



Energiezentrale versorgt Universitätsklinik Gießen

Kraft-Wärme-Kälte-Anlage verknüpft Versorgung der Klinik
mit städtischem Fernwärmenetz



In Gießen errichteten Stadtwerke und Universitätsklinikum gemeinsam die erste in ein städtisches Nahwärme- und Kältenetz eingebundene Energiezentrale. Die neu entwickelte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlage sichert eine unterbrechungsfreie Versorgung der Klinik. Sie spart 21,7 % Primärenergie und 33,6 % CO₂-Emissionen ein. Die vier Blockheizkraftwerke können mit hohen Volllaststunden betrieben werden: für Geräte und sensible Räume wird ganzjährig Kälte gebraucht, nicht benötigte Wärme- und Kälteenergie kann jederzeit in das Netz der Stadtwerke eingespeist werden.

Die Energiezentrale versorgt in erster Linie den Klinik-Neubau und die angeschlossenen Gebäude mit Warmwasser für die Heizung und Trinkwarmwasserbereitung sowie mit Kaltwasser zur Geräte- und Gebäudekühlung. Der neue Gebäudekomplex ersetzt eine in die Jahre gekommene Infrastruktur, die aus über 100 großflächig verteilten Gebäuden bestand. Er umfasst eine Kinderklinik mit 130 Betten und eine Klinik mit 650 Betten, davon etwa 200 intensivmedizinische Plätze. Der gesamte Krankenhaus-Neubau ist seit 2010 in Betrieb.

Für die Uniklinik bietet die Nutzung der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung einen hohen Gesamtwirkungsgrad sowie hohe Versorgungssicherheit. Sollte ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ausfallen, können die restlichen Anlagen weiterhin einen Großteil des Energiebedarfs decken. In Gießen ergibt die Nutzung der Abwärme aus dem Abgas und dem Kühlwasser der BHKW sowie die Kälteerzeugung mit Hilfe von Absorptions- und Kompressionskältemaschinen eine breit gefächerte Wärmeenergiebereitstellung.

Da die Erzeugungsanlagen ins Netz der Stadtwerke eingebunden sind, können sie ganzjährig im effizientesten Lastpunkt betrieben werden.

Dieses Forschungsprojekt
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)

Kern der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlage sind vier Blockheizkraftwerke, die ganzjährig Strom und Wärme produzieren. Der Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist. Die Energieversorgung des Krankenhauses ist so aufgebaut, dass wichtige Systeme auch bei einem Ausfall einzelner Anlagenkomponenten oder der öffentlichen Stromversorgung funktionieren. Die Motoren können als Notstromaggregate im Inselbetrieb arbeiten. Zusätzlich stehen für die Notstromversorgung Dieselmotoren bereit.

Besondere Herausforderungen und Kosten ergaben sich dadurch, dass die Energiezentrale nicht in einem separaten Gebäude, sondern im Keller des Klinikgebäudes installiert werden musste. Zur Körperschallentkopplung waren spezielle Bodenaufbauten erforderlich. Ebenso waren Schallemissionsgutachten und umfangreiche Schallschutzmaßnahmen nötig. Es mussten erhebliche Querschnitte an Abgas- und Rückkühlrohren über Dach geführt werden.

Planung und Optimierung der Energiezentrale

Zur Realisierung des Projekts gründeten Rhönklinikum und Stadtwerke Gießen die Energiezentrale Universitätsklinikum Gießen, in der das Rhönklinikum für den kaufmännischen, die Stadtwerke für den technischen Teil zuständig sind.

Die Komponenten der Energiezentrale:

- Vier BHKW-Module mit Gasmotor je $385 \text{ kW}_{\text{el}}$, $311 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $1.060 \text{ kW}_{\text{prim}}$ (das vierte BHKW ersetzte 2012 das stillgelegte Brennstoffzellen-Modul)
- Eine zweistufige, abgasbefeuerte Absorptionskältemaschine mit 765 kW Kälteleistung
- Eine zweistufige Absorptionskältemaschine mit 258 kW Kälteleistung
- Zwei Turboverdichter-Kältemaschinen mit je 900 kW Kälteleistung
- Rückkühlwerk / Kühlturm auf dem Dach auch für Kühlung mit 1 MW Kälteleistung
- Ein $1,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ Niedertemperatur-Öl-Heizkessel als Sicherheitsreserve
- Heißwasser-Fernwärme-Übergabestation

Bei der Auslegung der vernetzten Energiezentrale konnten die Planer auf keine Erfahrungswerte anderer Klinikprojekte zurückgreifen. Um den Wärme- und Kältebedarf einschätzen und beurteilen zu können, modellierten sie eine Jahresdauerlinie, die für jede Stunde eines Jahres die benötigte Leistung anzeigt.

Die Planung und Inbetriebnahme der komplexen Anlage im Klinikgebäude waren erheblich aufwendiger als bei einer Standardlösung. Das völlig neue Konzept erforderte noch im laufenden Betrieb Anpassungen und Verbesserungen, beispielsweise bei Abgasklappen und Sensoren.

Im 2. Halbjahr 2011 testeten die Betreiber die BHKW-Module, die Kältemaschinen und die Fernwärmeübergabestation und passten insbesondere die hydraulische Einbindung der Kundenanlagen an. Außerdem optimierten sie die Wärme- und Kälteverbraucher auf eine größere Spreizung zwischen Vor- und Rücklaufemperatur. Die Systemtemperaturen betragen im Fernwärmenetz $80/40 \text{ °C}$ und im Fernkältenetz $8/14 \text{ °C}$.

In 2013 wurde das vierte BHKW-Modul integriert. Es nutzt die ursprünglich für eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle installierten nachgeschalteten Baugruppen wie Abgaswärmetauscher und Absorptionskältemaschine. Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle wurde aufgrund

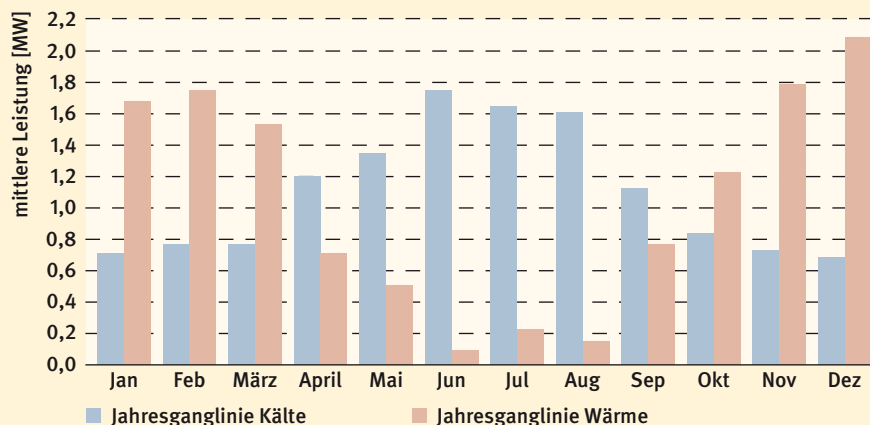


Abb. 1 Die Jahresganglinie der Kälte verläuft genau umgekehrt zur Jahresganglinie der Wärme. Es ist erkennbar, dass einige Bereiche der Klinik ganzjährig Kälte benötigen.



Abb. 2 Die Stadtwerke-Mitarbeiter Christian Launhardt und Patrick Wattenbach präsentieren das vierte BHKW-Modul. Der Magerturbo-Gasmotor mit einer Leistung von $1060 \text{ kW}_{\text{prim}}$ erzeugt $385 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $311 \text{ kW}_{\text{th}}$. Die Abwärme wird im nachgeschalteten Wärmetauscher genutzt, die Austrittstemperatur des Abgases liegt bei 57 °C .

eines Defekts des Stacks kurz nach der Inbetriebnahme stillgelegt. Ersatz war nicht möglich, da der Hersteller das Geschäftsfeld zwischenzeitlich eingestellt hatte.

Die gesamte Überwachung und Steuerung der Anlagenteile erfolgt durch eine übergeordnete Regelung, die frei programmierbar ausgeführt wurde. Die Leitstelle der Stadtwerke erfasst die wesentlichen Daten und Informationen und überwacht die Prozesse der Energiewandlung.

Die parallele Erzeugung von Wärme und Kälte in Kombination mit den redundanten Systemen erforderte zur Optimierung aufwendige Tests und Anpassungen. Ein Monitoringkonzept sichert die kontinuierliche Energiewandlungseffizienz.

Die BHKW arbeiten kontinuierlich

Die vier BHKW-Module laufen alle parallel planmäßig das ganze Jahr unter Vollast. Durch eine verbesserte Steuerung sowie die Erweiterung des Fernwärmenetzes konnte in 2013 die Laufzeit der BHKW und damit die Strom- und Wärmeerzeugung auf $8,62 \text{ h/Start}$ gesteigert werden. Ziel ist, eine Betriebszeit von 12 h/Start zu erreichen. Der Abgaswärmetauscher arbeitet effizienter als erwartet. Die hydraulische Einbindung in das Fernwärmesystem sowie die niedrige Rücklaufemperatur $\leq 50 \text{ °C}$ ermöglichten einen kontinuierlichen Brennwertbetrieb. Die Abgastemperatur liegt immer max. 5 K über der Rücklaufemperatur.

Das BHKW erreicht einen elektrischen Wirkungsgrad η_{el} von ca. 37% , unter Einbeziehung der Leistung des Abgaswärmetauschers kommt es trotz an-



Energieverbrauch im Krankenhaus

Im Jahr 2013 gab es in Deutschland 1.996 Krankenhäuser mit insgesamt knapp 501.000 Betten.

Je größer die Klinik, um so höher ist der Energieverbrauch pro Bett: Er liegt durchschnittlich bei etwa 25.000 kWh/a für Wärme und 8.000 kWh/a für Strom. Eine Familie mit einem modernen Einfamilienhaus verbraucht mit insgesamt etwa 23.000 kWh/a deutlich weniger. Schätzungen gehen davon aus, dass Krankenhäuser rund 40 % Strom und gut 30 % Wärme einsparen können, abhängig von Alter und Größe sowie vom Zustand der bestehenden Anlagen.

Bei den Krankenhäusern der Rhön-Klinikum AG verbraucht die IT (ohne medizintechnische Anlagen) inzwischen bereits 12 % des Stroms. Nur etwa ein Viertel davon schlucken Endgeräte wie PCs und Drucker. Das meiste geht an Server, aktive Netzwerkkomponenten, Langzeitspeicher und Kühlung in Rechenzentren. Generell besteht heute ein höherer Kältebedarf als früher. Die Erzeugungsanlagen der Universitätsklinik Gießen wurden entsprechend ausgelegt. Die Klinik braucht ganzjährig Prozesskälte für die Klimatisierung von Räumen mit erhöhten Luftanforderungen, wie OPs, Behandlungsräume oder Patientenzimmer, sowie für medizinische Großgeräte, Netzwerk- und Speichertechnik.

von 5 bis 6 gesteigert werden. Der vom Hersteller angegebene Wert von 8 – 9 blieb jedoch unerreicht. Die Rückkühlung läuft in dieser Zeit über die Kühltürme auf dem Dach. Die Anlage funktioniert problemlos und sparsamer als erwartet. Der größte Turm kann mit einem zusätzlichen Lamellenkühler die freie Kühlung nutzen. Diese dient in den Wintermonaten als dritte Kälteerzeugungseinheit. Sie nutzt die maximal 8 °C kalte Außenluft, um das Kaltwasser auf 10 °C zu kühlen und braucht lediglich Pumpen- und Ventilatorstrom.

Energieeinsparungen durch Kopplung

Die Verbindung eines Blockheizkraftwerks mit einer Absorptionskältemaschine erwies sich als energetisch hocheffizient. Die Brennwert-Abgas-Wärmetauscher erhöhen den Gesamtwirkungsgrad der Anlage auf über 90 %. Die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung spart erhebliche Energiemengen ein im Vergleich zu einer getrennten Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte, bei der die öffentliche Stromversorgung genutzt wird. Dabei von einem Wirkungsgrad von 36 % ausgehend, errechnet sich für das Universitätsklinikum bei getrennter Erzeugung ein Primärenergieeinsatz von 42.170 MWh/a und eine CO₂-Emission von 9.223 t/a. Bei der gekoppelten Erzeugung im KWKK reichen 34.400 MWh/a, die CO₂-Emission sinkt auf 6.310 t/a. Diese 21,7-prozentige Primärenergie-Einsparung entspricht dem Jahresbedarf von etwa 330 Einfamilienhäusern.

Bei der Energiezentrale der Universitätsklinik Gießen funktionierte die Wärmeversorgung parallel mit den bestehenden Erzeugern zu Beginn noch nicht wie geplant, sie konnte jedoch verbessert und dauerhaft funktionell eingestellt werden. Das Konzept der KWKK-Anlage hat sich bewährt. Aufgrund des ganzjährig vorhandenen Kältebedarfs und der Anbindung an das städtische Fernwärme- und Fernkältenetz konnten die BHKW mit einer hohen Zahl an Volllaststunden betrieben werden. So wurde eine optimale Primärenergie- und CO₂-Emissionseinsparung erreicht.



Abb. 3 Kühlturm und Abluftanlagen der Energiezentrale beanspruchen etwa 54 m² an Aufstellfläche auf dem Dach der Klinik.

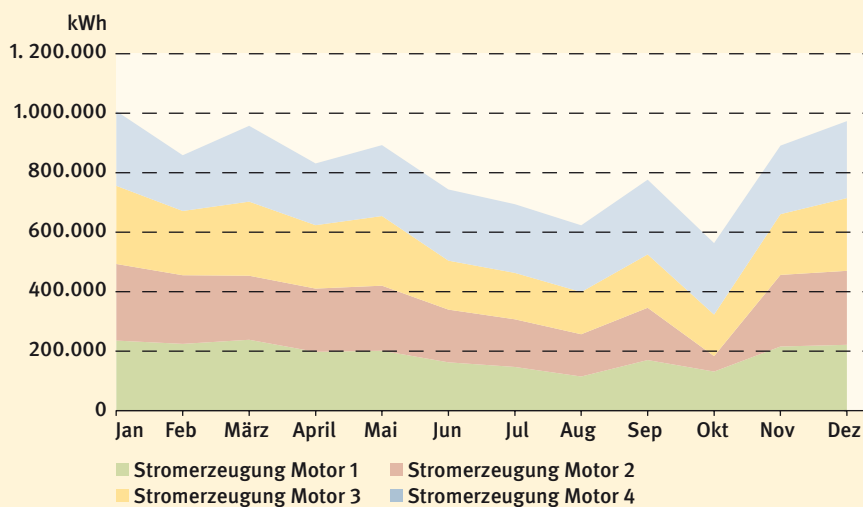


Abb. 4 Die Stromerzeugung aller vier BHKW-Module im Jahr 2014. Der starke Einbruch im Oktober ergab sich durch einen 16tägigen Stillstand zum Tausch der Abgasklappen und zur Generalüberholung der Motoren.

fänglicher Probleme im ersten vollständigen Betriebsjahr auf einen Gesamtwirkungsgrad η_{ges} von 89 %.

Die Energiezentrale stellt pro Jahr folgende Endenergiemengen bereit:

- Strom für Allgmeinstromversorgung 11.340 MWh/a
- Wärme für Raumheizung und Brauchwassererwärmung 11.218 MWh/a
- Kälteerzeugung etwa 5.000 MWh/a.

Kälteversorgung nutzt Abwärme

Kälte wird hauptsächlich aus Abwärme generiert, sodass hierfür keine zusätzliche Brennstoffenergie aufgewendet werden muss. Die beiden zweistufigen Absorptionskältemaschinen (AKM) decken daraus die Grundlast. Es zeigte sich, dass abgasbefeuerte AKM regelintensiver und störanfälliger sind als heißwasserbefeuerte Maschinen. Mit Nachbesserungen erreichen die AKM nun 60 – 65 % des Leistungs-Sollwerts. Bei Betrieb der AKM wird die verbleibende Abgasenthalpie bis auf ein Niveau von ca. 5 K über Heizwasserrücklauftemperatur für Heizzwecke genutzt. Die von der AKM nicht genutzte Restwärme aus dem Abgas wird in einen Wärmetauscher geleitet. Unter Volllast können aus dem Brennwerttauscher hinter AKM 2 etwa 280 kW dem Heizkreislauf zugeführt werden.

Übersteigt der Wärmebedarf die Leistung der KWK-Anlagen, wird die AKM gestoppt und die Kompressionskältemaschinen (KKM) decken den verbleibenden Kältebedarf. Sie arbeiten nach anfänglichem Steuerungsproblem störungsfrei. Ihre Leistung konnte durch Umbauten an der Kaltwasserbeimischung und Einbau einer zweiten drehzahlregulierten Pumpe auf einen COP



Krankenhäuser energieeffizienter betreiben

Der Betrieb von Krankenhäusern ist sehr energieintensiv. Fachleute sehen ein großes Potenzial für Energieeinsparungen in deutschen Krankenhäusern und Reha-Einrichtungen. Es lohnt sich wirtschaftlich und ökologisch, Einsparmöglichkeiten zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zu entwickeln. Weitere Modellprojekte und Netzwerke tragen dazu bei, den Betrieb von Krankenhäusern energieeffizienter zu machen. Das Fraunhofer-Institut UMSICHT untersucht in einem Forschungsprojekt die Energieeffizienz in 20 Krankenhäusern und erstellt daraus ein Benchmarking für diese Branche. Anhand dieser Orientierungsgrößen können die Krankenhäuser ihre eigenen Verbrauchswerte vergleichen. In den Bereichen Heizung, Trinkwarmwassererzeugung, Lüftung, Kälteversorgung und Aufzüge wurden umfangreiche Lastgangmessungen durchgeführt. Auf dieser Grundlage demonstrierten die Forscher Einsparmöglichkeiten und entwickelten Best Practice Lösungen. Für die technischen Abteilungen von Krankenhäusern und für planende Ingenieure stellen sie eine Sammlung von Maßnahmen, Kennzahlen sowie methodische Ansätze für die tägliche Arbeit zusammen.

In einem neu gestarteten Vorhaben arbeiten Wissenschaftler der Technischen Universität Hamburg-Harburg daran, wie die komplexe Energieversorgung von Großkrankenhäusern ökonomisch und ökologisch optimiert werden kann. Sie entwickeln dafür ein einfach anpassbares, softwaregestütztes Instrumentarium. Dabei sollen die Energieversorgungsanlagen zur Bereitstellung insbesondere von Strom, Wärme, Kälte und Dampf ganzheitlich betrachtet und optimiert werden. Den Schwerpunkt legen sie auf Energiebeschaffung und -wandlung. Die Software soll im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf getestet werden.

Das Projekt KLIK – Klimamanager für Kliniken unterstützt bundesweit 50 Krankenhäuser und Reha-Kliniken dabei, Mitarbeiter zum Klimamanager weiterzubilden. Das von der Bundesregierung im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative geförderte Vorhaben unterstützt die Häuser dabei, mit wenig Aufwand Einsparpotenziale selbst zu identifizieren und geringinvestive Maßnahmen eigenständig umzusetzen.

Projektbeteiligte

» **Planung und Betrieb der Anlage:** Energiezentrale Universitätsklinikum Gießen GmbH, Patrick Wattenbach, pwattenbach@stadtwerke-giessen.de

Links und Literatur

- » Stadtwerke Gießen AG, www.stadtwerke-giessen.de
- » Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, www.ukgm.de
- » Rhön-Klinikum AG, www.rhoen-klinikum-ag.com
- » Projekt-Visitenkarte, <http://www.eneff-stadt.info/de/neue-technologien/projekt/details/energiezentrale-universitaetsklinikum-giessen/>
- » EnEff:Wärme, www.eneff-waerme.info
- » EnOB Forschung für Energieoptimiertes Bauen, www.enob.info
- » Klimamanager für Kliniken, www.klik-krankenhaus.de
- » Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, www.umsicht.fraunhofer.de
- » Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, www.irb.fraunhofer.de
- » Energie-Agentur NRW, www.energieagentur-nrw.de
- » Launhardt, C.: Technische und wirtschaftliche Entwicklung des Projektes Effizienzkraftwerk im Uniklinikum Gießen der Rhön-Klinikum AG. Diplomarbeit. 2008. <http://digdok.bib.thm.de/volltexte/2008/3883/>

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Uni-Campus soll klimaneutral werden. Projektinfo 10/2015
- » Nahwärmenez für Neubau- und Bestandsquartier. Projektinfo 4/2015
- » Blockheizkraftwerke intelligent steuern. Projektinfo 8/2013
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_12_2015

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Carsten Magaß
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327874A

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Urheberrecht
Titelbild, Abb. 2 und 3:
BINE Informationsdienst
Abb. 1 und 4: Stadtwerke Gießen / Uniklinikum Gießen und Marburg

Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages