ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E.V.

Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern

Kostensenkung durch effiziente Strom- und Wärmeerzeugung

EnergieAgentur.NRW

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Krankenhäuser sind mit umfangreicher Technologie ausgestattet, um die optimale Versorgung der Bevölkerung zu gewährleisten. Die gesamte Gebäudetechnik – von der Gebäudeheizung und -klimatisierung über die Beleuchtung bis hin zu den Badeeinrichtungen – mit komplexen technischen Anforderungen führen zu enormen Energieaufwendungen. Sie belasten das Budget des Gesundheitswesens Jahr für Jahr mit Kosten in Milliardenhöhe. Der wachsende Kostendruck im Gesundheitswesen und der Anstieg der allgemeinen Betriebskosten im medizinischen Bereich zwingen die Krankenhausverwaltungen zur Ausnutzung aller Möglichkeiten der Kostensenkung.

Im Bereich der Energieversorgung steckt ein enormes Einsparpotenzial. Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ist, den Wirkungsgrad von Energieumwandlungsanlagen zu steigern.

Die Grundlagen für die erfolgreiche Umsetzung einer effizienten Energieversorgung im Krankenhaus gleichen sich, auch wenn die individuellen Lösungen sehr verschieden sind. Drei Bausteine sind in jedem Fall von zentraler Bedeutung:

- eine fundierte Ist-Analyse, die energetische Schwachstellen aufdeckt,
- ein effizientes Energiekonzept,
- ein nachhaltiges Energiemanagement.

Gerade in Krankenhäusern mit ihrer spezifischen Verbrauchsstruktur von Wärme und Elektrizität nimmt dabei die Errichtung von Blockheizkraftwerken (BHKW), gegebenenfalls in Kombination mit Absorptionskälteanlagen, einen besonderen Stellenwert ein. Gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung kann mit einem BHKW der Gesamtnutzungsgrad um bis zu 40 % auf 85 bis 90 % gesteigert werden. Eingebunden in ein stimmiges Gesamtkonzept kann ein BHKW so zentraler Bestandteil einer durchdachten Effizienzstrategie im Krankenhaus sein.

Wir hoffen, dass Ihnen die vorliegende Broschüre viele Impulse und praxisorientierte Hinweise für den Einsatz von BHKW in Krankenhäusern bietet.

BUND
FREUNDE DER ERDE

EnergieAgentur.NRW

Die Gesamtausgaben der bundesdeutschen Krankenhäuser lagen im Jahr 2005 bei ca. 56,7 Milliarden Euro, wovon anteilig knapp 40 % Sachkosten sind. Die reinen Energiekosten der Krankenhäuser liegen bei 6 bis 9 % der Sachkosten und werden auf rund 1,5 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt.

Der wachsende Kostendruck im Gesundheitswesen und der Anstieg der allgemeinen Betriebskosten im medizinischen Bereich zwingen die Krankenhausverwaltungen zur Ausnutzung aller Möglichkeiten der Kostensenkung.

Einen besonderen Stellenwert bei den Möglichkeiten der Energiekostensenkung durch rationelle Energieverwendung in Krankenhäusern nimmt in diesem Zusammenhang die Errichtung von Blockheizkraftwerken ein, gegebenenfalls in Kombination mit Absorptionskälteanlagen, für die in der Regel in Krankenhäusern ab mittlerer Größe (200 - 300 Betten) gute Voraussetzungen bestehen.

Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme stellt eine besonders ökonomische und ökologische Art der Energieerzeugung dar. In der Praxis überwiegt zwar heute noch die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme – die Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich aber immer mehr durch. Durch die Kraft-Wärme-Kopplung wird der eingesetzte Brennstoff effektiver ausgenutzt, was zu einer Primärenergieeinsparung von bis zu 36 % führt.

Der rationelle Umgang mit Energie bringt jedoch nicht nur finanzielle Entlastung. Der reduzierte Verbrauch fossiler Energieträger und damit ein verringerter Ausstoß des klimarelevanten Kohlendioxids (CO_2) und anderer Luftschadstoffe stellt einen Beitrag zur Umweltentlastung dar und trägt auch zur Schonung knapper Ressourcen bei.

Die Broschüre „Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern“ informiert über die wichtigsten Aspekte beim Einsatz von Blockheizkraftwerken und soll die für Energiefragen verantwortlichen Mitarbeiter in Verwaltung und technischer Leitung von Krankenhäusern in die Lage versetzen, die Einsatzmöglichkeiten von Blockheizkraftwerken grob abschätzen zu können.

Im Mittelpunkt steht dabei ein Leitfaden von der Erfassung der Ist-Situation bis hin zur konkreten Planung eines Blockheizkraftwerkes.

Wir hoffen, dass Ihnen diese Broschüre wichtige Impulse gibt, durch den Einsatz moderner Technik die CO_2-Emissionen zu senken sowie die begrenzt vorhandenen Energieressourcen besser ausnutzen zu können.

EnergieAgentur.NRW

Inhalt

1	Energieeinsparung und Emissionsverringerung durch Kraft-Wärme-Kopplung	**4**
2	Langfristige Vorteile durch höhere Energieeffizienz	**7**
3	Schritt für Schritt zum optimalen BHKW	**10**
	Ablaufschema mit den wesentlichen Arbeitsschritten	11
	Entscheidungsfindung am Beispiel eines Musterkrankenhauses	12
4	Referenzobjekte	**28**
	Barmherzige Brüder Saffig	28
	LVR-Klinik Bonn	30
5	Glossar	**32**
6	Ergänzende Informationen	**34**
	Relevantes Regelwerk	34
	Andere Informationsquellen	34
	Weitere ASUE-Informationen zum Thema	35
	Impressum	35

Aktuelle wirtschaftliche Situation von Krankenhäusern

Krankenhäuser arbeiten heute unter einem hohen Kosten- und Konkurrenzdruck. Die Gesundheitsreform, steigende Fixkosten und zunehmende gesetzliche Anforderungen verschärfen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Gleichzeitig wächst der Wettbewerb der Krankenhäuser untereinander. Nur wer in der Lage ist, seine Leistungen für den Patienten zu vergleichsweise niedrigen Kosten anzubieten, wird langfristig die Existenz seines Hauses sichern können.

Die Einnahmen für erbrachte Leistungen sind zumeist staatlich reglementiert. Um die Wirtschaftlichkeit eines Krankenhauses zu verbessern, richtet sich das Hauptaugenmerk daher auf die Minimierung der Kosten. Zu den wichtigen Faktoren auf der Ausgabenseite gehören die Energiekosten.

Die vorliegende Broschüre zeigt auf, wie Krankenhäuser mit Hilfe der Kraft-Wärme-Kopplung ihre Kosten für Strom, Raumwärme, Warmwasser, ggf. Dampf und Kälte wirksam senken können.

Krankenhäuser bieten ideale Einsatzbedingungen für die Kraft-Wärme-Koppelung (KWK), weil sie Strom und Wärme in großen Mengen oft zeitgleich benötigen. Größtenteils werden hierfür Blockheizkraftwerke (BHKW) eingesetzt. In KWK-Anlagen können aber auch Brennstoffzellen, Stirlingmotoren sowie Mikrogas- und Gasturbinen eingesetzt werden. In Blockheizkraftwerken wird Strom erzeugt und gleichzeitig die dabei anfallende Wärme nicht als Abwärme abgegeben, sondern sinnvoll – z. B. für die Heizwärmeerzeugung – genutzt. Zusätzlich kann Dampf erzeugt sowie in Verbindung mit entsprechenden Aggregaten (Absorptionskälteanlagen) Kälte für die Raumklimatisierung und Kühlung bereitgestellt werden.

Die Broschüre informiert über die wichtigsten Aspekte bei der Kraft-Wärme-Kopplung mit Blockheizkraftwerken in Krankenhäusern. Sie stellt die Rahmenbedingungen für den effizienten Einsatz dieser Technologie dar, beschreibt den Weg zur Planung und Auslegung einer optimalen BHKW-Anlage und präsentiert einige Praxisbeispiele. Damit kann sie den verantwortlichen Entscheidern wertvolle Orientierungshilfe geben.

Was ist ein BHKW?

Blockheizkraftwerke sind kompakte Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung. Sie erzeugen aus einem flüssigen oder gasförmigen Brennstoff über Verbrennungsmotoren mechanische Energie und wandeln diese in einem Generator in Strom um. Die entstehende Abwärme (Motorkühlung, Verbrennungsgaswärme) wird über Wärmetauscher zur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung, zur Erzeugung von Kälte oder Niederdruckdampf genutzt. Im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom (in Großkraftwerken) und Wärme verbraucht ein BHKW ca. 36 % weniger Primärenergie; der Wirkungsgrad liegt bei 87 % und höher (siehe Grafik 1 auf Seite 6).

BHKW werden überwiegend mit Erdgas betrieben. Sie eignen sich vor allem für die dezentrale, verbrauchernahe Strom- und Wärmeerzeugung. Besonders sinnvoll sind sie dort, wo gleichzeitig und in gleich bleibendem Verhältnis Strom und Wärme benötigt wird. Der nicht selbst genutzte Strom kann in das Netz des öffentlichen Stromversorgers eingespeist werden. Die hohen Abgastemperaturen (über 500 °C) ermöglichen prinzipiell auch die Erzeugung von Dampf.

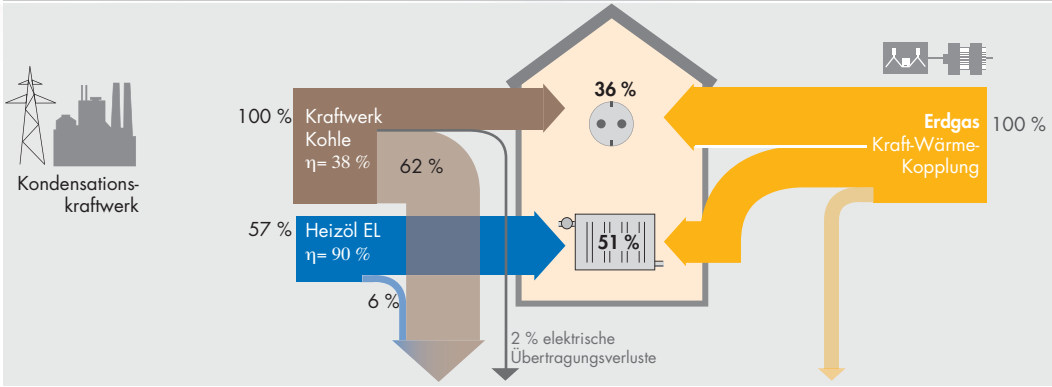
Klimaschutz durch KWK mit Erdgas

Durch die effiziente Energienutzung schonen BHKW nicht nur wertvolle Ressourcen sondern reduzieren umweltbelastende Emissionen, insbesondere die klimawirksamen CO_2-Emission. Das honoriert der Gesetzgeber mit Steuervergünstigungen und Zuschlagszahlungen.

Einen besonderen großen Beitrag zur Umweltentlastung leistet die Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas: Erdgas hat die niedrigsten CO_2-Emissionen unter den fossilen Brennstoffen.

Nicht nur bei CO_2, sondern auch im Hinblick auf luftbelastende Schadstoffemissionen weist Erdgas eine positive Bilanz auf: Es verbrennt vergleichsweise „sauber". Bei der Verbrennung entstehen z.B. praktisch keine Staub- und Schwefeldioxidemissionen.

Stromerzeugung	getrennte Erzeugung	dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung
Effizienz	55 %	87 %
Energieeinsatz	157 %	100 %



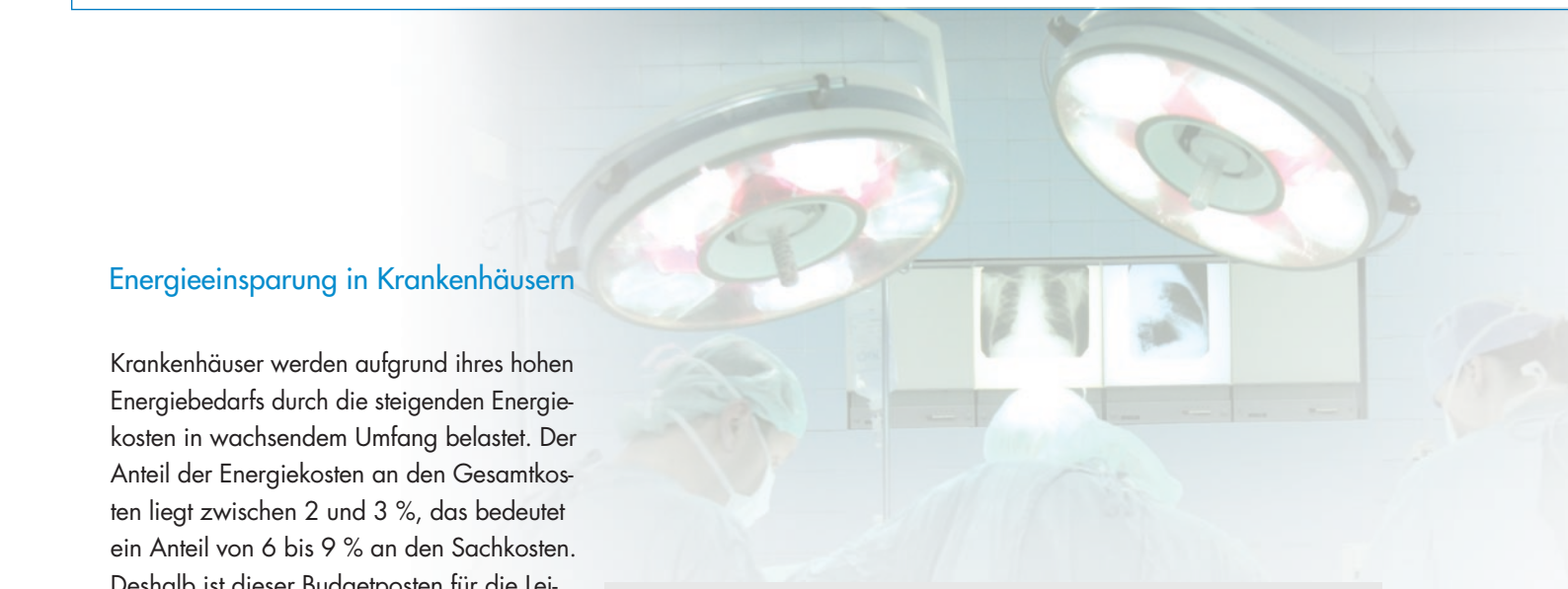
Verluste	70 %	13 %

		Entlastung um
Staub	100 %	99,0 %
SO_2	100 %	98,5 %
NO_x	100 %	29,0 %
CO_2	100 %	58,0 %

		Einsparung um
Primärenergie	100 %	36,0 %

Grafik 1

Langfristige Vorteile durch höhere Energieeffizienz



Energieeinsparung in Krankenhäusern

Krankenhäuser werden aufgrund ihres hohen Energiebedarfs durch die steigenden Energiekosten in wachsendem Umfang belastet. Der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten liegt zwischen 2 und 3 %, das bedeutet ein Anteil von 6 bis 9 % an den Sachkosten. Deshalb ist dieser Budgetposten für die Leitung eines Krankenhauses heute eine wichtige „Stellschraube", Entlastung auf der Ausgabenseite zu erreichen.

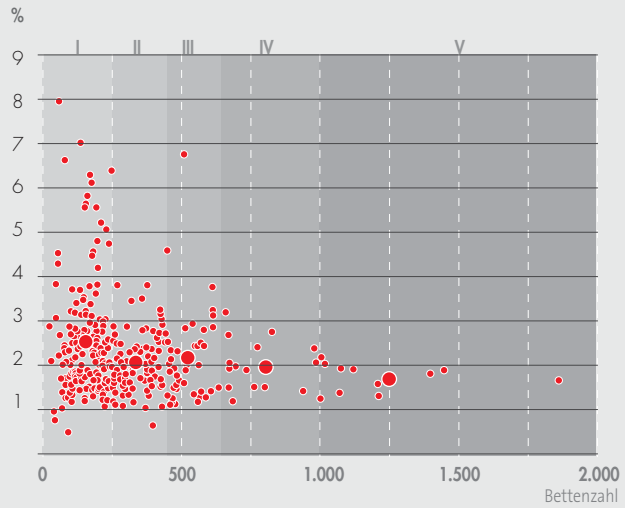
Untersuchungen (u.a. der Energieagentur NRW) haben ergeben, dass in vielen Krankenhäusern die Energiekosten um 30 bis 40 % gesenkt werden können.

Eine Senkung der Energiekosten in dieser Höhe bedeutet in absoluten Zahlen: viele kleine Krankenhäuser mit ca. 300 Betten könnten ihr Sachkostenbudget um ca. 200.000 Euro pro Jahr entlasten, bei großen Krankenhäusern mit mehr als 500 Betten können die Einsparungen Größenordnungen von 400.000 Euro pro Jahr und mehr erreichen.

Auch das aktuelle Forschungsprojekt „Energieeffiziente Krankenhäuser" des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT bestätigt energetische Schwachstellen und hohe Einsparpotenziale in vielen Krankenhäusern. Wesentliche Ursachen und Einflussfaktoren zeigt die nachstehende Übersicht.

Bevor für ein Krankenhaus der Einsatz eines BHKW näher in Betracht gezogen wird, sollten zuvor alle energetischen Schwachstellen analysiert und beseitigt werden, die unabhängig von einer Kraft-Wärme-Kopplung sind. Anderenfalls würde man bei der Planung und Auslegung eines BHKW von langfristig nicht relevanten Grundlagen ausgehen und gegebenenfalls zu Fehlinvestitionen kommen.

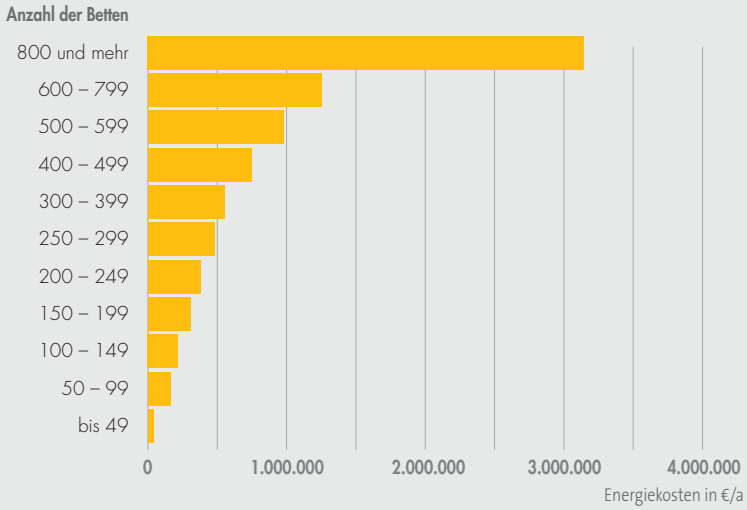
Prozentualer Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten



Quelle: Energieagentur NRW

Grafik 2

Jährliche Energiekosten in Krankenhäusern mit unterschiedlicher Bettenzahl



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

Grafik 3

Typische Energiesparpotenziale in Krankenhäusern

Die Energieversorgungsstruktur von Krankenhäusern ist nicht nur sehr komplex, sondern in den meisten Häusern auch im Laufe der Jahre „mitgewachsen". Es gibt daher oft kein integriertes Konzept für eine effiziente, bedarfsangepasste Energieversorgung.

Durch Umstrukturierung, die Auslagerung von Betriebseinheiten(z.B. Outsourcing von Küchen und Wäschereien) und den Zubau neuer Betriebseinheiten(z.B. ambulanter OP) haben sich auch die Aufgaben von haustechnischen Anlagen und die Anforderungen an ihre Leistungsgröße gravierend geändert. Damit ist die installierte Technik nicht mehr optimal auf die Abnahmestruktur zugeschnitten, die Energieeffizienz verschlechtert sich.

Untersuchungen haben ergeben, dass die Wärmeerzeugungsanlagen in Krankenhäusern teilweise um den Faktor 2 bis 3 überdimensioniert sind (z.B. durch zu großzügige Auslegung in der Planungsphase oder nachträgliche Umstrukturierungen, die den Gesamtwärmebedarf verringert haben). Die Folge sind geringe Jahresnutzungsgrade und hohe Bereitstellungsverluste.

In vielen Krankenhäusern gibt es Nieder- bzw. Hochdruckdampfkessel, die keine direkten Dampfverbraucher mehr versorgen, nachdem z.B. Küchen oder Wäschereien ausgelagert worden sind. Häufig besteht dann nur noch eine wärmetechnische Verbindung zwischen Heizwasserkreislauf und Dampfsystem (über Druckreduzierstationen und Umformer). Daraus ergeben sich ebenfalls hohe Wärmeverluste und damit beachtliche Energiesparpotenziale.

Sehr viele haustechnische Anlagen in Krankenhäusern sind technisch veraltet, häufig sind sie auch nicht optimal eingestellt und gewartet. Durch effiziente, gut geregelte und regelmäßig gewartete Anlagen können höhere Wirkungsgrade und Nutzungsgrade erreicht und Verluste verringert werden.

Der Kälteverbrauch (Klimaanlagen, Kühlräume usw.) wird üblicherweise durch elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen gedeckt, die eine erhebliche Stromaufnahme haben und zu einem hohen Stromverbrauch des Krankenhauses beitragen. Hinzu kommt, dass viele Kompressoren älteren Baujahres sind und mit FCKW-haltigen Kältemitteln arbeiten. Hier ergeben sich Ansatzpunkte für Effizienzsteigerungsmaßnahmen (insbesondere durch den Einsatz von Absorptionskälteanlagen), die gleichzeitige erhebliche Effekte zur Umweltentlastung bewirken können.

Gute Voraussetzungen für den BHKW-Einsatz in Krankenhäusern

Wenn die zuvor dargestellten Einsparpotentiale in einem Krankenhaus erkannt worden sind, kann ein individuelles Energiekonzept entwickelt werden, bei dem auch die Kraft-Wärme-Kopplung in einem BHKW wesentlicher Bestandteil sein kann. Durch ihre spezifische Versorgungsstruktur sind Krankenhäuser prädestiniert für den Einsatz von Blockheizkraftwerken:

- Hoher Raumwärmebedarf
- Ganzjähriger Wärmebedarf für Warmwasserbereitung
- Hoher Strombedarf mit regelmäßig sich wiederholendem Tagesgang und konstanter Grundlast
- Ausreichende Gleichzeitigkeit von Wärme- und Strombedarf
- Steigender Kältebedarf zur Raumklimatisierung (z.B. durch OPs usw.)
- Nutzung der BHKW-Anlage als Ersatzstromaggregat
- Meist räumlich günstige Installationsbedingungen

Die aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den BHKW-Einsatz in Krankenhäusern sind günstig, die Investitionen können sich nach etwa vier bis sechs Jahren durch die erzielten Einsparungen amortisieren. Nach Ablauf dieser Zeit ergeben sich Kostenvorteile von ca. 20 % gegenüber der konventionellen Energieversorgung durch Vollstrombezug und seperater Wärmeerzeugung. Das Musterbeispiel in Kapitel 3 verdeutlicht diese wirtschaftlichen Vorteile von BHKW.

Die auf dem Markt angebotenen BHKW sind technisch ausgereift. Maßgebend für die Auswahl ist daher vor allem die passende Anlagengröße für ein Krankenhaus.

Unter diesen Prämissen kann man heute alle Leistungsklassen unter einem breit gestaffelten BHKW-Angebot auswählen.

Schritt für Schritt zum optimalen BHKW

Voraussetzung für den wirtschaftlich vorteilhaften Betrieb eines BHKW ist eine sorgfältige Analyse der individullen Randbedingungen eines Krankenhauses im Vorfeld einer Investitionsentscheidung. Im Mittelpunkt steht dabei vor allem die Ermittlung der „richtigen" Leistungsgröße des BHKW. Sie ist maßgebend für den wirtschaftlichen Erfolg eines BHKW.

Benötigt werden einerseits leicht zugängliche Informationen wie Daten aus der Energieabrechnung. Darüber hinaus sind Kenntnisse des Wärme- und Stromlastgangs für die Leistungsermittlung eines BHKW erforderlich. Zuerst ist jedoch zu prüfen, ob technische, organisatorische und strukturelle Veränderungen des Krankenhauses mittel- und langfristig geplant sind, die Auswirkungen auf die Energieversorgung haben. Einige relevante Fragestellungen beispielsweise sind:

- Ist die Entwicklung einer ambulanten OP oder neuen Spezialabteilung vorgesehen?
- Kann der steigende Kältebedarf für die Kühlung und Klimatisierung zukünftig mit vorhandenen Anlagen nicht mehr gedeckt werden?
- Soll der Küchenbereich oder die Wäscherei ausgelagert werden?
- Gibt es Überlegungen, den Wärmebedarf des Gebäudes durch Wärmeschutzmaßnahmen zu senken?
- Muss eine technisch veraltete Kesselanlage erneuert werden?
- Ist die Dampferzeugung noch im bisherigen Umfang notwendig?

Erst wenn diese grundlegenden Fragen beantwortet und die Eckdaten der zukünftigen Energieversorgung festgelegt sind, kann mit der Untersuchung eines BHKW-Einsatzes begonnen werden.

Das nachfolgend dargestellte Ablaufschema dient als Orientierungshilfe bei der Entscheidungsfindung und verdeutlicht die einzelnen Phasen von der Bestandsaufnahme bis zur Realisierung. Am Beispiel eines Musterkrankenhauses* werden im Folgenden alle wesentlichen Arbeitsschritte detailliert erläutert und die erzielten Ergebnisse vorgestellt.

Bestandsaufnahme	Konzeption und Auslegung eines BHKW	Untersuchung der Wirtschaftlichkeit	Realisierung
Datenerfassung	Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs	Kapitalgebundene Kosten	Detailplanung
Wärmebedarfs-analyse	Lastgang des Strombedarfs	Verbrauchsgebundene Kosten	Finanzierung und Betreibermodelle
Strombedarfs-analyse	Wärme-, Strom- und Brennstoffbilanz	Betriebsgebundene Kosten	
		Strombezugskosten und Stromvergütungen	
		Jahressaldo und Amortisation	

* wärme- und stromseitige Basisdaten des Musterkrankenhauses mit freundlicher Unterstützung durch T.B.E. Technische Beratung Energie GmbH

Datenerfassung

Zugrundegelegt ist ein Krankenhaus mit 225 Betten und den fünf Funktionsbereichen Chirurgie, Intensivstation, Dermatologie, innere Medizin und Bäderabteilung. Der Strombedarf wurde bisher ausschließlich durch Strombezug vom örtlichen Versorgungsunternehmen gedeckt.

Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral in einem Heizungsraum des Hauptgebäudes zur Wärmeversorgung der Funktionsbereiche sowie eines benachbarten Schwesternwohnheimes. Folgende Kesselanlagen und Warmwasserspeicher waren installiert:

2 baugleiche Warmwasser-Kessel	
· Nennwärmeleistung	je 2.400 kW
· Baujahr beider Kessel	1980
· Brennstoffeinsatz	Heizöl EL
Warmwasserspeicherkapazität	insgesamt 15.000 l

Aufgrund des Baujahres war die rechnerische Nutzungsdauer der Kesselanlagen entsprechend der VDI-Richtlinie 2067 überschritten, so dass für weitere Planungen Ersatzinvestitionen zu berücksichtigen waren.

Brennstoffeinsatz, Jahresnutzungsgrad

Zur Ermittlung der in einem Referenzjahr erzeugten Wärmemenge ist zunächst die eingesetzte Brennstoffmenge für diesen Zeitraum zu bilanzieren. Im Falle einer Erdgasversorgung kann der Jahreserdgaseinsatz einfach aus den entsprechenden Abrechnungsunterlagen des Erdgasversorgungsunternehmens abgelesen werden.

Im vorliegenden Musterbeispiel wurde ausschließlich leichtes Heizöl eingesetzt. Im Abstand von ca. zwei Monaten wurden die Tanklager aufgefüllt, was durch die Rechnungen des Heizöllieferanten belegt war. Da in der Regel nicht am 31.12. eines Jahres die letzte Heizöllieferung eines Jahres erfolgt, muss taggenau bilanziert werden, um den Heizölverbrauch eines Kalenderjahres zu ermitteln. Wenn eine Abgrenzung über längere Zeiträume mit schwankenden Außentemperaturen erforderlich ist, können die, u.a. beim Wetterdienst, abrufbaren Tagesmitteltemperaturen für eine genauere Bilanzierung verwendet werden.

Einfacher ist die Ermittlung von Jahresheizölmengen, wenn Ölzähler installiert sind und abgelesen werden oder Brennerbetriebsstunden für verschiedene Leistungsstufen zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Musterbeispiel betrug der Brennstoffeinsatz eines Referenzjahres:

Jahresheizöleinsatz	640.000 l/a bzw. 6.400 MWh/a.

und Wärmeerzeugung

Zur Ermittlung der erzeugten Wärmemenge ist die Kenntnis des Jahresnutzungsgrades der Kesselanlagen erforderlich. Aus Emissionsmessungen wurde zunächst für beide Kessel der feuerungstechnische Wirkungsgrad ermittelt, der die Abgasverluste des Kessels bei laufendem Brenner ausweist. Der Jahresnutzungsgrad berücksichtigt zusätzlich die Abstrahlungsverluste der Kesselanlage während der gesamten Betriebsbereitschaftszeit, also auch bei Brennerstillstand. Dementsprechend ist der Jahresnutzungsgrad abhängig von der Güte der Kesselisolierung und dem Grad der Überdimensionierung der Anlagen. Für die Kessel des Musterkrankenhauses wurde folgender Jahresnutzungsgrad nach der VDI-Richtlinie 2067 ermittelt

Jahresnutzungsgrad	81%.

Damit ergibt sich für die im Referenzjahr in den Kesselanlagen erzeugte Wärmemenge

Jahreswärmeerzeugung	5.184 MWh/a.

Heizwärme und Warmwasserwärme

Die für das Musterkrankenhaus erzeugte Wärmemenge setzt sich zusammen aus der Heizwärmemenge für die Raumheizung sowie der Wärmemenge für die Aufheizung des Warmwassers. Der Warmwasserbedarf lässt sich leicht ermitteln, wenn Wasserzähler oder Wärmemengenzähler installiert sind und abgelesen werden. Im vorliegenden Fall standen entsprechende Zähler und Aufschreibungen nicht zur Verfügung.

Eine Ermittlung des Warmwasserwärmebedarfs kann auch mit Hilfe von Monatswerten des Brennstoffeinsatzes in den heizfreien Sommermonaten erfolgen, sofern entsprechend monatlich abgegrenzte Aufzeichnungen oder Abrechnungen zur Verfügung stehen.

Ohne aufwendige Messungen oder Berechnungen lassen sich plausible Schätzwerte des Warmwasserwärmebedarfs mit Hilfe spezifischer Kennwerte errechnen (siehe Recknagel/Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik). Im vorliegenden Musterbeispiel wurde ein spezifischer Verbrauch von 4 MWh/(Bett a) zugrundegelegt, der für vergleichbare Anwendungsfälle relevant ist.

Damit resultiert die Aufteilung der im Referenzjahr insgesamt erzeugten Jahreswärmemenge zu

Heizwärmebedarf	4.284 MWh/a
Warmwasserwärmebedarf	900 MWh/a.

Benchmarking - Heizwärmebedarf

Zur Bewertung des Heizwärmebedarfs können z.B. spezifische Kennwerte nach dem bereits zitierten Handbuch der Heizungstechnik hinzugezogen werden. Für den Vergleich mit Kennwerten ist es weniger sinnvoll, den ermittelten Heizwärmebedarf des Referenzjahres zu verwenden sondern stattdessen einen langjährigen Mittelwert, um den speziellen Temperaturverlauf einzelner Jahre auszugleichen. Mit Hilfe der Gradtagzahl des zugrundegelegten Referenzjahres sowie eines Mittelwertes von 30 Jahren lässt sich der sogenannte normierte, d.h. hinsichtlich der Außentemperaturverläufe ausgeglichene Jahresheizwärmebedarf ermitteln. Für das Musterbeispiel ergibt sich

normierter Heizwärmebedarf	4.716 MWh/a.

In Recknagel/Sprenger wird für vergleichbare Krankenhäuser ein weiter Bereich des spezifischen Heizwärmebedarfs angegeben, da die Strukturen und haustechnischen Ausstattungen der Krankenhäuser zu unterschiedlich sind, um einen einheitlichen Richtwert nennen zu können. Der Kennzahlenvergleich resultiert für das Musterkrankenhaus wie folgt

Richtwert spezifischer Wärmebedarf für Heizung, Warmwasser, Niederdruckdampf und Hochdruckdampf:	23 MWh/(Bett a)
Spezifischer Wärmebedarf (Heizung, Warmwasser) Musterkrankenhaus:	25 MWh/(Bett a).

Im Vergleich mit Erfahrungswerten liegt der Wert für den spezifischen Wärmebedarf des Musterkrankenhauses oberhalb der Richtwerte. Im Rahmen der Bewertung sind durch weitergehende detaillierte Untersuchungen zu überprüfen:

- Zustand des Gebäudes (Fassade, Fenster usw.)
- Qualität der Gebäudeisolierung
- Einstellungen der Heiz- und Regelsysteme
- angeschlossene Wärmeverbraucher (Küche, Nebengebäude).

Die Beseitigung von erkannten Schwachstellen sollte im Zuge der weiteren haustechnischen Planungen berücksichtigt werden. Verbesserungsmaßnahmen verringern den Jahreswärmebedarf und haben Einfluss auf die Auslegung eines Blockheizkraftwerkes. Um das Thema dieser Broschüre nicht zu weit zu verlassen, wird an dieser Stelle auf weitergehende energietechnische Optimierungen des Musterkrankenhauses nicht eingegangen.

Erforderliche Höchstwärmeleistung

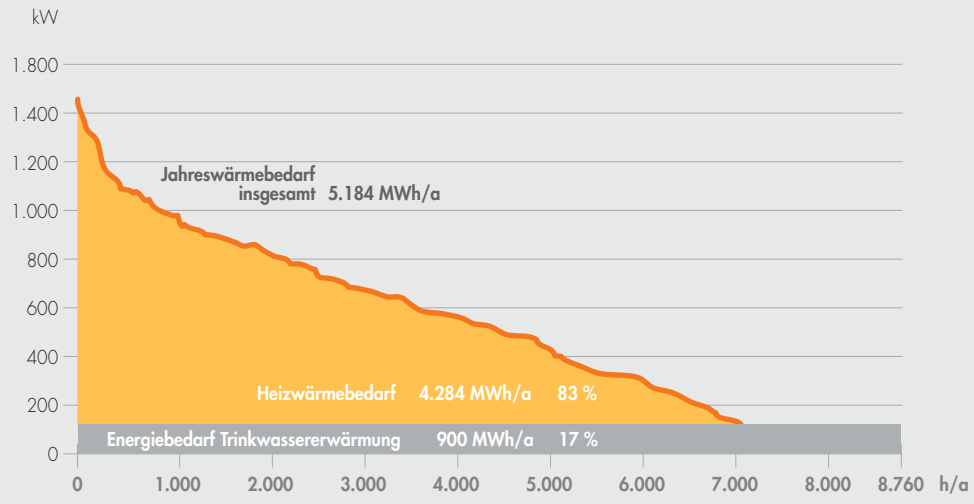
Die erforderliche Höchstwärmeleistung des Krankenhauses kann mit Hilfe der geordneten Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs ermittelt werden. Diese erhält man auf der Grundlage der Tagesmittelwerte der Außentemperatur am Standort des Krankenhauses für ein Referenzjahr (Bezug über Deutschen Wetterdienst). Da die Temperaturdifferenz zwischen Außentemperatur und Gebäudeinnentemperatur proportional zur Heizleistung ist, entspricht der Kurvenpunkt mit der niedrigsten Außentemperatur der höchsten Heizleistung. Da gleichzeitig die Fläche unterhalb der Leistungskurve der Jahresheizwärmemenge entspricht, lässt sich mit Hilfe des Heizwärmebedarfs des Referenzjahres die in diesem Jahr erforderliche höchste Heizwärmeleistung rechnerisch ermitteln. Das gleiche Vorgehen ist unter Zugrundelegung der entsprechenden Tagesmitteltemperaturen für das sogenannte Normjahr (30-jähriges Mittel) anwendbar. In Grafik 4 ist die geordnete Jahresdauerlinie des Heizwärmebedarfs inklusive eines Sockels für den Energiebedarf der Trinkwasserwärmmung dargestellt.

Für das Musterkrankenhaus resultiert die höchste Wärmeleistung wie folgt

Höchstwärmeleistung im Referenzjahr (niedrigste Tagesmitteltemperatur – 6,4 °C)	1.670 kW

Bei dieser Höchstwärmeleistung handelt es sich um den Tagesmittelwert der tatsächlich im Referenzjahr angeforderten maximalen Wärmeleistung. Für die Dimensionierung von Wärmeerzeugungsanlagen ist die maximale Wärmeleistung bei der Auslegungstemperatur im Rahmen von Detailplanungen zu ermitteln. Dabei ist unter Umständen an Stelle eines Tagesmittelwertes auch eine höhere Leistung auf Stundenbasis für kurzfristige Verbrauchsspitzen z.B. bei der Warmwasserversorgung zu berücksichtigen.

Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs Musterkrankenhaus – Referenzjahr



Grafik 4

Strombedarf und Stromlastgang

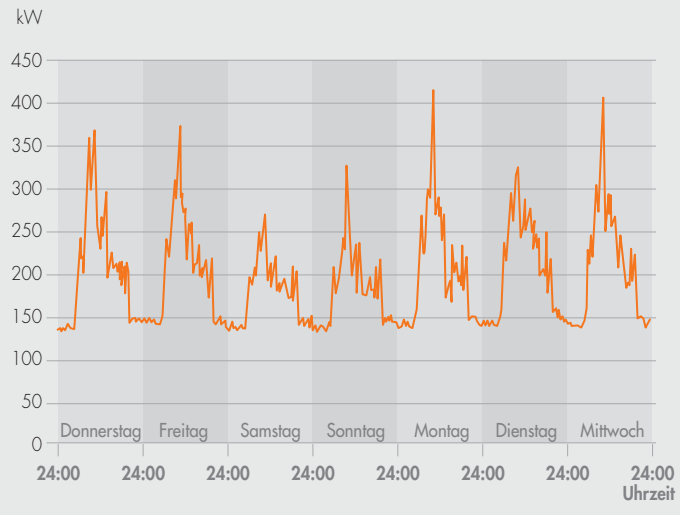
Das Krankenhaus des vorliegenden Musterbeispiels beabsichtigte, den Strombedarf in Zukunft zu einem großen Teil in einem Blockheizkraftwerk selbst zu erzeugen und dementsprechend den Strombezug vom örtlichen Energieversorger deutlich zu verringern. Daher ist es bei der Auslegung eines BHKW erforderlich, zusätzlich zur Analyse der Wärmeversorgung auch die Stromversorgung hinsichtlich Strombedarf und Stromlastgang zu untersuchen.

Die Eckdaten des Strombedarfs resultieren für das Musterkrankenhaus aus den Abrechnungsunterlagen des Versorgungsunternehmens zu

Jahresstrombedarf	1.880 MWh/a
Anteil HT-Zeit	1.170 MWh/a
Anteil NT-Zeit	710 MWh/a
maximale Leistung	530 kW.

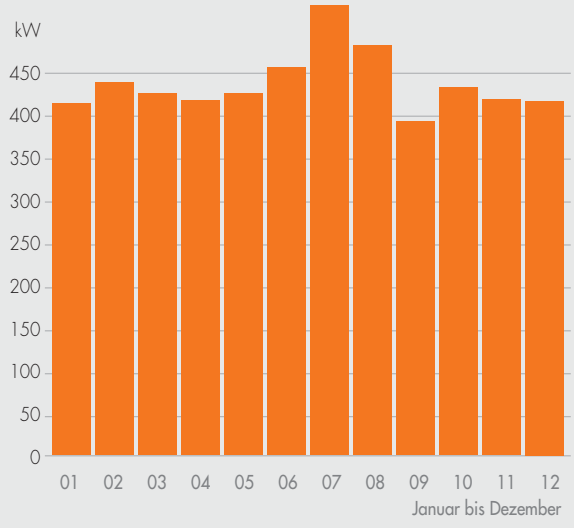
Der zeitliche Verlauf des Strombedarfs kann entweder in Abstimmung mit dem Versorgungsunternehmen ermittelt werden oder es wird ein Ingenieurbüro oder Energieberatungsunternehmen für die Durchführung von Messungen eingeschaltet. In der Regel ist die Aufnahme des Stromlastgangs über den Zeitraum einiger Wochen ausreichend; aus diesen Messungen kann ein repräsentativer Wochenverlauf in guter Annäherung für die übrigen Wochen eines Jahres zugrundegelegt werden.

Wochenlastgang des Strombedarfs



Grafik 5

Monatlicher Stromleistungsbedarf



Grafik 6

Grafik 5 zeigt den ermittelten wöchentlichen Stromlastgang des Musterkrankenhauses. Der Lastgang ist typisch für ein Krankenhaus dieser Struktur. Eine konstante Grundlast von ca. 130 kW entfällt z.B. auf Pumpen und Lüftungsanlagen und wird überlagert durch den Tagesstrombedarf, der in den frühen Morgenstunden mit Aufnahme des Krankenhausbetriebes in verschiedenen Funktionsbereichen sowie auch in der Küche und anderen Bereichen ansteigt. Gegen 20.00 Uhr fällt der Strombedarf auf die Grundlast zurück.

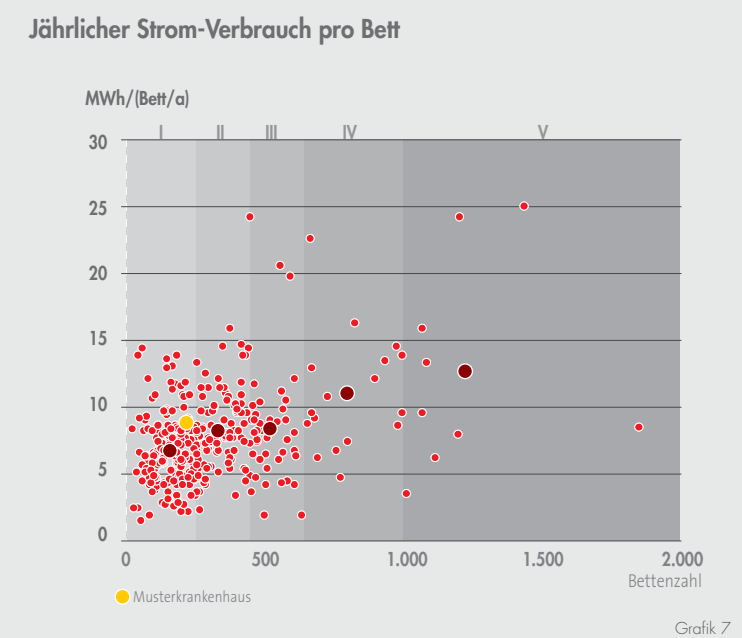
Der sich regelmäßig wiederholende Ablauf des Krankenhausbetriebes findet auch Ausdruck in den weitgehend einheitlichen monatlichen Verrechnungsleistungen, die aus den Stromabrechnungsunterlagen hervorgehen (siehe Grafik 6).

Benchmarking – Strombedarf

Für die Bewertung des Strombedarfs werden Ergebnisse des vom Ministerium für Wirtschaft NRW unterstützten Projektes „energetisches Benchmarking für Krankenhäuser" hinzugezogen (siehe Grafik 7, Quelle: Referat der infas enermetric GmbH auf dem 4. Krankenhaus-Umwelttag 2008 in Essen). Danach liegen die spezifischen Strombedarfswerte für Krankenhäuser in der Kategorie bis 250 Betten ähnlich wie die spezifischen Wärmebedarfswerte in einem breiten Schwankungsbereich. Im Vergleich mit dem Musterkrankenhaus folgt:

Spezifischer Strombedarf	
Vergleichswerte	2 – 14 MWh/(Bett/a)
Musterkrankenhaus	8,4 MWh/(Bett/a).

Das Musterkrankenhaus liegt hinsichtlich des Strombedarfs im Mittelfeld einer größeren Zahl von Krankenhäusern derselben Kategorie. Einsparpotentiale sind durch weitergehende Detailuntersuchungen zu überprüfen.



Grafik 7

Dimensionierung mit Jahresdauerlinie Wärme und Tageslastgang Strom

Auf der Grundlage der Wärme- und Strombedarfsanalyse können die Leistungsdaten für ein geeignetes BHKW ermittelt werden. Für das Krankenhaus im vorliegenden Musterbeispiel sind folgende Kriterien bei der Dimensionierung zugrundezulegen:

- hohe Strombedarfsdeckung durch Stromeigenerzeugung
- lange Laufzeit des BHKW für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Beide Kriterien können nicht vollständig gleichzeitig erfüllt werden: ein BHKW mit entsprechend hoher Leistung kann zwar den Strombedarf des Krankenhauses vollständig abdecken, es erreicht jedoch aufgrund der wärmeseitigen Randbedingungen, d.h. aufgrund des Verlaufs der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs, keine ausreichend langen Laufzeiten für einen wirtschaftlichen Betrieb. Umgekehrt erreicht ein BHKW mit hinreichend kleiner Leistung einen durchgehenden Betrieb mit vollständiger Nutzung der abgegebenen Wärme, der Anteil der Stromeigenerzeugung am Gesamtstrombedarf bleibt in diesem Fall gering.

Für das Musterkrankenhaus wurde ein BHKW mit folgenden Leistungsdaten zugrundegelegt:

elektrische Leistung	225 kW
Wärmeleistung	370 kW
Brennstoffleistung	670 kW
thermischer Wirkungsgrad:	55 %
elektrischer Wirkungsgrad	34 %
Gesamtwirkungsgrad	89 %.

Im Zuge der Sanierung des Wärmeversorgungssystems wurde von Heizöl- auf Erdgaseinsatz umgerüstet und eine neue kombinierte Brennwert- / Niedertemperaturkesselanlage mit folgendem Nutzungsgrad installiert:

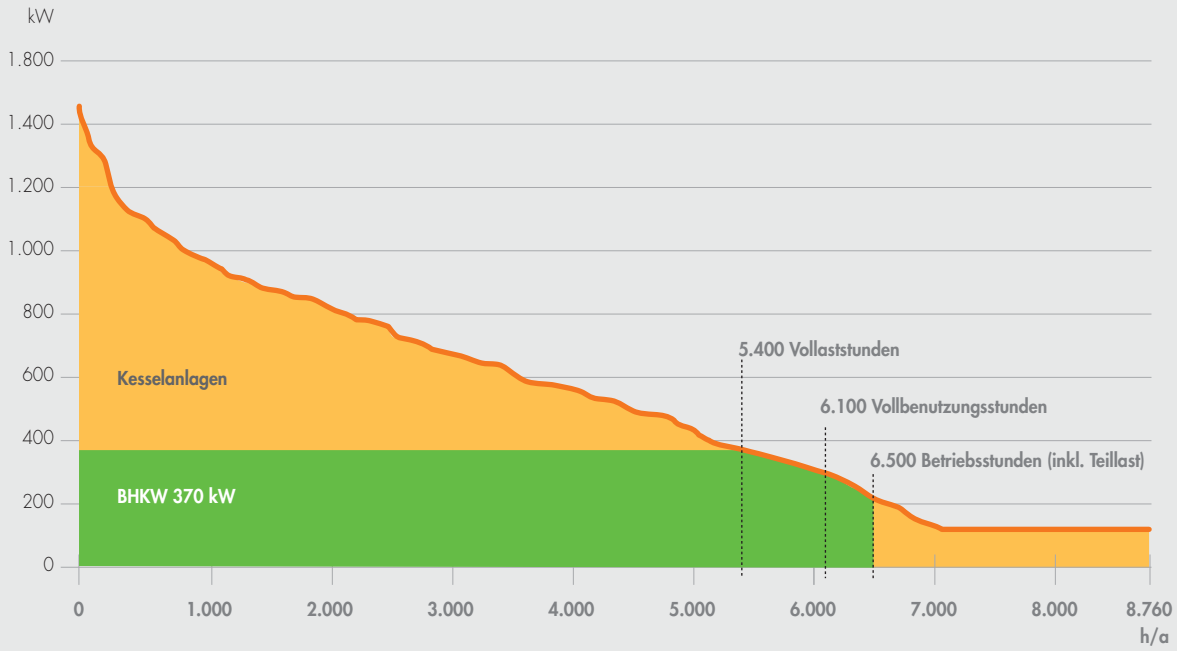
Jahresnutzungsgrad der Kesselanlagen	96 %.

Auf Einzelheiten hinsichtlich der Kesselanlagen und weiterer Installationen außerhalb des BHKW wird hier nicht eingegangen, die weiteren Ausführungen bleiben im Rahmen der vorliegenden Broschüre auf das BHKW fokussiert.

In Grafik 8 ist die Wärmebedarfsdeckung in der geordneten Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs (Basis: Referenzjahr) dargestellt. Das BHKW liefert einen Anteil von 44 % des Gesamtwärmebedarfs, der verbleibende Wärmeanteil von 56 % wird durch die Kesselanlagen erzeugt. Das BHKW erreicht 5.400 Volllaststunden. Unter Berücksichtigung von ca. 1.100 zusätzlichen Teillaststunden mit Leistungen bis 60 % der Nennleistung werden sogenannte Vollbenutzungsstunden in Höhe von 6.100 h/a erreicht.

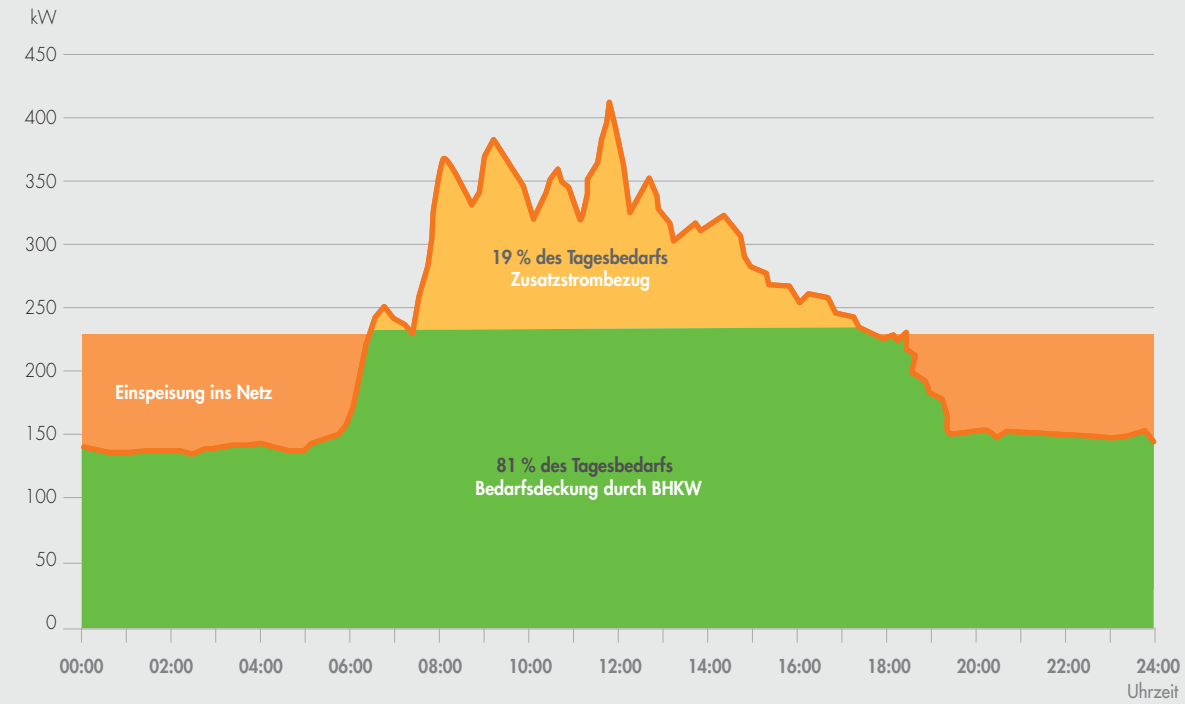
In Grafik 9 ist ein repräsentativer Tageslastgang des Strombedarfs des Krankenhauses sowie die Stromerzeugung durch das BHKW dargestellt. Die Stromgrundlast wird vollständig durch das BHKW abgedeckt, darüber hinaus ein Teil des Spitzenstrombedarfs tagsüber während des Krankenhausbetriebes. Insgesamt produziert das BHKW 81 % des Tagesstrombedarfs, 19 % werden durch Zusatzstrombezug gedeckt. Der über den Tagesbedarf hinausgehende erzeugte Strom wird in das Netz des Stromversorgers eingespeist. Diese Verhältnisse werden als repräsentativ für die Betriebszeiten des BHKW innerhalb eines Jahres zugrundegelegt.

Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs Wärmebedarfsdeckung durch BHKW und Kesselanlagen



Grafik 8

Tageslastgang des Strombedarfs Bedarfsdeckung durch BHKW, Zusatzstrombezug und Einspeisung



Grafik 9

Wärme-, Strom- und Brennstoffbilanz

Unter den zugrundegelegten Randbedingungen ergeben sich für das Musterkrankenhaus im Einzelnen die folgenden Daten der Wärme- und Stromversorgung (Basis Referenzjahr):

Vollbenutzungsstunden BHKW	6.100 h/a
Wärmeerzeugung BHKW	2.257 MWh/a (44 % des Wärmebedarfs)
Wärmeerzeugung Kesselanlagen	2.927 MWh/a (56 % des Wärmebedarfs)
Wärmeerzeugung insgesamt	5.184 MWh/a
Brennstoffeinsatz BHKW	4.541 MWh(H_s)/a
Brennstoffeinsatz Kesselanlagen	3.388 MWh(H_s)/a
Brennstoffeinsatz insgesamt	7.929 MWh(H_s)/a
Stromerzeugung BHKW	1.373 MWh/a
Strombedarf Krankenhaus	1.880 MWh/a
Eigenstrombedarfsdeckung	1.068 MWh/a (57 % des Strombedarfs)
Einspeisung ins öffentliche Netz	305 MWh/a
Zusatzstrombezug	813 MWh/a (43 % des Strombedarfs)

Die hier zugrunde gelegten, oben genannten Wirkungsgrade des BHKW-Moduls sind geringer als die entsprechenden Herstellerangaben bei Nennleistung; dadurch sind Wirkungsgradeinbußen bei Teillastbetrieb berücksichtigt.

Das Verhältnis von unterem Heizwert H_i zum Brennwert H_s wurde zu 0,9 gesetzt.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des BHKW werden alle mit der Installation und dem Betrieb der Anlage verbundenen relevanten Jahreskosten sowie die erzielbaren Einsparungen im Vergleich zu einem Referenzfall ohne BHKW ermittelt. Im vorliegenden Musterbeispiel ist dieser Referenzfall der Vollstrombezug sowie die vollständige Wärmeerzeugung in einer neu installierten Kesselanlage kombiniert aus einem Brennwertkessel und einem Niedertemperaturkessel unter Einsatz von Erdgas.

Im Fall des BHKW wurden bei der Planung die gleichen Kesselanlagen als Spitzenlastkessel und als Ersatz bei Ausfall des BHKW berücksichtigt. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Investition in das BHKW sind daher die auf die Kesselanlagen entfallenden Investitionen nicht relevant und werden im folgenden nicht berücksichtigt; daher bleiben die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen fokussiert auf das BHKW.

Alle Preis- und Kostenangaben sind Netto-Werte ohne Berücksichtigung der gesetzlichen Mehrwertsteuer. Die Umsatzsteuerpflicht und die Vorsteuerabzugsberechtigung eines Krankenhauses sind abhängig unter anderem von der Trägerschaft und der Gesellschaftsform.

Die relevanten Jahreskosten und anrechenbaren Vergütungen setzen sich wie folgt zusammen:

Kapitalgebundene Kosten
infolge der Investitionen in das BHKW,

Verbrauchsgebundene Kosten
infolge Erdgaseinsatz in das BHKW und in die Kesselanlagen,

Betriebsgebundene Kosten
infolge Personalaufwand, Wartung, Instandhaltung, Verwaltung und sonstiges im Fall des BHKW,

Strombezugskosten
infolge Vollstrombezug im Referenzfall und Zusatzstrombezug im Fall des BHKW,

Steuer- und Stromvergütungen
infolge Stromeinspeisung, Steuererstattung und Förderung.

Detaillierte Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind unter anderem in der VDI-Richtlinie 2067 dargestellt.

Kapitalgebundene Kosten

Die Investitionen in das zugrundegelegte BHKW wurden nach Herstellerangaben in Höhe von 190 T€ ermittelt. Darüber hinaus sind zusätzliche Kosten für Zubehör, Einbindung und Peripherie, Kosten für Unvorhergesehenes sowie Planungskosten zu berücksichtigen, so dass Gesamtinvestitionen in Höhe von 320 T€ resultieren.
In Grafik 10 ist die Aufteilung der Investitionen dargestellt.

Die aufgrund der Investitionen sich ergebenden jährlichen Kapitalkosten werden annuitätisch wie folgt ermittelt:

Finanzierungszeitraum	10 Jahre
Zinssatz	4 %
Annuität	12,33 %
Kapitalgebundene Kosten	39,5 T€/a.

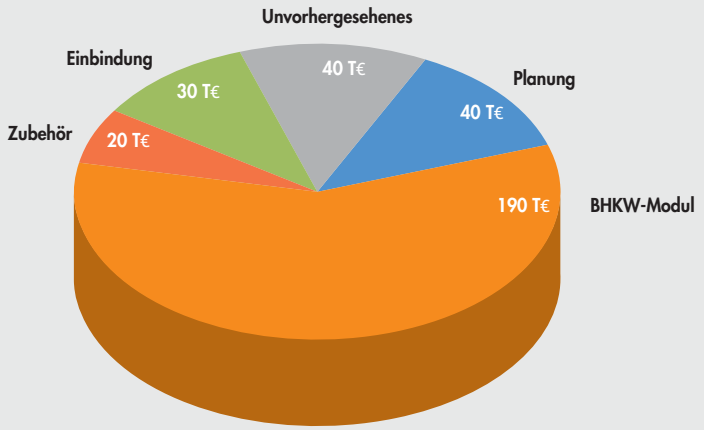
Verbrauchsgebundene Kosten

Auf der Basis eines durchschnittlichen Preises von 4,1 Ct/kWh(H_s) für die Erdgaslieferung nach Angaben des Gasversorgungsunternehmens im Oktober 2009 folgt für die jährlichen Erdgasbezugskosten

BHKW inklusive Kesselanlagen	325,1 T€/a
Referenzfall (nur Kesselanlagen)	246 T€/a.

Dem Referenzfall liegt ein Erdgasbedarf von 6.000 MWh(H_s)/a bei einem Jahresnutzungsgrad der Kesselanlagen von 96 % zugrunde.

Aufteilung der Investitionen insgesamt 320 T€



Grafik 10

Betriebsgebundene Kosten

Für Wartung und Instandhaltung des BHKW wurde der Abschluss eines Vollwartungsvertrages mit spezifischen Kosten in Höhe von 1,5 Ct je kWh erzeugten Stromes nach Herstellerangaben zugrundegelegt.

Kosten für Personalaufwand wurden entsprechend der VDI-Richtlinie 2067 zu 3 % der Sachinvestitionen (ohne Planungskosten) ermittelt, für Verwaltung und sonstiges wurden 1,5 % der Sachinvestitionen in Ansatz gebracht.

Betriebsgebundene Kosten der Kesselanlagen fallen im Referenzfall in gleicher Höhe wie im Fall des BHKW an und bleiben daher unberücksichtigt.

Die betriebsgebundenen Kosten des BHKW resultieren insgesamt zu:

Betriebsgebundene Kosten BHKW	33,2 T€/a.

Strombezugskosten

Wie bei der Erdgaslieferung hat das Energieversorgungsunternehmen auch für den Strombezug Durchschnittspreise je kWh ohne weitere Preiskomponenten wie zum Beispiel Leistungspreis oder Grundpreis zugrundegelegt. Diese Vereinfachung ist auf den zunehmenden Wettbewerb im Energiemarkt zurückzuführen, der die Versorgungsunternehmen veranlasst, übersichtliche und damit kundenfreundliche Lieferkonditionen darzubieten.

Ein Preisunterschied liegt vor zwischen der Vollversorgung mit einer für das Versorgungsunternehmen günstigen Lieferstruktur sowie der Zusatzversorgung ohne Grundlast, bei der lediglich Tageslastspitzen abgedeckt werden.

Folgende Durchschnittspreise ohne Steuern und Abgaben wurden nach Angaben des Versorgungsunternehmens (Preisstand Oktober 2009) zugrunde gelegt:

Referenzfall – Vollstrombezug	9,68 Ct/kWh
BHKW – Zusatzstrombezug	10,72 Ct/kWh.

Folgende Steuern und Abgaben müssen bei beiden Preisen hinzugerechnet werden:

Stromsteuer	2,05 Ct/kWh
EEG-Abgabe in 2010	2,047 Ct/kWh
KWK-Abgabe in 2010	bis 100.000 kWh/a: 0,13 Ct/kWh ab 100.000 kWh/a: 0,05 Ct/kWh.

Die EEG-Abgabe (EEG= Erneuerbare-Energien-Gesetz) wird von den Versorgungsunternehmen zur Kompensation erhöhter Kosten für die Vergütung von Stromeinspeisungen aus erneuerbaren Energien aufgrund gesetzlicher Bestimmungen von den Endverbrauchern erhoben. Ab 2010 wird diese Abgabe erstmals einheitlich und nicht mehr individuell ermittelt; Grundlage ist die erwartete Einspeisung an Strommengen aus erneuerbaren Energien (z.B. Wind, Sonne, Biomasse).

Ähnlich dient die KWK-Abgabe zur Kompensation von Kosten aufgrund der Förderung von KWK-Anlagen, sie wird für jedes Jahr einheitlich neu festgelegt.

Nähere Informationen zu beiden Abgaben bietet auf seinen Internet-Seiten der BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (www.bdew.de).

Mit den zugrundegelegten Konditionen resultieren folgende Strombezugskosten:

Referenzfall	260,0 T€/a
BHKW	120,9 T€/a.

Steuer- und Stromvergütungen

Nach dem Energiesteuerrecht hat der Betreiber einer KWK-Anlage Anspruch auf Erstattung der zuvor entrichteten Erdgassteuer auf das in der KWK-Anlage eingesetzte Erdgas. Bei einem Steuersatz von 0,55 Ct/kWh ergibt sich im vorliegenden Musterfall des BHKW eine jährliche Erdgassteuererstattung von 25 T€.

Für den in das öffentliche Netz eingespeisten Strom erhält das Krankenhaus vom Versorgungsunternehmen eine Einspeisevergütung auf Basis der durchschnittlichen Quartalspreise für den an der Leipziger Strombörse EEX gehandelten Stroms. Zugrunde gelegt wurde der mittlere Handelspreis des 3. Quartals 2009 in Höhe von 3,24 Ct/kWh.

Darüber hinaus werden sogenannte vermiedene Netznutzungsentgelte vergütet, die berücksichtigen, dass durch dezentrale Stromeinspeisung die vorgelagerten Stromnetze entlastet werden. Im vorliegenden Fall vergütet das Versorgungsunternehmen vermiedene Netznutzungsentgelte in Höhe von 0,5 Ct/kWh.

Nach dem KWK-Gesetz werden KWK-Anlagen mit einem sogenannten KWK-Zuschlag auf den insgesamt in der Anlage erzeugten Strom gefördert. Entsprechend der aktuellen Fassung des KWK-Gesetzes resultiert für das vorliegende Musterbeispiel:

KWK-Zuschlag für den Leistungsanteil	
bis 50 kW	5,11 Ct/kWh
über 50 kW bis 2 MW	2,1 Ct/kWh.

Diese Zuschlagssätze gelten für Anlagen, die in der Zeit vom 1.1.2009 bis zum 31.12.2016 in Dauerbetrieb genommen werden. Gewährt wird die Förderung für 6 Betriebsjahre, längstens jedoch für insgesamt 30.000 Vollbenutzungsstunden.

Für das Musterkrankenhaus resultieren die Steuer- und Stromvergütungen insgesamt zu:

Steuer- und Stromvergütungen	
insgesamt	74,4 T€/a.

Jahressaldo und Amortisation

Der Jahressaldo aus Kosten und Einnahmen ergibt sich wie in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt für die Zeiträume mit und ohne KWK-Förderung entsprechend dem KWK-Gesetz. Bei 6.100 Vollbenutzungsstunden jährlich ist nach knapp 5 Jahren bzw. nach insgesamt 30.000 Vollbenutzungsstunden der maximale Förderzeitraum ausgeschöpft. Auch nach der Förderung verbleibt ein positiver Jahressaldo. Der Überschuss aus dem Betrieb des BHKW im Vergleich mit dem Referenzfall ergibt sich für beide Zeiträume zu:

Einsparung durch BHKW	
in der Zeit mit KWK-Förderung	61,7 T€/a
in der Zeit ohne KWK-Förderung	23,7 T€/a.

Nach Ablauf des Finanzierungszeitraumes von 10 Jahren hat das BHKW einen Gesamtkostenvorteil in Höhe von 424 T€ im Vergleich zum Referenzfall erreicht.

Vergleicht man ausschließlich die reinen Betriebskosten ohne Kapitaldienst zwischen BHKW und Referenzfall so ergibt sich eine Betriebskostenersparnis für das BHKW in Höhe von 101,2 T€ jährlich in der Zeit mit KWK-Förderung. Bei Investitionen von insgesamt 320 T€ folgt durch die Einsparungen eine Amortisation des eingesetzten Kapitals bereits nach 3,2 Jahren.

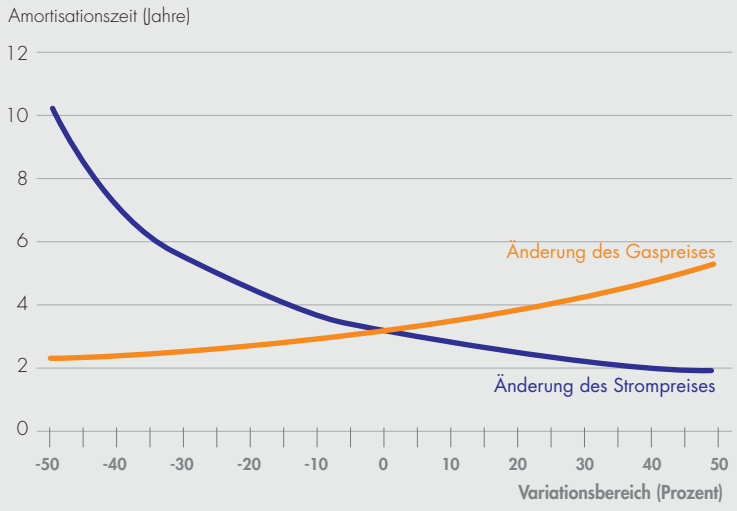
Die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung mit einem BHKW erweist sich in dem dargestellten Beispiel des Musterkrankenhauses als wirtschaftlich besonders attraktiv.

Wirtschaftlichkeitsrechnung	Referenzfall	BHKW
Kapitaldienst		39,5 T€/a
Verbrauchsgebundene Kosten	246,0 T€/a	325,1 T€/a
Betriebsgebundene Kosten		33,2 T€/a
- Wartung, Instandhaltung		20,6 T€/a
- Pesonalaufwand		8,4 T€/a
- Verwaltung, Sonstiges		4,2 T€/a
Strombezugskosten	260,0 T€/a	120,9 T€/a
Steuer- u. Stromvergütungen		-74,4 T€/a
- Erdgassteuererstattung		-25,0 T€/a
- Einspeisevergütung		-9,9 T€/a
- Vermiedene Netznutzungsentgelte		-1,5 T€/a
- KWK-Förderung		-38,0 T€/a
Summe Jahreskosten mit KWK-Förderung (1. - 5. Jahr bzw. 30.000 Vollbenutzungsstd.)	506,0 T€/a	444,2 T€/a
Einsparung BHKW mit KWK-Förderung		61,7 T€/a
Summe Betriebskosten (Jahreskosten ohne Kapitaldienst)	506,0 T€/a	404,8 T€/a
Betriebskostenersparnis		101,2 T€/a
Investitionen €		320,0 T€
Amortisationszeit		3,2 a
Summe Jahreskosten ohne KWK-Förderung (nach 30.000 Vollbenutzungsstd.)	506,0 T€/a	482,2 T€/a
Einsparung BHKW ohne KWK-Förderung		23,7 T€/a

In nachfolgendem Diagramm (Grafik 11) ist der Einfluss von Änderungen des Gas- und Strompreises auf die Amortisationszeit dargestellt. Tendenziell ist beim Strom eher von Preissteigerungen als von deutlichen Preisreduzierungen auszugehen, so dass ein schnellerer Kapitalrückfluss bei steigenden Strompreisen zu erwarten ist.

Die Abhängigkeit der Amortisationszeit vom Gaspreis ist weniger stark ausgeprägt; auch bei Gaspreissteigerungen von 25 % bleibt der Kapitalrückfluss in weniger als 4 Jahren gewährleistet, so dass die Wirtschaftlichkeit des BHKW innerhalb der betrachteten Zeiträume nicht gefährdet ist.

Amortisationszeit über Änderungen des Gas- und Strompreises



Grafik 11

Detailplanung

Wenn auf der Grundlage der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung eine positive Investitionsentscheidung gefällt wird, folgt mit der Detailplanung der Eintritt in die Realisierungsphase. In der Regel wird das Krankenhaus die erforderlichen Arbeiten an ein fachkundiges Planungsbüro übergeben. Die Planungsarbeiten umfassen u.a. folgende Schritte:

- Überprüfung der Aufstellungsbedingungen,
- Planung der wasserseitigen Anschlüsse, des Erdgasanschlusses und der Abgasführung,
- Planung der regelungstechnischen Einbindung in das Heizungssystem,
- Überprüfung der Auswirkungen von Schallemissionen und Schwingungen,
- Planung der elektrischen Einbindung in das interne Verteilnetz und der Anschlüsse für Stromeinspeisungen in das öffentliche Netz in Abstimmung mit dem Energieversorgungsunternehmen,
- Untersuchung einer evt. Ausrüstung des BHKW für Notstrombetrieb,
- Genehmigungsplanung und Bereitstellung aller relevanten Genehmigungsunterlagen.

Weitere Details und ergänzende Planungsarbeiten ergeben sich aus den individuellen Randbedingungen eines jeden Krankenhauses. Es schließt sich die Ausschreibung und die Auftragsvergabe bis hin zur Lieferung, Einbau, Montage und Inbetriebnahme des BHKW's an. Erforderlich ist außerdem die Anmeldung des BHKW-Betriebes bei den zuständigen Stellen zur Erlangung der KWK-Förderung, der Einspeisevergütung und vermiedenen Netznutzungsentgelte sowie der Erdgassteuererstattung.

Finanzierung und Betreibermodelle

In Zeiten knapper Haushaltsmittel haben Betreiber von Krankenhäusern voraussichtlich wenig Interesse, Eigenkapital in ein BHKW zu investieren, das für das Krankenhaus ein Nebenbetrieb zur Aufrechterhaltung des eigentlichen Krankenhausbetriebes darstellt. Alternativ kommt die Fremdfinanzierung z.B. durch Banken in Betracht.

Unter Umständen ist ein Betreibermodell wie z.B. das Contracting eine wirtschaftlich interessante Alternative für ein Krankenhaus. Bei einem solchen Modell kann ein Dritter, z.B. ein Versorgungsunternehmen oder spezialisierte Ingenieur- und Beratungsunternehmen, Contractoren, die Investition sowie den vollständigen Betrieb der Anlage übernehmen. Das Krankenhaus erspart sich die Bereitstellung der finanziellen Mittel und der personellen Ressourcen für den Betrieb und allen damit verbundenen Aufgaben. Der Contractor verfügt über die erforderlichen Kenntnisse und Erfahrungen und kann eine effiziente Betriebsführung des BHKW darstellen. Als Vergütung für die erbrachte Dienstleistung erhält er vom Krankenhaus ein Entgelt für die gelieferten, messtechnisch zu erfassenden, Wärme- und Strommengen. Betreibermodelle sind in vielfältiger Form gestaltbar, bezüglich weiterer Einzelheiten sei auf die ASUE-Broschüre „Contracting in Krankenhäusern" verwiesen.

Mit dem hier vorgestellten, von einem realen Fall abgeleiteten Musterbeispiel konnte unter Beweis gestellt werden, dass unter den derzeitigen Randbedingungen hinsichtlich der notwendigen Investitionen, der Gas- und Strompreise sowie der erzielbaren Vergütungen die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung mit einem BHKW für Krankenhäuser wirtschaftlich attraktiv ist und zur Energiekostenreduzierung beiträgt.

Die nachfolgend dargestellten Referenzen sind Beispiele für erfolgreich umgesetzte BHKW-Projekte.

BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“

Seit 2001 vergibt der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) das BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“. Die Projektidee besteht darin, Krankenhäuser, die in großem Umfang Energie einsparen und ihren Kohlendioxidausstoß verringern, auszuzeichnen und damit Nachahmungseffekte zu initiieren.

Im Folgenden werden zwei Krankenhäuser aus der Reihe der vom BUND ausgezeichneten Krankenhäuser vorgestellt. Beide Häuser haben in ihr Energie-Gesamtkonzept Blockheizkraftwerke eingebunden.

BUND-GÜTESIEGEL
Energie sparendes Krankenhaus

Barmherzige Brüder Saffig

von oben nach unten:
Außenansicht mit Heizzentrale;
Kesselanlage

Die Fachklinik für Psychiatrie und Psychotherapie und das Soziale Zentrum für Menschen mit Behinderungen der Barmherzigen Brüder Saffig in Rheinland-Pfalz erhielten 2004 das BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“. Die Einrichtung mit 215 Betten konnte ihren Energieverbrauch im Vergleich zu 2001 um rund 30 % senken und damit jährlich 730 Tonnen Kohlendioxid einsparen.

Zentraler Bestandteil dieses Einsparerfolges ist die Errichtung und Einbindung einer neuen Energiezentrale, die als Nahwärmeversorgung mit energetisch hocheffizienten Heizkesseln und einem BHKW konzipiert ist. Versorgt wird ein 60.000 qm großes Areal mit mehreren Liegenschaften, zu denen Wohnbereiche und die Fachklinik mit Schwimmbad zählen. Die Umsetzung des Energiekonzeptes erfolgte im Rahmen eines Energie-Contracting-Vertrages mit der Hubert Niewels GmbH.

Energiesparmaßnahmen

- Zum Einsatz kommt ein BHKW Sokratherm GG 122 (Leistung: 122 kW_{el} und 204 kW_{th}, Brennstoffeinsatz 454 kW) sowie zwei Heizkessel, die wahlweise mit Heizöl oder Gas betrieben werden können. Die bivalente Versorgung mit zwei Energieträgern wird genutzt, um Preisdifferenzen zwischen Öl und Gas im Sinne des Krankenhauses zu nutzen.
- Das BHKW erreicht 7.500 Betriebsstunden pro Jahr mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 34,5 % und einem Gesamtwirkungsgrad von 92 %. Es erzeugt jährlich rund 900 MWh Strom und 1.550 MWh Wärme. Damit deckt es den Wärmebedarf der Liegenschaft zu über 50 % ab.
- Die Kaskadenschaltung von BHKW und Heizkesseln durch modernste DDC-Automationstechnik gewährleistet eine vorrangige Nutzung der BHKW-Wärme. Der eingebaute 3-Wege-Katalysator sorgt für einen schadstoffarmen Betrieb.
- Das BHKW wurde nachträglich zum Netzersatzgerät aufgerüstet und kann zur Notstromversorgung genutzt werden.
- Überschüssiger BHKW-Strom wird ins Stromnetz eingespeist. Dadurch kann das BHKW permanent im Volllastbetrieb gefahren werden.

Weitere Maßnahmen zur Verminderung des Energiebedarfs

- Das hydraulische System wurde optimiert, um ein überhöhtes Temperaturniveau und einen unnötigen Medientransport zu verhindern.
- Ein Beleuchtungsprogramm gewährleistet die bedarfsgerechte, energiesparende Beleuchtung.
- Für die Lüftungsanlage des Hallenschwimmbades ist eine Erneuerung geplant. Vorgesehen ist ein hocheffizientes Wärmerückgewinnungssystem zur Außenluftvorwärmung (Kreuzstromwärmeüberträger), mit dem ein Wärmerückgewinnungsgrad von ca. 60 % erreicht wird.

Weitere Informationen:
HUBERT NIEWELS Energie GmbH
Alfons Hagemeister
Telefon 0 52 52 / 10 61
info@niewels.de
www.niewels.de

von oben nach unten:
Außenansicht;
Alter Kessel;
Neuer Kessel;
Neue Kältemaschine

Die mit 800 Betten ausgestattete Fachklinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Landschaftsverbandes Rheinland (LVR) erhielt im Jahr 2005 das BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus". Ihr ist es gelungen, ihren Energieverbrauch im Vergleich zu 1998 um rund 34 % zu senken und jährlich rd. 3.300 Tonnen CO_2 einzusparen. Die Reduzierungen werden im Rahmen eines Energiesparprogramms mit der Firma Imtech-Contracting erzielt, die 4,5 Mio. Euro in die Sanierung der Energieversorgung der Rheinischen Kliniken Bonn investiert hat. Herzstück der mehr als zehn Einzelmaßnahmen ist eine hocheffiziente Energiezentrale, die gleichzeitig Strom, Wärme und Kälte für die Klinik erzeugt.

Energiesparmaßnahmen

Ausgehend von der Erhebung und Analyse des Ist-Zustandes entwickelte die Firma Imtech-Contracting unter Einbeziehung von Simulationsprogrammen ein maßgeschneidertes Energiesparkonzept für die Klinik. In diesem Rahmen sind folgende Maßnahmen umgesetzt worden:

- Die neue Energiezentrale wurde in räumlicher Nähe zu den Verbrauchsschwerpunkten der Klinik errichtet.
- Die hocheffiziente Energieerzeugung erfolgt mittels Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (zwei BHKW-Module BLUESTAR R8, Leistung: je 347 kW_{el} und 520 kW_{th}). Beide BHKW werden stromgeführt betrieben, als Energieträger wird Erdgas eingesetzt. Der Brennstoffeinsatz beträgt jeweils 981 kW. Die Vorlauftemperatur liegt zwischen 90 und 95 °C, die Rücklauftemperatur zwischen 75 und 80 °C.
- Die bei der Stromerzeugung in den BHKW-Modulen anfallende Kühlwasserwärme wird über einen internen Kühlwasserkreislauf mit elektrisch angetriebener Kühlwasserpumpe an das Heißwassersystem abgegeben.

- Als Abgas-Wärmetauscher dient ein liegender Rohrbündelapparat. Das Wasser durchströmt den Mantelraum, während das Abgas durch die Rohre geleitet wird. Im Vorkopf des Wärmetauschers ist ein Abgaskatalysator eingebaut.
- Es wird kein Strom ins öffentliche Netz eingespeist. Die Module kommen auf rund 7.000 Betriebsstunden pro Jahr und decken rund 75 % des gesamten Strombedarfs sowie 35 % des Wärmebedarfs der Klinik ab. Die thermischen Wirkungsgrade liegen bei 54 bis 55 %, die elektrischen Wirkungsgrade bei 34 bis 35 %.
- In den Sommermonaten wird die vom BHKW erzeugte Wärmemenge zum Antrieb einer Absorptionskälteanlage mit einer Kälteleistung von 1,0 MW genutzt.
- Zur Energiezentrale gehören des Weiteren zwei Warmwasserkessel mit einer Leistungsaufnahme von je 2,5 MW und zwei Dampfkessel mit je 2,0 MW.

Weitere Maßnahmen zur Verminderung des Energiebedarfs

- Die Wärmeversorgung der Klinikgebäude wurde von ineffizientem Hochdruckdampf auf Warmwasser umgestellt, die insgesamt installierte Wärmeleistung von 21 MW auf 10 MW reduziert.
- Die raumlufttechnischen Anlagen sind teilsaniert worden (Austausch von Ventilatoren-Motoren, Einsatz von Frequenzumrichtern). Gleichzeitig wurden Laufzeiten und Volumenströme reduziert.
- Zur Überwachung der Anlagen wird eine DDC-Regelung eingesetzt, die einen energieoptimierten Betrieb gewährleistet. Ergänzend wurde ein Energie-Controlling eingeführt.

Neben den enormen Energieeinsparungen, die das Gesamtkonzept ermöglicht, stellt sich auch die Kostenentwicklung für die Klinik positiv dar. Die Gesamtkosten für Energiebezug, Betriebsführung und Instandhaltung konnten (energiepreisbereinigt) im Vergleich zum Referenzjahr um rund 25 % gesenkt werden. Ein Teil der erzielten Einsparungen wird zur Refinanzierung der durch Imtech-Contracting getätigten Investitionen eingesetzt. Der verbleibende Einsparbetrag kommt der Klinik zugute und führt zu einer realen Kostenentlastung gegenüber dem Ausgangszustand.

Weitere Informationen:
Imtech Contracting GmbH & Co. KG
Till Tomann
Telefon 0 30 / 82 00 78 –25
till.tomann@imtech-contracting.de
www.imtech.de

Glossar

Absorptionskälteanlagen
Anlagen zur Kälteerzeugung, in der Klimatechnik z.B. mit Wasser als Kältemittel und einer Lithiumbromidlösung als Sorptionsmittel. Als Haupteinsatzenergie kann Abwärme genutzt werden anstelle von Strom wie bei Kompressionskälteanlagen.

Amortisationszeit
Zeitraum der erforderlich ist, bis die Summe der Betriebskosteneinsparungen, die durch eine Investition in eine Anlage erreicht werden, gerade dem Betrag der Investition entspricht.

BHKW
Abkürzung für Blockheizkraftwerk, Kompaktanlage zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung, bei der meistens Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommen, die die Generatoren antreiben.

Benchmarking
Bewertungsmethode durch Kennzahlenvergleich. Z.B. Vergleich des spezifischen, auf die beheizte Raumfläche bezogenen Jahreswärmebedarfs eines Objektes mit Mittelwerten aus anderen vergleichbaren Objekten oder mit Zielwerten, die sich aus gesetzlichen Anforderungen ergeben (z.B. Energieeinsparverordnung).

Brennwertkessel
Heizkesselanlage mit gleitender, niedriger Kesselwassertemperatur, in der die Rauchgase bis unter den Taupunkt abgekühlt werden. Bei der Kondensation des im Rauchgas enthaltenen Wasserdampfes wird die sogenannte latente Kondensationswärme gewonnen und zusätzlich zur fühlbar übertragenen Wärme als Nutzwärme abgegeben.

Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs
Darstellung des Wärmebedarfs eines Objektes über der Zeitachse eines Jahres. Bei dieser Darstellung werden üblicherweise Tagesmittelwerte der erforderlichen Wärmeleistung eines Jahres abfallend geordnet nach der Höhe der Wärmeleistung aufgetragen. Für jeden Leistungswert lässt sich hieraus die Gesamtzeit während eines Jahres abgreifen, in der diese Wärmeleistung bereitgestellt werden muss.

Gradtagzahl
Summe der mittleren Temperaturdifferenzen (20 °C – T_a) an allen Tagen eines Jahres mit mittleren Außentemperaturen T_a unterhalb der sogenannten Heizgrenztemperatur von 15 °C. Das Verhältnis von Gradtagzahlen verschiedener Jahre wird z.B. verwendet, um den Jahreswärmebedarf eines Objektes hinsichtlich des in verschiedenen Jahren unterschiedlichen Verlaufs der Außentemperaturen auszugleichen.

Heizwärmebedarf
Wärmebedarf zur Gebäudebeheizung.

Höchstwärmeleistung
Erforderliche Wärmeleistung zur Deckung des maximalen Wärmebedarfs für die Gebäudebeheizung am kältesten Tag eines Referenzjahres einschließlich der notwendigen Leistung für die Warmwassererwärmung.

Jahresnutzungsgrad
Verhältnis von gelieferter Nutzenergie einer Anlage zur eingesetzten Energie (z.B. des Brennstoffes) während der Gesamtdauer eines Jahres. Der Jahresnutzungsgrad berücksichtigt im Gegensatz zum Wirkungsgrad auch Bereitschaftsverluste bei zeitweiligem Stillstand der Anlage.

Jahreswärmebedarf
Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes für Heizzwecke und Warmwassererwärmung in einem Jahr.

Kompressionskälteanlagen
Elektromotorisch angetriebene Anlagen zur Kälteerzeugung mit z.B. Fluorkohlenwasserstoffen als Kältemitteln.

KWK
Abkürzung für Kraft-Wärme-Kopplung, die gleichzeitige Erzeugung von Strom und nutzbarer Wärme in einer Anlage wie z.B. Heizkraftwerk oder Blockheizkraftwerk.

Lastgang des Wärme- und Strombedarfs
Zeitlicher Verlauf der erforderlichen Leistung zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs während eines Zeitabschnittes (z.B. Tag, Woche, Monat) innerhalb eines Jahres.

Niedertemperaturkessel
Heizkesselanlage, die mit gleitender Kesselwassertemperatur (unter 70 °C) betrieben wird, ohne dass die Rauchgase in den Kondensationsbereich kommen.

Normierter Heizwärmebedarf
Heizwärmebedarf, der mittels der Gradtagzahl eines betrachteten Jahres und eines Mittelwertes aus 30 Jahren hinsichtlich der verschiedenen Außentemperaturverläufe mehrerer Jahre ausgeglichen ist.

Spezifischer Wärmebedarf
Auf eine Kenngröße wie z.B. die Bettenzahl oder die beheizte Raumfläche bezogener Wärmebedarf.

Vermiedene Netznutzungsentgelte
von einem Versorgungsunternehmen gezahlte Vergütung bei dezentraler Stromeinspeisung in das öffentliche Netz aufgrund der Entlastung der nicht genutzten vorgelagerten Spannungsebenen.

Vollbenutzungsstunden
Summe der in einem Jahr von einer Anlage insgesamt erreichten Betriebsstunden (auch mit Teilllast) gerechnet als Betriebsstunden mit Volllast.

Volllaststunden
Summe der in einem Jahr von einer Anlage erreichten Betriebsstunden mit Volllast.

Warmwasserwärmebedarf
Wärmebedarf zur Erwärmung der erforderlichen Warmwassermenge.

Wirkungsgrad
Verhältnis von bereitgestellter Nutzenergieleistung einer Anlage zur erforderlichen eingesetzten Energieleistung (z.B. Brennstoffleistung) während des laufenden Betriebs der Anlage.

Ergänzende Informationen

Relevantes Regelwerk (Auszug)

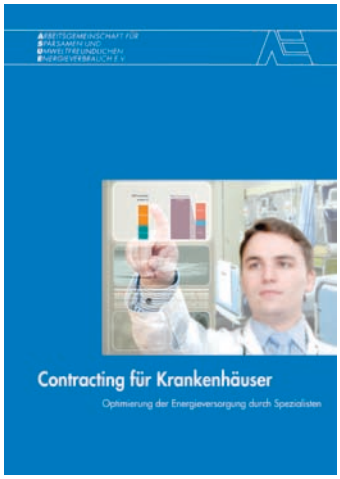
DIN 6280-14	Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotor Teil 14: Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführung und Wartung
DIN 6280-15	Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotor Teil 15: Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Prüfungen
DVGW VP 109	Vorläufige Prüfgrundlage VP 109: Anschlussfertige Blockheizkraftwerke
VDI-Richtlinie 2067	Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung Blatt 7 (zurückgezogen): Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen: Blockheizkraftwerke
VDI-Richtlinie 3985	Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen
VDI-Richtlinie 4680	Blockheizkraftwerke (BHKW): Grundsätze für die Gestaltung von Serviceverträgen

Andere Informationsquellen

- Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, www.energieagentur.nrw.de
- www.energiesparendes-krankenhaus.de (Website zum BUND-Gütesiegel)
- Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen: Informationen zum Forschungsprojekt „Energieeffizienz in Krankenhäusern
  Ansprechpartner: Carsten Beier, info@umsicht.fraunhofer,de; www.umsicht.fraunhofer.de

Weitere ASUE-Informationen zum Thema

Einbindung von Blockheizkraftwerken
Bestellnummer: 05 01 07
Schutzgebühr: 2,50 € €



Contracting für Krankenhäuser
Bestellnummer: 10 11 08
Schutzgebühr: 2,50 €

Das KWK-Gesetz 2009
Bestellnummer: 05 12 09
Schutzgebühr: 2,00 €

Herausgeber:
ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
Stauffenbergstraße 24 , 10785 Berlin
Telefon 0 30 / 23 00 50 92
info@asue.de
www.asue.de

Bearbeitung:
ASUE-Arbeitskreis „Brennstoffzellen / Blockheizkraftwerke“, insbesondere:
Tibor Brockmann, Siegburg
Annegret Dickhoff, Berlin
Matthias Kabus, Wuppertal
Gerhard Lorch, Frankfurt/Main
Dr. Wolfgang Nowak, Lindlar
Roland B. Wolf, Oberlahr Ww.
Dr. Jochen Arthkamp, Essen

Redaktionelle Unterstützung:
Anne-Katrin Wacker, gti.publik, Essen

Grafik:
Kristina Weddeling, Essen

Vertrieb:
Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 30 37 27, 10726 Berlin
Telefax: 0 30 / 23 00 58 98

Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern
Best.-Nr. 05 01 10
Schutzgebühr: 3,00 €

Hinweis:
Die Angaben in dieser Broschüre sind sorgfältig erstellt worden. Alle Angaben sind jedoch ohne Gewähr, eine Haftung für die Inhalte sowie daraus resultierende Folgen kann nicht übernommen werden.

www.asue.de

Überreicht durch: