

Neues Kesselkonzept für Heizöl EL durch Einsatz von Wärmerohren

Dipl.-Ing. Jan-Christopher Schrag,
Dipl.-Ing. Oliver Hatzfeld,
Dr.-Ing. Frank Kleine Jäger,
Prof. Dr.-Ing. Heinrich Köhne,
Dr.-Ing. Christian Küchen

Im Auftrag des Instituts für wirtschaftliche Oelheizung e.V. (IWO), Hamburg, wurde am Oel-Wärme-Institut gGmbH (OWI) ein Kesselkonzept entwickelt, das eine Anpassung der Wärmeauskopplung über einen großen Leistungsbereich ermöglicht. Hierbei können bei kleiner Leistung die Abgastemperaturen zuverlässig oberhalb der kritischen Taupunkttemperatur zur Vermeidung von Korrosionserscheinungen eingestellt werden. Gleichzeitig wird ein hoher thermischer Wirkungsgrad

der Anlage auch im Vollastfall erreicht.

Die Forderung nach einem hohen Modulationsbereich neuer Heizungsanlagen resultiert aus der Tatsache, dass einerseits die fortschreitende Verringerung des Heizwärmebedarfs moderner Niedrigenergiehäuser für die Beheizung nur noch eine geringe Leistung erfordert und andererseits Komfortansprüche bei der Trinkwassererwärmung den maximalen Leistungsbedarf definieren.

Eine modulierende oder zumindest zweistufige Betriebsweise reduziert die Emissionen und die wechselnde thermische Beanspruchung von Brenner- und Kessel-

komponenten. Normalerweise erfolgt die Anpassung der Leistung an den Wärmebedarf bei Anlagen, die mit Heizöl EL betrieben werden, durch eine intermittierende Betriebsweise. Eine Tendenz zu modulierend betriebenen Brennern ist allerdings auch bei Heizöl zu erkennen. Als hierfür passendes Kesselkonzept sind Brennerkessel zu betrachten. Für einen derartigen Kessel sind angepasste Werkstoffe erforderlich. Auch das Abgassystem muss beständig gegenüber dem Kondensat sein. Alternativ ist ein Kesselprinzip, bei dem keine Taupunktunterschreitung im gesamten Modulationsbereich stattfindet, ebenfalls einsetzbar. Dieses wird im Folgenden vorgestellt.

Funktionsweise eines Wärmerohrs (links) und eines Thermosiphons (rechts), Aufteilung der Wärmeübertragungszonen

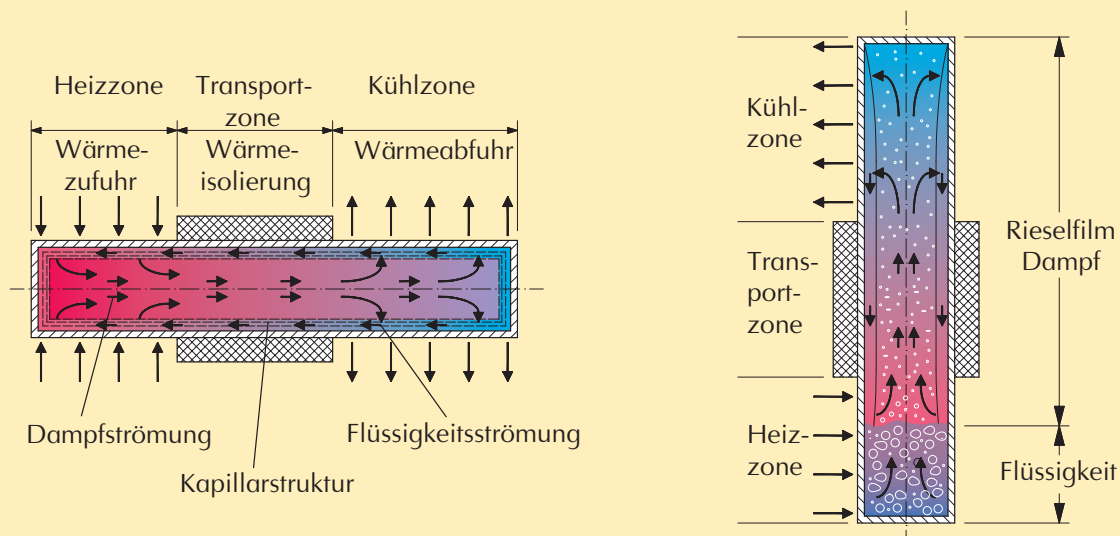


Abb. 1

Untersuchung Kessel mit Thermosiphonmodul in modulierenden Betriebsweise

Es wurde ein Thermosiphonmodul mit 8 Thermosiphons hergestellt, das mit dem Kessel in Betrieb genommen wurde. In Abb. 4 sind die Abgastemperatur sowie der feuerungstechnische Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Brennerleistung dargestellt. Auch bei einer Brennerleistung von 17 kW stellt sich eine Abgastemperatur oberhalb von 120 °C ein. Somit kann Kondensation im Kessel vermieden werden. Gleichzeitig stellt sich im Vollastfall bei einer Erhöhung der Brennerleistung um den Faktor 3 ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad von über 92 % ein. Im Teillastfall sind die Wirkungsgrade stets besser.

Ausblick

Durch den Einsatz von Wärmerohren als Wärmeübertrager hinter Kesseln ist es möglich, die Wärme so auszukoppeln, dass auch bei Leistungsmodulation Kondensation im Innenraum des Kessels vermieden wird. Im Betrieb können nahezu konstante Abgastemperaturen über dem gesamten Leistungsbereich erzielt werden. Gleichzeitig stellen sich hohe feuerungstechnische Wirkungs-

Skizze des Anlagenkonzepts mit Thermosiphonmodul (20 kW bis 50 kW)

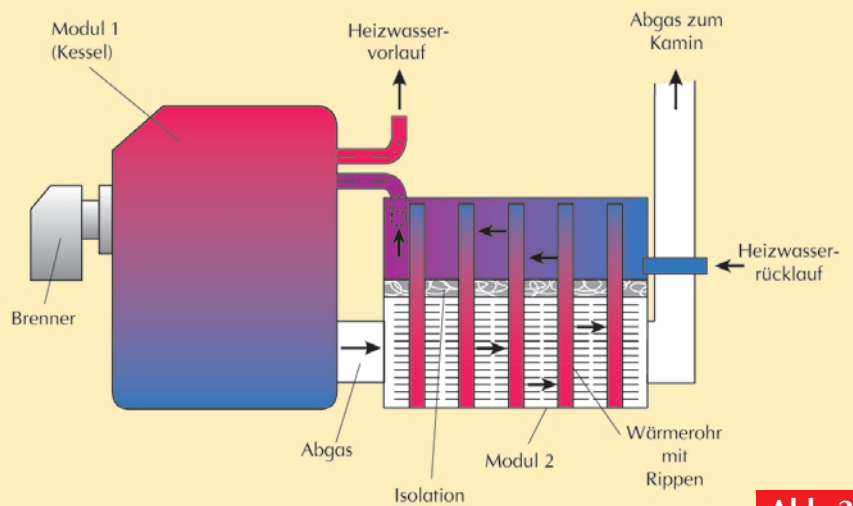
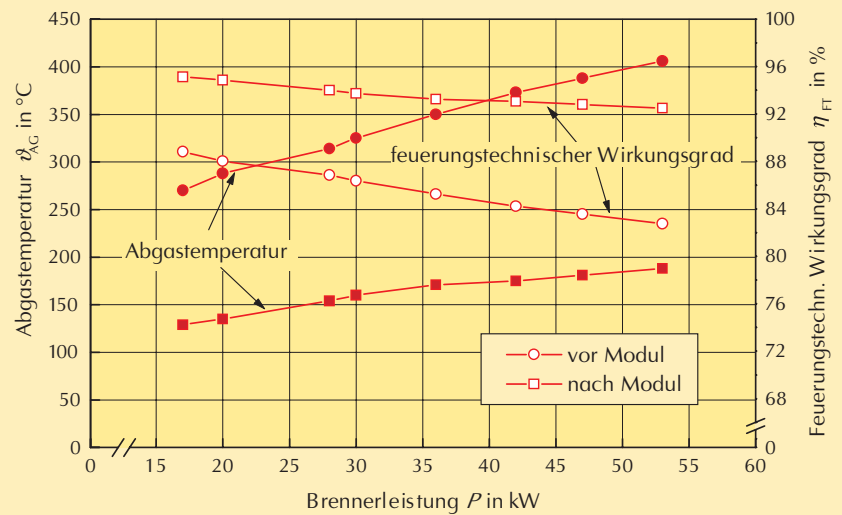


Abb. 3

Betrieb Kessel mit Thermosiphonmodul



Abgastemperaturen am Moduleintritt und -austritt und feuerungstechnischer Wirkungsgrad;
 $p_{HP,0} = 1 \text{ bar}$, Rücklaufftemperatur $\vartheta_{RL} = 60 \text{ °C}$, $\psi_{CO_2} = 13 \%$
 Brenner: Blaubrenner mit Keramikflammenrohr
 Kessel: Dreizugkessel

Abb. 4

grade ein. Im Vollastfall kann der feuerungstechnische Wir-

kungsgrad noch über 92 % gehalten werden.

Wärmeübertragung durch Wärmerohr und Zweiphasen-Thermosiphon

Sowohl ein Wärmerohr als auch ein Thermosiphon bestehen aus einem hermetisch abgeschlossenen Behälter, in dem sich ein Wärmeübertragungsmedium befindet. Häufig ist der Behälter ein Rohr, das an beiden Enden verschlossen ist. Die Behälterinnenwände können sowohl glatt sein – in diesem Fall spricht man von einem Thermosiphon (wickless heat pipe) – als auch eine Kapillarstruktur besitzen – hierbei handelt es sich um ein Wärmerohr oder eine Heat pipe. Die Außenseite kann sowohl glatt als auch berippt sein. Beide Bauarten werden auch direkt mit anderen Bauteilen verschweißt.

Wärme kann sehr effektiv in Kesseln mit Hilfe von Wärmerohren und Zweiphasen-Thermosiphons übertragen werden. Bei beiden findet die Wärmeübertragung über einen Phasenwechsel (Verdampfung und Kondensation) statt. Dagegen sind bei der Erwärmung und Abkühlung eines einphasigen Stoffes zur Übertragung vergleichbarer Energieströme wesentlich größere Temperaturdifferenzen nötig.

Sowohl Wärmerohr als auch Thermosiphon haben einen Verdampferteil (Heizzone), eine adiabate (isolierte) Zone und einen Kondensatorteil (Kühlzone). In den Verdampferteil wird Wärme bei einem höheren Temperaturniveau ϑ_1 von außen in das Wärmerohr eingetragen. Das Wärmeübertragungsmedium nimmt die Wärme auf und verdampft hierdurch. Der Dampf

strömt durch die Transportzone in den Kondensatorteil und kondensiert dort an den Rohrwänden, die von außen gekühlt werden. Bei der Kondensation gibt der Dampf die gleiche Wärmemenge, die er im Verdampferteil aufgenommen hat, auf einem niedrigeren Temperaturniveau ϑ_2 an die Rohrwand ab. Die zum Betrieb des Wärmerohrs notwendige Temperaturdifferenz ist in der Regel so gering, dass von einem Wärmetransport unter nahezu isothermen Bedingungen gesprochen werden kann. Das kondensierte Wärmeübertragungsmedium fließt beim Wärmerohr in der Kapillarstruktur, beim Thermosiphon durch die Schwerkraft getrieben in den Verdampferteil zurück. Im Verdampferteil kann der Kreislauf durch erneutes Verdampfen von vorn beginnen.

Erste Versuchsergebnisse am einzelnen Thermosiphon

Die Untersuchungen an einem einzelnen Thermosiphon dienen zur Bestimmung der Betriebsparameter für ein entsprechendes Kesselmodul. Als Wärmeübertragungsmedium wird destilliertes Wasser verwendet. Stickstoff wird als Inertgas zur Einstellung eines bestimmten Vordrucks zugegeben. Nach der Befüllung bei 25 °C wird das Thermosiphon hermetisch abgeschlossen.

Von Bedeutung ist der Einfluss des Inertgasvordruckes im Thermosiphon auf die Wärmeübertragungseigenschaften und den übertragbaren Wärmestrom. Durch die

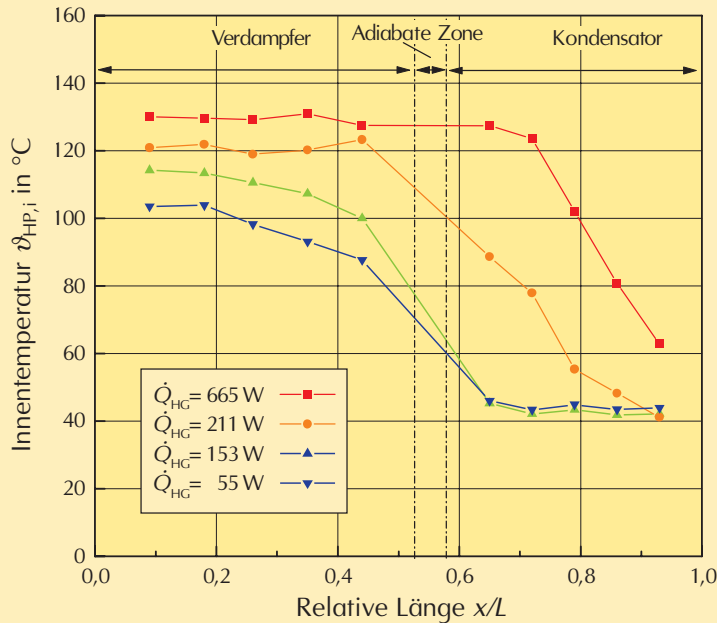
Versuche soll insbesondere der Inertgasvordruck bestimmt werden, bei dem ab einer definierten Temperatur die Wärmeübertragung im Thermosiphon stark ansteigt. Für den Einsatz in einem Kessel muss diese Temperatur geringfügig höher als die Schwefelsäuretaupunkttemperatur bei der Verbrennung von Heizöl EL sein. Somit kann eine Schädigung der Wärmeübertragerflächen in einem Kessel vermieden werden.

Axiale Temperaturverteilung im Thermosiphon

In Abb. 2 ist die Abhängigkeit der Innentemperatur von der axialen Position im Thermosiphon dargestellt. Variiert wurde der zugeführte Wärmestrom. Der für diese Untersuchung eingestellte Vordruck im Thermosiphon beträgt $p_{HP,0} = 1,0$ bar.

Bei einem Wärmestrom von $\dot{Q}_{HG} = 665$ W (Heizgastemperatur $\vartheta_{HG} = 331$ °C) sinkt die Innentemperatur $\vartheta_{HP,i}$ bis zu einer relativen Länge von $x/L = 0,7$ in den Kondensatorteil hinein kaum ab. Weiter in den Kondensatorteil hinein fällt die Innentemperatur steil ab. Am Ende des Verdampferteils befindet sich ein Sumpf mit siedendem Wasser. Von der Wasseroberfläche strömt der entstehende Dampf in den Kondensatorteil. Am Punkt $x/L = 0,7$ fällt die Temperatur stark ab, da der Dampf auf das Inertgas trifft und sich in einer begrenzten Zone mit diesem mischt und der Wärmeeintrag durch den

Axiale Temperaturverteilung im Innenraum des Thermosiphons in Abhängigkeit vom zugeführten Wärmestrom



Heizgas: Luft, $\rho_{HP} = 1,0\text{ bar}$, $\vartheta_{KW} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Abb. 2

Dampf sinkt. Weiter in den Kondensator teil hinein entmischen sich Dampf und Inertgas, da der Dampf auskondensiert und in den Verdampferteil zurückfließt (siehe dazu Abb. 1). Hierdurch ist im hinteren Teil des Kondensators nur noch Inertgas vorhanden. Durch die umgebenden gekühlten Kondensatorwände kühlt sich jedoch das Gemisch und das Inertgas ab.

Sinkt der zugeführte Wärmestrom \dot{Q}_{HG} , so fällt die Innentemperatur $\vartheta_{HP,i}$ und der Innendruck im Thermosiphon. Damit steigt der Anteil des Inertgases und somit auch der Volumenanteil im Thermosiphon. Die Übergangszone zwischen Dampf und Inertgas verschiebt sich zum Verdampferteil hin, und es steht weniger Wärmeübertragungsfläche im Kondensator zur

Verfügung, wodurch der vom Wasserdampf übertragene Wärmestrom im Thermosiphon sinkt. Bei geringeren Wärmeströmen ist der drastische Temperaturabfall schon in der adiabaten Zone bei $x/L = 0,45$ zu verzeichnen. Nimmt der zugeführte Wärmestrom noch weiter ab, fällt zum einen die Innentemperatur $\vartheta_{HP,i}$ weiter ab, und der Wärmeeintrag durch den Dampf in den Kondensator teil findet kaum noch statt. Die Innentemperatur im Kondensator teil ist dann nur geringfügig höher als die Kühlwassertemperatur $\vartheta_{KW} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eine weitere Verringerung des Wärmestroms führt lediglich zum Absinken der Innentemperatur im Verdampferteil. Im Kondensator teil ist keine signifikante Temperaturänderung mehr festzustellen.

Anlagenkonzept

Im Rahmen des Projektes wird die Konzeption und der Aufbau eines Kessels mit nachgeschaltetem Thermosiphonmodul für einen Leistungsbereich von 20 kW bis 50 kW durchgeführt. In dem Kessel soll eine Unterschreitung des Schwefelsäuretaupunktes nicht auftreten.

Der Aufbau des Anlagenkonzeptes zeichnet sich durch die zwei in Abb. 3 (Seite 4) gezeigten Module aus. Das erste Modul ist ein Kessel mit herkömmlichem Aufbau. Dieser Kessel ist für eine Leistung von 20 kW ausgelegt. Der Säuretaupunkt wird nicht unterschritten. Die Brennkammer wird so dimensioniert, dass z. B. ein Brenner mit Flammenrohr eingesetzt werden kann, so dass eine Befuerung des Moduls mit bis zu 50 kW möglich wird.

Das zweite Modul setzt sich aus einer Abgasleitung, einer Heizwasserleitung und den Wärmerohren zur Auskopplung der „Restwärme“ zusammen. Die Abgase aus dem 1. Modul strömen in die Abgasleitung des 2. Moduls. In die Heizwasserleitung des 2. Moduls strömt das Rücklaufwasser ein, umströmt den Kondensator teil und wird in das 1. Modul geleitet. Abgas und Heizwasser werden im Gegenstrom geführt. Die Wärmerohre tauchen mit ihrem Verdampferteil in die Abgasleitung und mit ihrem Kondensator teil in die Heizwasserleitung.