

# Online-Reinigung von Kondensatorrohren

W. Czolkoss

Taprogge Gesellschaft mbH, Wetter (Ruhr)

## Kurzfassung

Die Online-Reinigung von Turbinenkondensatoren mit Schwammgummikugeln (TAPROGGE-Verfahren) ist Stand der Technik zur Vermeidung kühlwasserseitiger Ablagerungen in den Rohren geworden. Für die unterschiedlichen Verschmutzungsprobleme wurden verschiedene Reinigungskugeln entwickelt. Die Wirksamkeit des Verfahrens wird neben der richtigen Auswahl der Reinigungskugeln auch vom richtigen Betrieb der Anlage und der störungsfreien Funktion aller Komponenten bestimmt.

Nach einer Beschreibung der unterschiedlichen Verschmutzungsprobleme wird in diesem Beitrag ein kurzer Überblick über die verschiedenen Lösungsansätze und die historische Entwicklung gegeben. Anschließend wird das TAPROGGE-Verfahren und die Auswahl der unterschiedlichen Reinigungskugeln für den jeweiligen Anwendungsfall erläutert. Danach wird auf mögliche Störungen und Fehler beim Betrieb der Anlagen eingegangen. Es werden Hinweise und Empfehlungen für die Störungsbeseitigung und die Überwachung und Optimierung der Rohrreinigung gegeben.

## 1. Verschmutzungsprobleme in Kondensatorrohren

Auf der kühlwasserseitigen Oberfläche der Kondensatorrohre können während des Betriebs Ablagerungen und Deckschichten entstehen, die den Wärmeübergang behindern und Korrosionsschäden verursachen. Diese unerwünschten Verschmutzungen werden auch als Fouling bezeichnet. Die wesentlichsten Foulingmechanismen sind:

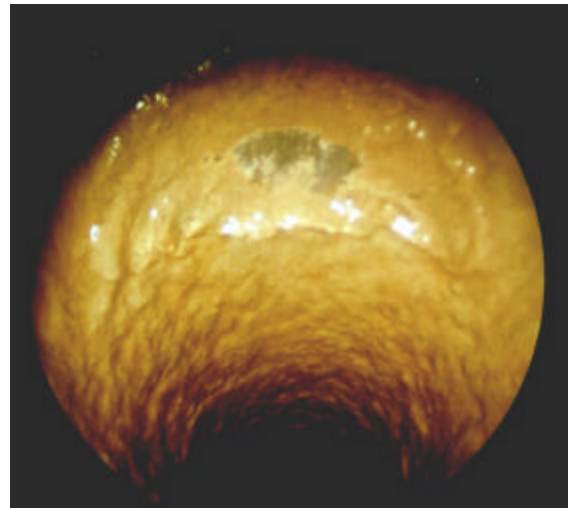
### *Ablagerung von Schwebstoffen aus dem Kühlwasser*

Die Ablagerung von Schwebstoffen ist im wesentlichen abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit und von der Schwebstoffkonzentration des Kühlwassers.

Die Strömungsgeschwindigkeit sollte 1,5 m/s nicht unterschreiten, bei Feststoffgehalten > 15 mg/l ist eine kontinuierliche Rohrreinigung erforderlich [1].

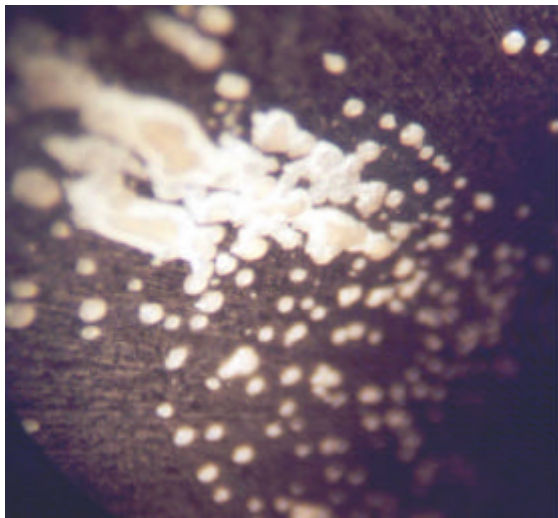
### *Biologische Verschmutzung (Biofouling)*

Besonders bei Titan- und Edelstahlrohren kommt es zur Besiedelung der Rohroberfläche mit Mikroorganismen, die schleimige Beläge erzeugen und den Wärmeübergang drastisch verschlechtern. Bei Edelstählen kann Lochkorrosion hervorgerufen werden. Kupferlegierungen sind wegen der toxischen Wirkung des Kupfers weniger betroffen [3, 4].

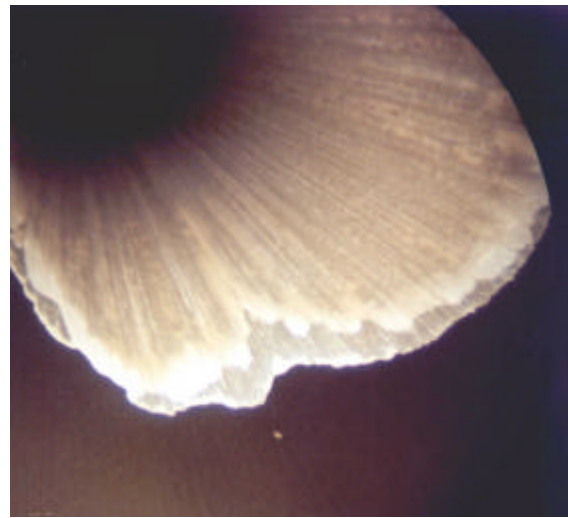


### *Auskristallisation von Salzen (Scaling)*

Bei Überschreiten des Lösungsgleichgewichts, z. B. durch die Temperaturerhöhung im Kondensatorrohr, können Salze auskristallisieren und sehr harte Ablagerungen bilden. Typisches Beispiel sind Kalziumkarbonatablagerungen.



*beginnende Kalziumkarbonatabscheidung*



*harte Kalziumkarbonatschicht*

### *Korrosionsprodukte*

Bei Kupferlegierungen kann es zur Ausbildung unerwünscht dicker Oxidschichten und Ablagerungen anderer Korrosionsprodukte kommen, die den Wärmeübergang behindern und Lokalkorrosion verursachen [2, 5].

## 2. Übersicht über Reinigungsverfahren

### 2.1 Offline-Verfahren

Durch verschiedene Offline-Verfahren lassen sich im Betrieb entstandene Ablagerungen entfernen. Diese Verfahren erfordern ein Abfahren der Turbine und Entleeren des Kondensators und sind daher nur während Revisionen oder Betriebsstillständen anwendbar. Die Kosten für diese Reinigungen können 5,- DM/Kondensatorrohr überschreiten. Dazu kommen die bereits im Betrieb entstandenen Verluste und Korrosionsschädigungen und Einschränkungen der Verfügbarkeit.

#### *Spülen*

Durch das Spülen einzelner Rohre mit Druckwasser (Frischwasser) lassen sich Salzreste und – bei ausreichendem Druck – bedingt auch lose Schlammablagerungen entfernen. Rohrverstopfungen werden beseitigt. Fester haftende Ablagerungen, Biofouling, Scaling und Korrosionsprodukte werden durch Spülen nicht entfernt.

#### *Durchschießen von Projektilen*

Es gibt verschiedene Verfahren, bei denen Bürsten, Kunststoffkörper oder Metallschaber mit Preßluft oder Druckwasser durch die Kondensatorrohre geschossen werden. Damit lassen sich auch fester haftende Ablagerungen suspendierter Stoffe und bedingt auch schleimiges Biofouling entfernen.

Die Entfernung von Scaling und Korrosionsprodukten ist nur bedingt möglich. Die dazu verwendeten metallischen Schaber können zu Beschädigungen der Rohroberfläche führen, durch die erneute Ablagerungen verstärkt werden.

#### *Hochdruckreinigung*

Bei der Wasserstrahl-Hochdruckreinigung werden Sonden durch das Rohr geschoben, aus denen ein oder mehrere Wasserstrahlen mit sehr hohem Druck (bis ca. 1000 bar) austreten. Damit lassen sich auch starke Scalingschichten entfernen, wenn die HD-Reinigung sorgfältig durchgeführt wird (langsamer Vorschub der Sonde, ausreichender Druck).

#### *Beizen*

Das Beizen dient der Entfernung von Scalingschichten und Korrosionsprodukten mittels organischer oder anorganischer Säuren. Da die Durchführung der Beizung und die Entsorgung der Beizlösung bei großen Turbinenkondensatoren meist sehr problematisch ist, werden Beizungen hier nur noch selten durchgeführt.

### *Aufbohren*

Wenn harte Verkrustungen (z.B. Kalziumkarbonat) über 1 mm Schichtdicke aufgewachsen sind, kann ein mechanisches Aufbohren die letzte Lösung zu ihrer Entfernung sein. Dafür wurden spezielle Werkzeuge und Verfahren entwickelt. Es besteht jedoch immer die Gefahr der Beschädigung der Rohre.

## **2.2 Online-Verfahren**

Durch die Online-Reinigungsverfahren soll während des Betriebes das Entstehen von Rohrverschmutzungen verhindert werden. Bei Turbinenkondensatoren wurden dafür im wesentlichen 3 Verfahren angewendet:

### *Bürstenverfahren (MAN-Verfahren)*

Bei diesem Verfahren werden an beiden Enden jedes einzelnen Kondensatorrohres Käfige aufgesetzt, in denen sich eine Bürste befindet. Diese Bürste wird durch Umkehr der Strömungsrichtung des Kühlwassers von diesem Käfig durch das Rohr in den anderen Käfig gespült und soll dabei das Rohr reinigen. Dieses Verfahren konnte sich aufgrund der geringen Reinigungswirkung, der erforderlichen regelmäßigen Strömungsumkehr und anderer Probleme nicht durchsetzen. Die installierten Systeme wurden durch TAPROGGE Systeme ersetzt.

### *ABEKA-Verfahren*

Bei diesem Verfahren werden harte, kugelförmige Reinigungskörper – im Durchmesser kleiner als der Innendurchmesser der Kühlrohre – mit dem Kühlwasser durch die Rohre gespült. Dabei sollen sie die Innenflächen durch wechselnde Wandberührung frei von Belägen halten. Durch ein Trichtersieb in der Kühlwasseraustrittsleitung werden die Kugeln aufgefangen, mit einer Pumpe abgesaugt und wieder in die Kühlwassereintrittsleitung eingespeist. Diese Anlagen waren im ehemaligen Ostblock verbreitet. Die Funktion und Reinigungswirkung war größtenteils unzureichend. Fast alle ABEKA-Anlagen wurden durch TAPROGGE-Systeme ersetzt.

### *TAPROGGE-Verfahren*

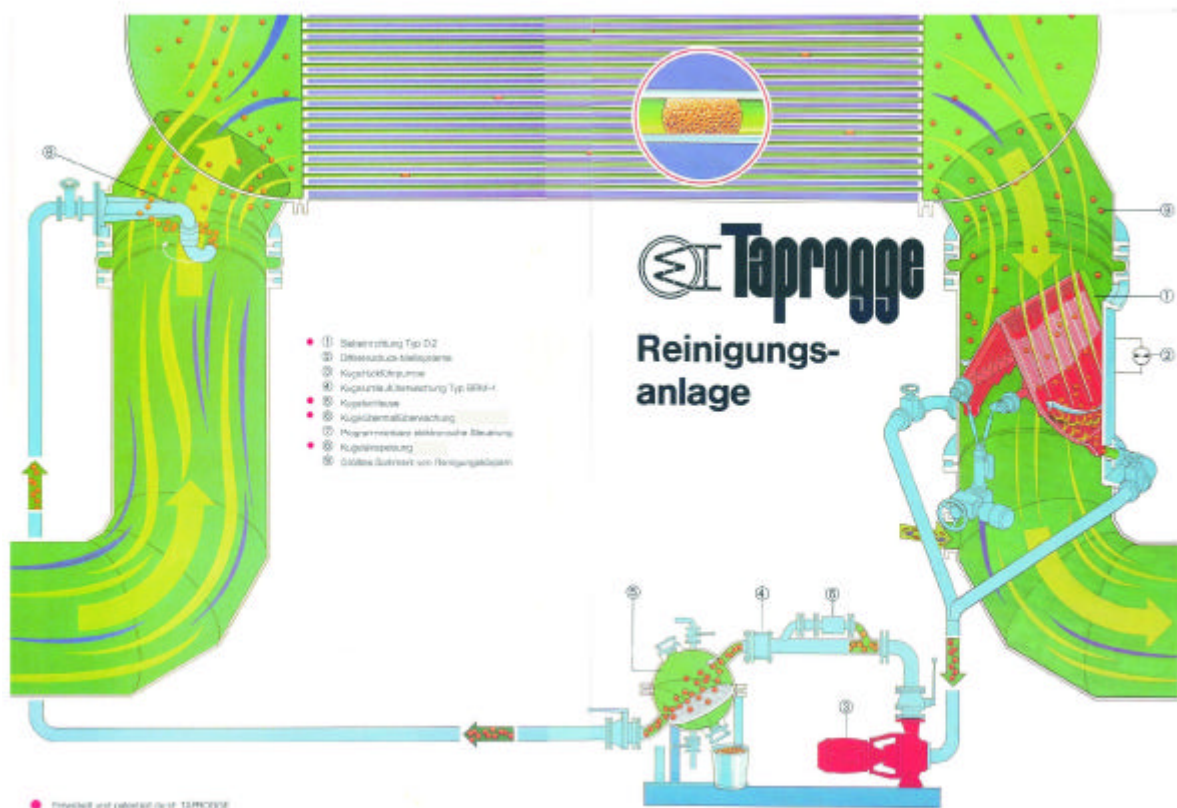
Das TAPROGGE-Verfahren wurden 1950 entwickelt und patentiert. Hier werden Reinigungskugeln aus elastischem Schwammgummi verwendet, die größer als der Kühlrohrinnendurchmesser sind. Da sie das Kühlrohr auf der ganzen Länge am vollen Umfang erfassen, ist ihre Reinigungswirkung erheblich besser als beim vorgenannten ABEKA-Verfahren. Die Siebe im Kühlwasseraustritt sind drehbar ausgeführt, so daß sie durch Rückspülen gereinigt werden können.

Das TAPROGGE Verfahren hat sich weltweit durchgesetzt und stellt heute den Stand der Technik dar. Im folgenden wird daher nur noch auf dieses Verfahren näher eingegangen.

### 3. Das TAPROGGE-Verfahren

#### 3.1 Verfahrensbeschreibung

In den Kühlwasserstrom werden vor dem Kondensator Schwammgummikugeln eingespeist, die durch die Kondensatorrohre gespült werden. Ihr Durchmesser und ihre Härte sind so auf den Rohrrinnendurchmesser abgestimmt, daß der Differenzdruck zwischen Rohrein- und austritt sie durch das Rohr hindurchdrücken kann. Dadurch haben sie eine möglichst hohe Anpresskraft an die Rohrwand ohne im Rohr stecken zu bleiben.



In der Austrittsleitung ist eine Siebeinrichtung installiert, die die Kugeln zu einer Absaugung leitet. Diese Siebe sind beweglich ausgeführt und können durch Drehen rückgespült werden. Dadurch lassen sich Verschmutzungen entfernen, die sonst das Abfließen der Kugeln auf dem Sieb behindern.

Von der Absaugung werden die Kugeln durch eine spezielle Kugelrückförderpumpe in die Kugelschleuse geleitet. In Betriebsstellung gehen die Kugeln mit dem Kühlwasser durch die Schleuse hindurch zur Kugelspeisung. Durch Schließen eines Siebes bzw. einer Klappe



werden die Kugeln in der Schleuse aus dem Kühlwasserstrom herausgesiebt ("gefangen") und können anschließend entnommen und erneuert werden.

Die Anzahl der umlaufenden Kugeln (Schleusenfüllung) wird im allgemeinen so abgestimmt, daß jedes Kühlrohr alle 5 Minuten von einer Kugel gereinigt wird. In Abhängigkeit von der Umlaufzeit der Kugeln ergeben sich damit Schleusenfüllungen von etwa 10 % der Rohr-anzahl bei Einwege-Kondensatoren.

Die Reinigungsanlage wird in der Regel kontinuierlich betrieben, nur in Ausnahmefällen (z.B. Eisensulfatdosierung, gestörte Deckschichtbildung) diskontinuierlich, z. B. 1 Stunde pro Tag. Die Kugeln müssen, je nach Betriebsbedingungen und Zustand der Rohrrinnenfläche, normalerweise alle 2 – 4 Wochen erneuert werden. Weitere Hinweise dazu sind in [6] angegeben.

### 3.2 Reinigungskugeln

Für die verschiedenen Verschmutzungsprobleme und Anwendungsfälle wurde eine ganze Palette unterschiedlicher Reinigungskugeln entwickelt. Grundlage ist immer Schwammgummi aus vulkanisiertem Naturkautschuk. Andere Materialien haben sich für den Einsatz als Reinigungskugel nicht bewährt.



Durch Einmischung von Polier- oder Schleifmitteln und durch Beschichtungen lassen sich auch unterschiedlich starke abrasive Wirkungen erzeugen. Bei großen Wasserkammern kann durch Variation des spezifischen Gewichts der Kugeln ihre gleichmäßige Verteilung unterstützt werden. Für Anwendungen bei hohen Temperaturen (80 °C – 120 °C) oder chemisch belastetem Kühlwasser sind besondere Gummimischungen erforderlich. Zur Reinigung von Turbinenkondensatoren werden hauptsächlich folgende Kugeltypen eingesetzt:

#### *Schwammgummikugel*

Standardkugel für Rohre aus Kupferlegierungen bei salzarmen Kühlwässern ohne Neigung zu Scaling oder Biofouling. Schwammgummikugeln sind in 2 Varianten verfügbar: Beim Typ "S" ist die bei der Herstellung der Kugeln entstehende Haut an der Kugeloberfläche abgeschliffen. Bei Typ "L" ist diese Haut durch besondere Maßnahmen offenporig gestaltet und kann daher auf der Kugel verbleiben.

#### *Polierkugel*

Bei diesem Kugeltyp "P" ist ein feines Poliermittel in das Kugelmateriale eingemischt. Mit dem Verschleiß der Kugel gelangt immer wieder neues Poliermittel an die Kugeloberfläche und verstärkt die Reinigungswirkung. Außerdem wird eine polierende Wirkung auf der Rohroberfläche erzielt. Der Abtrag von Rohrmaterial ist vernachlässigbar gering.

Durch die verstärkte Reinigungswirkung beherrscht die Polierkugel auch Biofouling durch Mikroorganismen, wie es bei Titan- und Edelstahlrohren fast immer auftritt. Die normale Schwammgummikugel kann derartige Ablagerungen nicht entfernen.

Die Polierkugel ist daher die Standardkugel für Edelstahl- und Titanrohre. Außerdem wird sie bei Rohren aus Kupferlegierungen zur Glättung der Oberfläche bei erhöhtem Kugelverschleiß eingesetzt.

Wird zur Rohrglättung vorübergehend eine stärkere Polierwirkung gewünscht, so können Kugeln mit einer Poliermittel-Beschichtung Typ "TP" eingesetzt werden. Beim vorübergehenden Einsatz in Rohren aus Kupferlegierungen bleiben festhaftende Eigenoxiddeckschichten erhalten.

Da bei Einsatz der Polierkugel die verstärkte Reinigungswirkung gewünscht wird, sollte sie stets nur bis zu einem Restübermaß von 0,5 mm gegenüber dem Rohrrinnendurchmesser verschliffen und dann ersetzt werden.

#### *Granulatkugel*

Die Granulatkugel Typ "G" ist eine Schwammgummikugel, die mit Kunststoffgranulat beschichtet ist. Die Härte dieses Granulats liegt unter der der Rohrwerkstoffe. Sie kann

daher härtere Ablagerungen als die Schwammgummi- oder Polierkugel beherrschen, ohne das Rohrmaterial anzugreifen. Sie wirkt also "schmutzabrasiv". Naturgemäß wird das weichere Kunststoffgranulat meist innerhalb eines Tages abgeschliffen. Die Kugel hat dann wegen des geringen Übermaßes nur noch eine schwache Reinigungswirkung und sollte kurzfristig ersetzt werden.

Die Granulatkugel kann bei Edelstahl- und Titanrohren als Ergänzung zur Polierkugel eingesetzt werden, wenn zeitweise eine gegenüber der Polierkugel "P" verstärkte schmutzabrasive Wirkung erforderlich ist. Auch bei Kupferlegierungen kann die Granulatkugel zur vorübergehend verstärkten Reinigung ohne Abtrag der Deckschicht eingesetzt werden.

### *Korundkugel*

Die Korundkugel ist mit sehr hartem Korund beschichtet. Sie wirkt daher auch abrasiv gegenüber dem Rohrmaterial. Korundkugeln werden bei allen Rohrwerkstoffen zur Entfernung von Ablagerungen (z.B. Kalziumkarbonat) und bei Rohren aus Kupferlegierungen auch zur Entfernung von Korrosionsprodukten und gestörten Deckschichten zur Grundreinigung vor deren Neuaufbau sowie zur Rohrglättung eingesetzt.

Die Ringkorundkugel Typ "R" ist nur mit einem Korundring beschichtet, wogegen die Totalkorundkugel Typ "T" auf der gesamten Oberfläche beschichtet ist.

Typ, Reinigungsfrequenz und Anzahl der einzusetzenden Korundkugeln muß im Einzelfall von TAPROGGE aufgrund einer Testreinigung einer Rohrprobe, einer Kondensatorbesichtigung oder nach Erfahrungswerten individuell festgesetzt werden [6].

Wie schnell die Korundkugeln ihre abrasive Wirkung durch Abrieb der Korundkörner einbüßen, hängt von der Oberflächenbeschaffenheit der zu reinigenden Rohre und den anlagenspezifischen Randbedingungen ab. In der Regel ist die abrasive Wirkung nach einer Betriebszeit von 1 – 3 Tagen aufgebraucht. Zu Beginn einer Korundkugelreinigung bei sehr rauen Belägen kann eine Erneuerung der Korundkugeln schon nach 1 Schicht (8 Stunden) angebracht sein.

Durch den Einsatz von Korundkugeln wird bei Kupferlegierungen die Kupferabgabe an das Kühlwasser vorübergehend erhöht. Hier ist ggfs. die Einhaltung von Grenzwerten zu beachten und insbesondere bei Kühlturmkreisläufen die Korundkugelreinigung mit der Fahrweise und Konditionierung des Kühlwasserkreislaufs abzustimmen.

Neben dem Typ der Reinigungskugel, der von der Reinigungsaufgabe bestimmt wird, müssen *Durchmesser* und *Härte* festgelegt werden. Durchmesser und Härte sind so abzustimmen, daß die Reinigungskugel eine größtmögliche Anpresskraft im Rohr erzeugt ohne



steckenzubleiben. Dazu muß neben Rohrdurchmesser, -länge und –anzahl auch der Kühlwasserdurchfluß möglichst genau bekannt sein. Eventuell muß durch Umlaufversuche mit verschiedenen Kugeln die optimale Abstimmung ermittelt werden. Eine falsche Auswahl der Reinigungskugeln kann zu Rohrverstopfungen oder zu verminderter Reinigungswirkung führen. Hieraus ergibt sich die Qualitätsanforderung an die Reinigungskugeln nach gleichmäßiger Härte und eng toleriertem Durchmesser.

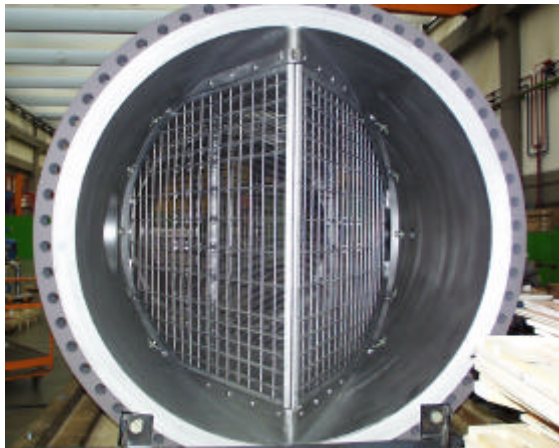
### 3.3 Anlagenkomponenten

Die Komponenten einer TAPROGGE-Reinigungsanlage werden für den individuellen Einsatzfall abgestimmt. Die Komponenten im einzelnen sind:

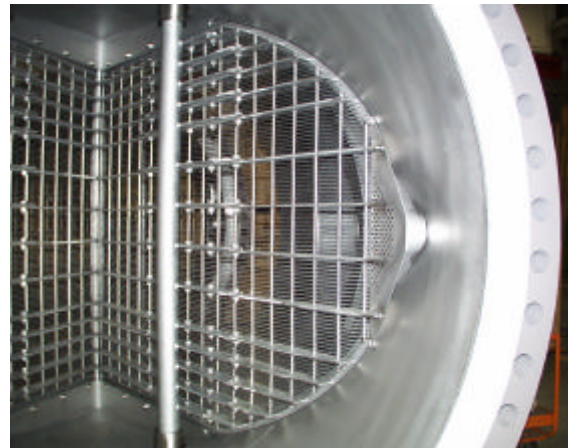
#### *Siebeinrichtung*

Das Sieb soll die Kugeln aus dem Kühlwasser herausfiltern und zur Absaugung leiten. Es wird als Verbundkonstruktion aus Hochkantstäben zusammengesetzt. Diese Konstruktion gewährleistet hohe Steifigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei geringem Druckverlust. Für die Auswahl und Auslegung der Siebeinrichtung wird die Kühlwassergeschwindigkeit und das Strömungsprofil vor der Siebeinrichtung bewertet und damit der Winkel zur Rohrachse und die Spaltweite der Siebe festgelegt.

Durch ein Differenzdruck-Meßsystem wird der Druckverlust über die Siebe kontrolliert. Ein Anstieg über einen Grenzwert signalisiert eine Verschmutzung der Siebe. In diesem Fall muß nach dem Fangen der Kugeln ein Spülen der Siebe durch Aufschwenken erfolgen.



*Ansicht in Strömungsrichtung*



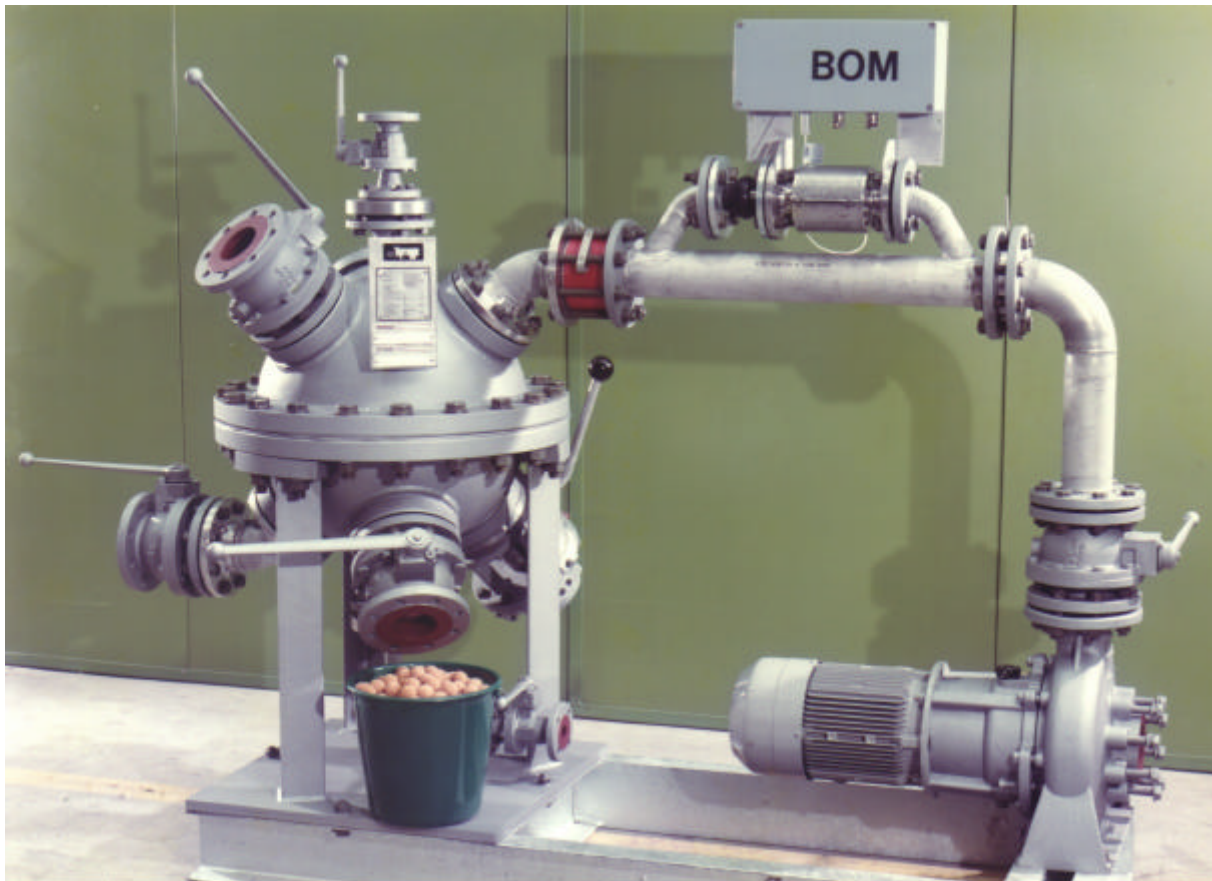
*Ansicht gegen Strömungsrichtung*

#### *Kugelrückförpumppe*

Die Kugelrückförpumppe erzeugt den Förderstrom zum Kugeltransport von der Absaugung der Siebeinrichtung am Kondensatoraustritt durch die Schleuse zur Kugeleinspeisung. Sie ist als spezielle Kanalradpumpe mit großem Durchgang für schonenden Kugeltransport ausgeführt und wird entsprechend der erforderlichen Fördermenge und –höhe ausgelegt.

### *Kugelschleuse*

In der Kugelschleuse lassen sich die Reinigungskugeln durch Schließen einer Fangklappe bzw. Schwenken eines eingebauten Siebes fangen und nach Absperrung des Zu- und Ablaufs entnehmen und erneuern. Eine Rückschlagklappe verhindert das Rücklaufen der Kugeln nach Abstellen der Kugelrückförmpumpe. Bauart und Größe der Schleuse wird durch die erforderliche Kugelanzahl bestimmt.



*Komplettes Kugelrückführaggregat mit Kugelschleuse C40, Kugelrückförmpumpe KRP, Kugelübermaßüberwachung BOM und Kugelumlaufüberwachung BRM*

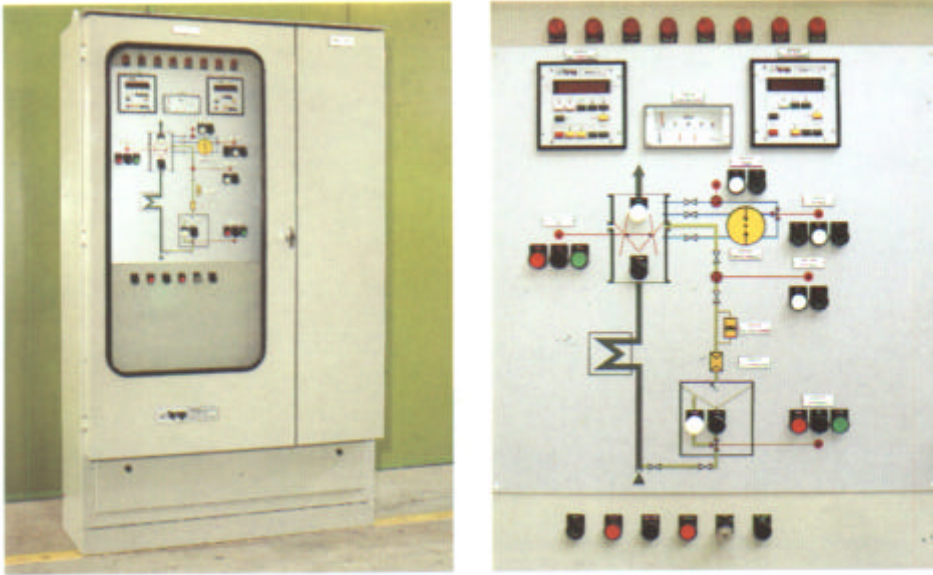
### *Kugeleinspeisung*

Zur gleichmäßigen Reinigung aller Kühlrohre ist die gleichmäßige Verteilung der Kugeln in der Kühlwasserleitung erforderlich. Daher werden die Kugeln je nach Durchmesser der Kühlwasserleitung über bis zu 4 Stutzen eingespeist.

### *Steuerung*

Die Betätigung der Siebe und der Kugelschleuse kann manuell oder durch Stellantriebe erfolgen. Die Steuerung der Rohrreinigungsanlage kann mit programmierbaren elektronischen Steuerungen beliebig weit automatisiert werden. Selbst der automatische

Austausch der Reinigungskugeln kann realisiert werden (TAPROGGE Autonomous Cleaning System TACSY).



*Schaltschrank mit programmierbarer elektronischer Steuerung*

#### *Überwachungseinrichtungen*

Es stehen verschiedene Überwachungssysteme für den Umlauf (Ball Recirculation Monitor BRM) und die Wirksamkeit (Verschleiß) der Reinigungskugeln (Ball Oversize Monitor BOM, Ball Efficiency Monitor BEM) zur Verfügung. Ein spezielles Überwachungssystem (Condenser Monitoring System CMS) kontrolliert darüber hinaus den Wärmeübergang einzelner Kondensatorrohre und meldet beginnende Rohrverschmutzungen. Über Modem ist auch die Fernüberwachung der Reinigungsanlage und des Kondensatorzustands durch Spezialisten zur unmittelbaren Erkennung und Beseitigung von Problemen möglich.

## **4. Betriebsprobleme und ihre Vermeidung**

Es kommt in der Praxis vor, daß trotz Betrieb einer Rohrreinigungsanlage Verschmutzungen in den Kühlrohren auftreten. Ursachen dafür sind meist Störungen des Kugelumlaufs oder falsche Auswahl bzw. zu späte Erneuerung der Reinigungskugeln. Häufig werden diese Verschmutzungen erst bei Inspektionen während der Revision erkannt. Dann sind bereits Leistungsverluste entstanden und die Verschmutzungen so stark, daß sie nur noch mit Korundkugeln oder kostenintensiven, manuellen Reinigungen (siehe 2.1) beseitigt werden können.

### **4.1 Erneuerung der Reinigungskugeln**

Zur Vermeidung dieses Problems ist die ständige Überwachung von Umlauf und Verschleiß der Reinigungskugeln erforderlich. Bei Gefahr von Scaling ist die ständig wirksame Reinigung besonders wichtig, um die Ausbildung von Kristallkeimen auf der Rohroberfläche zu verhindern. Auch bei Gefahr von Biofouling muß durch kontinuierliche Reinigung mit wirksamen Polierkugeln das Ansiedeln von Mikroorganismen verhindert werden. Bei Gefahr von Scaling und Biofouling ist daher die optimale Kugelauswahl und die rechtzeitige Erneuerung bei Erreichen eines Restübermaßes von 0,5 mm zum Rohrinne Durchmesser besonders wichtig.

Vom früher üblichen manuellen Sortieren der Kugeln mit einem Meßsieb ist wegen der hohen Ungenauigkeit abzuraten. Eine automatische Zähl- und Sortiervorrichtung für entnommene Kugeln arbeitet zuverlässiger. Empfohlen wird die Erneuerung der gesamten Kugelcharge anstelle des Aussortierens. Zur Beurteilung des Verschleißzustands kann eine Stichprobe der Reinigungskugeln entnommen und vermessen werden (Meßkonus), oder es wird ein Überwachungssystem benutzt (BOM, BEM, BROM). Für das Erneuern der Kugeln sollte kein festes Zeitintervall vorgegeben werden, da der Verschleiß der Kugeln von den Betriebs- und Kühlwasserbedingungen beeinflußt wird. Der Verschleiß der Reinigungskugeln gibt Hinweise auf den Rohrzustand: ein Anstieg deutet auf beginnendes Scaling (Keimbildung) oder Korrosion (bei Kupferlegierungen) hin. Eventuell muß vorübergehend ein anderer Kugeltyp eingesetzt werden zur Verstärkung der Reinigungswirkung und Glättung der Rohroberfläche.

#### **4.2 Störungen des Kugelumlaufs**

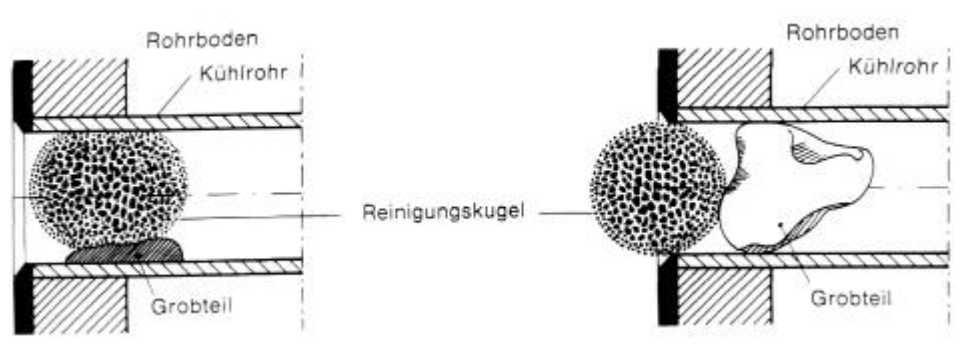
Der Umlauf der Reinigungskugeln kann an Schaugläsern an der Schleuse und an den Verteilern der Kugeltransportleitungen beobachtet werden. Überwachungssysteme ermöglichen eine kontinuierliche Kontrolle und Alarmmeldung bei Störungen (BRM, BROM). Störungen des Kugelumlaufs und Kugelverluste müssen besonders bei Gefahr von Scaling oder Biofouling schnellstens beseitigt werden, um eine kontinuierlich wirksame Reinigung gewährleisten zu können.

Ursachen für Störungen des Kugelumlaufs können sein:

##### *Steckenbleiben der Kugeln in den Rohren*

durch Verringerung der Wassermenge, falsche Kugelauswahl, dickere Beläge in den Rohren oder Grobverschmutzungen, an denen sich Kugeln verklemmen.

Bei Veränderungen der Wassermengen und dicken Belägen in den Rohren muß die Auswahl der Reinigungskugel entsprechend angepaßt werden. Bei Grobverschmutzungen ist nicht nur die Wasserkammer, sondern das gesamte Kühlsystem zu reinigen und ein Filter vor dem Kondensator vorzusehen.



*Störungen der Kugelreinigung durch Grobverschmutzungen des Kondensators*

#### *Ablagern der Kugeln im Kühlsystem*

In den Wasserkammern mancher Kondensatoren existieren Strömungstoträume, in denen sich nach und nach immer mehr Kugeln ablagern. Diese Toträume müssen abgedeckt oder ausgefüllt werden.

Wenn neue Kugeln nicht ausreichend bewässert wurden oder die Wasserkammern nicht ganz gefüllt sind, kann es zu einem Aufschwimmen und Ansammeln von Kugeln in den Wasserkammern kommen. In diesem Fall muß auf ausreichende Bewässerung der Kugeln und Entlüften der Wasserkammern geachtet werden.

#### *Ablaufstörungen auf dem Sieb*

Grobverschmutzungen auf den Sieben behindern das Abfließen der Kugeln zur Absaugung. Die Kugeln bleiben auf dem Sieb liegen und der Differenzdruck steigt. Dadurch werden die Kugeln noch stärker auf das Sieb gepreßt und zusätzlich am Abfließen gehindert. In diesem Fall müssen die Siebe je nach Schmutzanfall häufiger gespült werden. Die Auswahl härterer Kugeln kann vorteilhaft sein. Auch bei erhöhter Kühlwassermenge müssen eventuell härtere Reinigungskugeln eingesetzt werden.

#### *Kugelverluste*

Kugelverluste treten auf bei beschädigten oder nicht dicht anliegenden Sieben. Auch beim Spülen verschmutzter Siebe gehen die eventuell noch darauf festhängenden Kugeln verloren. Auch Fehlbedienungen bzw. Fehlsteuerungen (z.B. Siebspülen ohne vorheriges Fangen der Kugeln) sind häufige Ursache.

Können wegen einer Störung der Kugelrückförmpumpe die Kugeln nicht vom Sieb abgesaugt werden, so gehen sie beim nächsten Siebspülen ebenfalls verloren. Auch bei defekter Rückschlagklappe in der Kugelschleuse können die Kugeln nach Abschalten der Kugelrückförmpumpe zurücklaufen und bei offenen Sieben verlorengehen.

Kugelverluste sind häufig auf unzureichend gewartete Anlagenkomponenten (Siebe, Stellantriebe, Relaissteuerung ...) oder Fehlbedienungen zurückzuführen. Hier sollte durch

entsprechende Wartung und Instandhaltung der Komponenten und geeignete Modernisierungen (Siebumbau, Ersatz von störungsanfällig gewordenen Relaissteuerungen durch programmierbare Steuerungen, ...) die Funktionssicherheit erhalten werden. Für diese Aufgaben steht ein leistungsfähiger Service zur Verfügung.

## 5. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Online-Reinigung der Kondensatorrohre ist elementarer Bestandteil des modernen Kraftwerksbetriebes zur Optimierung des "kalten Endes" des Kraftwerksprozesses. Der Wirkungsgrad des Kraftwerks wird gesteigert und die Lebensdauer der Kondensatorberohrung wird verlängert.

In der Praxis wird dem Betrieb der Rohrreinigungsanlage jedoch häufig nicht die entsprechende Beachtung geschenkt, da Leistungsverluste oder Korrosion durch Rohrverschmutzungen zunächst nicht auffallen. Unter dem Einfluß von Personalmangel und Kostendruck wird die Wartung und Instandhaltung der Komponenten vernachlässigt und Reinigungskugeln werden nicht rechtzeitig geprüft und erneuert. Die dadurch entstehenden Kosten für zusätzlichen Brennstoffverbrauch bzw. verminderte Stromerzeugung, für Sondermaßnahmen zur Entfernung entstandener Ablagerungen während der Revisionen, für vorzeitige Neuberohrungen und verminderte Verfügbarkeit übersteigen die Kosten für den optimierten Betrieb der Rohrreinigungsanlage jedoch um ein Vielfaches. Daher machen sich die Ausgaben für optimierte Reinigungskugeln, Wartung und Überwachung der Rohrreinigungsanlage immer schnell bezahlt.

Auch Investitionen für zusätzliche Überwachungseinrichtungen mit Fernbetreuung (per Modemverbindung) durch Spezialisten zur ständigen Beobachtung des Rohrzustandes und Optimierung der Reinigung amortisieren sich oft innerhalb von 1 – 2 Jahren, wie Beispiele zeigen.

Daher muß die Rohrreinigungsanlage als wertvolles Werkzeug zur Kosteneinsparung gesehen werden – auch wenn sie im Keller des Maschinenhauses steht und sich mangelnde Rohrreinigung nicht sofort bemerkbar macht.



**Literatur**

- [1] VGB-Richtlinie "Kühlwasserrichtlinie – Wasserbehandlung und Werkstoffeinsatz in Kühlsystemen" (VGB-R 455 P). VGB-KRAFTWERKSTECHNIK GmbH, Essen, 2000.
- [2] VGB-Richtlinie "Rohre für Kondensatoren und andere Wärmetauscher – Teil A – Kupferlegierungen" (VGB-R 106 L), VGB-KRAFTWERKSTECHNIK GmbH, Essen, 1988.
- [3] VGB-Richtlinie "Rohre für Kondensatoren und andere Wärmetauscher – Teil B – Nichtrostende Stähle" (VGB-R 113 L), VGB-KRAFTWERKSTECHNIK GmbH, Essen, 1989.
- [4] VGB-Richtlinie "Rohre für Kondensatoren und andere Wärmetauscher – Teil C – Titan" (VGB-R 114 L), VGB-KRAFTWERKSTECHNIK GMBH, Essen, 1990.
- [5] Czolkoss, W., Fichte, W. und Schleithoff, K. "Deckschichtstrukturen auf Kondensatorrohroberflächen", Der Maschinenschaden 64 (1991), H.5, S. 194 – 201
- [6] Taprogge Technischer Bericht 92-30 "Empfehlungen für die Auswahl der Reinigungskugeln und die optimale Reinigungsfrequenz", 1992.