

BHF Verfahrenstechnik GmbH

Hochtemperatur Brennwerttechnik

**Effizienzsteigerung für industrielle und kommunale
Wärmeerzeugungsanlagen**

BHF Verfahrenstechnik GmbH
Zwenkauer Straße 22
04420 Markranstädt OT Kulkwitz
Tel.: 034205 / 86148
Fax: 034205 / 86175

Brennwertnutzung oberhalb des Rauchgastaupunktes

Brennwertnutzung ist im Bereich der industriellen Energietechnik wie auch in der Fern- und Nahwärmeversorgung, z.B. bei Einsatz von Blockheizkraftwerken, bisher kaum gebräuchlich. Das ist vor allem dadurch begründet, dass herkömmliche Kondensationssysteme aufgrund des niedrigen Wassertaupunktes im Abgas spezielle Niedertemperaturheizsysteme mit niedriger Rücklauftemperatur benötigen.

Der Einsatz von Brennwerttechnik gestattet Wirkungsgradverbesserungen bei der Heizwärmeerzeugung zwischen 10 und 15 % (unter Verwendung von Biomasse wie z.B. Holz als Brennstoff bis zu 25 %) und ist im kommunalen Bereich, insbesondere bei Gasheizkesseln Stand der Technik.

Im Ergebnis mehrjähriger Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Sorptionswärmere Transformation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurde ein neuartiges Verfahren, die Hochtemperatur-Brennwerttechnik, entwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht die wirtschaftlich sinnvolle Nutzung der Kondensationswärme des Rauchgases bei Heizkreisrücklauftemperaturen zwischen 30 und 90°C.

Die Möglichkeit, mit diesem Verfahren Brennwertnutzung bei deutlich höheren Temperaturen als dem Rauchgastaupunkt zu realisieren, vergrößert den Einsatzbereich der Brennwerttechnologie auch auf den Bereich der industriellen Energietechnik sowie der kommunalen Nah- und Fernwärmeversorgung.

Einsatzbereiche der neuartigen Brennwerttechnik sind:

- BHKW-Anlagen (Verbrennungsmotor, Turbine, Brennstoffzelle)
- Heiz- und Dampfkesselanlagen
- Brüdenabwärmenutzung in industriellen Prozessen (z.B. Trocknungs- und Waschprozesse)

Das Funktionsprinzip der HT-Brennwerttechnik

Die Hochtemperatur(HT)–Brennwerttechnik vereinigt zwei physikalisch-chemische Effekte:

- Durch die Anwendung einer Abgaswäsche mit einem hygroskopischen Waschmittel ist es möglich, das Rauchgas auch bei Temperaturen oberhalb des Wasserdampftaupunktes zu entfeuchten.
- Das geringe Nutztemperaturniveau der Kondensationswärme (30...50 °C) des dem Rauchgas entnommenen Wasserdampfes wird in einem Sorptionswärmepumpenprozess erhöht (Nutztemperaturniveau 100 °C). Die hierzu benötigte Hochtemperaturwärme (zur Beheizung des Desorbers) steht in den meisten Anwendungsfällen bereit (z.B. am Abgaswärmetauscher einer BHKW-Anlage – Abgastemperatur: 500...600 °C) und wird bisher ohne Zusatznutzen auf das Nutztemperaturniveau des Heizkreises (z.B. 90 °C Heizkreisvorlauf) abgewertet.

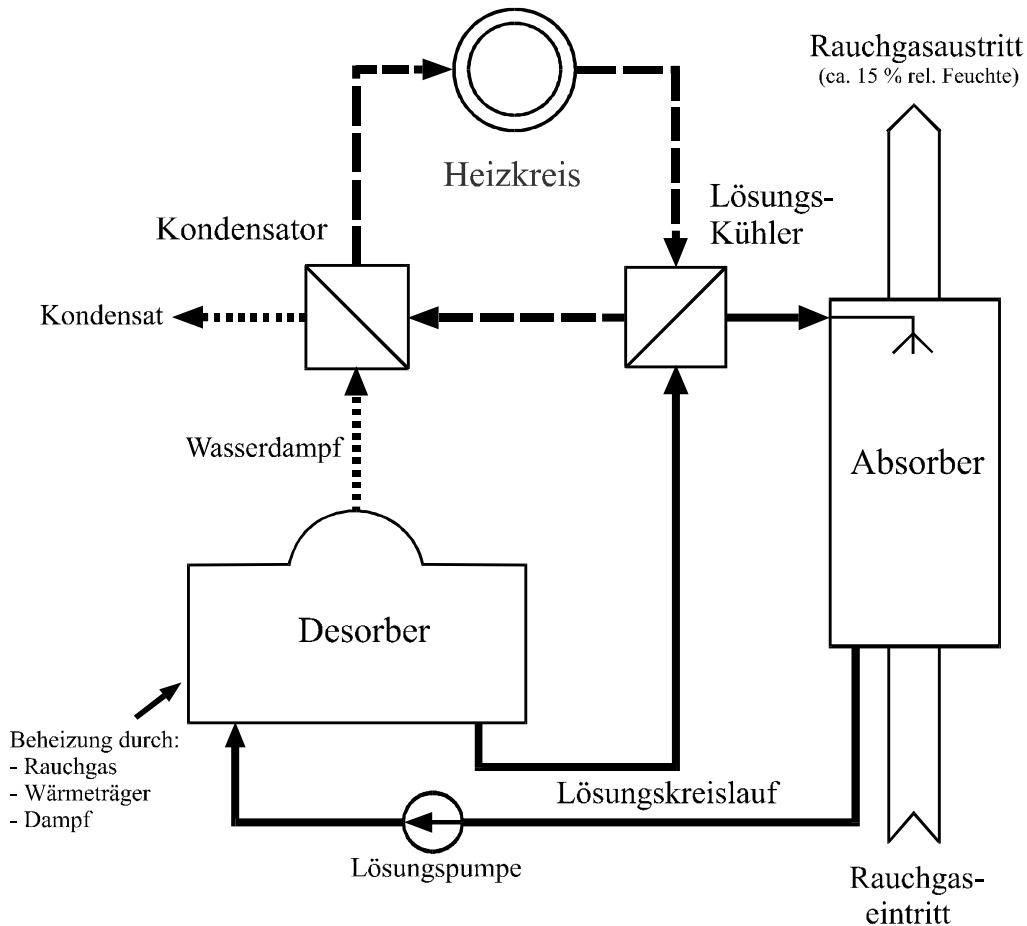


Bild 1: Anlagenschema (vereinfacht)

Wie im technologischen Schema (Bild 1) erkennbar, ist ein HT-Brennwertmodul ähnlich aufgebaut wie eine Absorptionswärmepumpe. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass hier ein Apparat – der Verdampfer – entfällt. Die Funktion des Verdampfers ist nicht erforderlich, da Wasser in Verbrennungs- und Brüdenabgasen schon dampfförmig enthalten ist. Hochtemperaturbrennwerttechnik nutzt somit einen „offenen Wärmetransformationsprozess“ ähnlich einer Absorptionswärmepumpe!

Hauptkomponenten eines HT-Brennwertmodules sind:

- Absorber (Rauchgaswäscher)
- Desorber (Austreiber)
- Waschlösungspumpe
- Kondensator
- Lösungskühler

Im **Absorber**, der mit einer hygroskopischen Waschlösung (z.B. LiBr-Salzlösung) betrieben wird, erfolgt die Entfeuchtung und Abkühlung des Rauchgases. Hierbei wird der überwiegende Teil des im Rauchgas enthaltenen Wasserdampfes von der Waschlösung absorbiert. Der Wasserdampftaupunkt des Rauchgases liegt im Absorber ca. 40 K über dem Normaltaupunkt. Das Rauchgas verlässt den Absorber mit einer sehr geringen Restfeuchte (ca. 15 % rel. Feuchte).

Innerhalb des geschlossenen Waschlösungskreislaufes befindet sich neben dem Absorber auch ein **Desorber**. Hier wird das von der Lösung im Absorber aufgenommene Wasser bei einer Temperatur von ca. 150 °C ausgetrieben und somit die Lösung regeneriert.

Entsprechend der vorliegenden technischen Möglichkeiten erfolgt die Beheizung des Desorbers über Rauchgasabkühlung, zwischengeschaltete Wärmeträgerkreisläufe oder Fremdwärmequellen (z.B. Heizdampf).

Der aus dem Desorber austretende Wasserdampf wird über einen **Kondensator** aus dem Prozess ausgekrist. Die dabei gewonnene Kondensationswärme kann dem Heizkreis auf einem Temperaturniveau von 100 °C zugeführt werden.

Über einen im Lösungskreislauf vor dem Absorber platzierten **Lösungskühler** wird die Waschlösung auf nahezu Heizungsrücklauf temperaturniveau abgekühlt. Hier wird die von der Lösung im Absorber und im Desorber aufgenommene fühlbare Wärme an den Heizkreis abgegeben.

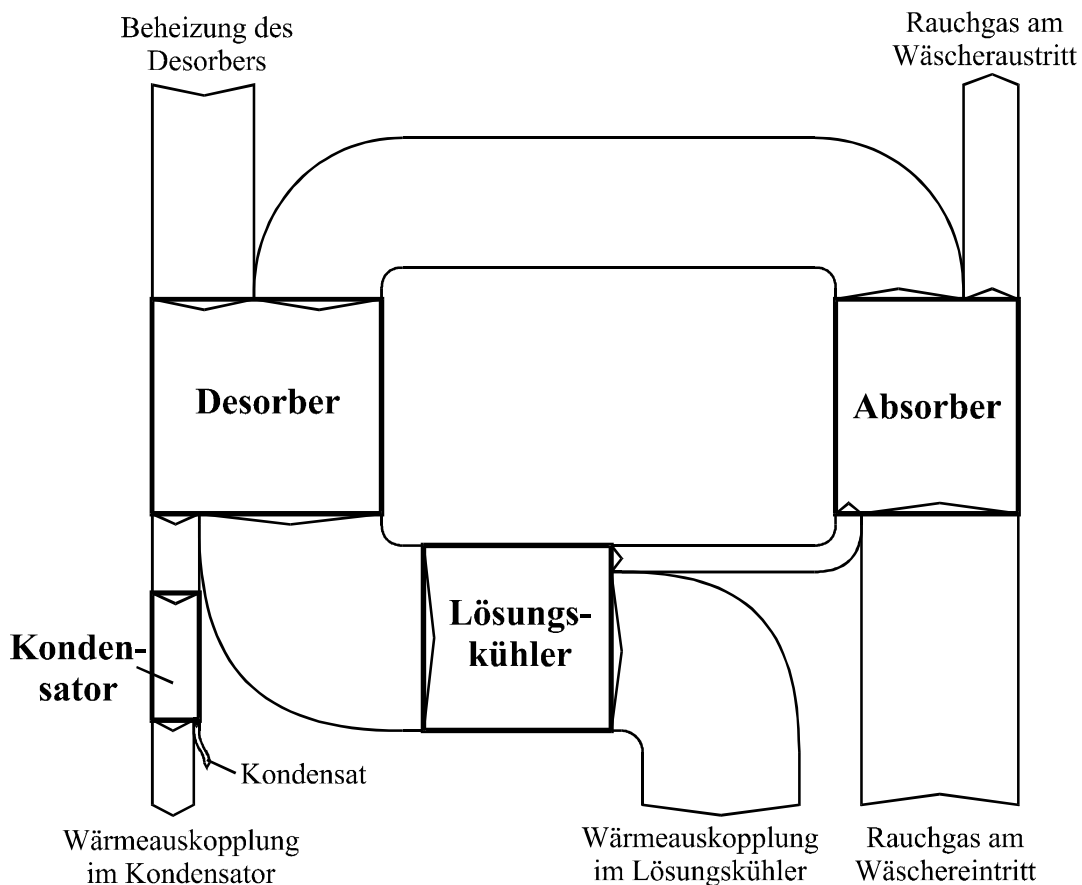


Bild 2: Energiefluss-Schema des HT-Brennwertprozesses

Die im HT-Brennwertprozess in den einzelnen Apparaten übertragenen Wärmemengen (latente und fühlbare Wärme) veranschaulicht das in Bild 2 dargestellte Energiefluss-Schema (Sankey-Diagramm).

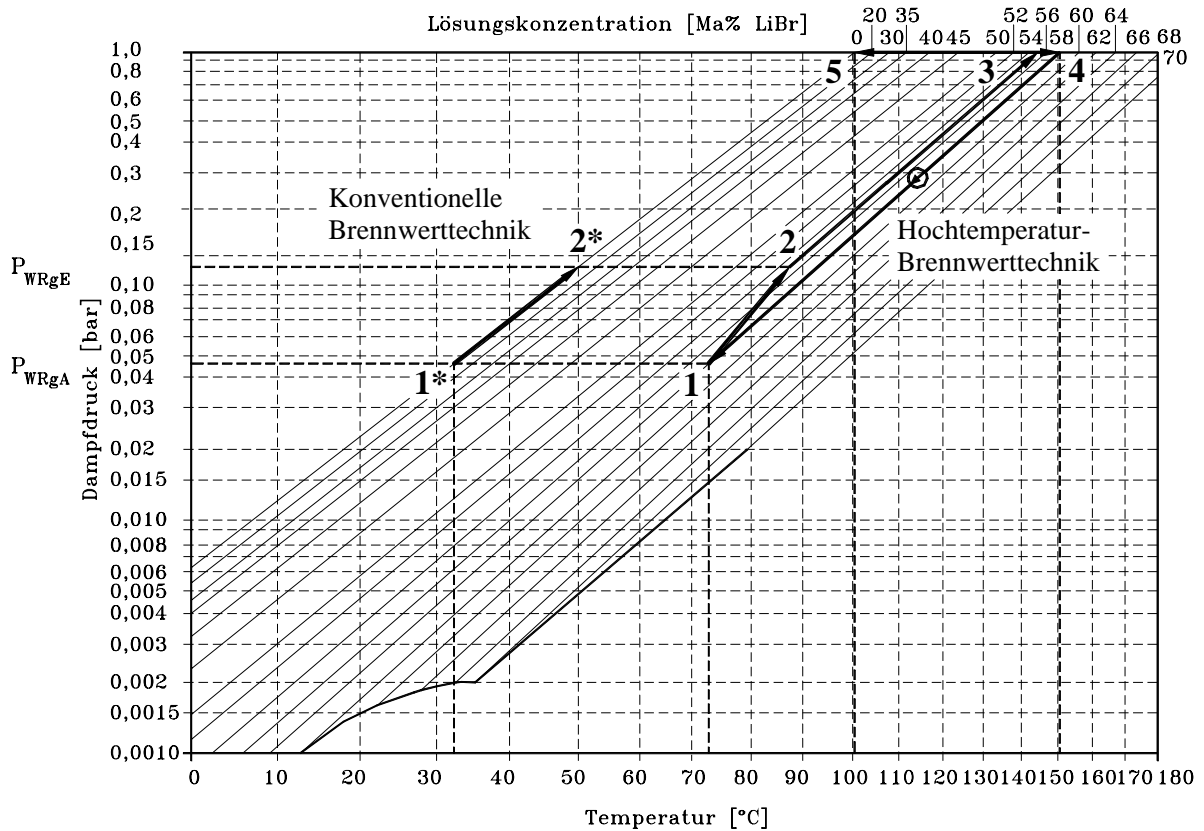


Bild 3: Gegenüberstellung von konventioneller Kondensationsbrennwerttechnik und HT-Brennwerttechnik im Log(p)-1/T-Diagramm

Im Bild 3 sind die Dampfdruckkurven (Phasengleichgewicht Dampf-Flüssig in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration) einer Lithiumbromid-Lösung in unterschiedlichen Konzentrationen bzw. von reinem Wasser (Lithiumbromid-Konzentration = 0 %) in Form eines log(p)-1/T-Diagrammes dargestellt. Hierin lassen sich die Arbeitspunkte der einzelnen Apparate anhand der dort annähernd herrschenden Gleichgewichtsbedingungen sehr gut veranschaulichen.

Durch die nummerierten Zustandspunkte, welche in Flussrichtung durch Pfeile verbunden sind, ist im rechten Teil des Diagramms ein Auslegungsbeispiel für ein HT-Brennwertmodul dargestellt. Als Vergleich wurde im linken Diagrammteil der Prozessverlauf einer herkömmlichen Kondensations-Brennwertnutzung in gleicher Weise aufgezeichnet.

Eintritts- und Austrittsfeuchte sind durch die Wasserdampfpartialdrücke im Rauchgas am Ein- bzw. Austritt des Brennwertmoduls vorgegeben. Im vorliegenden Beispiel weist das Rauchgas am Eintritt einen Wasserdampfpartialdruck von $p_{WRgE} = 120 \text{ mbar}$ auf, was einer Taupunkttemperatur von ca. 50 °C bzw. einem Feuchtegehalt von ca. $85 \text{ g}_{H_2O}/\text{kg}_{tr.Rg}$ entspricht. Am Austritt liegt der Wasserdampfpartialdruck bei $p_{WRgA} = 46 \text{ mbar}$, die Taupunkttemperatur beträgt ca. 31 °C und die absolute Feuchte ca. $30 \text{ g}_{H_2O}/\text{kg}_{tr.Rg}$.

Im Absorber (Ap.1=>Ap.2) erfolgt die Entfeuchtung des Rauchgases bei Temperaturen zwischen 71 und 85 °C. Für die Abkühlung der Waschlösung im vorgeschalteten Lösungskühler ist hier lediglich ein Heizkreisrücklauf mit einer Temperatur von ca. 70 °C erforderlich! Das Abgas verlässt diesen Apparat mit einer sehr geringen Restfeuchte (ca. 15 % rel. Feuchte) und einer Temperatur von 70 °C. Ein Auskondensieren von noch enthaltenem Wasserdampf ist erst ab einer Taupunktunterschreitung bei ca. 31 °C möglich!

Die Regeneration der Lösung erfolgt im Desorber (Ap.3=>Ap.4) bei einer Arbeitstemperatur von ca. 150 °C unter atmosphärischem Druck. Der ausgetriebene Wasserdampf wird im Kondensator (Ap.5) kondensiert.

Bei gleicher Rauchgasentfeuchtung (ca. 90 g_{H2O}/kg_{tr.Rg}) und somit gleichem Nutzen (!) arbeitet der Kondensationsrauchgaswärmetauscher herkömmlicher Brennwertechnik (Ap.1*=>Ap.2*) im Temperaturbereich von 31 bis 50 °C. Dies bedeutet, dass für die Rauchgasabkühlung ein Heizkreisrücklauf mit einer Temperatur von maximal 30 °C benötigt wird! Das Abgas verlässt diesen Wärmetauscher mit gesättigter Feuchte. Das bedeutet, dass sich bei jeder weiteren Abkühlung des Rauchgases in der Abgasanlage Kondensat bildet!

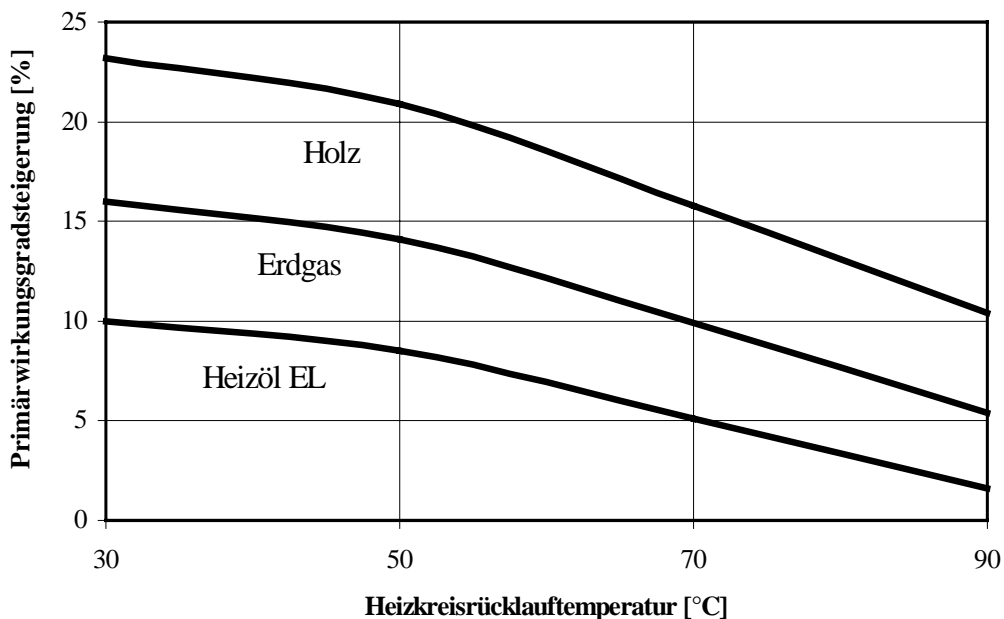


Bild 4: Primärwirkungsgradsteigerung in Abhängigkeit von der Heizkreisrücklauftemperatur und vom Brennstoffeinsatz

Die Höhe der durch Brennwertnutzung möglichen Wirkungsgradsteigerung ist einerseits von dem Feuchtegehalt des Abgases und andererseits von der mit Hilfe der Brennwertechnologie erreichbaren Entfeuchtung abhängig.

Durch den eingesetzten Brennstoff (Wasserstoffgehalt, Restfeuchte) und durch die Art der Verbrennung (Luftüberschuss) wird der Feuchtegehalt des Rauchgases bestimmt. Ein

Grenzwert der durch Brennwertnutzung erreichbaren Rauchgasentfeuchtung ist mit dem Phasengleichgewicht (Rauchgasfeuchte $p_{WRgA} \Leftrightarrow$ Kondensations- bzw. Absorptionstemperatur) vorgegeben, welches durch die Temperatur des Heizkreisrücklaufes und bei der Hochtemperaturbrennwerttechnik zusätzlich durch die thermodynamischen Eigenschaften der eingesetzten Waschlösung (Zusammensetzung, Konzentration) bestimmt wird.

Hieraus ergibt sich die im Diagramm (Bild 4) dargestellte Abhängigkeit der durch HT-Brennwertnutzung erreichbaren Wirkungsgradsteigerung von der Heizkreisrücklauf-temperatur und dem Feuchtegehalt des Rauchgases. So ist beispielsweise bei einer mit Erdgas betriebenen Heizanlage und einem Heizkreisrücklauf von 70 °C eine Wirkungsgradsteigerung von ca. 10 % realistisch.

HT-Brennwerttechnik in Verbindung mit BHKW-Anlagen

Als besonders günstig erweist sich der Einsatz der HT-Brennwerttechnik in Verbindung mit BHKW-Anlagen, da hier eine Einbindung von HT-Brennwertmodulen recht unkompliziert – auch als Nachrüstung - möglich ist. Das Brennwertmodul wird in die Abgasstrecke anstelle des Rauchgaswärmetauschers eingebunden (nachfolgende Abbildung). Bisher vorhandene Abgasschalldämpfer können voraussichtlich aufgrund der geräuschkämpfenden Eigenschaften des im Modul integrierten Absorbers entfallen.

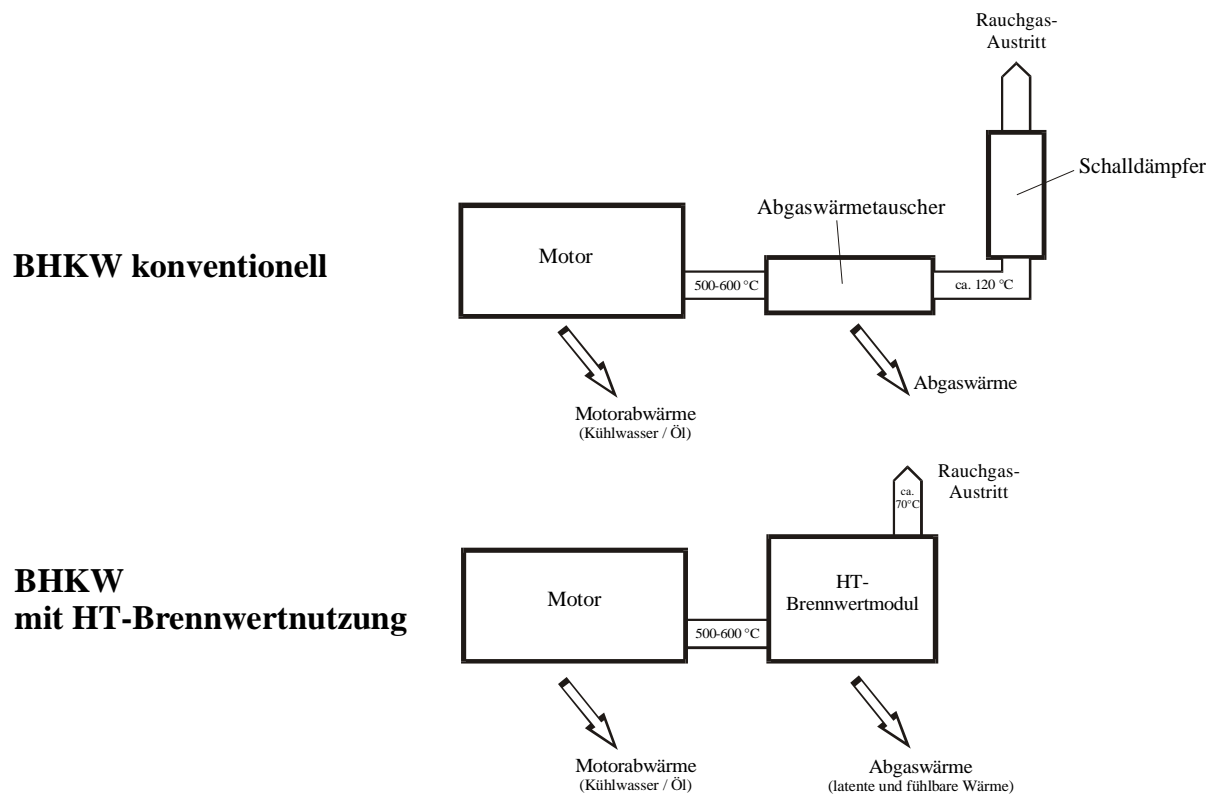


Bild 5: BHKW mit und ohne Brennwertnutzung

Heizanlagen, die mit mehreren BHKW-Modulen arbeiten, können mit einem zentralen HT-Brennwertmodul ausgestattet werden (siehe Bild 6). Das ermöglicht eine kompakte Gestaltung solcher Anlagen und mindert die Investitionskosten der Brennwerttechnik. Außerdem lässt sich die Anlagentechnik so besser auf einen Grundlastbetrieb abstimmen, was zu höheren Betriebsstunden und somit zu kürzeren Amortisationszeiten führt.

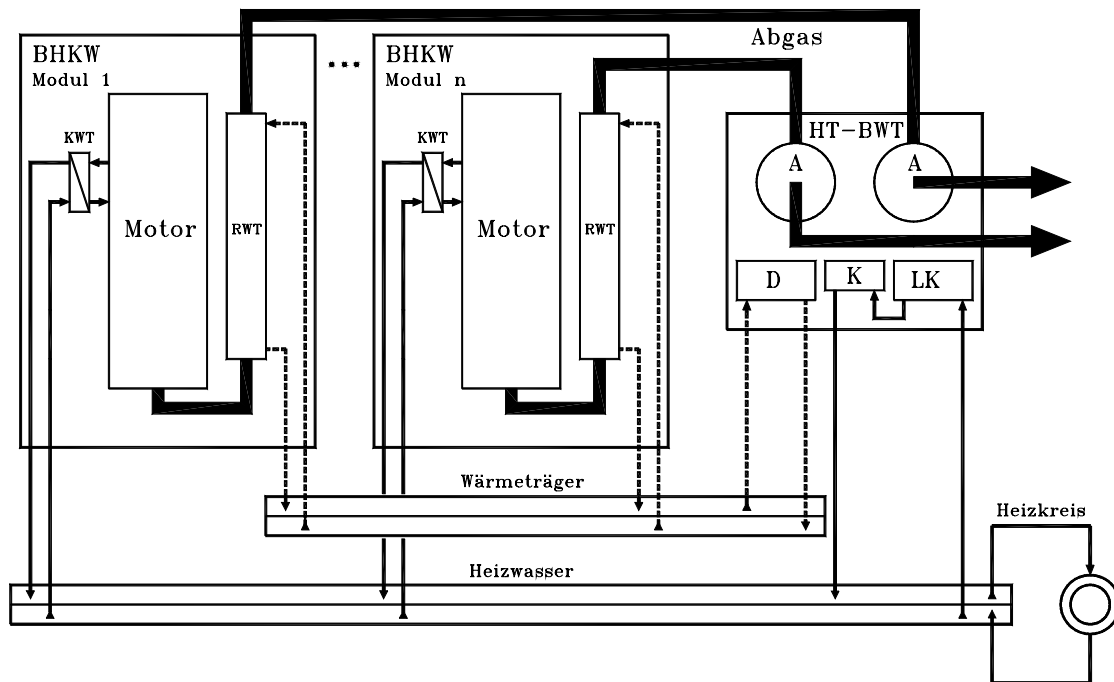


Bild 6: Einbindung eines HT-Brennwertmoduls in eine Heizanlage mit mehreren BHKW-Modulen

Der Umrüstungsaufwand für die BHKW-Module beschränkt sich lediglich auf die Änderung der Wärmeauskopplung, die auf zwei Temperaturniveaus erfolgen muss. Dies ist notwendig, um den Desorber im HT-Brennwertmodul auf einem ausreichend hohen Temperaturniveau zu betreiben.

Die wesentlichen Vorteile des neuartigen Verfahrens zur Brennwertnutzung gegenüber herkömmlicher Kondensationstechnik sind in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- Brennwertnutzung ist nicht an niedrige Heizkreistemperaturen gebunden, somit ist ein effektiver Einsatz auch an konventionellen Heizsystemen (50...90 °C Rücklauf) möglich
- Abgase verlassen die Anlage nicht gesättigt (relative Abgasfeuchte ca. 15% - herkömmliche Technik: 100%) - Verminderung der Probleme durch Kondensatbildung im Abgassystem
- Größere Rauchgasentfeuchtung bei gleichem Nutztemperaturniveau - besserer Wirkungsgrad
- Zusätzlicher Reinigungseffekt durch Rauchgaswäsche z.B. bei einer Abwärmenutzung an geruchs- oder schadstoffbeladenen Brüdendämpfen

Unbedenklichkeit gegenüber der Umwelt und der Gesundheit

Die als Waschflüssigkeit eingesetzte Lithiumbromidlösung weist keinerlei toxische Eigenschaften auf und ist auch bei Hautkontakt – abgesehen von leichten Reizungen, wie sie auch z.B. bei Kochsalzlösungen auftreten – nicht gesundheitsschädigend. Das erlaubt einen unkomplizierten Umgang mit dem im HT-Brennwertmodul eingesetzten Arbeitsmittel. Besondere Vorsichtsmaßnahmen müssen nicht eingehalten werden.

Lithiumbromid ist – ebenso wie Natriumchlorid (Kochsalz) – in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft. Somit sind für den Einsatz dieses Stoffes keine besonderen Genehmigungen oder bauliche Sondermaßnahmen (wie z.B. Auffangbecken) erforderlich.

Bei Stilllegung von HT-Brennwertmodulen kann die gebrauchte Arbeitslösung wieder aufgearbeitet werden. Es entstehen hierbei keine nennenswerten Entsorgungskosten.

Der einzige „Abfall“ der HT-Brennwerttechnologie ist das Kondensat. Dieses wird gegebenenfalls über ein Neutralisationsbad geführt und kann dann problemlos in das Abwassersystem eingeleitet werden.

Literaturangaben und weitere Informationen

- P.Bittrich, D.Hebecker; Abluft- und Brüdenwärmenutzung mit Sorptionskreisläufen; Chem.-Ing.-Tech. 67 (1995) Nr. 6, S. 766-770
- P.Bittrich, D.Hebecker, T.Bergmann; Entwicklung eines Hochtemperaturbrennwertkessels; VDI Bericht 1321 (1997) Fortschrittliche Energiewandlung und –anwendung Bd. I, S. 327-340
- H.Müller, E.Halasz; Zum Einsatz der Sorptionstechnik beim Heizen und Kühlen; HLH 49 (1998), S. 20-27
- Internet: http://home.t-online.de/home/BHF_Verfahrenstechnik_GmbH