

Sonne und Wind gegen Blockheizkraftwerke

Willi Bode

Ein Vortrag /1/, gehalten auf dem Kraftwerkstechnischen Kolloquium in Dresden, gab Anlass, etwas genauer über den Einsatz von Blockheizkraftwerken im Verbund mit der Einspeisung von regenerativer Energie aus Sonne und Wind nachzudenken.

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind bereits sehr lange zur wirtschaftlichen Deckung der Heizwärme in größeren Territorien im Einsatz. Sie haben bisher immer im Vollastbetrieb in Verbindung mit Spitzenkesseln gearbeitet. BHKW allein wären aufgrund des notwendigen Teillastbetriebs im Sommer nicht wirtschaftlich, denn in der Winterspitze übernehmen Spitzenkessel in Verbindung mit den Motoren die Wärmebedarfsdeckung. Da die Stromerzeugung aus Sonne und Wind vordergründig genutzt werden sollte, müssen andere Elektroenergieerzeugungsanlagen in Zeiten des Angebots zurückgefahren werden. BHKW wären dazu unbedingt in der Lage. Sie wären bei dieser Betriebsweise allerdings schlecht ausgelastet und würden die Ökonomie möglicherweise nachteilig beeinflussen. Die von LichtBlick in Einfamilienhäusern bereits installierten kleinen Motoren können durch Fernsteuerung diesen Anforderungen sehr gut genügen. Ein notwendiger Speicher gleicht Lücken in der Wärmebereitstellung dabei aus. In /1/ wird allerdings über Motoren diskutiert, die bis 9,5 MW zum Einsatz kommen sollen und teilweise sogar ungekoppelt Elektroenergie erzeugen. Wärmespeicher müssen dann ausgleichend für die Wärmeversorgung wirksam werden. Anhand eines bereits oftmals diskutierten Einsatzfalls /2/ werden diese veränderten Betriebsweisen nachfolgend untersucht.

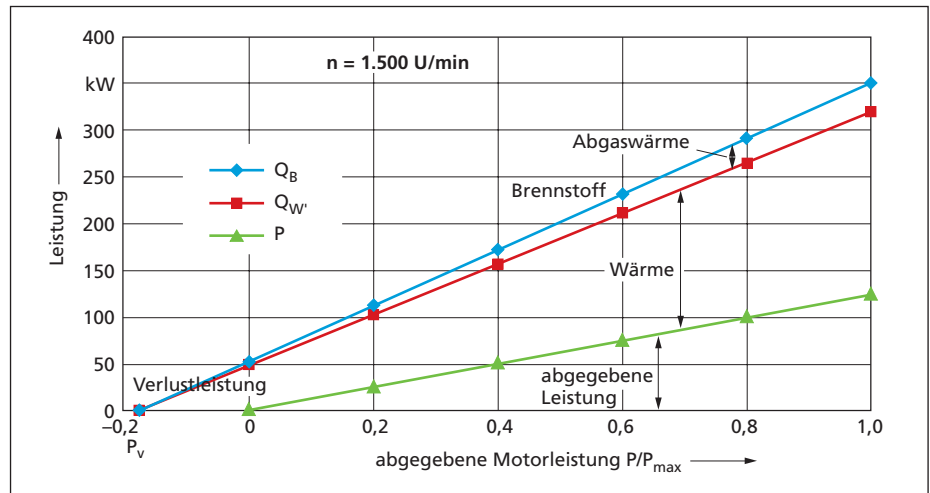
Simulationsrechnungen

Teillastbetrieb der Motoren

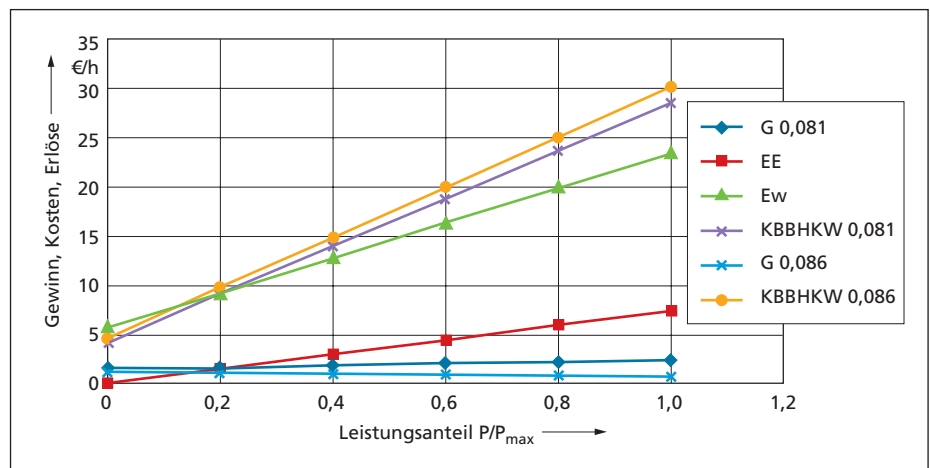
Um das Verhalten der Motoren im Teillastbereich richtig wiederzugeben, sind ihre Teillastkennlinien mit zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist immer nur der Auslegungspunkt hinsichtlich der Leistungen und Wirkungsgrade interessant. Bei Kenntnis der Leerlaufbrennstoffleistung lässt sich mit hinreichender Genauigkeit das gesamte Teillastverhalten darstellen:

Der Autor

Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Willi Bode, Zittau



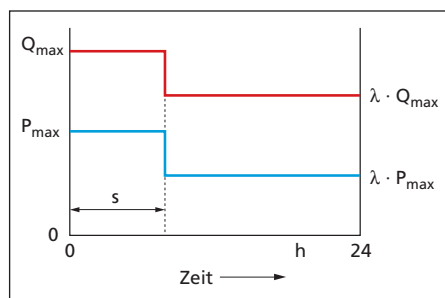
1 – Motorkennlinien



2 – Gewinne, Kosten, Erlöse

$Q_B = Q_{Bo} + b_B \cdot P$ in kW (1)
 Q_B – Brennstoffverbrauch in kW
 Q_{Bo} – Brennstoffverbrauchsleistung im Leerlauf in kW
 b_B – Anstieg der Geraden in kW/kW
 Der Brennstoffverbrauch im Leerlauf Q_{Bo} wurde mit 15 % des maximalen Verbrauchs gewählt. Bekannt ist allerdings auch, dass dieser Wert bis zu 30 % betragen kann. Eine Änderung würde auch den Anstieg b_B der Geraden beeinflussen. Gerechnet wurde mit folgenden Preisen:
 Brennstoffpreis $p_B = 0,081$ €/kWh (wahl-

weise als Test 0,086 €/kWh)
 Wärmepreis $p_w = 0,12$ €/kWh
 Elektroenergievergütung $p_E = 0,06$ €/kWh (in der Spitze mit 0,12 €/kWh)
 Wie man aus Bild 1 erkennt, folgt die Wärmeabgabeleistung ebenfalls dieser Gesetzmäßigkeit (Gl. (2)):
 $Q_w = Q_{wo} + b_w \cdot P$ (2)
 Die Brennstoffleistung ist logischerweise die Summe aus elektrischer Leistung, Wärmeleistung und dem Abgasverlust. Mit diesen Leistungen, dem Brennstoffpreis und der Elt-Vergütung wird der Gewinn er-



3 – Tagesbelastungsgang Wärme (Q) und Elt (P)

rechnet, der über der Motorleistung dargestellt werden kann (Bild 2):

$$G = P \cdot p_E + Q_W \cdot p_W - Q_B \cdot p_B \text{ €/h} \quad (3)$$

Es ist also nicht unbedingt zu erwarten, dass der Gewinn bei voll ausgelasteten Motoren am günstigsten ist. In dem verwendeten Beispiel, das zur einfachen Demonstration der Vorgänge unter „Die Ökonomie der Wärmeversorgung“ gewählt wurde, und das mit einem Brennstoffpreis von $p_B = 0,086 \text{ €/kWh}$ arbeitet, liegen die Gewinne ($G 0,086$) (Bild 2) bei einer Elektroenergievergütung von $p_E = 0,06 \text{ €/kWh}$ im Teillastbereich höher. Erst bei $p_B = 0,081 \text{ €/kWh}$ ($G 0,081$) ist die Volllastbetriebsweise günstiger. Zur Veranschaulichung sind im Bild 2 die Erlöse (Elt, Wärme) und die Brennstoffkosten für das BHKW mit unterschiedlichen Brennstoffpreisen mit eingetragen. Bei einem Brennstoffpreis von $0,081 \text{ €/kWh}$ wird aus den fallenden Gewinngeraden ein positiver Anstieg. Brennstoff- und Wärmepreis sowie die Elt-Vergütung beeinflussen deshalb die Gewinnverläufe. Dieser Umstand sollte bei der nachfolgenden Untersuchung des gewählten Versorgungsgebiets beachtet werden. Bezieht man bei dieser Betrachtung noch einen Spitzenkessel mit in die Untersuchung ein, dann ändert sich an den

grundsätzlichen Aussagen wenig. Dieses kleine Beispiel veranschaulicht die komplexeren Zusammenhänge.

Die Ökonomie der Wärmeversorgung

Das Wärmeversorgungsgebiet wird von drei BHKW's mit je einer elektrischen Leistung von 124 kW und einem Spitzenkessel versorgt. Das dritte BHKW ist im Winter zur Wärmebedarfsdeckung voll im Einsatz. Im Sommer liefert es Wärme für ein Freibad. Dazu wird es umgesetzt. Die Elektroenergie wird in das Elt-Netz eingespeist $/2/$. In der ökonomischen Betrachtung sind sämtliche Anlagenkosten mit ihren Abschreibungen und die Betriebskosten enthalten. Wie in $/1/$ vermerkt, können in Spitzenzeiten höhere Elt-Vergütungen in Anspruch genommen werden. Um in diesen Zeiten auch eine höhere Elt-Leistung anzubieten, müssen die Motoren in der übrigen Zeit im Teillastbereich betrieben werden. Bild 3 veranschaulicht diese Betriebsweise. Um das Betriebsverhalten unter diesen Bedingungen zu analysieren, wurden Spitzenzeiten s von 0 bis 30 % der Tagesbetriebszeit und $p_E = 0,06$ bis $0,12 \text{ €/kWh}$ gewählt. Der aktuelle Gaspreis liegt bei $0,081 \text{ €/kWh}$. Für den Wärmepreis gilt $0,12 \text{ €/kWh}$. Gemäß der Ganglinie in Bild 3 müssten die Motoren im Normalfall im Teillastgebiet bei 50 bis 100 % ihrer Leistung arbeiten. Nur im Spitzenbetrieb werden sie auf die volle Leistung ausgefahren. Hierbei variiert die Spitzenzeit s von 0 bis 30 %. Über die wirkliche Länge der Spitzenzeit kann nur spekuliert werden. Aus den Darstellungen ist zu entnehmen, dass der größere Gewinn möglicherweise bei Teillast zu erwarten ist. Das hängt natürlich, wie unter „Teillastbetrieb der Motoren“ beschrieben, von den ökonomischen Eingangsgrößen ab. Im Weiteren gibt es dazu nähere Auskunft.

Allgemein ist festzustellen, dass die Stromerzeugung mit Vergrößerung der Spitzenzeiten und Vergrößerung dieses Leistungsanteils steigt. Das Gleiche gilt natürlich auch für die Elt-Erlöse.

Da sich an der Wärmeversorgungsstruktur nichts ändert, bleiben die Erlöse aus dem Wärmeverkauf konstant. Seltsamerweise steigen die Brennstoffkosten fast unabhängig von den Spitzenzeiten von Halb- auf Volllast nur um 10%. Dieses Verhalten muss man in Verbindung mit dem Spitzenkessel sehen, der im Winterbetrieb immer im Einsatz ist und das gesamte Betriebsverhalten dominiert. Seine Leistung beträgt 5 MW. In der Ausgangsvariante wurde ein Gewinn von 30.000 €/a bei der oben genannten Stromvergütung von $0,06 \text{ €/kWh}$ ermittelt. Wie man aus Bild 4 ersieht, ist es durchaus lukrativ eine Betriebsweise der Motoren unabhängig von den Spitzenzeiten im Teillastbetrieb vorzusehen. Im ungünstigsten Fall werden bei sehr kleinem Spitzenbetrieb bis 100.000 €/a erwirtschaftet. Eine Verlängerung der Spitzenzeit auf 30 % erhöht diesen Wert nur auf 135.000 €/a . Der Einsatz von Speichern, wie in $/1/$ beschrieben, war ebenfalls Bestandteil dieser Untersuchungen. Speicher haben allerdings nur eine ausgleichende Wirkung. Sie verursachen bei einem Spitzenanteil von 30 % unnötig hohe Investitionskosten und minimieren den Gewinn. Da in Wärmeversorgungssystemen mit BHKW Spitzenkessel immer notwendig sind, können diese Kessel ohne Schwierigkeiten Versorgungslücken ausgleichen. Das ist automatisch im vorliegenden Fall geschehen.

Restriktionen zur Betriebsweise

Ganz so willkürlich, wie unter „Die Ökonomie der Wärmeversorgung“ beschrieben, können die BHKW leider nicht betrieben werden. Niedrige Teillasteinstellungen minimieren die Volllastbetriebsstunden. Die KWK-Vergütung wird laut KWK-Gesetz nur gewährt, wenn im Jahr 5.000 Volllaststunden erreicht werden. Hierfür lässt sich nachfolgende Beziehung aufstellen (Gl. (4)), vergl. auch Bild 3):

$$\tau_{KWK} = \tau_B \cdot (s \cdot \lambda_V + (1 - s) \cdot \lambda_T) \quad (4)$$

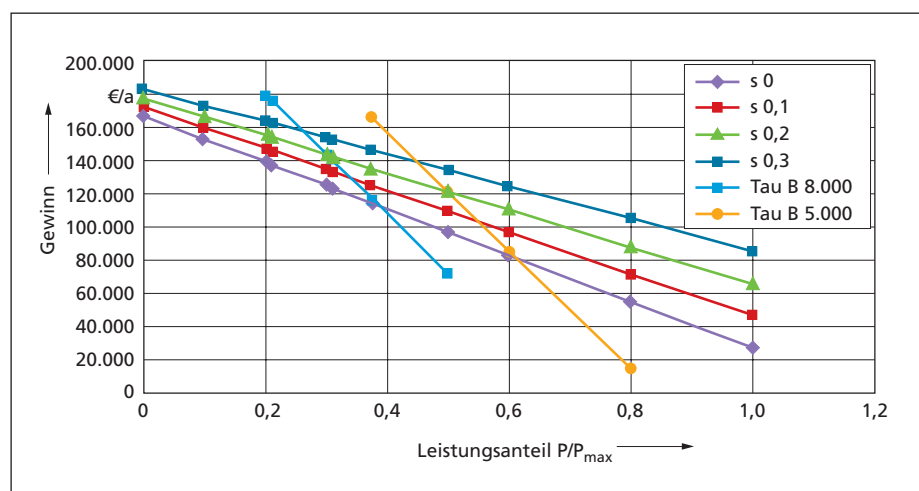
$$\tau_{KWK} = 5.000 \text{ h/a}$$

$\tau_B = 8.000 \text{ h/a}$ realisierbare Volllaststunden der BHKW im untersuchten Versorgungsgebiet

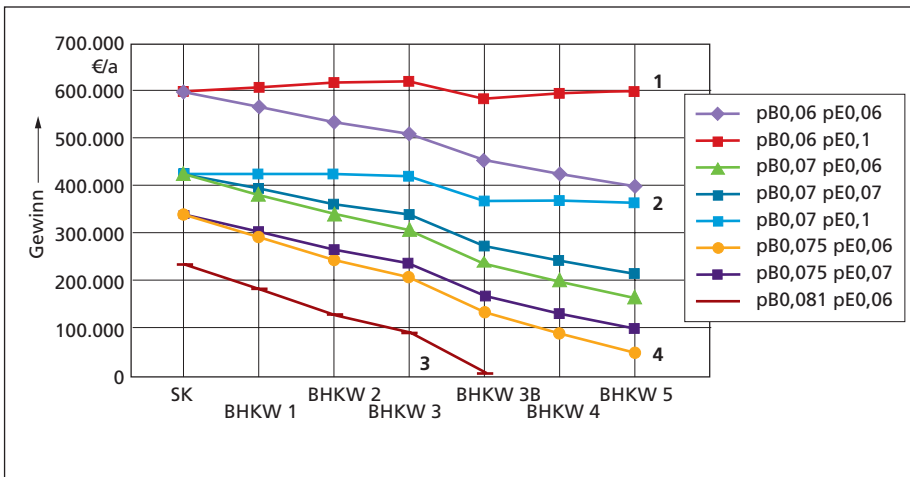
$$\lambda_V = P/P_{\max} = 1$$

$$\lambda_T = P/P_{\max}$$

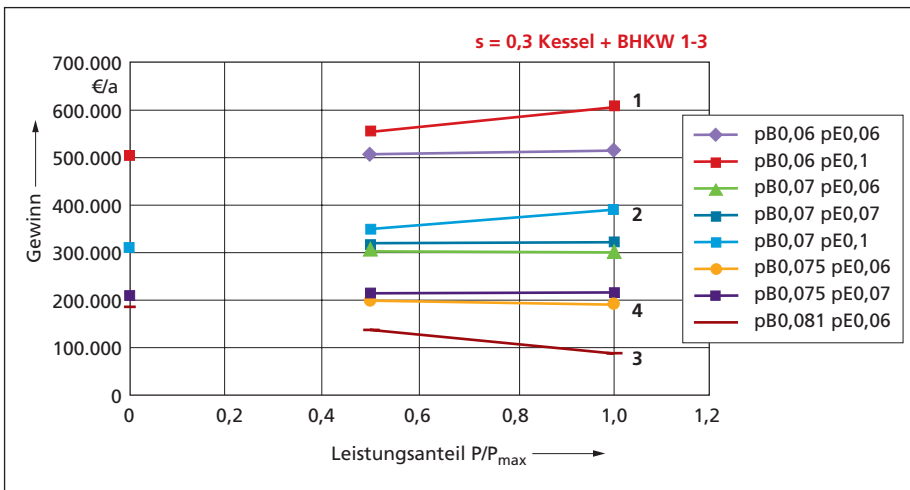
Gl. (4) wird nach λ_T umgestellt. Die Ergebnisse sind durch die Linie Tau 8.000 mit im Bild 4 eingetragen. (Der errechnete Wert für $P/P_{\max}$ wird in diesem Bild auf der



4 – Gewinn als Funktion der Leistung



5 – Gewinnverläufe für Spitzenkessel – BHKW-Kombinationen



6 – Gewinnverläufe für unterschiedliche Leistungsabsenkungen

s-Linie markiert. Er stellt einen Punkt der Tau 8.000-Linie dar.) Ein wesentlicher Grund für dieses ausgesprochen breite Betriebsfeld ist die erreichte hohe Volllaststundenzahl der BHKW. Für eine reduzierte Volllaststundenzahl von 5.000 h gilt die Linie Tau 5.000. Unter Berücksichtigung dieser Restriktionen sind nur Betriebszustände rechts dieser Geraden möglich. Geht man davon aus, dass eine Elt-Spitze von $s = 0,1$ zu erwarten ist und die Anlagen im Normalbetrieb bei $P/P_{\max} = 0,3$ betrieben werden, dann können in der Spitze bei drei BHKW 260 kW zusätzlich in das örtliche Netz eingespeist werden. Sollen diese Aufgabe Klein-BHKWs mit einer elektrischen Leistung von 3 kW übernehmen, dann wären dazu 80 Kleinanlagen im Territorium notwendig.

Untersuchung des Wärmeversorgungssystems

Um herauszufinden, wie die vorhandene Struktur des Wärmeversorgungssystems mit einem Spitzenkessel und drei BHKWs

bei einer Erweiterung reagiert, wurden Brennstoffpreis und Elt-Vergütung gemäß den Angaben in Bild 5 zusätzlich variiert. Wärmepreis und Elt-Vergütung im Spitzenbetrieb blieben der Übersichtlichkeit wegen in der Rechnung unverändert. Die Anlagen sollen bei Volllast betrieben werden und ein Spitzenbetrieb ist nicht vorgesehen. Wie man aus Bild 5 erkennt, ist eine Erweiterung auf fünf Module nur bei der Kombination $p_B = 0,06$, $p_E = 0,1$ (Kurve 1) und $p_B = 0,07$, $p_E = 0,1$ (Kurve 2) sinnvoll. Es dominiert der Brennstoffpreis. Muss die Anlage mit niedrigen Brennstoffpreisen arbeiten, dann lohnt an sich nur der Heizkesselbetrieb. In allen Kurvenverläufen ist der Sommerbetrieb des BHKW 3 zu erkennen, bei dem keine Erlöse durch die Wärmeeinspeisung in das Freibad entstehen. Der Vollständigkeit halber ist auch der Kurvenverlauf des im obigen Teil diskutierten hohen Brennstoffpreises von 0,081 €/kWh mit eingetragen. Er befindet sich weit abgeschlagen im untersten Teil des Diagramms. Aus diesen Überlegungen heraus wurde ein

möglicher Spitzenbetrieb der BHKW-Varianten mit einem Spitzenanteil von $s = 0,3$ untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 6 für drei BHKWs dargestellt. Relativ unbedeutend ist dabei, ob es sich um drei oder fünf BHKWs handelt. Bei den Varianten 1 und 2 treten leichte Gewinnverluste auf, wenn die Anlagen im Tagesverlauf bei z. B. 50% Volllast arbeiten und nur in der Spitzenzeit ($s = 0,3$) ihre volle Leistung abgeben. Unbeeindruckt davon zeigen sich die übrigen Betriebsweisen. Die Gewinne sind ohnehin niedrig, ein Absenken der Motorleistung führt zu keinen Einbußen. Mit in Bild 6 wurde auch der bereits unter „Die Ökonomie der Wärmeversorgung“ diskutierte Betrieb bei hohem Brennstoffpreis mit eingetragen (Kurve 3). Er liegt, wie zu erwarten, im untersten Bereich. Hier kann man auch erkennen, dass diese Gerade einen negativen Anstieg aufweist. Das bedeutet: Der Teillastbetrieb bei $s = 0,3$ ist günstiger als bei Volllast. Dasselbe trifft allerdings auch bei sehr kurzem Spitzenbetrieb zu, der hier nicht dargestellt ist. Sämtliche Kurven sind hierbei um ca. 10 % parallel nach unten verschoben. Bei genauer Betrachtung von Kurve 4 ist ebenfalls ein geringer negativer Anstieg feststellbar. Verzichtet man auf eine tiefe Leistungsabsenkung im Tagesverlauf, dann kann in der Spitze auch keine zusätzliche freie Leistung angeboten werden.

Fazit

Das ursprüngliche Unbehagen, BHKWs bei Teillast zu betreiben, um regenerativen Energien in Zeiten des Angebots den Vorrang zu überlassen, ist unbegründet. Je nach Konstellation der Brennstoffpreise und Elt-Vergütungen treten nur geringe Gewinneinbußen auf. Im Vergleich zu den Klein-BHKWs, die in den jeweiligen Wohnhäusern untergebracht sind, arbeitet eine zentrale, größere Anlage wirtschaftlicher. Nachrechnungen sind für jeden Einsatzfall jedoch notwendig.



Literatur

- /1/ Pechtl, P.; Payrhuber, K.: Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasmotoren und Wärmespeicherung. Vortrag 44. Kraftwerkstechnisches Kolloquium 23. – 24.10. 2012, Dresden
- /2/ Bode, W.: Lohnt sich die Erweiterung der vorhandenen BHKW-Technik? In: Moderne Gebäudetechnik (2002) 11, S. 17 – 19