Tiefengründliche und substanzerhaltende Reinigung von Wärmeübertragern in Rückkühlanlagen nach dem Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren

Teil 1 der Fachaufsatzreihe „Reinigung und Entkalkung von Wärmeübertragern“

Der vorliegende Fachaufsatz ist Teil der Fachaufsatzreihe
„Reinigung und Entkalkung von Wärmeübertragern“
mit folgenden Beiträgen:

Fachaufsatzreihe:
Teil 1. Reinigung von Wärmeübertragern in **Rückkühlanlagen**
Teil 2. **Entkalkung** von Wärmeübertragern in Rückkühlanlagen
Teil 3. Reinigung von Wärmeübertragern in **Lüftungsanlagen**
Teil 4. Reinigung von **Rotations-Wärmeübertragern**
Teil 5. Reinigung von Wärmeübertragern in **Lackieranlagen**

Teil 1: Reinigung von Wärmeübertragern in Rückkühlanlagen

Inhalt

1. Einleitung 1
1.1 Wärmetauscher in Rückkühlanlagen 1
1.2 Verschmutzung der Wärmetauscher beim Betrieb 2
2. Folgen von Schmutzablagerungen auf Wärmetauschern 3
2.1 Erhöhter luftseitiger Druckverlust und verringerter Luftvolumenstrom 4
2.2 Verringerung der übertragbaren Wärmeleistung 6
2.3 Erhöhung der elektrischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren 7
2.4 Substanzverlust / -schädigung durch korrosiven Angriff der Lamellen 7
2.5 Gefahr von Anlagenausfällen 8
3. Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern 9
3.1 Konventionelle Reinigung nach dem Ein-Strahl-Prinzip 9
3.1.1 Beschädigungsgefahr der Lamellen 9
3.1.2 Eingeschränkte Reinigungsmöglichkeit 11
3.2 Neu entwickeltes Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren 12
3.2.1 Vermeidung von Beschädigungen 12
3.2.2 Vollflächige Tiefenreinigung der Wärmetauscher 13
3.2.3 Qualität und Verfahrensvarianten zum Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren 13
3.2.4 Praxisbeispiel zum Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren 15
3.2.5 Strömungstechnische Sanierung verbogener Lamellen 15
4. Zusammenfassung 16

Erläuterung zur Begriffsverwendung „Wärmetauscher“:
Gemäß dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik kann Wärme nur von einem Körper mit höherer Temperatur auf einen Körper mit niedrigerem Temperaturniveau übertragen werden. Daher ist der technisch korrekte Begriff für Ausrüstungen die dies realisieren „Wärmeübertrager“. In der Praxis wird jedoch weitaus häufiger der Begriff „Wärmetauscher“ verwendet, der wahrscheinlich aus der Übersetzung des englischen Begriffes „heat exchanger“ resultiert. Nur auf Grund seiner weiten Verbreitung, besonders auch im Zusammenhang mit „Suchmaschinen“, wird von den Autoren der technisch unkorrekte Begriff „Wärmetauscher“ im Fachaufsatz verwendet.

Autoren:
Dipl.-Ing. Günter Lang, Greiz, Ingenieurbüro Lang - www.ib-lang.de,
Dr.-Ing. Martin Möritz, Berlin, THD Technischer Hygiene Dienst GmbH - www.thd.info

Kontakt zu den Autoren: referat.rk@thd.info

Sämtliche Inhalte, Fotos, Texte und Grafiken des vorliegenden Fachaufsatzes sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung weder ganz noch auszugsweise kopiert, vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

All contents, photos, texts and graphic arts are protected by copyright. They may be copied, reproduced or be published not without previous written approval neither completely nor in extracts.

© G. Lang, M. Möritz

1. Einleitung

1.1 Wärmetauscher in Rückkühlanlagen

Wärmetauscher werden in der Rückkühltechnik in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Hierzu werden die Wärmetauscher in der Regel in Kombination mit Ventilatoren horizontal (Bild 1), V-förmig (Bild 2) oder vertikal (Bilder 3 und 4) angeordnet. Mit Hilfe der Ventilatoren wird die Umgebungsluft durch die Wärmetauscher gesaugt oder auch gedrückt. Bei der Durchströmung der Wärmetauscher wird im Kühlkreislauf enthaltene Wärme an die Umgebungsluft übertragen.

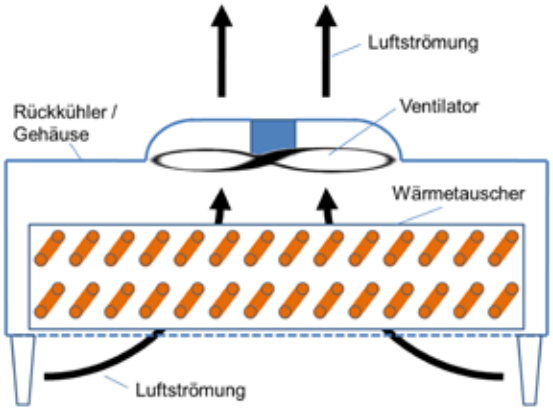


Bild 1: Rückkühler mit horizontalem Wärmetauscher (Tisch-Rückkühler)

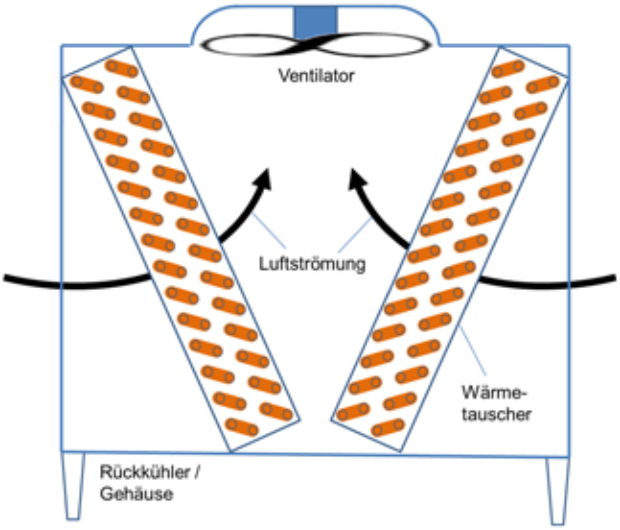


Bild 2: Rückkühler mit V-förmig angeordneten Wärmetauschern

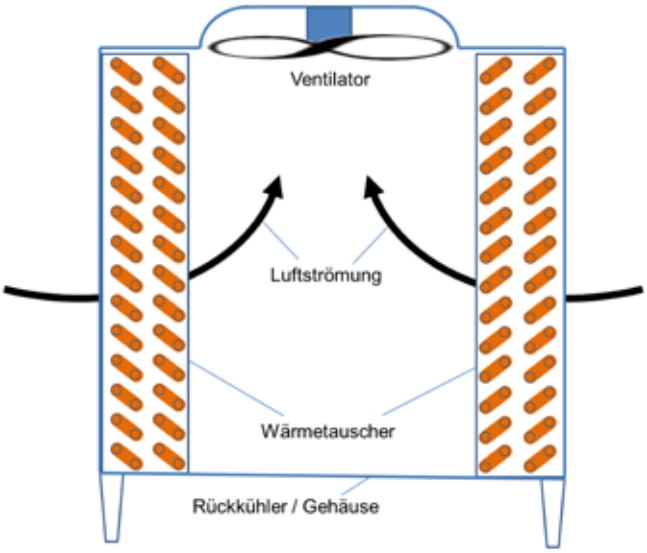


Bild 3: Rückkühler mit 2 vertikalen Wärmetauschern und horizontalem Ventilator

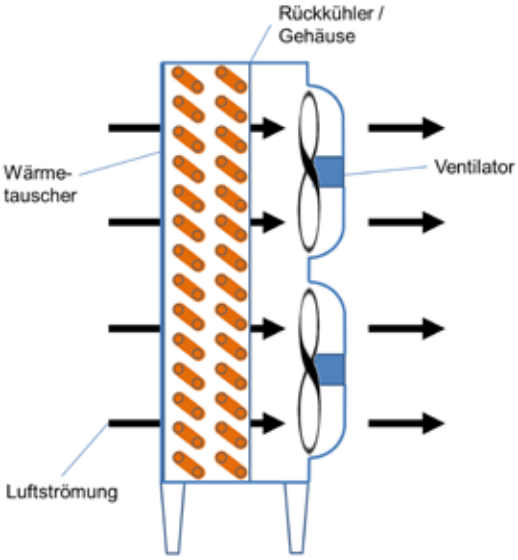


Bild 4: Rückkühler mit vertikalem Wärmetauscher und vertikalen Ventilatoren

1.2 Verschmutzung der Wärmetauscher beim Betrieb

Aufgrund der Durchströmung mit Umgebungsluft lagern sich während des Betriebes auf den luftseitigen Oberflächen der Wärmetauscher partikuläre Schmutzstoffe aus der Umgebungsluft ab.

Bild 5a: Vier Rückkühler mit V-förmig angeordneten Wärmetauschern vor der Reinigung

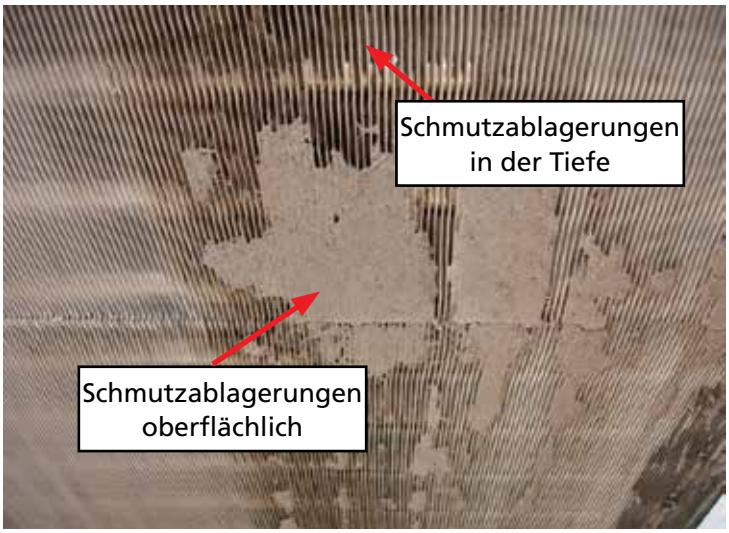


Bild 5b (Detail zu Bild 5a): Schmutzablagerungen auf der Oberfläche und in der Tiefe der Wärmetauscher

Bild 5c (Detail zu Bild 5a, b): Schmutzablagerungen auf der Oberfläche und in der Tiefe der Wärmetauscher

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

Die Verschmutzung der Wärmetauscher führt zu einer Reihe von Nachteilen und Gefahren für den Betrieb der Rückkühler bis hin zum beschleunigten Verschleiß und der Notwendigkeit des vorzeitigen Austausches der Anlagen (siehe hierzu Kap. 2). Um diese Nachteile zu vermeiden, ist eine regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher erforderlich.

Durch trockene Reinigung (z.B. Absaugen) können Schmutzablagerungen auf Wärmetauschern in Rückkühlern nur oberflächlich und unvollständig bzw. in der Tiefe der Register gar nicht entfernt werden. Daher ist eine nasse Reinigung der Wärmetauscher erforderlich.

Die nasse Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern erfolgt bis heute mit Hilfe konventioneller Reinigungsmethoden nach dem sog. Ein-Strahl-Prinzip. Hierbei wird ein einzelner, zumeist aufgefächerter Wasserstrahl zur Reinigung der Wärmetauscher verwendet. Wie die Praxis zeigt, ist die Reinigung von Wärmetauschern nach diesen Verfahren oft nur oberflächlich - in der Tiefe jedoch nur unvollständig oder gar nicht und nur mit der Gefahr einer starken und zum Teil irreversiblen Beschädigung (Deformation) der empfindlichen Lamellen sowie einer Schmutzanreicherung bis hin zur Verstopfung möglich.

Zur Lösung dieser Probleme wurde das neuartige Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren zur vollflächigen und tiefengründlichen Reinigung von Wärmetauschern ohne eine Gefahr der Deformation der empfindlichen Lamellen entwickelt. In der Publikationsreihe „Reinigung und Entkalkung von Wärmeübertragern“ sollen die in der Praxis bei der konventionellen Reinigung von Wärmetauschern nach dem Ein-Strahl-Verfahren häufig auftretenden Problemstellungen erläutert und die durch das neu entwickelte Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren zur Verfügung stehenden Lösungswege aufgezeigt werden. Der vorliegende erste Artikel befasst sich mit der Reinigung von luftbeaufschlagten Lamellen- und Rippenrohr-Wärmetauschern in Rückkühlanlagen. Weitere Publikationen werden sich u.a. mit den Themen „Entkalkung von Wärmeübertragern in Rückkühlanlagen“, „Reinigung von Wärmeübertragern in Lüftungsanlagen“, „Reinigung von Rotations-Wärmeübertragern“ und „Reinigung von Wärmeübertragern in Lackieranlagen“ befassen.

2. Folgen von Schmutzablagerungen auf Wärmetauschern

Schmutzablagerungen auf Wärmetauschern haben eine Vielzahl negativer Auswirkungen, wie

- erhöhter luftseitiger Druckverlust,
- verringerter Luftvolumenstrom,
- erhöhte Leistungsaufnahme der Ventilatoren,
- Minderung der Wärmeübertragungsleistung*,
- Gefahr des Anlagenausfalles und
- irreversibler Substanzverlust der Lamellen durch Korrosion und Notwendigkeit eines vorzeitig erforderlichen Anlagenaustausches.

* Bei Unterschreitung einer Mindest-Rückkühlleistung droht die Gefahr des Ausfalls von z.B. temperaturabhängigen Produktionsprozessen, EDV-Servern o.a.

Diese nachteiligen Folgen und Gefahren beim Einsatz von konventionellen Reinigungsverfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip sollen im Folgenden näher erläutert werden.

2.1 Erhöhter luftseitiger Druckverlust und verringerter Luftvolumenstrom

Während des Betriebes von Wärmetauschern lagern sich auf der Luftseite der Wärmetauscher Schmutzstoffe aus der Umgebungsluft ab (z.B. Staub, Ruß, Abrieb, Öle, Salze, Pollen/Samen etc. - siehe Bilder 6 - 8).

Bild 6a: Rückkühler 2 mit horizontalem Wärmetauscher (Tisch-Rückkühler)

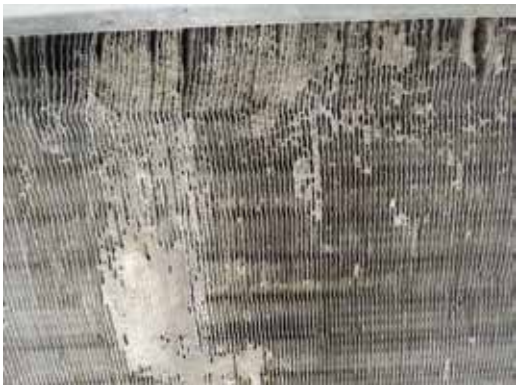


Bild 6b (Detail zu Bild 6a): Rückkühlanlage 2, Ansicht von unten (Anströmseite), Wärmetauscher deutlich verschmutzt

Bild 7a: Rückkühler 3 mit horizontalem Wärmetauscher (Tisch-Rückkühler)

Bild 7b (Detail zu Bild 7a): Rückkühlanlage 3, Ansicht von unten (Anströmseite); Wärmetauscher mit starken Verschmutzungen

Bild 8a: Rückkühler 4 mit horizontalem Wärmetauscher (Tisch-Rückkühler)

Bild 8b (Detail zu Bild 8a): Rückkühlanlage 4, Ansicht von unten (Anströmseite); Wärmetauscher mit fast vollflächig durch Schmutzablagerungen zugesetzter Anströmfläche

Durch die Schmutzablagerungen verringert sich der frei durchströmbare Querschnitt der Wärmetauscher. Infolge dessen steigt der Durchströmungswiderstand, d. h. der Druckverlust über die Wärmetauscher.

Welchen Einfluss die Erhöhung des Druckverlustes auf den Luftvolumenstrom hat, hängt von der Betriebsweise der Ventilatoren ab. Bei Einsatz von Ventilatoren ohne Drehzahlregelung führt eine Erhöhung des Druckverlustes über die Wärmetauscher zu einer Verringerung des Luftvolumenstromes.

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

(siehe Bild 9a). Bei Einsatz von Ventilatoren mit Drehzahlregelung führt eine Erhöhung des Druckverlustes zu einer Erhöhung der Ventilatordrehzahl und infolge dessen zu einer Erhöhung der elektrischen Leistungsaufnahme (Bild 9b) (siehe hierzu auch Kap. 2.3).

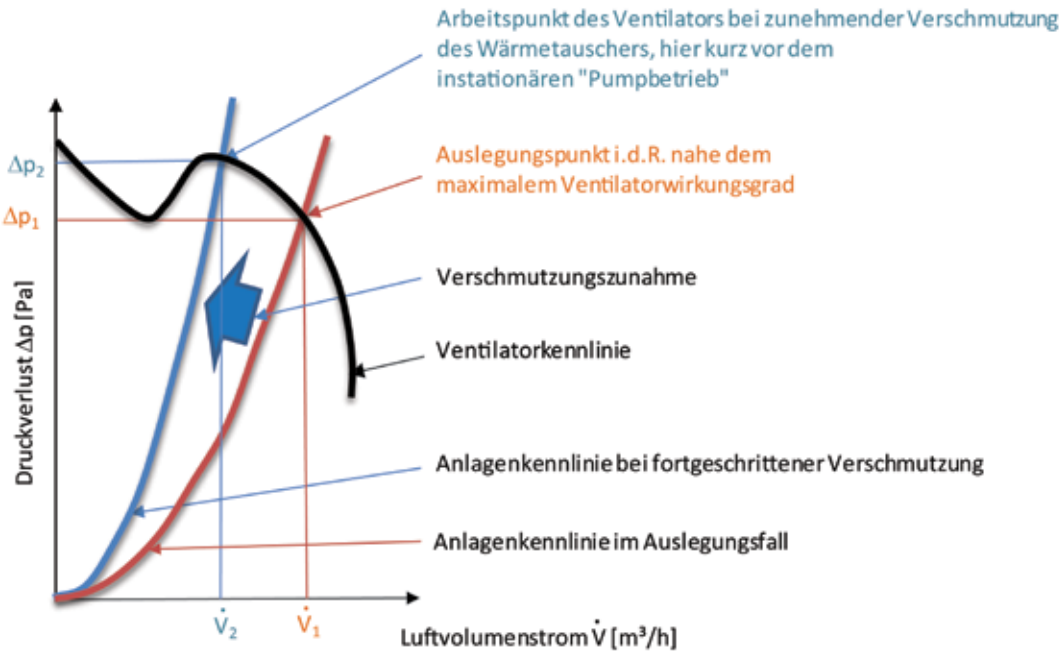


Bild 9a: Verringerung des Luftvolumenstromes bei Rückkühlern auf Grund von zunehmender Verschmutzung (Querschnittsverengung) der Wärmetauscher
- bei Ventilatoren ohne Drehzahlregelung

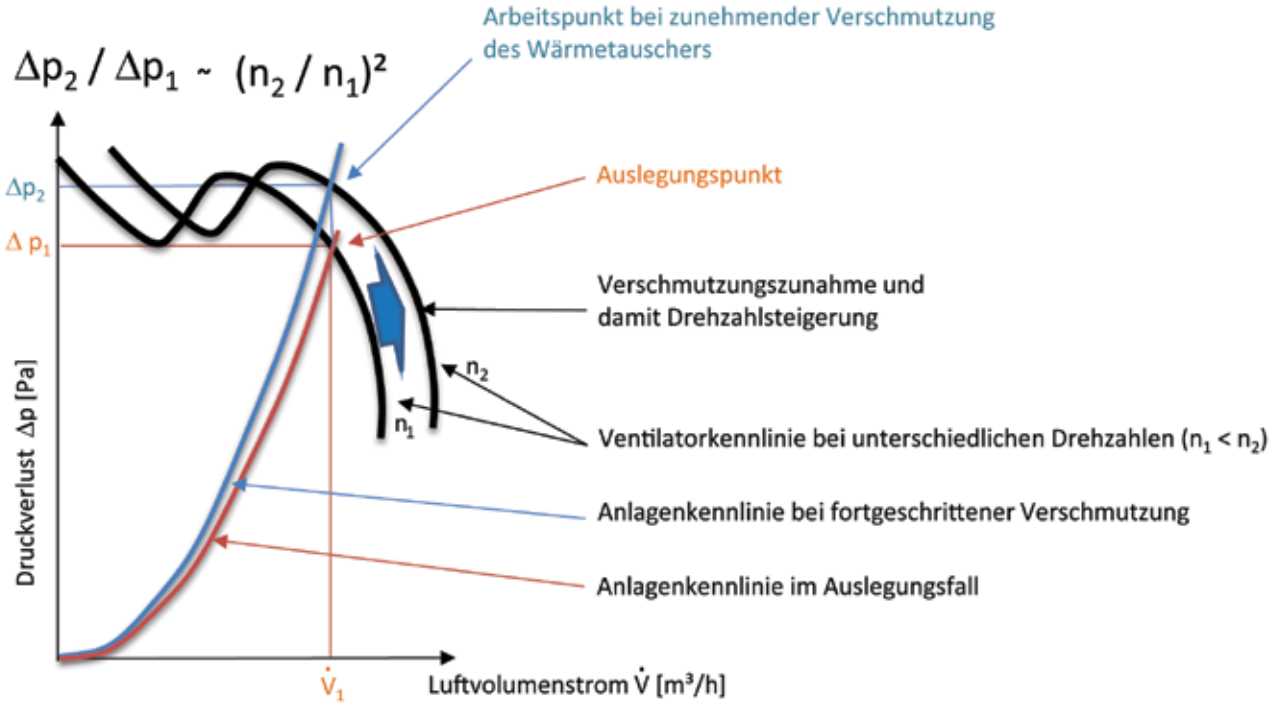


Bild 9b: Anstieg der Ventilatordrehzahl bei steigendem Druckverlust über den Wärmetauscher auf Grund zunehmender Verschmutzung (Querschnittsverengung) des Wärmetauschers
- bei Ventilatoren mit Drehzahlregelung

2.2 Verringerung der übertragbaren Wärmeleistung

Rückkühlanlagen erreichen ihre volle Leistung nur bei sauberer Oberfläche der Wärmetauscher. Ablagerungen auf den Wärmetauscherflächen wirken wie eine Isolierschicht und führen zu einer deutlichen Verringerung des Wärmeübergangs von den Lamellen an die Umgebungsluft.

Die isolierende Wirkung zeigt sich deutlich beim Vergleich der spezifischen Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] typischer Ablagerungen zu Aluminiumblech:

- Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ von Aluminiumblech *1: 200 W/(m*K)
- Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ von Staub *2: 0,3 W/(m*K)
- Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ von Öl *3: 0,13 bis 0,15 W/(m*K)
- Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ von Kesselstein *4: 0,08 bis 2,3 W/(m*K)

*1 (aus: http://www.crtib.lu/Leitfaden/content/DE/116/C448/)
*2 (aus: http://www.chemin.de/Publikationen/PDF/vo-17-0.pdf)
*3 (aus http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitfähigkeit)
*4 (aus VDI-Wärmeatlas 6. Auflage Ausgabe 1991, Cb 6)

Wie zu erkennen ist, weist Staub eine fast um den Faktor 700 und Öl sogar um den Faktor 1.400 niedrigere Wärmeleitfähigkeit auf, als Aluminiumblech. Mit steigender Schichtdicke nimmt die isolierende Wirkung der Ablagerungen zu und die Leistung der Rückkühler entsprechend ab.

Der Einfluss der isolierenden Wirkung der Verschmutzung der luftseitigen Oberflächen der Wärmetauscher auf den Wärmeübergang wird mit dem Foulingwiderstand Rf [m²K/W] berücksichtigt. Der Foulingwiderstand Rf verhält sich proportional zur Verschmutzungsdicke [δ mm] und umgekehrt proportional zur spezifischen Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] der Verschmutzung. Der Foulingwiderstand Rf berechnet sich dementsprechend nach der folgenden Gleichung

$$Rf = \delta/\lambda$$

Um den Einfluss der Verschmutzung auf die übertragene Wärmeleistung von Rückkühlern darzustellen, wurde dieser Einfluss mit Hilfe des Auslegungsprogrammes eines namhaften deutschen Rückkühlerherstellers an einem Wärmetauscher mit 2,4 mm Lamellenteilung ermittelt. Bei einer angenommenen

- isolierenden Öl-Staubschichtdicke auf den Lamellen von 0,5 mm und einer angenommenen
- Reduzierung des Luftvolumenstromes um 30 %

ergibt sich in diesem Fall eine Minderung der übertragenen Wärmeleistung von 30 %.

Versuche, einen <u>exakten</u> messtechnischen Nachweis des Reinigungseffektes auf die Leistung der Wärmetauscher vor und nach der Reinigung zu führen, zeigten, daß dies kaum möglich. Die Ursache hierfür liegt darin, dass in der Praxis ein (für entsprechende Messungen erforderlicher) stationärer Anlagenbetrieb nicht realisierbar ist, weil sich zum einen die Luft- und Flüssigkeitsmengen des Rückkühlers lastabhängig ständig ändern und zum anderen die klimatischen Außenluftverhältnisse unbeeinflussbar schwanken.

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

2.3 Erhöhung der elektrischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, verringert sich durch Schmutzablagerungen auf den Wärmetauscherflächen der frei durchströmbare Querschnitt der Wärmetauscher und der Luftvolumenstrom würde normalerweise sinken. Beim Einsatz von drehzahlgeregelten Ventilatoren wird dieser jedoch, soweit möglich, wieder erhöht, um z.B. die geforderte Mediumaustrittstemperatur zu erreichen. Dabei steigt die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren in der 3. Potenz mit der Drehzahl bzw. mit dem Volumenstrom entsprechend folgender Gleichung:

$$P_{elektr.2} / P_{elektr.1} \sim (n_2 / n_1)^3 \sim (\dot{V}_2 / \dot{V}_1)^3$$

Dies bedeutet, dass für den Ausgleich des durch Schmutzablagerungen verringerten Luftvolumenstromes eine in der 3. Potenz höhere elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators erforderlich ist.

2.4 Substanzverlust / -schädigung durch korrosiven Angriff der Lamellen

Eine besonders große Gefahr stellt die Substanzschädigung der Wärmetauscher-Lamellen durch korrosiven Angriff von Schmutzablagerungen dar. Die Ursache für diese Substanzschäden bzw. Materialverluste an den Lamellen der Wärmetauscher liegt erfahrungsgemäß vor allem in der langfristigen Ablagerung von partikulären Schmutzstoffen (wie z.B. Staub) und daran adsorbierten gasförmigen Inhaltsstoffen aus der Luft. Werden die Ablagerungen nicht durch Reinigung regelmäßig und vollständig entfernt, reichern sich diese mit den daran adsorbierten Luftinhaltsstoffen, wie z.B. SOx, NOx etc. auf den Lamellen an. Bei Auftreten von Feuchtigkeit (z.B. durch angesaugten Nebel, Regen, Schnee, bei Kondesatanfall oder bei zusätzlicher Befeuchtung im Sommer) gehen diese Stoffe in Lösung und bilden aggressive Säuren bzw. Basen, welche die empfindlichen Aluminiumlamellen chemisch angreifen und zu den o.g. irreversiblen Korrosionsschäden bzw. Materialverlusten führen (siehe Bild 10).

In Sonderfällen, wenn die Leistung der Rückkühler nicht mehr ausreicht, z.B. bei Erhöhung der Rückkühl-Leistungsanforderung durch Anlagenerweiterungen oder bei unzureichender Reinigung, werden Wärmetauscher zur Leistungssteigerung mit Wasser in unterschiedlichen Wasserqualitäten besprüht. In diesen Fällen führen Schmutzablagerungen auf den Wärmetauschern zu der Notwendigkeit längerer Besprühzeiten und infolge dessen zu erhöhten Besprühwassermengen. Folglich fallen höhere Betriebskosten für Strom und für die Bereitstellung des Besprühwassers an. Zum anderen kann es wie oben bereits erläutert durch die Schmutzablagerungen in Verbindung mit dem Besprühwasser zu einem verstärkten korrosiven Angriff der Lamellen und dadurch zu einem frühzeitigen Anlagenverschleiß, auch an vom Besprühwasser ungewollt erreichten peripheren Anlagen (z.B. Schaltschränken) kommen.

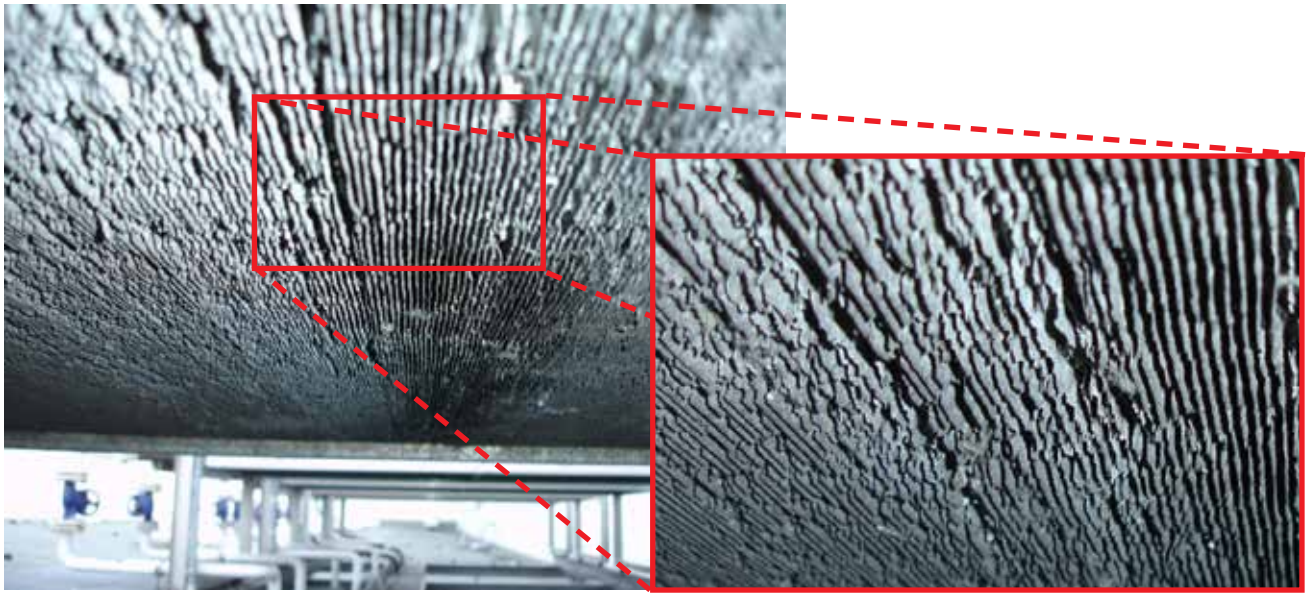


Bild 10: Substanzverlust an den Lamellen des Wärmetauschers (Anströmseite) eines horizontalen Rückkühlers (Tisch-Rückkühler)

Ein anderer Grund für Korrosion mit folgendem Substanzverlust an den Lamellen ist die Befeuchtung der Wärmetauscher mit ungeeigneten Wässern und nicht vorhandenem Korrosionsschutz der Lamellen. Eine solche Befeuchtung erkennt man meist an den Salz-, Kalk- und Gipsablagerungen auf den Lamellen.

2.5 Gefahr von Anlagenausfällen

Akkumulieren sich die Schmutzablagerungen auf den Wärmetauschern in Rückkühlern und werden nicht regelmäßig durch Reinigung entfernt, kann es auf Grund der dargestellten Zusammenhänge zu einer derart starken Abnahme der Leistung der Rückkühler kommen, dass die geforderte „Mindestleistung“ nicht mehr erreicht wird. Die Folge davon können schwerwiegende Schäden sein, wie z.B.

- der Ausfall von Servern („Den Rechenzentren droht der Hitzeschlag“, Dowideit Martin, Welt online, 19.05.2007) und sonstigen elektronischen bzw. elektrischen Geräten,
- der Ausfall von temperaturabhängigen Produktionsprozessen, z.B. in Stahlwerken oder in der Chemieindustrie,
- die Über- bzw. Unterschreitung der erforderlichen Lufttemperatur in Räumen, in denen sich Menschen oder Tiere aufhalten bzw. in denen Pflanzen aufgestellt sind, mit der Folge von gesundheitlichen Beschwerden oder Erkrankungen,
- die Störung oder der Ausfall von Laboruntersuchungen,
- der Verfall von Lebensmitteln oder sonstigen organischen Substanzen,
- Ausfall der Kälteanlagen an heißen Sommertagen bei Lebensmittelhändlern und dadurch Notwendigkeit des sofortigen Abverkaufes der Kühlwaren.

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

3. Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern

Um die o.g. Mängel bzw. Gefahren 2.1 - 2.5 zu vermeiden und um einen dauerhaft einwandfreien Betrieb sowie die volle Leistung der Rückkühlanlagen zu ermöglichen, ist eine regelmäßige vollflächige und tiefengründliche Reinigung der Wärmetauscher erforderlich. Wie die Praxis zeigt, treten jedoch bei der Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern eine Reihe von Problemen auf. Im Folgenden wird zunächst auf die Problemstellungen bei der konventionellen Reinigung von Wärmetauschern mit Hilfe von Wasser-Hochdruckreinigern nach dem Ein-Strahl-Prinzip eingegangen. Anschließend wird das zur Lösung der o.g. Probleme neu entwickelte und patentierte Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren vorgestellt.

3.1 Konventionelle Reinigung nach dem Ein-Strahl-Prinzip

Die Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlanlagen erfolgt heutzutage konventionell mit Hilfe von Wasser-Hochdruckreinigern nach dem Ein-Strahl-Prinzip (siehe Bild 11). Hierbei wird ein einzelner Hochdruck-Wasserstrahl auf die zu reinigenden Wärmetauscher gerichtet. Wie sich in der Praxis zeigt, treten bei Anwendung dieses Verfahrens eine Reihe von Problemen auf, für die bisher keine befriedigenden Lösungen vorhanden waren und die daher im Folgenden näher erläutert werden sollen.

3.1.1 Beschädigungsgefahr der Lamellen

Bei der Reinigung von Wärmetauschern nach dem Ein-Strahl-Prinzip kommt es in der Praxis häufig zu Beschädigungen der empfindlichen Lamellen. Die Ursache für diese Beschädigungen liegt darin, dass zur Ablösung und zum Austrag der Schmutzablagerungen im Inneren der Wärmetauscher ein Wasserstrahl benötigt wird, der den Wärmetauscher durchdringt und auf der (der Reinigungsseite) gegenüberliegenden Seite auch noch als Strahl austritt. Hierzu muss der Wasserstrahl in geringem Abstand auf die Wärmetauscher gerichtet werden. Beim Auftreffen des harten Wasserstrahls auf die empfindlichen Wärmetauscher-Lamellen aus dünnem Aluminiumblech (i.d.R. Stärke 0,12 – 0,3mm) werden diese zum Teil irreversibel verbogen bzw. beschädigt, bevor es zu einer durchgängigen Reinigung der Wärmetauscher kommen kann. Die Fotos 12a und 12b zeigen typische Beschädigungen von Wärmetauschern infolge der Reinigung nach dem Ein-Strahl-Prinzip. Auf Grund der dargestellten Gefahr der Lamellenschädigung sind insbesondere Wärmetauscher mit kleinen Lamellenabständen (< 3 mm) und höherer Rohrreihenzahl (> 3 Rohrreihen) mit Hilfe konventioneller Reinigungsverfahren nach dem Einstrahl-Prinzip nicht bzw. nur sehr eingeschränkt reinigbar.

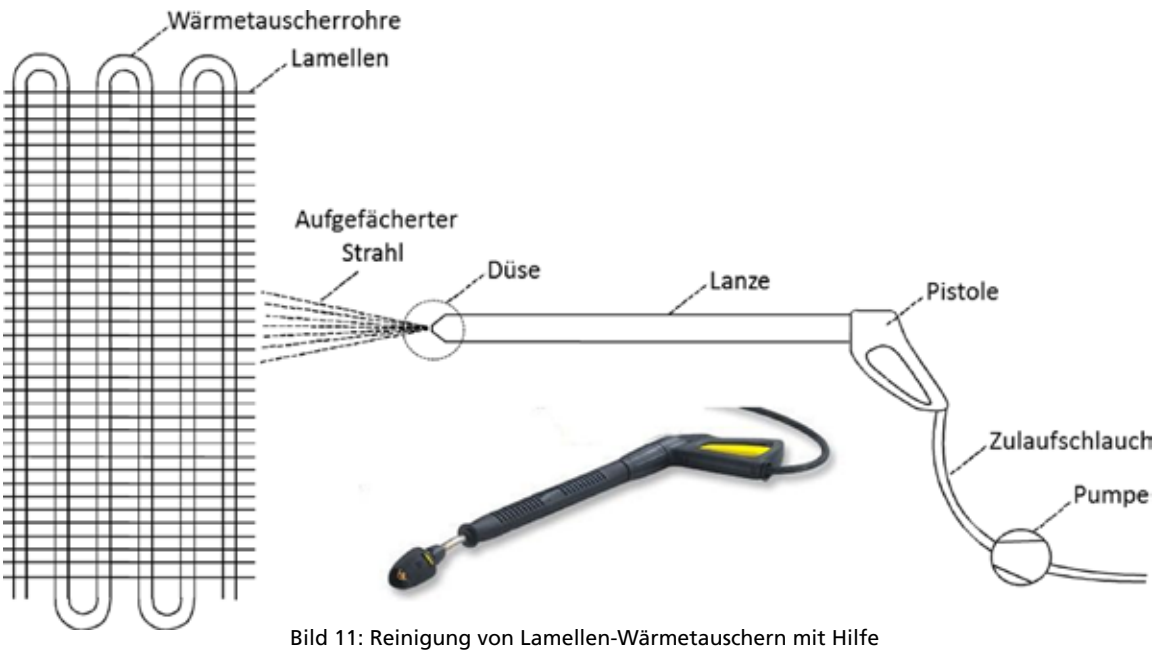


Bild 11: Reinigung von Lamellen-Wärmetauschern mit Hilfe konventioneller Verfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip

Bild 12a

Bild 12b

Bild 12a, b: Deformation von Wärmetauscher-Lamellen eines Rückkühlers durch Reinigung mit Hilfe konventioneller Verfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip

Um die dargestellte Beschädigungsgefahr der empfindlichen Lamellen bei der Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern zu vermeiden, werden von den Herstellern von Rückkühlern bei Anwendung konventioneller Reinigungsverfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip eine Reihe von Anforderungen gestellt. Ein führender Hersteller fordert z.B. in den Betriebsanleitungen für die zu reinigenden Rückkühler die Einhaltung folgender Vorgaben (siehe hierzu auch Bild 13):

- Wasserdruck: maximal 50 bar mit Flachstrahldüse
- Mindestabstand der Reinigungsdüse von den Wärmetauscher-Lamellen: mind. 20 cm
- Winkel des Reinigungswasserstrahls zu den Lamellen: max. ± 5 Grad Abweichung
- Reinigung entgegengesetzt zur Luftrichtung

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

Bei Wärmetauschern mit beschichteten Lamellen besteht zusätzlich die Gefahr, dass es zu einer Ablösung der Beschichtung und infolge dessen zum Verlust der Schutzschicht kommt, wenn der Reinigungswasserstrahl direkt auf die Schnittkante an den Lamellenenden gerichtet wird. Deshalb müssen an die Reinigung von Rückkühlern mit beschichteten Lamellen, wie sie z.B. im Kraftwerksbereich eingesetzt werden, bei Anwendung konventioneller Reinigungsverfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip besonders hohe Anforderungen an den Reinigungswasserstrahl gestellt werden, wie z.B. sehr niedriger Wasserdruck, aufgefächerter Wasserstrahl etc.

3.1.2 Eingeschränkte Reinigungsmöglichkeit

Unter Beachtung der im vorangegangenen Kapitel erläuterten herstellerseitig vorgegebenen Reinigung kann der Wärmetauscher mit Hilfe konventioneller Reinigungsverfahren nach dem Ein-strahl-Prinzip nur zu einem geringen Flächenanteil, und zwar nur im Bereich der Ventilatoröffnung gereinigt werden. Dieser Zusammenhang ist in Bild 13 anschaulich dargestellt.

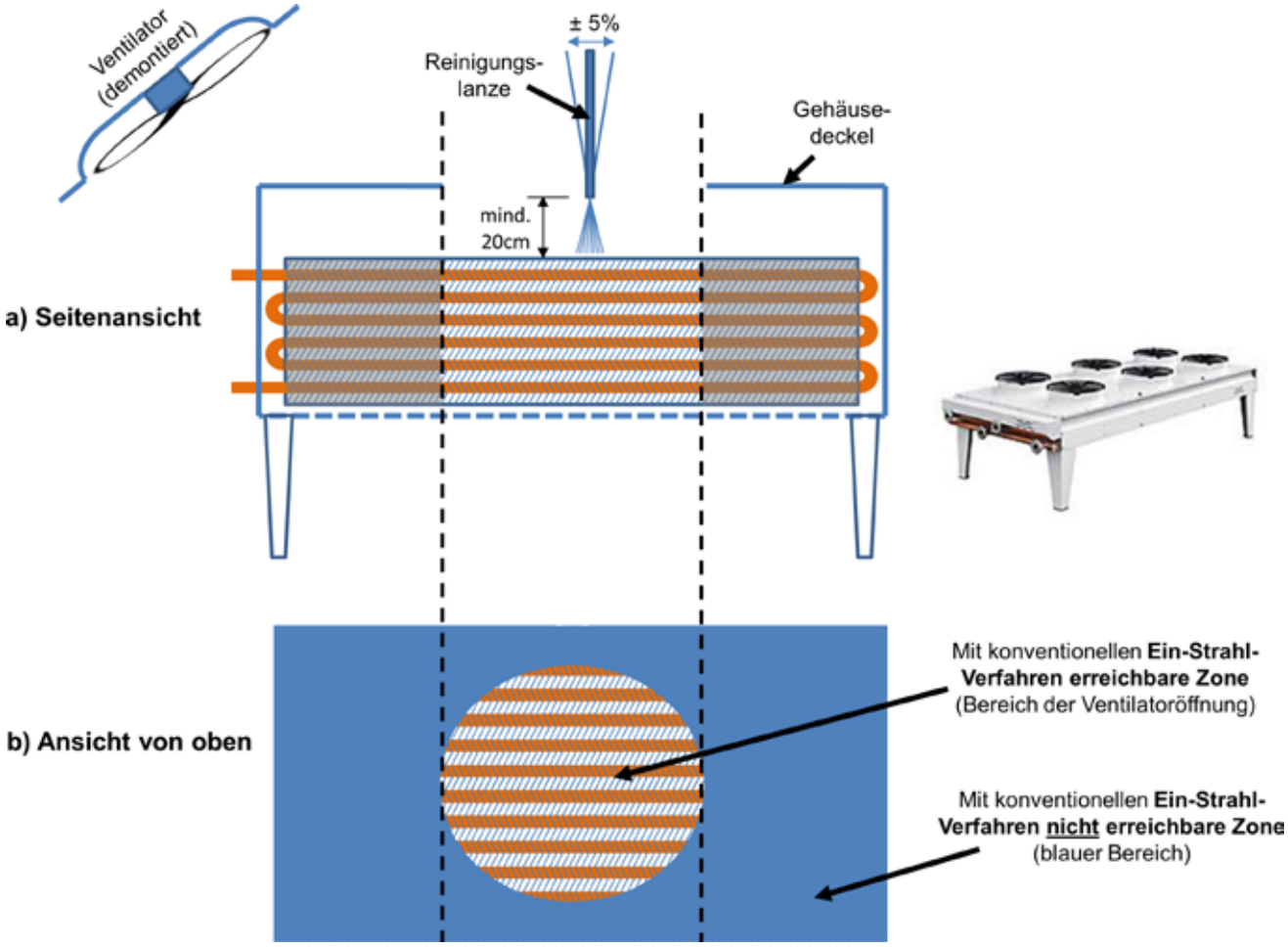


Bild 13: Rückkühlanlage (schematisch) in der Seitenansicht (a) bzw. in der Ansicht von oben (b) mit Darstellung des mit konventionellen Reinigungsverfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip erreichbaren Bereiches der Wärmetauscher (= Bereich der Ventilatoröffnung)

Wie Bild 13 zeigt, können mit Hilfe konventioneller Reinigungsverfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip unter Beachtung der Vorgaben der Gerätehersteller nur ca. 1/4 bis 1/2 der Wärmetauscherfläche gereinigt werden. In den nicht erreichbaren Zonen (siehe blau markierter Bereich) werden die dort abgelagerten Luftverunreinigungen nicht entfernt. Infolge dessen reichern sich die Schmutzstoffe in diesen Bereichen an und können zu den in Kap. 2 beschriebenen Problemen bzw. Gefahren führen.

3.2 Neu entwickeltes Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren

Um die dargestellten Nachteile des Ein-Strahl-Reinigungsverfahrens bzgl.

- Beschädigungsgefahr der Lamellen,
- nicht durchgängiger Tiefenreinigung,
- enger Winkeltoleranzen und
- zumeist nicht vorhandener vollständiger Zugänglichkeit zu den Wärmetauschern
- im Wärmetauscher zurückbleibende Schmutzablagerungen
- Substanzschäden an den Wärmetauscherlamellen durch Schmutzablagerungen

zu vermeiden und Wärmetauscher in Rückkühlanlagen schonend sowie tiefengründlich und vollflächig reinigen zu können, wurde das Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren entwickelt und patentrechtlich geschützt.

3.2.1 Vermeidung von Beschädigungen

Durch die Aufteilung des Hochdruck-Wasserstrahls und das gezielte Einleiten der Wasserstrahlen in die Lamellenzwischenräume werden Beschädigungen an den empfindlichen Lamellen (durch Deformation) verfahrenstechnisch sicher vermieden. Die besondere Strahlausbildung ermöglicht dabei in Abhängigkeit der Lamellenteilung und -form sowie der Rohranordnung und -teilung einen sehr guten Austrag der Verschmutzungen aus den Wärmetauschern mit bis zu 12 Rohrreihen und ggf. auch mehr (siehe Bild 14a, b).

Wegen der o.g. Abhängigkeiten und der unterschiedlichen Verschmutzungsarten der Wärmetauscher kann eine verbindliche Aussage zum Durchdringungsverhalten des Reinigungsstrahls teilweise erst nach einem Reinigungsversuch getroffen werden.

14a: Aufgegebener Reinigungswasserstrahl

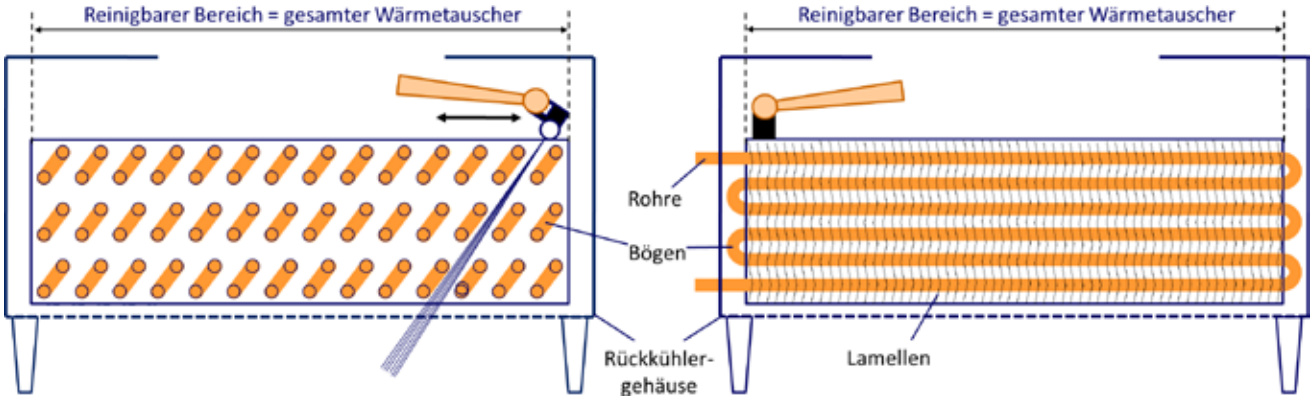
14b: Austretender Reinigungswasserstrahl

Bild 14: Reinigung eines Lamellen-Wärmetauschers mit 12 Rohrreihen (versetzt) mit Hilfe des Mehr-Strahl-Reinigungsverfahrens *„Protect“*

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

3.2.2 Vollflächige Tiefenreinigung der Wärmetauscher

Durch die spezielle Reinigungsvorrichtung, welche manuell direkt auf die Oberfläche der Wärmetauscher aufgesetzt wird, können die Wärmetauscher vollflächig, d.h. über die gesamte Querschnittsfläche auf der An- und Abströmseite, ohne Gefahr der Beschädigung der empfindlichen Aluminiumlamellen tiefengründlich gereinigt werden (siehe Bilder 15a und b).



a) Ansicht Rückkühler von der Stirnseite

b) Ansicht Rückkühler von der Längsseite

Bild 15: Mit dem neu entwickelten Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren reinigbarer Bereich von Wärmetauschern in Rückkühlern (= vollflächige Reinigung)

Nach Abschluss der Reinigung der Wärmetauscher von der Abströmseite her erfolgt die Reinigung von der Anströmseite her.

3.2.3 Qualität und Verfahrensvarianten zum Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren

Die Reinigung wird solange durchgeführt, bis die Wärmetauscher optisch sauber sind (siehe Bild 16a bis 16d) und aus den Wärmetauschern kein Schmutz mehr ausgespült wird, d.h. bis das austretende Reinigungswasser klar ist.

Das Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren steht in den beiden folgenden Varianten zur Verfügung, welche je nach Verschmutzungsgrad und -art zum Einsatz kommen:

„Basic“: Verfahren zur schonenden Tiefenreinigung von Lamellen- und Rippen-Wärmetauschern ohne Beschädigung der Lamellenenden.

„Protect“: Verfahren zur schonenden Tiefenreinigung von Lamellen- und Rippen- Wärmetauschern mit zusätzlichem Schutz besonders empfindlicher Lamellenenden (z.B. sehr dünne oder beschichtete Lamellen).

Weiterhin kann das Verfahren durch den wahlweisen Einsatz von Warmwasser sowie der Zugabe von neutralen Reinigungsmitteln an die spezifischen Anforderungen der einzelnen Rückkühler angepasst werden.

Bild 16a: Wärmetauscher des Rückkühlers 1 gemäß Bilder 5a - c nach der Reinigung

Bild 16b: Wärmetauscher des Rückkühlers 1 gemäß Bilder 5a - c nach der Reinigung (Detail zu Bild 16a)

Bild 16c: Wärmetauscher nach der Reinigung

Bild 16d: Anströmseite eines KVS-Wärmetauschers einer Abluftanlage eines Produktionsbetriebes vor, während und nach der Reinigung

Wie aus Bild 16d ersichtlich, lassen sich auch gewellte Lamellenschnittkanten mit dem Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren problemlos reinigen!

Durch den Einsatz des Mehr-Strahl-Reinigungsverfahrens werden selbst hartnäckigste Ablagerungen wie z.B. Öle, Fette und sogar Lackreste, Ruß, Verbrennungsrückstände sowie mikrobielle Kontaminationen entfernt. Hierdurch ergeben sich für den Betrieb der Rückkühler die folgenden Vorteile:

- Weitestgehende bis vollständige Wiederherstellung der Wärmetauscherleistung
- Minimierung des Differenzdrucks und dadurch Erhöhung des Luftdurchsatzes
- Erhaltung der Anlagensubstanz durch schonende Tiefenreinigung
- Senkung der Instandhaltungskosten
- Behebung von Hagelschlag und Montageschäden

Praxiserfahrungen haben auch ergeben, dass das Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren auch zum Entfernen von Ablagerungen wie z.B. Salz, Kalk und z.T. Gips an mit ungeeigneten Wässern befeuchteten Wärmetauschern geeignet ist, ohne Einsatz chemischer Zusätze Bzgl. der Entkalkung von Wärmetauschern siehe Teil 2 „Entkalkung von Wärmeübertragern in Rückkühlanlagen“ der Fachaufsatzreihe „Reinigung und Entkalkung von Wärmeübertragern“.

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

3.2.4 Praxisbeispiel zum Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren

Durch die tiefengründliche Reinigung wird neben der weitgehenden Wiederherstellung der ursprünglichen Wärmetauscherleistung auch das Trägheitsverhalten der Wärmetauscher wesentlich verbessert. Dieser Effekt wurde bei der Reinigung der Wärmetauscher im Windkanal eines namhaften deutschen Premium-Automobilherstellers besonders deutlich. Hier müssen innerhalb von möglichst kurzen Zeitintervallen unterschiedliche Lufttemperaturen z. B. von + 40°C auf – 20°C realisiert werden. Durch die Reinigung konnte die Dauer des Abkühlprozesses (Konditionierung) um 18% verkürzt werden. Dadurch erhöht sich gleichzeitig die Verfügbarkeit des Versuchsstandes entsprechend. Aus der Verkürzung des Abkühlprozesses resultiert eine entsprechende Einsparung an Kälteleistung und der dazu erforderlichen Elektroenergie für Verdichter, Pumpen und Ventilatoren sowie eine Kühlwassereinsparung.

3.2.5 Strömungstechnische Sanierung verbogener Lamellen

Verbogene Lamellen der Wärmetauscher müssen vor der Reinigung mittels Wasser-Hochdruckreinigern korrigiert werden, da einerseits die Beschädigungen durch den Reinigungswasserstrahl verstärkt werden können und andererseits die Wärmetauscherbereiche hinter verbogenen Lamellenenden nicht gereinigt werden können.

Die Korrektur der verbogenen Lamellenenden („Strömungstechnische Sanierung“) erfolgt mit Hilfe des hierfür speziell entwickelten Vorkämmverfahrens. Dieses Verfahren ermöglicht die optimale und sehr schonende Korrektur der in der Vergangenheit aus den unterschiedlichsten Gründen vorgeschädigten Lamellen. Aufgrund des speziellen Kammkopfes werden die Lamellen sehr schonend korrigiert und soweit wie möglich in ihre ursprüngliche Ausgangsform zurück versetzt. Eine Beschädigung der Lamellen durch den Kämmprozeß wird durch die spezielle Konstruktion des Kammkopfes sowie durch die Auswahl eines Werkstoffes mit geringer Härte als Aluminium vermieden bzw. minimiert.

4. Zusammenfassung

Während des Betriebes von Rückkühlern lagern sich auf den Wärmetauschern Schmutzstoffe aus der Luft ab. Diese Ablagerungen führen zu einer Reihe von Nachteilen, vor allem der Verminderung der Leistung der Rückkühler sowie zu der Gefahr der mittel- bis langfristigen Schädigung der Anlagensubstanz durch Korrosion. Zur Vermeidung dieser Gefahren ist die regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher erforderlich. Mit Hilfe konventioneller Verfahren nach dem Ein-Strahl-Prinzip ist die Reinigung der Wärmetauscher jedoch zumeist nur sehr unzureichend möglich und es besteht die Gefahr der Beschädigung der empfindlichen Lamellen durch Deformation.

Zur Vermeidung der o.g. Nachteile bzw. Gefahren wurde das Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren entwickelt. Mit Hilfe dieses patentierten Verfahrens ist eine tiefengründliche, vollflächige und substanzerhaltende Reinigung von Wärmetauschern in Rückkühlern möglich, i.d.R. ohne Verwendung von Chemie.

Durch die Reinigung nach dem Mehr-Strahl-Reinigungsverfahren werden die folgenden Vorteile erreicht:

- Weitestgehende bis vollständige Wiederherstellung der Wärmetauscherleistung in Abhängigkeit von der Art der Verschmutzungen und der Anlagenvorschädigungen
- Wiederherstellung des minimalen Differenzdruckes und dadurch maximaler Luftdurchsatz bzw. minimaler Ventilatorenergiebedarf
- Erhaltung und Sanierung der Anlagensubstanz durch schonende Tiefenreinigung ohne Beschädigung der empfindlichen Lamellen
- Senkung der Instandhaltungskosten
- Behebung von Hagelschlag und Montageschäden

Wie aus der Beschreibung des Mehr-Strahl-Reinigungsverfahrens erkennbar ist, erfordert die systematische, vollflächige, tiefengründliche und substanzerhaltende Reinigung auch einen entsprechenden Aufwand, um diese Reinigungsergebnisse zu erreichen.

Durch den Einsatz des Mehr-Strahl-Reinigungsverfahrens werden gleichzeitig die gesetzlichen Vorschriften der EnEV, Abschnitt 3, §11, Abs. 3 erfüllt.

© G. Lang, M. Möritz, Kontakt: referat.rk@thd.info

Autoren:
Dipl.-Ing. Günter Lang, Greiz, Ingenieurbüro Lang - www.ib-lang.de,
Dr.-Ing. Martin Möritz, Berlin, THD Technischer Hygiene Dienst GmbH - www.thd.info

Kontakt zu den Autoren: referat.rk@thd.info

Sämtliche Inhalte, Fotos, Texte und Grafiken des vorliegenden Fachaufsatzes sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung weder ganz noch auszugsweise kopiert, vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

All contents, photos, texts and graphic arts are protected by copyright. They may be copied, reproduced or be published not without previous written approval neither completely nor in extracts.

© G. Lang, M. Möritz