

Betriebssicherheit, Korrosion und Kesselauswurf – Teil 1

Wie zuverlässig sind Öl-NT-Heizkessel?

Prof. Helmut Burger*

Die in der Niedertemperaturheiztechnik gebildeten Schutzschichten werden aus Unkenntnis der Zusammenhänge manchmal als angebliche Rostquellen für Kesselauswürfe und damit verbundene Korrosionsspuren auf Dächern verantwortlich gemacht. Was wirklich hinter dem Thema „Kesselauswurf“ bei Öl-NT-Heizkesseln steckt und wie abgasseitige Korrosionsschäden durch konstruktive und regelungstechnische Maßnahmen in der Praxis vermieden werden, zeigt der folgende Beitrag.

Die Bereitstellung von Nutzwärme erfordert vor dem Hintergrund der notwendigen CO₂-Minderung den effizienten Umgang mit Primärenergie. Dieser Prozeß wurde und wird durch das Energieeinsparungsgesetz und das Bundes-Immissionsschutzgesetz mit den nachgeschalteten Verordnungen und deren Novellierungen unterstützt: Wärmeschutz-Verordnung (WärmeschutzV), Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnlV) und Erste Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV). Dieses Paket ordnungsrechtlicher Maßnah-

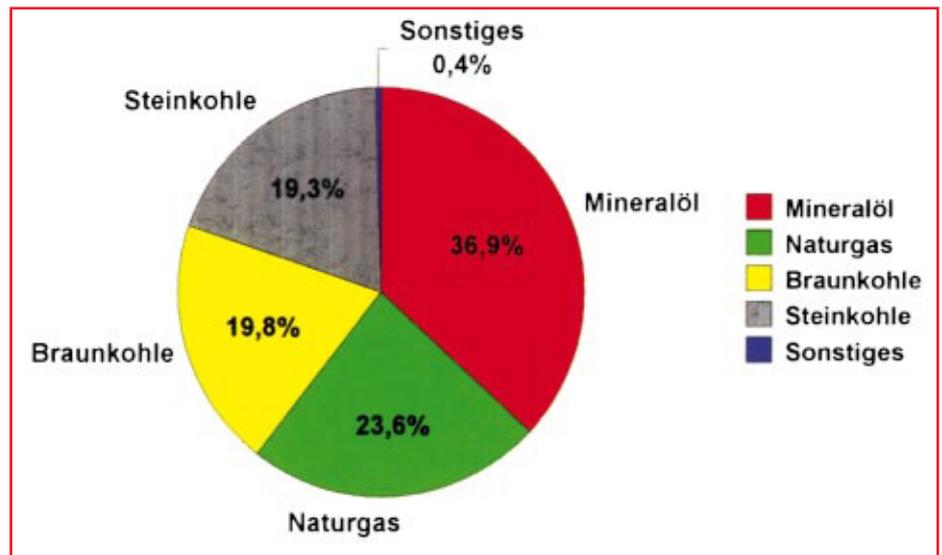


Bild 1 Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen 1999

men mit der künftigen Zusammenfassung der Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagen-Verordnung zur Energieeinsparverordnung, trägt dazu bei, den Einsatz moderner Heizsysteme zu intensivieren. Zur effizienten Bereitstellung von Nutzwärme gibt es zur Zeit keine bessere und wirtschaftlichere Technik als Nieder-/Tieftemperatur-Heizsysteme mit Gas-Brennwert- oder Öl-Niedertemperaturkesseln [1]. Gegenüber der veralteten Kon-

stanttemperatur-Heiztechnik konnten die Jahresnutzungsgrade um bis zu 30 % angehoben werden. Die Öl-NT-Heiztechnik hat damit bereits einen wesentlichen Beitrag zur Absenkung der CO₂-Emissionen geleistet. Der verbrennungsbedingte CO₂-Anteil durch Mineralöl betrug 1999 etwa 36,9 % (Bild 1). In Deutschland konnten die Treibhausgase von 1990, ausgehend von 986,6 Millionen t, bis 1999 um 15,5 % auf 834 Millionen t gesenkt werden (Tabelle 1). Insofern wird sie auch ihren Beitrag leisten, um das nationale Minderungsziel von –25 % bis 2005, d. h. Absenkung auf 740 Millionen t, zu erreichen.

Prof. Dr.-Ing. Helmut Burger ist Mitglied der Geschäftsleitung der Viessmann-Werke, 35107 Allendorf, Telefon (0 64 52) 7 00, Telefax (0 64 52) 70 27 80, und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Werkstofftechnik, Werkstoffprüfung und Schadensanalyse

Jahr	CO ₂ (in Mio. t)	%
1990	986,6	0 %
1992	901,4	– 8,6 %
1994	876,8	– 11,1 %
1996	899,9	– 8,8 %
1998	859,9	– 12,8 %
1999	834,0	– 15,5 %
Ziel 2005	740,0	– 25,0 %

Tabelle 1 Die deutsche Treibhausbilanz

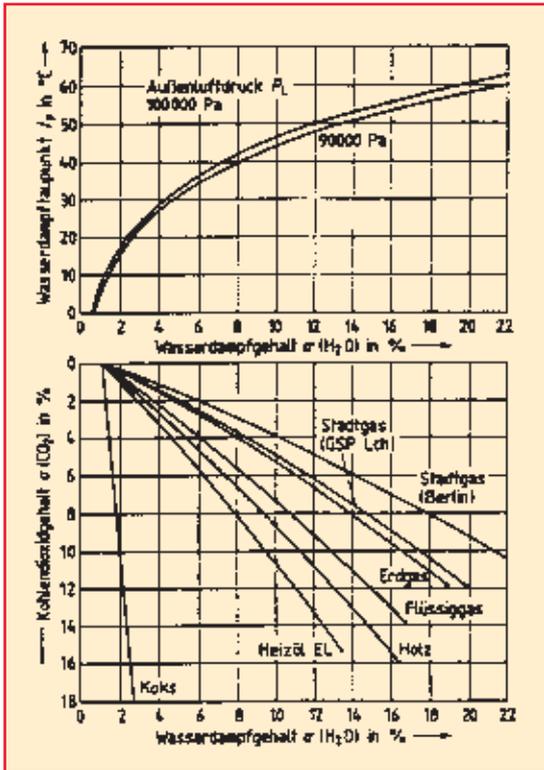


Bild 2 Wasserdampfgehalt (H₂O) und Wasserdampftaupunkt t_p des Abgases

Kesselwerkstoffe und Belastungskollektive

Sachgerechter Korrosionsschutz durch Werkstoffwahl und Konstruktion setzt voraus, daß die korrosionschemischen Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Werkstoffe unter den jeweiligen Belastungskollektiven bekannt sind. In der Niedertemperatur-Heiztechnik werden unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe wie Baustahl und Grauguß eingesetzt. Die-

se Eisenwerkstoffe sind im Dauerkontakt mit sauerstoffhaltigem Wasser nicht korrosionsbeständig und rosten. Es bilden sich auf den Oberflächen Schichten aus voluminösem Rost, die in der Regel lose aufliegen und die Oberfläche im Gegensatz zu festhaftenden Schichten nicht vor weiteren Korrosionsangriffen schützen können. Daher müssen unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe bei der Beanspruchung in sauerstoffhaltigem Wasser geschützt werden (z. B. Verzinkung). In der Brennwerttechnik mit einer permanenten Belastung durch sauerstoffreiches, leicht saures Kondenswasser sind diese Werkstoffe daher auch nicht einsetzbar. Brennwerttechnik erfordert Werkstoffe mit einer Schutz- oder Passivschicht auf der Oberfläche, z. B. nichtrostende Stähle. In der NT-Kesseltechnik kann es zu einer abgasseitigen Korrosionsbeanspruchung durch Kondenswasser kommen, das bei Un-

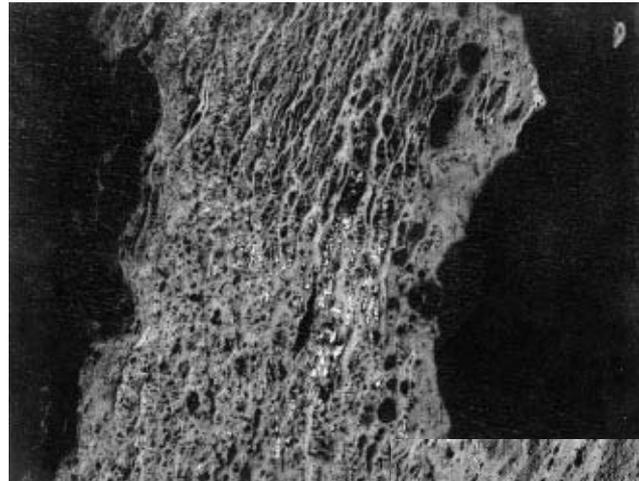


Bild 3 Querschnitt einer Rostschuppe (40 : 1)

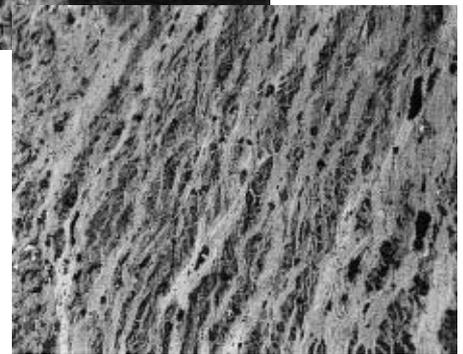


Bild 4 Querschnitt aus Bild 3 (160 : 1)

terschreitung der Taupunkte der Abgase auftritt. Damit ist in der Regel jedoch keine ständige, sondern nur eine temporäre und instationäre Korrosionsbelastung verbunden. Der Wechsel von trocken/feucht kann bei zielgerichteter Auslegung und Steuerung dieses instationären Wechsels zu festhaftenden Deckschichten auf Grauguß und Stahl führen. Diese verdichten sich mit der Zeit über Alterungsvorgänge, so daß sie eine geschlossene und festhaftende Schutzschicht bilden, die weitere Korrosionsangriffe definitiv verhindert. Das führt bei entsprechender Auslegung zu der sprichwörtlichen Betriebssicherheit von Verbundheizflächen in der Öl-NT-Heiztechnik. Frühere Folgerungen einer schweizerischen Untersuchung aus 1988 [2] kamen zu einer anderen Aussage, da man aufgrund einer kurzzeitigen, etwa dreiwöchigen Untersuchungsmethodik unter verschärften Bedingungen glaubte, eine lineare Korrosionsgeschwindigkeit vorgeben zu können, die zu stark verkürzten Lebensdauerzyklen führen sollte. Dabei ist bekannt, daß elektrochemische Korrosionsreaktionen bei denen Kor-

Die Zusammensetzung der Oxidschichten wurde durch Röntgenmikroanalyse ermittelt. Es wurden folgende Zusammensetzungen gefunden:

A: Zweischalige Heizfläche			
1:	Oxidschicht außen	Fe ₂ O ₃ * 1,25 H ₂ O	[61,33 % Fe]
2:	Oxidschicht weiter innen	Fe ₂ O ₃ * 0,4 H ₂ O	[66,95 % Fe]
3:	Oxidschicht nahe bei Metall	FeO _{1,13}	[75,57 % Fe]
B: Normale Graugußfläche			
1:	Oxidschicht ganz außen	Fe ₂ O ₃ * 1,84 H ₂ O	[57,92 % Fe]
2:	Oxidschicht weiter innen	gleiche Zusammensetzung wie 1	
3:	Oxidschicht nahe bei Metall	Fe ₂ O ₃ * 1,64 H ₂ O	[59,05 % Fe]

Tabelle 2 Zusammensetzung der Oxidschichten bei einer zweischaligen Heizfläche und bei einer normalen Gußoberfläche

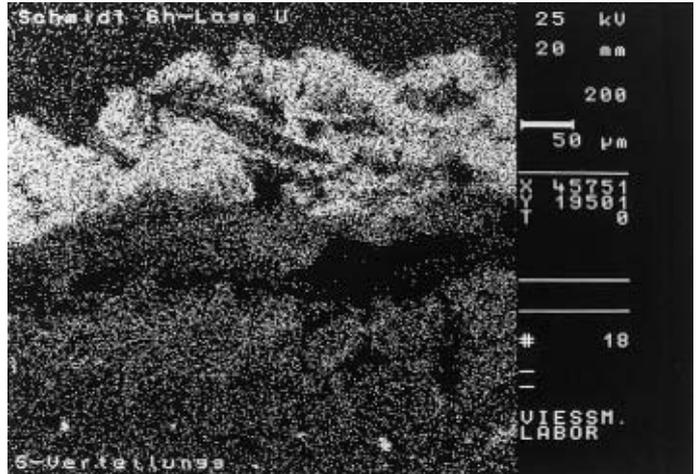
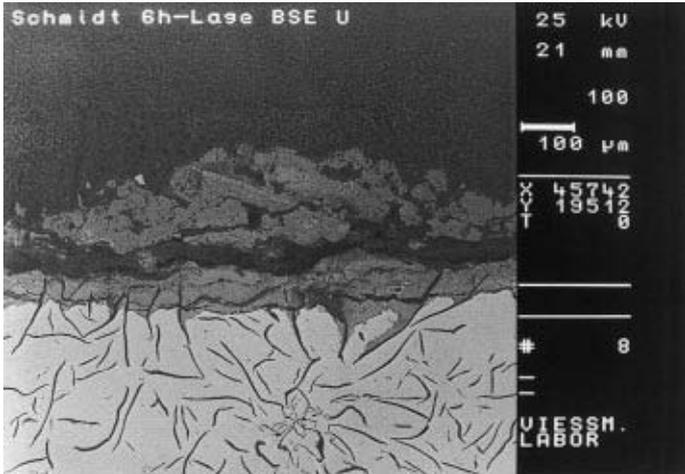


Bild 5 Schutzschicht und Ablagerungen auf einer bivalenten Heizfläche aus Grauguß, Öl-Niedertemperaturheizkessel (100 : 1)

Bild 6 S-Elementenverteilungsbild nach Bild 5 (200 : 1), Öl-Niedertemperaturheizkessel

rosionsprodukte entstehen, exponentiellen Zeitgesetzen unterliegen. Dabei kann sowohl eine Beschleunigung der Korrosionsreaktion als auch eine Verminderung eintreten, nämlich dann, wenn die Korrosionsprodukte schützende Deckschichten bilden. Die damalige Nichtbeachtung der Zeitgesetzmäßigkeiten hat die abgeleiteten Aussagen inzwischen ad absurdum geführt.

Schutzschichtenbildung auf Eisenwerkstoffen

Die wasserseitigen Betriebstemperaturen in Niedertemperatursystemen können unterhalb der Taupunkttemperatur des im Heizgas enthaltenen Wasserdampfes liegen. Die Taupunkttemperaturen, bei denen der Wasserdampf kondensiert, betragen je nach Wasserdampfgehalt, Luftüberschußzahl usw., bei Heizöl EL etwa 47 °C und bei Erdgas ca. 57 °C. Die genaue Wasserdampftaupunkttemperatur des Abgases kann für verschiedene Brennstoffe und Volumenkonzentrationen an CO₂ im Abgas aus Bild 2 entnommen werden [3]. Um bei tiefen Temperaturen des Kesselwassers eine längere, andauernde Kondensationsphase zu verhindern, müssen die heizgasseitigen Oberflächen der Heizflächen so ausgelegt werden, daß sie Temperaturen oberhalb der Taupunkte der abkühlenden Heizgase annehmen. Beim Durchströmen der Heizgase durch die Kesselheizflächen nimmt die Temperatur der Heizgase ständig ab. Damit

steigt die Gefahr der Taupunktunterschreitung auf der heizgasbeaufschlagten Seite in Bereichen, die nicht mehr von sehr heißen Verbrennungsgasen durchströmt werden. In diesen Zonen muß der Wärmedurchgang soweit reduziert werden, daß die Oberflächentemperatur im Betrieb über dem Wasserdampftaupunkt liegt. Deshalb wird bei mehrschaligen Heizflächen der Wärmedurchgang gezielt so dosiert, daß auch im Bereich abkühlender Heizgase eine Taupunktunterschreitung nicht möglich wird. Ausschließlich in der Startphase durchlaufen die Heizflächen einen Betriebszustand, in dem Wasser infolge Taupunktunterschreitung kurzzeitig auskondensiert wird. Dieser Kondensatanfall kann so gesteuert werden, daß er zur Bildung einer festhaf-

tenden Schutzschicht auf den unlegierten Eisenwerkstoffen während des Betriebes führt.

Zur Ausbildung dieser Schutzschicht sind, neben der Oberflächentemperatur der Wärmetauscherflächen, weitere Parameter von Bedeutung. Hierzu gehören:

- Menge des Kondenswassers,
- Dauer der Kondenswassereinwirkung,
- Wechselphasen feucht/trocken

Im Laufe der Zeit bildet sich bei abwechselnder Durchnässung und Trocknung im Gegensatz zu dem voluminösen, lockerhaftenden Rost (Eisenoxidhydrat) eine festhaftende Schicht, die zum Stillstand weiterer Korrosionsreaktionen führt. Insbesondere bei kleinen und schnell abtrocknenden Kondensatvolumina wird das Löslichkeitspro-



Bild 7 Biferrale Heizfläche

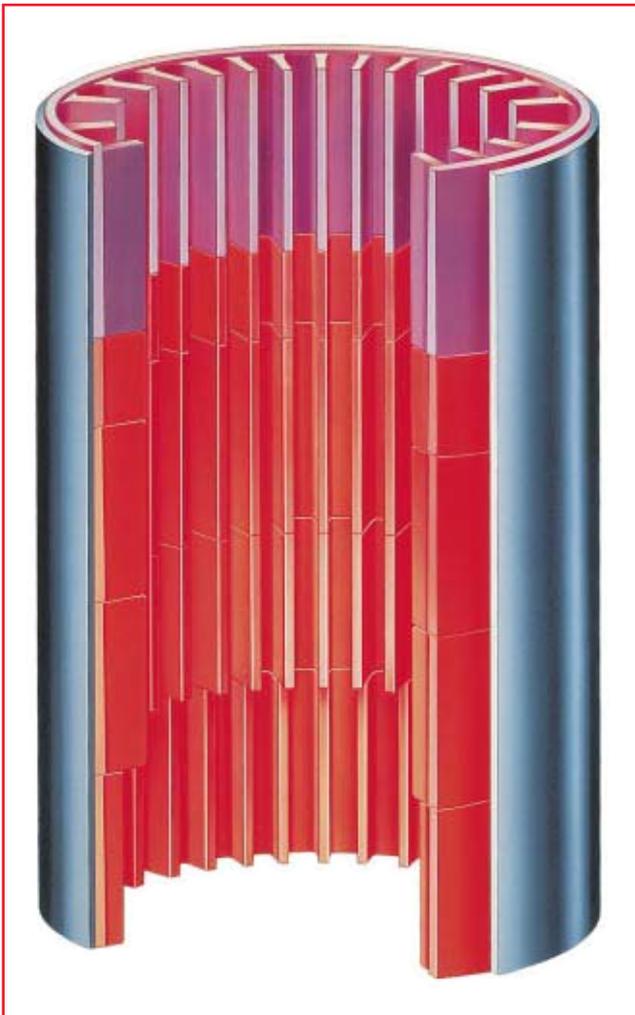


Bild 8 Tempcon-Heizfläche für senkrechten Einbau (Aluferral)

chenförmigen Partikel sind „Rost“. Die Bilder 3 und 4 zeigen einen mikroskopischen Querschnitt einer abgespaltenen Rostschuppe. Die poröse Struktur ist deutlich erkennbar. Die Menge des Kondenswassers beeinflusst die Menge der Reaktionsprodukte, deren Keimbildung und die Anzahl der einlagerungsfähigen Wassermoleküle. Die Dauer der Einwirkung bestimmt z. B. die Oxidationsstufe des Eisens sowie das Agglomerationsverhalten der Reaktionsprodukte. An der Oberfläche entsteht das gelb-rötlichbraune

Eisen(III)-oxidhydrat, auf der Eisenseite zunächst ein hydratisiertes Eisenmischoxid mit dunkler Färbung. Ob dieses Mischoxid erhalten bleibt, hängt von den Eigenschaften der äußeren Eisen(III)-oxidhydratschicht ab. Behält diese einen gewissen Zusammenhalt, so verläuft die Reaktion darunter unter einem ständigen Sauerstoffmangel. Die unter diesen Bedingungen entstehende hydratisierte, eisenreiche Mischoxidschicht kann sich mit der Zeit verfestigen, erhärten und die Schutzschicht bilden. Die unterschiedliche chemische Zusammensetzung wurde auch mit Röntgenmikroanalyse bestätigt (Tabelle 2).

Bild 5 gibt einen Querschnitt senkrecht zur Oberfläche einer biferralen Gußoberfläche unter dem Rasterelektronenmikroskop bei einer Vergrößerung von 100 : 1 wieder. Direkt auf der Oberfläche liegt die festhaftende Schutzschicht, die mit dem Grundwerkstoff verankert ist. Auf der Schutzschicht befinden sich im wesentlichen Verbrennungsrückstände und Kleinstteilchen der ehemaligen Gußhaut. Bild 6 gibt einen Ausschnitt bei 200facher Vergrößerung wieder. In diesem Bereich wurde die Verteilung von Schwefel ermittelt. Man erkennt deutlich, daß nur die Verbrennungsrückstände stark mit Schwefel vergesellschaftet

dukt der Eisenoxidhydrate schnell überschritten, so daß sich sehr feine Keime ausscheiden, die eine dichte und weitgehend homogene Schicht bilden.

Bildungsmechanismus der Schutzschichten

Bei ständiger und längerer Taupunktunterschreitung entstehen voluminöse und locker aufliegende Schichten aus Eisen(III)-oxidhydraten, unter den Reaktionsbedingungen mit großen Wassermengen. Sie bieten keinen Schutz vor weiteren Angriffen, da der Sauerstoff ungehindert Zutritt zur Oberfläche des Eisens hat. Auch bereits gebildete hydratisierte Eisenmischoxide werden in der Schicht durch den Sauerstoff zu Eisen(III)-oxidhydrat aufoxidiert. Die damit verbundene Volumenänderung bewirkt, daß die Schichten zunehmen porös werden und zur Ribbildung neigen. Damit kann sich bei jedem neuen größeren Kondenswasseranfall die Schichtfolge wiederholen und zu den bekannten plättchen- oder schuppenförmigen Rostschichten führen. Diese plätt-



Bild 9 Vitola 200 mit biferraler Heizfläche

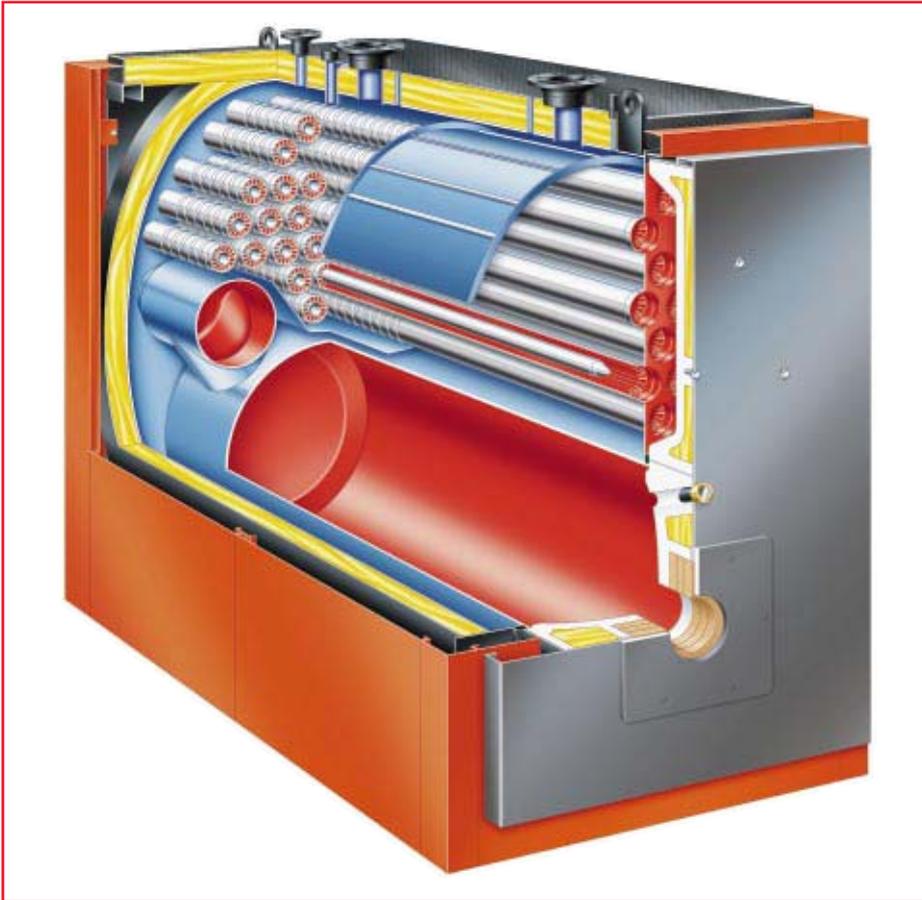


Bild 10 Mehrschalentechnik bei Mittelkesseln über Triplexrohre

sind. Die Schutzschicht läßt keine Penetration von Schwefel zu. Sie schützt die Gußoberfläche.

Beispielhafte, konstruktive Lösungen

Abgestimmte Kondenswassermengen und Einwirkzeiten während einer Startphase können über verschiedene konstruktive und regelungstechnische Möglichkeiten erreicht werden. Und zwar sowohl abgasseitig als auch wasserseitig. Als wasserseitige Lösungen kann auf Mehrkreis- oder Wasserleitsysteme im Rücklaufbereich verwiesen werden. Hier steht bei einem Kaltstart die Kesselleistung nur für die Aufheizung eines geringen oder geregelten Wasserinhaltes zur Verfügung. Bedingt durch den geringen thermischen Eigenverbrauch wird der Taupunkt in kurzer Zeit durchfahren. Gleiches gilt auch für Bypasslösungen mit Beimischung aus dem heißen Vorlaufbereich. Eine technisch anspruchsvolle Lösung ist in einem dosiert ausgelegten Wärmedurch-

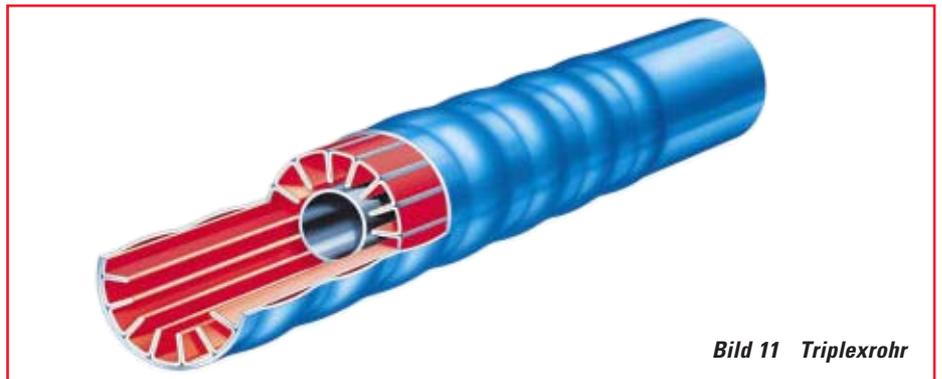


Bild 11 Triplexrohr

gang durch die Wärmetauscherflächen zu sehen. Da dieses Prinzip ohne zusätzliche Steuerungsmechanismen und unabhängig von wasserseitigen Betriebsbedingungen wirksam wird, ist es praktisch selbstregelnd. Das ist das „biferrale“ Prinzip der eigensicheren Zweischalentechnik. Die Bilder 7, 8 und 9 zeigen „Verbundheizflächen“ und den „Vitola 200“ mit „biferraler“ Heizfläche. Mit der Zweischalentechnik wird über berechnete Kontaktflächen zwischen Gußelement und Stahlmantel die erforderliche Temperaturerhebung in der Gußoberfläche sichergestellt. Darüber hinaus wird in der Startphase nur ein sehr dünner Kondens-

wasserfilm gebildet, der schnell wieder an- und abtrocknet. Gegenüber undefinierten Heizflächen mit hohem Wasserangebot aus Kondensatanfall stellt sich eine dichte und festhaftende Schutzschicht ein. Im Zusammenhang mit einem dosiert ausgelegten Wärmedurchgang repräsentiert dieser Mechanismus eine durch Korrosion gebildete Schutzschicht. Diese Schicht bildet auch eine Barriere für Schwefelverbindungen aus der Heizölverbrennung, wie mit Bild 6 bereits belegt wurde. Der millionenfach bewährte Kreis der Betriebssicherheit der „biferralen“ Heizfläche ist geschlossen.

Die Zweischalentechnik wurde auch für Mittel- und Großkessel (Bild 10) weiterentwickelt. Derartige mehrschalige Heizflächen bestehen z. B. aus zwei ineinandergeschobenen Stahlrohren, die wärmeleitend miteinander verpreßt werden. Durch unterschiedliche Abstände der verpreßten Zonen wird der Wärmedurchgang so dosiert, daß entsprechend der Auskühlung der Heizgase einer Taupunktunterschreitung im Betrieb entgegengewirkt wird. Mit einem im Verlauf der Heizfläche abnehmendem Wärmedurchgang erhöht sich die Temperatur auf der heizgasbeaufschlagten Oberfläche. Auch die Konvektionsheizflächen des „Paromat-Triplex“-Dreizugkessels bestehen aus Stahlrohren, die wärmeleitend miteinander verpreßt sind. In das äußere Rohr ist ein Spezialrohr mit

angefalteten Längsrippen eingeschoben. Damit erhöht sich die effektive Heizfläche auf der heizgasbeaufschlagten Oberfläche gegenüber von Glattrohren um das ca. 2,5fache. Der „Paromat-Triplex“-Kessel kommt daher mit weniger Rohren für die Konvektionsheizfläche aus und benötigt auch keine Wirbulatorien (Bild 11).

Im zweiten Teil wird das Thema „Kesselauswurf“ unter die Lupe genommen. □