständen zugeführt (Bild 5).

... geschaltet, dass immer die mit den höheren Wärmequellentemperaturen in Betrieb gehen. Die Warmwasser-Wärmepumpe arbeitet autonom.





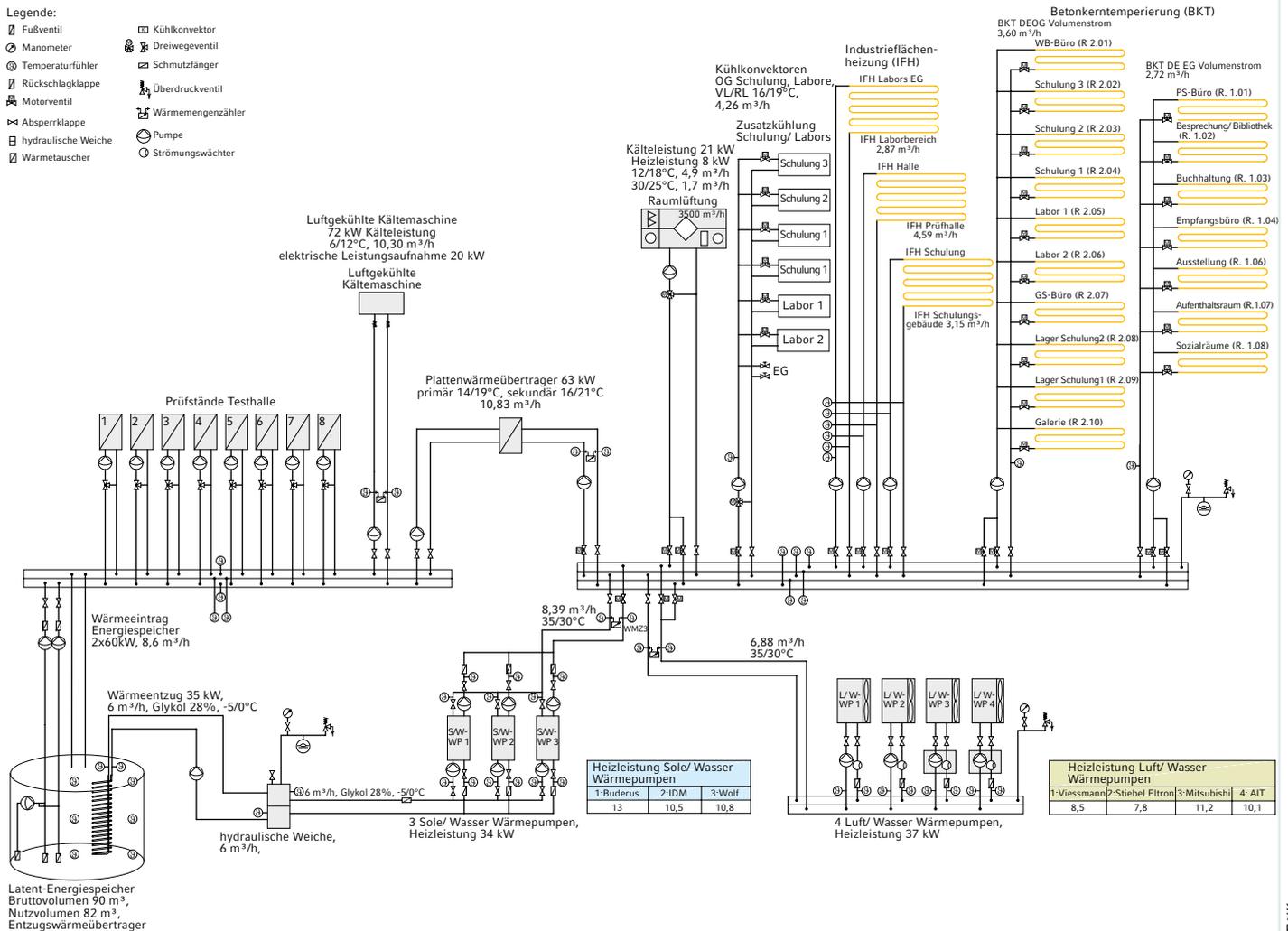
Foto: Uponsor

Foto: TWK

Alle Wasserstationen, Stromverteiler und Prüfstände wurden von TWK-Mitarbeitern in eigener Regie entworfen und in Zusammenarbeit mit den Firmen der jeweiligen Fachgewerke gebaut.

Betonhülle des Latent-Energiespeichers: Bei der Dimensionierung des Speichervolumens wurde u.a. die volatile Energiezufuhr aus den Prüfständen berücksichtigt.

7 Das hydraulische Konzept des Wärme-Kälte-Verbunds ...



... ist keinesfalls trivial, da mit geringen Temperaturdifferenzen auf Niedrig-Temperaturniveau gearbeitet wird. Wo immer sinnvoll werden Speicherverteiler eingesetzt, die auch als hydraulische Weiche fungieren.

Quelle: TWK



Foto: Uponor

Der etwa 90 m³ fassenden Latentspeicher und die Körbe mit den Wärmeübertragerrohren aus Uponor-PX-Xa-Rohren; statt einer Grundwasserpumpe ist im offenen Kühlkreislauf eine Hocheffizienz-Umwälzpumpe eingebaut.

Thermodynamik-Spezialisten bestätigen Rechenverfahren

Laut Literaturangaben gibt es in Deutschland inzwischen rund 1.000 erdvergrabene Latentspeicher (typischer Werbeslogan: Heizen mit Eis) als Wärmequelle für Wärmepumpen, aber noch kein allgemein anerkanntes Rechenverfahren zur Dimensionierung der Wärmeübertrager im Speicher und zur Bestimmung des Speichervolumens. In der Regel werden bei der Auslegung der Rohr-Wärmeübertrager während des Phasenwechsels von flüssig zu fest Fluid-Vorlauftemperaturen (bei Glykol-Wassergemisch) von -6 °C angegeben. In der Praxis wurden jedoch bei zunehmendem Eisanteil im Speicher oftmals Vorlauftemperaturen von bis zu -12 °C gemessen, so dass die Entzugsleistung und die Arbeitszahl der Wärmepumpe nicht mehr den Auslegungsbedingungen entsprachen. Um auch bei hohen Entzugsleistungen optimale Leistungszahlen zu erzielen, wurde bei der Dimensionierung des Latent-Energiespeichers im TWK-Neubau der folgende neue Ansatz gewählt:

- Thermische Simulation der Gebäudehülle mit monatlicher Bilanz des Bedarfs für Heizung und Kühlung,
- Bilanzierung des monatlichen Wärme- und Kühlenergiebedarfs unter Einbeziehung verschiedener Szenarien der Wärmegewinne aus den Prüfständen und der Schulungslabore,
- Erstellen eines Konzeptes mit Sole-/Wasser-Wärmepumpen für die Nutzung des Latent-Speichers und Luft-/Wasser-Wärmepumpen als Redundanz. Aus Schulungsgründen sollten Aggregate der Leistungsklasse „Einfamilienhäuser“ verschiedener Fabrikate zum Einsatz kommen. Die Wärmepumpen dienen den jeweiligen Herstellern gleichzeitig auch zu Demonstrations- und Schulungszwecken,
- Berechnung, Auslegung und geometrische Optimierung der Rohr-Wärmeübertrager im Latent-Energiespeicher mit Hilfe eines eigens vom Thermodynamikspezialisten Wenger Engineering GmbH, Ulm, entwickelten Berechnungsprogramms,
- Validierung der Ergebnisse im Rahmen einer Masterarbeit durch Yannick Friess, Hochschule Karlsruhe.

Es bestätigte sich, dass die thermische Kapazität des Energiespeichers und die übertragbare Wärmeentzugsleistung in erheblichem Maße von der gewählten Geometrie der Rohrwärmeübertrager

abhängig sind. Die gewählte zylindrische Bauform erlaubt die Parallelschaltung von 48 Einzelwärmeübertragern aus Kunststoff PE-Xa-Rohr mit optimiertem Rohr-Querschnitt/Längenverhältnis. Ein an der Speicherdecke angeordneter Tichelmannscher-Ringverteiler ermöglicht gleiche Anschlusslängen für alle Rohr-Wärmeübertrager. Damit ergibt sich für alle Wärmeübertrager derselbe Druckabfall.

Wirtschaftlicher durch kleinere Rohrdurchmesser

Ein wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von Latent-Energiespeichern ist die fallende Fluidtemperatur bei zunehmender Vereisung der Wärmeübertrager. Bei früher realisierten Latent-Speicheranlagen zeigte sich, dass mit zunehmender Eisbildung die gewünschte Übertragungsleistung nicht oder nur bei sehr viel niedrigerer Vorlauftemperatur als vorgegeben erreicht wurde. Die beim TWK-Neubau eingesetzten, neu entwickelten Serien-Wärmeübertrager weisen bei einem kleineren als bisher gebräuchlichen Rohrdurchmesser eine sehr viel höhere Übertragungsfläche auf. Der kleinere Rohrdurchmesser erlaubt kleinere Korbradien, deutlich mehr Rohrlänge je Korb und damit mehr Übertragungsfläche pro Kubikmeter Speichervolumen (Bild 6).

Yannick Friess stellte im Rahmen seiner Masterarbeit zudem fest, dass der Wärmeübergang in den Wärmeübertragerrohren bei beginnendem Vereisungsprozess und turbulenter Strömung in den Wärmeübertragerrohren am größten ist.

Als eher kontraproduktiv erwiesen sich Auslegungsvarianten mit stärkeren Rohrwanddicken und laminaren Strömungen in den Rohren. Einen eher geringen Einfluss auf den Wärmeübergang zwischen den Wärmeübertragerrohren und dem

umgebenden Wasser haben nach den vorliegenden Ergebnissen Rührwerke. Dagegen führt das natürliche Abkippen von kalten Schichten von der Oberfläche beziehungsweise das Aufsteigen wärmerer Wasserschichten vom Grund des Speichers zu einem positiven Effekt auf die Wärmeübergänge im Latentspeicher. Dieser Vorgang ähnelt dem Regenerationsprozess von Seen im Winter, wenn warmes, sauerstoffarmes Tiefenwasser aufsteigt und das sauerstoffreiche, kalte Oberflächenwasser nach unten abkippt.

Die Master-Thesis von Yannick Friess wurde nach einem neutralen Auswahlverfahren auf dem Uponor Kongress 2016 in St. Christoph am Arlberg als Beste mit dem Blue-U-Award ausgezeichnet.

Der Latent-Energiespeicher befindet sich unterhalb der Parkflächen vor dem TWK-Gebäude und ist gegen das Erdreich nicht gedämmt. Im Heizbetrieb, wenn dem Speicher Wärme entzogen wird, liegt die Temperatur des Speichermediums meistens unterhalb der Temperatur des umgebenden Erdreichs. Dadurch können über die Speicherwandung in geringem Maße auch Energiegewinne aus dem Erdreich genutzt werden. Um dem Volumenzuwachs bei zunehmender Vereisung im Speicher Raum zu geben und Eisdruck auf die Speicherwände zu vermeiden, ist das Sensor-überwachte Füllvolumen auf 90 % des Speicherinhalts begrenzt. Zur Vorbeugung von Biowachstum und Korrosion wird das in einem offenen Kreislauf umgewälzte Speicherwasser mit Hilfe von Teststreifen überwacht. Diese sogenannten Korrosionskuponen eines auf Industriekühlprozesse spezialisierten Fachbetriebs zeigen frühzeitig auftretende Korrosionen an. Wichtig ist bei offenen Kreisläufen ein dicht schließender Revisionsdeckel, damit kein Oberflächenwasser der Parkflächen und kein zu-



Foto: TWK

8 Uponor-„Magna“-Industrieflächenheizung auf dem Rohfußboden der Grundplatte. Zu sehen sind die Anschlüsse der TABS in den Deckenpaneelen.

sätzlicher Luftsauerstoff in den Behälter eindringen können.

EnEV-Nachweis über Aufwandszahlenmethode

Das im TWK-Neubau realisierte Energiespeicherkonzept mit Wärme-Kälte-Verbund und thermisch aktiven Bauteilsystemen (TABS) ist aus Sicht des Autors ein sehr vielseitig einsetzbares innovatives Energiekonzept im Gewerbebau (Bild 7). Dass diese Lösung noch so wenig Anwendung findet, liegt zum großen Teil an der Notwendigkeit einer ganzheitlichen, weit über die Anforderungen an die Gebäudehülle reichenden Betrachtung der Energieströme des späteren Nutzungszwecks. Oft ist dieser Planungsabschnitt nicht Teil der TGA-Planung und deshalb dem

Fachingenieur nicht oder nur schwer zugänglich. Ein weiterer wichtiger Grund für die geringe Verbreitung innovativer Energiekonzepte sind die marktüblichen Berechnungsprogramme für die Erstellung des gesetzlich vorgeschriebenen EnEV-Nachweises, die wie eine Black-Box funktionieren und einen nachvollziehbaren Berechnungsweg innovativer TGA-Lösungen erst gar nicht zulassen. Zudem wird die Modellierung für die EDV-gestützten EnEV-Berechnungen von Tragwerksplanern und Bauphysikern ausgeführt, deren Fachkenntnisse im Bereich der TGA begrenzt sind. Erst mit dem von Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg entwickelten „vereinfachten Tabellenverfahren“ nach der Aufwandszahlenmetho-

Die Schulungsräume im OG sind für höhere Kühllasten ausgelegt. Zusätzlich zum TABS sind Konvektionskühler an der Decke montiert.



Foto: Uponor



Foto: Uponor

9 Blick in die Prüfhalle: im Hintergrund eine Klimakammer für die Langzeitprüfung von mobilen Klimaanlage auf Straße und Schiene.

de gelang es, die Berechnung des Wärme-Kälte-Verbunds, des Latent-Energiespeichers und der TABS plausibel und nachvollziehbar abzubilden. Da der EnEV-Nachweis nach DIN V 18599 Voraussetzung der Baugenehmigung ist, besteht hier – aus Sicht des Autors – schon aus formaljuristischer Sicht Nachbesserungsbedarf, weil die Aufwandszahlenmethode nach Hirschberg (noch) nicht offiziell als EnEV-Nachweis akkreditiert ist.

Ideenreiche TGA-Fachplaner kritisieren schon lange die mangelnde Transparenz der Bauhüllen-lastigen Berechnungsprogramme nach DIN V 18599 zum EnEV-Nachweis. Tenor: Viele innovative Energiekonzepte können dort nicht systemgerecht abgebildet werden und sind damit kaum miteinander vergleichbar.

Nutzungsübergabesysteme auf Niedrig-Temperaturniveau

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe ist eine direkte Funktion des Temperaturhubs zwischen Wärmequelle und der Vorlauftemperatur der Wärmepumpe. Für die im TWK-Neubau verbauten Flächenheiz-/kühlssysteme genügen für die Beheizung sehr niedrige Vorlauftemperaturen. So ist die gesamte Grundplatte (das Gebäude ist nicht unterkellert) mit einer auf der Bewehrung der Betonbodenplatte befestigten Uponor-Industrieflächenheizung ausgestattet. Aus wirtschaftlichen Überlegungen ist jedoch nur ein

RLT-Zentralgerät für die Belüftung der Schulungsräume und der Ausstellungshalle. Kühl- und Heizregister sind auf Niedrigtemperaturen ausgelegt.



Foto: Uponor

etwa 5 m breiter Randstreifen der Grundplatte wärmegeklämt. Unterhalb des ungedämmten Teils der Bodenplatte bildet sich eine als „Wärmelinse“ bezeichnete Angleichung der Temperaturen aus. Eine komplette Dämmung der Bodenplatte bei derart niedrigen Systemtemperaturen bringt nach den vorliegenden Erfahrungen kaum energetische Vorteile (Bild 8).

Die verschiedenen Räumlichkeiten sind mit folgenden Wärmeübergabesystemen ausgestattet:

- Prüfhalle, ca. 877 m², (nur Raumheizung) mit Industrieflächenheizung (Typ „Magna“ von Uponor), in den Betonböden integriert (Bild 9),
- Erdgeschoss mit Ausstellungsraum für Wärmepumpen, Besprechungsräumen, Büros und Nebenräumen, ca. 546 m², mit Grundheizung über Fußboden und Betonkernaktivierung in der Betondecke über dem Erdgeschoss (Heizen und Kühlen); Ausstellungsraum be- und entlüftet mit zweifachem Luftwechsel,
- Obergeschoss mit Labor-, Schulungs- und Nebenräumen, ca. 387 m², mit Betonkernaktivierung (Heizen und Kühlen), sowie zusätzliche Konvektionskühler in den thermisch hochbelasteten Schulungsräumen; die Räume sind außerdem mit einer mechanischen Be- und Entlüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung (9 m³/m² h) ausgestattet (Bild 10).

Der Betrieb der RLT-Anlage erfolgt automatisch nach einem Zeitprogramm, die Konvektionskühler werden von der Leittechnik temperaturabhängig zu- beziehungsweise abgeschaltet (Bild 11).

Prognosemodul berechnet Energiepakete

Die Rohrregister des thermisch aktiven Bauteilsystems liegen nur etwa 4 cm oberhalb der Deckenoberfläche, so dass eine vergleichsweise akzeptable Raumkonstante von einer Stunde vorliegt. Dadurch ist eine auf Ein/Aus-Funktion basierende, individuelle Raumtemperatur-Steuerung möglich.

Das träge Temperaturverhalten betonkerntempertierter Gebäude aufgrund ihrer thermischen Speicherfähigkeit kann sich nachteilig auswirken, wenn für das Management des Bauteilspeichers keine geeignete Steuerungstechnik verwendet wird. Auch hierbei geht das TWK neue Wege: So ist die Implementierung einer Wetterprognose-gestützten, prädiktiven Steuerung der thermisch aktiven Bauteilsysteme (preTABS) bereits in Planung. Dabei werden von einem Langwellenempfänger auf 10 km² standortgenaue Wetterdaten bzw. Wetterprognosen empfangen und zusammen mit zonenbezogenen Raumtemperaturen mit Hilfe eines von der Hochschule Offenburg entwickelten Algorithmus zu Steuersignalen verarbeitet. Diese werden der Gebäudeleittechnik übermittelt, die wiederum die entsprechenden Pumpen oder Motor-Kugelhähne ansteuert. Durch die Erfassung der Raumtemperatur (Restwärme) ist es möglich, für jede Zone den erforderlichen Energiebedarf individuell zu bestimmen und bereitzustellen. Tritt in einer Zone eine unerwartete Störgröße auf und die Raumtemperatur verlässt die vorgegebene Komfortzone, reagiert das System im nächsten Ladezyklus automatisch mit einem veränderten Energiepaket. Im Tagesverlauf reagieren speicherbasierte Flächensysteme auf veränderte Bedingungen im Raum mit dem bewährten Selbstregeleffekt, das heißt, bei steigender Raumtemperatur sinkt die Heizleistung. Umgekehrt steigt die Heizleistung bei sinkender Temperatur im Raum. Dieser bei TABS und Industrieflächenheizungen seit langem beobachtete Selbstregeleffekt funktioniert



Hocheffizienzpumpe mit Wärmemengenmesser und Motor-Kugelhahn mit Volumenstrom-Voreinstellung

Links ein „Zortström“ für die Temperiersysteme, rechts ein maßgeschneiderter Verteilerspeicher für die Versorgung der Prüfstände mit Kühlwasser.



13



Die Abwärme aus den acht Prüfständen wird dem Latent-Energiespeicher in seiner Funktion als Wärmesenke zugeführt. Der Speicher ist zudem Wärmequelle für die Beheizung des Gebäudes über die Wärmepumpen.

besonders gut bei geringen Temperaturunterschieden zwischen dem Heiz-/Kühlmedium und der gewünschten Raumtemperatur.

Weitere Vorteile ergeben sich in der deutlichen Vereinfachung der Anlagenhydraulik, denn ein Energiepaket lässt sich über einen bekannten Massenstrom mit der anstehenden Temperaturdifferenz oder über Wärmemengenzähler oder Pumpenlaufzeiten, Ventilöffnungszeiten etc. definieren. Beim TWK-Neubau sind Grundfos-„Magna 3“-Pumpen mit integrierter Wärmemengenerfassung verbaut. So benötigt die Umwälzpumpe nur noch einen Einschaltbefehl durch die Gebäudeleittechnik. Nach Erreichen der vorausberechneten Energiemenge schaltet die Pumpe ab (Bilder 12 und 13).

Die Vorteile dieser „Lade“-Strategie sind neben der gezielten Temperierung der Räume der Verzicht auf Mischregelkreise mit hochwertigen Regelventilen zugunsten von Auf-/Zu-Kugelhähnen (Belimo) und einfachen Steuermodulen. Damit sind auch kleine Temperaturdifferenzen bei

Flächenheiz-/kühlsystemen problemlos beherrschbar. Diese Lösung vereinfacht auch das im Rahmen des baden-württembergischen Förderprogramms „Klimaschutz-Plus“ vorgeschriebene Energiemonitoring ganz erheblich, da die von den Pumpen und teilweise verbauten Wärmemengenzählern erfassten Energieströme mit genügender Genauigkeit bilanziert und von einem Energiemanagementsystem ausgewertet werden können.

Betriebsstrategie Energiespeicher

Ausgangspunkt für die Dimensionierung des Energiespeichers ist die Nutzung der ganzjährig verfügbaren, aber volatil anfallenden Abwärme aus den Prüfständen in Höhe von etwa 120.000 kWh/a, die in der Summe den Jahresenergiebedarf des TWK-Gebäudes bei Weitem übersteigt (Bild 14).

Doch gerade in den betriebschwachen Wochen im Dezember und Januar reicht die aus den Prüfständen gelieferte Abwärmeenergie nicht zur Beheizung des Gebäudes aus. Da

ein rein thermisch arbeitender Wasserspeicher wegen des großen Volumenbedarfs unwirtschaftlich gewesen wäre, lag es nahe, die Kristallisationsenergie von Wasser zu Eis (Phasenwechsel) zu nutzen. Dadurch kann eine wesentlich höhere volumenbezogene Speicherkapazität pro Kubikmeter Speichervolumen bereitgestellt werden.

Im Sommer dient der unterirdische Speicher weitgehend als Wärmesenke für die Prüfstände und zur Abfuhr der Wärmelast aus den Labor- und Schulungsräumen. Wegen der hohen Anforderungen der Prüfprozesse liegt die Grenztemperatur im Speicher bei 14 °C. Wird diese Temperatur überschritten, schaltet die luftgekühlte Kältemaschine (Nennkälteleistung 72 kW) bevorzugt während den kühleren Nachtstunden ein und kühlt den Speicherinhalt soweit ab, dass der erwartete Kühlbedarf des nächsten Tages gedeckt werden kann (Bild 15).

In der Heizperiode arbeitet der Latentspeicher zeitgleich als Wärmesenke für die Prüfstände und über einen geschlossenen Kreislauf als Wärmequelle für die drei im Ausstellungsraum installierten Sole-/Wasser-Wärmepumpen. Ist der Energiebedarf für die Gebäudeheizung höher als der Energieeintrag durch die Abwärme der Prüfstände, kühlt sich der Speicherinhalt soweit ab, bis sich um die Wärmeübertragerrohre im Erdspeicher eine Eisschicht bildet. Hier zeigt sich der Vorteil von Latentspeichern gegenüber reinen Wasserspeichern: Der Energieinhalt beim Phasenwechsel von flüssig zu fest ist sechsmal höher als bei der Abkühlung von Wasser von 14 auf 0 °C.

Da vor dem TWK-Showroom auch vier Luft-/Wasser-Wärmepumpen installiert sind, lässt sich der Einsatz der insgesamt sieben Heizwärmepumpen in Abhängigkeit der jeweils günstigsten Verdampfungstemperatur optimieren. So ist im Normalfall der COP einer Sole-/Wasser-Wärmepumpe deutlich höher als der einer Luft-/Wasser-Wärmepumpe.

Innovative Gebäude wie der TWK-Neubau benötigen einen gewissen Einschwingprozess von Gebäude und gebäudetechnischen Anlagen. Nach der Inbetriebnahme des Energiemanagementsystems wird es sich zeigen, inwieweit die prognostizierte Primärenergieeinsparung in Höhe von 46 % im Vergleich zum Referenzstandard nach EnEV 2009 erreicht wird. Der Autor ist zuversichtlich, dass die Nutzer der Prüfstände und der Fortbildungsstätte mit dem Instrument „Energiemanagement“ interessante Erkenntnisse über die Wechselwirkung von Gebäude und innovativem Wärme-Kälte-Verbund auf Niedrigst-Temperaturbasis gewinnen werden.

Fazit

Der Neubau des TWK zeigt, dass sich durch einen ganzheitlichen Wärme-Kälte-Verbund mit Latent-Energiespeicher sowie mit thermisch aktiven Bauteilsystemen die Gebäudeenergieeffizienz gerade bei Gewerbebauten signifikant steigern lässt. Die besondere Herausforderung besteht in der Gesamtbetrachtung der Gebäudehülle und der energiebehafteten betrieblichen Prozesse. Ein großes Hemmnis für solche Hocheffizienzsysteme sind die derzeit verfügbaren Standard-Rechenverfahren nach DIN V 18599 (EnEV-Nachweis), die ihren Schwerpunkt auf die Gebäudehülle legen und diese Energiesysteme nicht ausreichend abzubilden vermögen. Hilfsweise muss der Wärme-Kälte-Verbund über einen stellvertretenden Primärenergiefaktor in die Berechnung eingeführt werden. Die Wärmeverwertung aus den Prüfständen blieb deshalb beim TWK-Neubau unberücksichtigt. Notwendig

15



Fotos: Uponor

Die außen aufgestellte luftgekühlte Kältemaschine (72 kW Nennkälteleistung) schaltet ein, wenn die Temperatur im Latent-Energiespeicher die für die Prüfstände notwendige maximale Kühltemperatur von 14 °C übersteigt.

ist ein auf derselben normativen Grundlage basierendes offenes Rechenverfahren, das für jeden Anlagenabschnitt nachvollziehbare Ergebnisse liefert. Oft wird verkannt, dass sich Niedrigst-Temperatursysteme wie Flächenheiz-/kühlsysteme und TABS bestens für die Verwertung von gewerblicher und industrieller Abwärme eignen. Durch ihren ausgeprägten Selbstregulierungseffekt ist die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik viel einfacher und damit kostengünstiger als bei konventionellen Anlagen.

Literatur

TWK Karlsruhe-Stutensee weicht Neubau ein – Nachhaltiges Energiekonzept mit Latent-Energiespeicher, tab 7-8/2016, Seite 18 und 19

Info

Von der DIN-Prüfstelle für Wärmepumpen zum führenden Test- und Weiterbildungszentrum für Wärmepumpen und Kältetechnik

Als Dr.-Ing. Johannes Reichelt im Jahr 1980 seine Professorenstelle an der damaligen Fachhochschule Karlsruhe (FH KA), Fachbereich Maschinenbau im Studienschwerpunkt „Kälte-, Klima- und Umwelttechnik“ antrat, war der erste Hype bei den Wärmepumpen bereits in vollem Gange. Reichelt entschied sich deshalb, eine DIN-Prüfstelle für Wärmepumpen und Kältetechnik an der FH einzurichten. Die von seinem Vorgänger Prof. Dr.-Ing. Valerius Fünér 1952 gegründeten kältetechnischen Fortbildungskurse, die bis 1979 nur einmal pro Jahr über neun Wochen stattfanden, wurden ab 1980 auf Ein-Wochen-Kurse umgestellt. Sie finden seitdem während des ganzen Jahres statt, zurzeit mit rund 40 verschiedenen Themen in zwei oder mehr Lehrgängen pro Woche. Parallel dazu wurde auch die von Prof. Fünér 1952 gegründete Prüfstelle von seinem Nachfolger wesentlich ausgebaut. Zwischen 1980 und 1987 ging es hauptsächlich um Messungen an Wärmepumpen, danach verschob sich der Schwerpunkt auf experimentelle Untersuchungen an kältetechnischen Komponenten und stationären Kälteanlagen sowie an Bauteilen des Kältemittelkreislaufs von Klimaanlage in Straßen- und Schienenfahrzeugen.

Ab 1997 befand sich die Prüfstelle in einem gemieteten Gebäude mit etwa 20 Mitarbeitern ca. 1 km entfernt von der FH KA. Zur gleichen Zeit wurde die bisherige Einrichtung in eine GmbH umgewandelt unter der Firmenbezeichnung „TWK – Test- und Weiterbildungszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik GmbH“. Wegen der zunehmenden Nachfrage im Prüfstellenbereich wurde kurz danach auf diesem Gelände eine Testhalle mit 360 m² Nutzfläche erstellt.

Um den Fortbestand der TWK GmbH nach seinem Ausscheiden zu sichern, gründete Reichelt – mit Hilfe von Spenden aus der kältetechnischen Industrie – 2001 eine Stiftung, die er mit dem Namen seines Vorgängers an der FH KA verband: „Valerius-Fünér-Stiftung“. Sie dient der Förderung des Studienschwerpunkts „Kälte-, Klima- und Umwelttechnik“ an der FH KA. 2004 erfolgte durch Reichelt die kostenlose Übereignung der TWK GmbH an diese Stiftung.

Es war abzusehen, dass das ehemals amerikanische Militärgelände, auf dem sich die TWK GmbH befand, eines Tages neu erschlossen wird. Nach jahrelanger Suche wurde 2012 ein 4.400 m² großes Gelände von der Stadt Stutensee erworben, ca. 14 km entfernt vom bisherigen Standort in Karlsruhe. Nach intensiven Planungen begannen Anfang 2015 die Bauarbeiten und wurden Ende 2015 abgeschlossen. Ein Schwerpunkt dieser Planungen lag auf einem modernen, wegweisenden TGA-Konzept.

Die entscheidenden Impulse für die jetzt realisierte Lösung aus Latent-Speicher, Wärmepumpen, Kältemaschine, Bauteiltemperierung und Kühldecken kamen von Fritz Nüßle. Nach seinem Ausscheiden aus der operativen Geschäftsleitung der Zent-Frenger GmbH, Heppenheim (seit 2012 Uponor-Gruppe), trug Fritz Nüßle als freier Berater und TGA-Planer entscheidend zur praktischen Umsetzung dieses innovativen Energiekonzepts bei. Ohne seinen engagierten Einsatz hätte dieses außergewöhnliche TGA-Konzept nicht realisiert werden können.

Als äußeres Zeichen des Dankes und der Anerkennung seiner herausragenden Leistungen wurde Fritz Nüßle bei der Gebäudeeinweihung am 22. April 2016 zum Ehrenmitglied der TWK GmbH ernannt. Am 6. April 2017 findet ihm zu Ehren in Karlsruhe ein eintägiges Kolloquium (Festveranstaltung) mit zehn Vortragenden statt.

Wolfgang Schmid, München