



Dipl.-Ing. H.H. Neuburg

# Wärmetauscher-Reinigungssysteme

## 1. Einleitung

Die weltweite Installation von Wärmetauschern erfuhr einen enormen Anstieg nach dem zweiten Weltkrieg mit der Wiederherstellung und dem Neubau von Kraftwerken, Chemieanlagen und Raffinerien. Da bis dahin Wärmetauscher ausschließlich während des Betriebsstillstandes manuell gereinigt wurden, entwickelte sich der Bedarf an automatischen Reinigungsverfahren während des Anlagenbetriebes.

TAPROGGE gelang am Anfang der 50er Jahre mit der Einführung der

automatischen Rohrreinigungsanlage durch Schwammgummikugeln als Reinigungskörper der Durchbruch bei der Reinigung von Glattrohrbündelwärmetauschern ohne Eingriff während des Betriebes.

Der globale Einsatz von nahezu 12.000 Anlagen in den letzten Jahrzehnten führte dazu, den Einsatz dieses Verfahrens als Stand der Technik bei Turbinenkondensatoren und vielen anderen Anwendungsgebieten anzuerkennen und zum großen Teil vorzuschreiben.

Voraussetzung für den ungehinderten kontinuierlichen Umlauf

der Schwammgummikugeln sind freie Kühlrohre und Rohrböden. Daher wurden ab Mitte der 60er Jahre Kühlwasserfilter zur groben Filtration von Kühlwasser entwickelt, deren Wirksamkeit bis zur jetzigen vierten Generation stetig erhöht wurde. Auch die Vorreinigung als Vorstufe einer effektiven Filtration erfuhr durch Taprogge deutliche Verbesserungen durch neue Entwicklungen, die sich im IN-TA-CT®-Konzept wiederfinden.

Um den Wärmeübergang von Turbinenkondensatoren laufend zu kontrollieren, wurde das Kondensatorüberwachungssystem

## Inhalt

1. Einleitung/Historie
2. Grundsätzliche Probleme auf der Kühlwasserseite von Rohrbündelwärmetauschern
3. Aufgabenstellung der Rohrreinigungsanlagen mit Schwammgummikugeln
4. Aufgabenstellung der Kühlwasser-Filteranlagen
5. Wirtschaftlichkeit mechanischer Reinigungsanlagen
6. IN-TA-CT®
7. Rohrreinigungs- und Filteranlagen für Klimatechnik und Chemie
8. Zusammenfassung

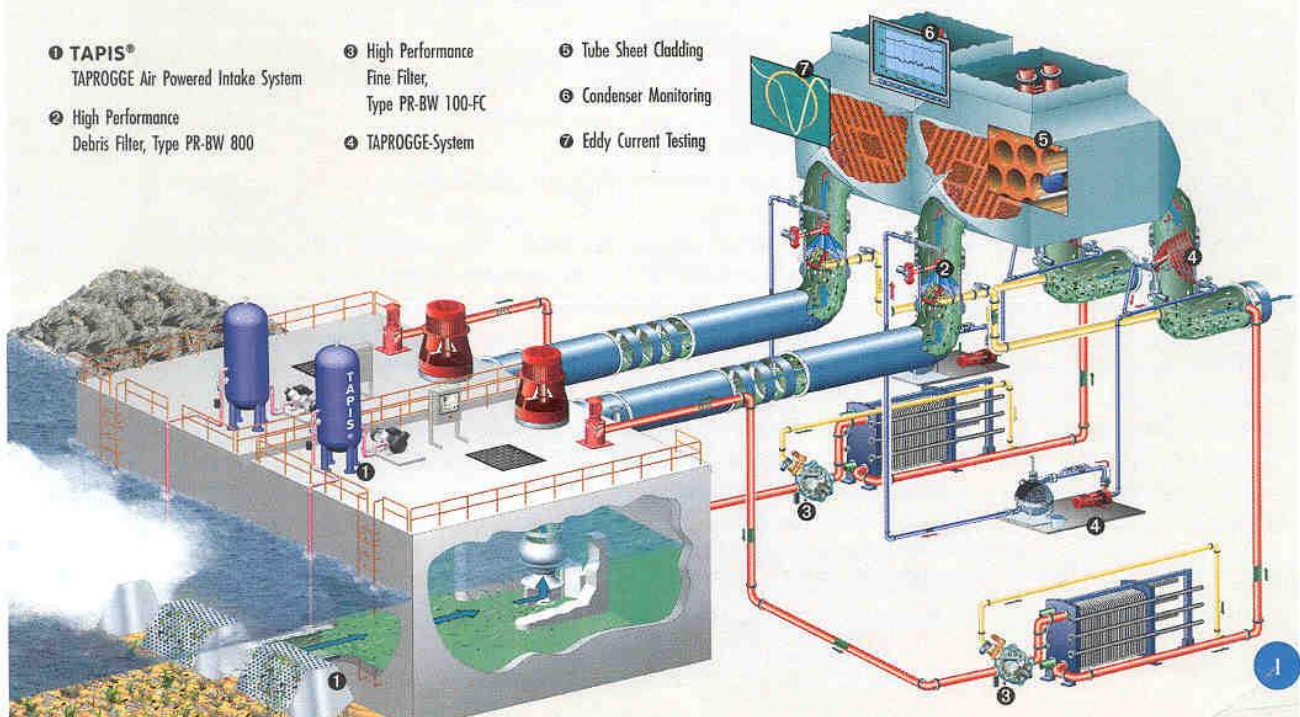
## IN-TA-CT® INTEGRATED TAPROGGE CONCEPT

Bild 1

- ① TAPIS®  
TAPROGGE Air Powered Intake System
- ② High Performance  
Debris Filter, Type PR-BW 800

- ③ High Performance  
Fine Filter,  
Type PR-BW 100-FC
- ④ TAPROGGE-System

- ⑤ Tube Sheet Cladding
- ⑥ Condenser Monitoring
- ⑦ Eddy Current Testing





CMS entwickelt. Es dient dazu, den Wärmeübergang von einzelnen Kondensatorrohren zu überwachen, um beginnende Verschmutzungen der Rohre sofort zu erkennen und die Reinigungsintensität der Schwammgummikugeln entsprechend zu optimieren. Dies führt in letzter Konsequenz bis zur Datenübertragung über Satellit zum TAPROGGE-Service, der dem Betreiber die nötigen Empfehlungen direkt signalisiert.

Für Wärmetauscher im Bereich Klimatisierung und chemischer Produktion mit geringerer Wärmeleistung wurden eigene Konzepte entsprechend industrieller Anforderungen entwickelt. Die Reinigungsanlagen CCS und ICS können stationär als auch mobil betrieben werden, zum Teil auch im „Off-line“-Bereich für schwierige Produkte (hohe Drücke und Temperaturen, aggressiv) in den Wärmetauscherrohren. Auch hier können automatische Rückspülfilter FC und DYNAMIC bis zu einem Filtrationsgrad von 50 µm vorgeschaltet werden.

Grundprobleme bei Wärmeaustauschern hinsichtlich Fouling und Grobverschmutzung werden nachstehend kurz beschrieben. An Beispielen aus der Praxis werden die verschiedenen Lösungskonzepte mit den dazu ausgewählten Komponenten erläutert.

## 2. Grundsätzliche Probleme auf der Kühlwasserseite bei Rohrbündelwärmetauschern

Bei der wärmetechnischen Auslegung von Wärmetauschern wird eine Verschmutzung der Rohrinnenfläche bei der Berechnung berücksichtigt.

Durch den Gebrauch des Foulingfaktors werden die Wärmeübertragungsflächen gemäß der zu erwartenden Verschmutzung entsprechend vergrößert. Die theoretisch dafür notwendigen Übertragungsflächen werden nach <sup>(1)</sup> in den USA zwischen 10% und 500% vergrößert, wobei der Durchschnitt etwa bei 35% liegt.

Hierbei wird davon ausgegangen, dass durch Fouling der Wärmeaustausch auf einer oder auf beiden Seiten der Übertragungsflächen vermindert wird.

Die Übertragungsflächen werden häufig durch Grobverschmutzung (Macrofouling) beeinträchtigt, wie z.B. Muscheln, Fische, Algen sowie Holzteile, Blätter, Gras, Steine oder Teile von Kühlturmeinbauten. Übertragungsflächenreduzierungen entstehen auch dann, wenn durch Korrosionen perforierte Kühlrohre zur Vermeidung von Stoffmischungen durch Pfropfen verschlossen werden müssen.

Dieser Problembereich findet durch den Einbau von Grobschmutzfiltern mit vorgeschalteten Vorreinigungsanlagen entsprechend dem IN-TA-CT®-Konzept (Schautafel) eine zeitgemäße Lösung.

Die zweite häufig auftretende Verschmutzungsart ist das Microfouling. Diese Feinverschmutzung in den Rohren wird verursacht durch Schlamm, Sand, Lehm, Mikroorganismen, Bio-Schleim, Korrosionsprodukte und -inhibitoren. Eine wichtige Verschmutzungsart ist außerdem das Scaling. Dabei werden Lösungsgleichgewichte durch erhöhte Temperaturen im Kühlwasser überschritten. Dies führt zur Ausfällung von Calciumcarbonat, Silikaten, Calciumsulfaten und Magnesiumsalzen. In diesem Problembereich wird die automa-

tische Rohrreinigungsanlage mit elastischen Schwammgummikugeln seit fast 5 Jahrzehnten mit sehr großem Erfolg eingesetzt.

Kühlrohrverstopfungen und Foulingbeläge „verursachen erhebliche Kosten durch notwendige Überdosierungen, Energieverluste und verringerte thermische Wirkungsgrade, höhere Druckverluste, Reinigungs- und Installationskosten und Produktionsverluste während reinigungsbedingter Stillstandszeiten der Anlagen“<sup>(1)</sup>.

geben: „Beläge in den Kondensatorrohren (aus Kupferlegierungen) stören die Schutzschichtbildung erheblich, oder sie können eine bereits vorhandene Schutzschicht durch Korrosion infolge Bildung von Belüftungselementen zerstören. Daher ist dafür zu sorgen, dass Beläge vermieden werden.“

Sie können entstehen durch Abscheidung suspendierter Feststoffe aus dem Kühlwasser, durch Ausfällung gelöster Stoffe bei Überschreiten der Löslichkeits-

### Verschmutzungstypen

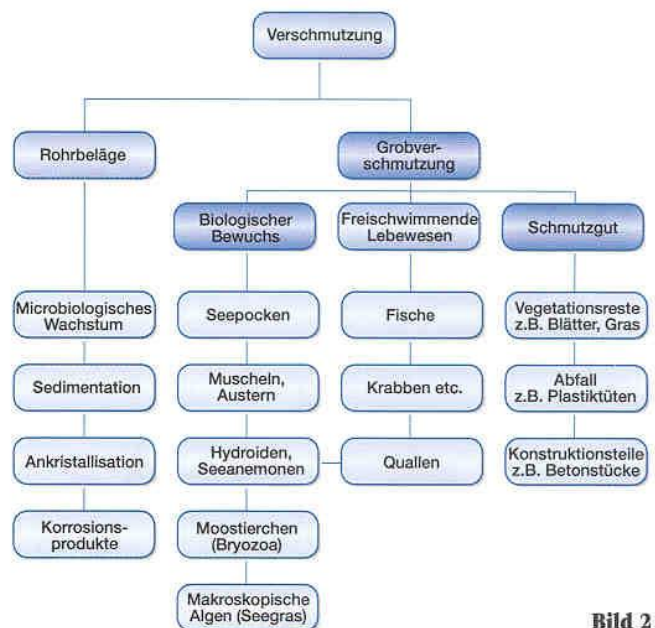


Bild 2

Nach <sup>(21)</sup> werden für die Auslegung der Turbinenkondensatoren Foulingwiderstände von 0,020 bis 0,050 m<sup>2</sup>K/kW bei Kupferlegierungen und 0,015 bis 0,032 m<sup>2</sup>K/kW bei rostfreien Stählen und Titan empfohlen.

Beläge in Kühlrohren vermindern nicht nur den Wärmedurchgangskoeffizienten, sondern sind häufig auch die Ursache von Kühlrohrkorrosionen, wenn Kupferlegierungen und nichtrostende Stähle als Kühlrohrwerkstoffe Verwendung finden.

In <sup>(22)</sup> werden bei der Verwendung von Kupferlegierungen und in <sup>(23)</sup> beim Einsatz von nichtrostenden Stählen zur Vermeidung von Kühlrohrkorrosionen Empfehlungen und Begründungen

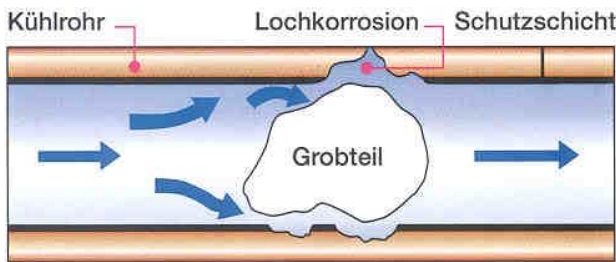
grenzen und durch das Wachstum von Mikroorganismen.

In diesem Zusammenhang wird empfohlen, in regelmäßigen Abständen das Kühlwasser zu analysieren. Eine Methode, Beläge zu verhindern, ist der Einsatz eines Rohrreinigungssystems. Ein solches System gehört heute zum Stand der Technik und sollte stets vorhanden sein“ <sup>(22)</sup>.

„... die Gefahr korrosiven Angriffs unter mineralischen oder organischen Ablagerungen (ist) bei nichtrostenden Stählen besonders groß. Wegen der möglichen Spaltkorrosion ist bei Verwendung von Rohrwerkstoffen dieser Gruppe mit Wirksummen  $W < 35\% [\% Cr + (3,3 \times \% Mo)]$ ; W-Nr. 1.4401, 1.4439] im Zusammenhang mit höherem salz- und schwebstoffhaltigem Kühl-



**Bild 3: Lochkorrosion**



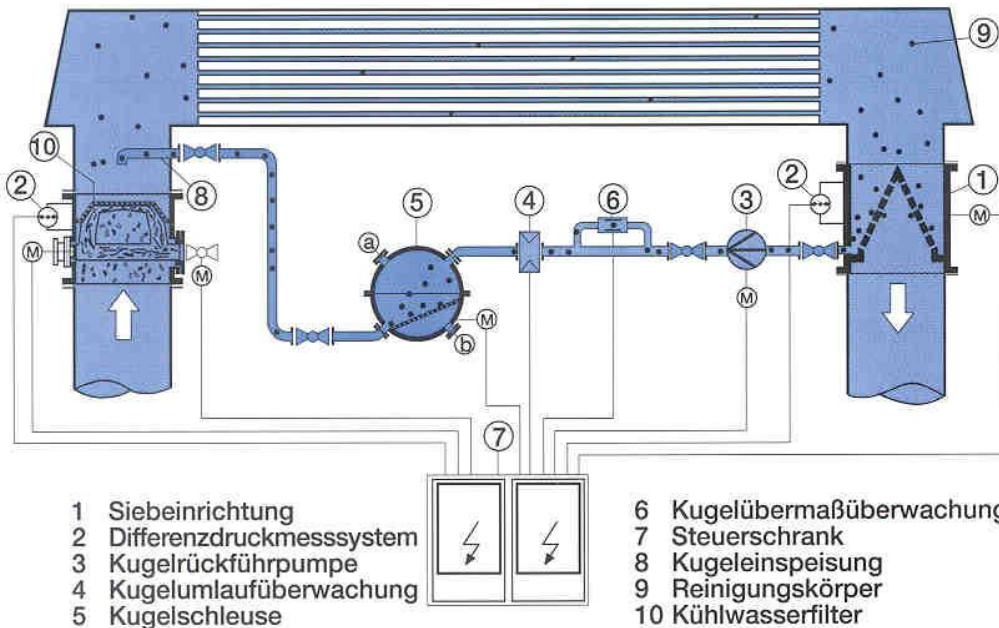
wasser der Einsatz von kontinuierlich arbeitenden Rohrreinigungsanlagen, im allgemeinen mit Schwammgummikugeln, zwingend erforderlich. Demgegenüber ist Unterbelagskorrosion an Titanoberflächen bisher unbekannt, so dass sich dieses Material für Wärmeaustauscher, die mit stark schwebstoffhaltigem Kühlwasser betrieben werden sollen, vorzüglich eignet. Die größere Anfälligkeit kupferfreier Werkstoffe gegenüber Biofouling verlangt unter Umständen gelegentliche oder in regelmäßigen Intervallen wiederkehrende Reinigungsbehandlungen, während derer in der Rohrreinigungsanlage anstelle der Schwammgummikugeln spezielle Reinigungskugeln, z.B. mit Kunststoffgranulat- oder Korundbeschichtung bzw. mit Bimsmehl-

füllung, verwendet werden“ [Bild 6]. Bei nicht geeigneten Kühlrohren aus Messing sind im Bereich der Einwalzstellen am Rohrboden Spannungsrisskorrosionen aufgetreten, und zwar durch Ammoniakbildung bei der Zersetzung von organischen Substanzen.

Im Bereich von in Kühlrohren eingeklemmten Grobteilen sind sehr schnell Kühlrohrperforationen infolge turbulenter Strömungen und Schutzschichtzerstörungen zu verzeichnen, und bei nichtrostenden Stählen besteht die Gefahr von Spaltkorrosionen zwischen Grobteil und Kühlrohr (Bild 3).

Durch den Einsatz von Kühlwasserfiltern und Kühlrohrreinigungsanlagen nach Bild 4 bleiben die Wärmeaustauscher frei von Verstopfungen und die Kühlrohre frei von Belägen.

**Kondensator-Reinigungsanlage und Kühlwasserfilter in Betriebsstellung**



**Bild 4**

Der Lieferant solcher Anlagen garantiert saubere Wärmeübertragflächen auf der Kühlwasserseite.

### 3. Aufgabenstellung der Rohrreinigungsanlagen mit Schwammgummikugeln

Die automatische Rohrreinigungsanlage für Glattrohrbündelwärmetauscher hat die Aufgabe, **die Kühlrohre frei zu halten von Belägen** damit

- der Wärmedurchgangskoeffizient konstant bleibt
- Kühlrohrkorrosion durch Belagbildung verhindert wird

#### 3.1 Arbeitsweise der Rohrreinigungsanlage

Die elastischen Schwammgummikugeln werden in die Schleuse des Kugelrückführaggregates eingefüllt (siehe Bild 7) und gelangen von dort in die Kühlwasser-eintrittsleitung des Wärmetauschers. Mit dem Kühlwasserstrom durchlaufen sie alle Kühlrohre, ohne den Betrieb des Wärmetauschers zu beeinträchtigen. Die Reinigungskugeln sind ständig im Umlauf und passieren die Rohre

im Laufe ihrer Wirkzeit viele tausend Male. Die treibende Kraft, die die Reinigungskugeln durch die Rohre bewegt, resultiert aus dem Differenzdruck des Wärmetauschers, der die Kugeln ohne zusätzliche Energie durch die Rohre zwingt. Über eine Siebinrichtung werden die Kugeln nach jedem Durchlauf aus dem Kühlwasserkreislauf ausgeschleust. Die Verschmutzung des Siebes wird durch ein Differenzdruck-Meßsystem überwacht. Erreicht der Druckabfall den eingestellten

Wert, werden die Kugeln in der Kugelschleuse gefangen und das Sieb während des Betriebes in Spülstellung gedreht, und zwar so, dass die Siebflächen von der rückwärtigen Seite in Stromrichtung liegen. Nach einer Spülzeit des Siebes von etwa 5 Minuten wird die Anlage wieder in Betrieb genommen. Über das Kugelrückführaggregat werden die Kugeln erneut in den Kühlkreislauf eingespeist. Alle Vorgänge laufen in der Regel entsprechend der Kundenanforderung automatisch ab.



**Bild 7:**  
**Kugelrückführung**

Die Anzahl der im Umlauf befindlichen Kugeln bewegt sich zwischen 10 und 30%, bezogen auf die Anzahl der Kühlrohre eines Wasserweges. Diese Anzahl ist ausreichend, um alle Eigenschaften des Wärmeübertragers zu erhalten und den einwandfreien Betrieb zu gewährleisten.

Damit alle Rohre gereinigt werden und nicht nur bestimmte Teile des Rohrbündels, wird durch spezielle

Maßnahmen für eine gleichmäßige Verteilung der Kugeln gesorgt. Zum einen werden durch Beeinflussung des spezifischen Gewichts der Schwammgummikugeln Sink- oder Steigkugeln entwickelt, zum anderen wird durch den Einbau von Wirbelblechen oder Verteilern die gleichmäßige Verteilung der Kugeln sichergestellt. Der einfache Nachweis hierfür ist das Erreichen der ursprünglichen Grädigkeit des

**Bild 8:**  
**CTCS Siebeinrichtung**

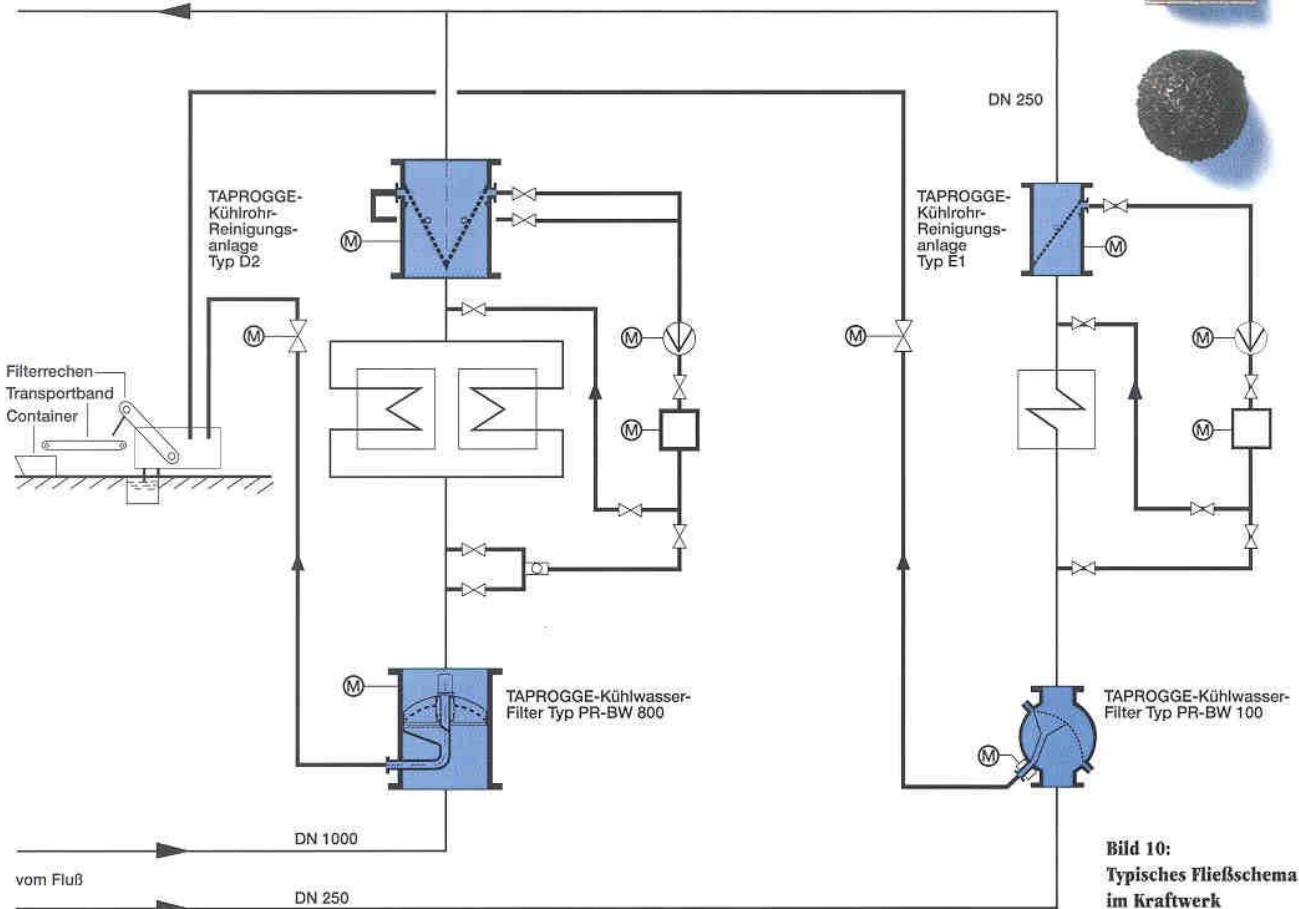


Wärmeübertragers, dem dann die volle Tauscherfläche ohne Beeinträchtigung wieder zur Verfügung steht.

**Bild 9:**  
**Kühlrohranalysen nach Einsatz einer Rohrreinigungsanlage, Titan mit Manganablagerungen.**  
Von oben nach unten:  
Ausgangszustand  
100 Durchgänge  
800 Durchgänge  
Korundkugel



zum Fluß



**Bild 10:**  
**Typisches Fließschema im Kraftwerk**

Kühlwassersystem : Durchlauf  
Kühlwasserart : Flusswasser

Vorreinigungsanlage  
Grobrechen : 30 mm Stababstand  
Feinrechen : -

Siebbandmaschine : -  
Filteranlagen : 5/3 mm Lochung





**Bild 6:**  
Verschiedene Kugeltypen

### 3.2 Die Reinigungskugel

Die Reinigungskugeln müssen in jedem Fall einen größeren Durchmesser haben als der Innendurchmesser des Kühlrohres. Das bedeutet, dass Kugeln ohne Übermaß keine Reinigungswirkung haben.

Nur aufgrund dieser Größe werden die Ablagerungen abgelöst und mitgenommen. Diese Ablagerungen gelangen nicht in die Kugel oder verschmutzen sie, sondern sie werden vor der Kugel durch einen hydraulisch verursachten Wirbel abgelöst und durch das Rohr getrieben.

Im Laufe der zahlreichen Rohrpassagen nutzen sich die Kugeln ab und werden dadurch kleiner. Sind sie kleiner oder gleich dem Rohrrinnendurchmesser, müssen

sie ersetzt werden. Dies ist je nach Art und Grad der Verschmutzung nach ungefähr vier bis sechs Wochen erforderlich, ein Mittelwert, der erheblich über-, aber auch unterschritten werden kann.

Die Auswahl der optimalen Reinigungskugel ist von vielen Faktoren abhängig:

- Kühlrohrwerkstoff
- Art und Grad der Verschmutzung
- Temperatur
- Form der Wasserkammern
- Geschwindigkeit des Wassers im Kühlrohr
- Art der Inhibitoren, usw.

Dementsprechend wurden zahlreiche Kugeltypen entwickelt. So gibt es Kugeln mit und ohne spezielle Beschichtungen, wie z.B.

Kunststoffgranulat, Korund oder spezielle Polierkugeln sowie Hochtemperaturkugeln, und alle sind in verschiedenen Härtegraden erhältlich.

In Abb. 6 finden sich von links unten nach rechts oben:

- Standard Schwammgummikugel
- Schwammgummikugel mit niedriger Sinkgeschwindigkeit
- Schwammgummikugel für besonders hohe Beanspruchung
- Schwammgummikugel mit Kunststoffgranulatbeschichtung
- Schwammgummikugel mit Poliermitteleinmischung
- zwei Schwammgummikugeln mit Korundbeschichtung.

Sollte der Wärmetauscher für andere Aufgaben eingesetzt werden, so kann die Reinigungs-

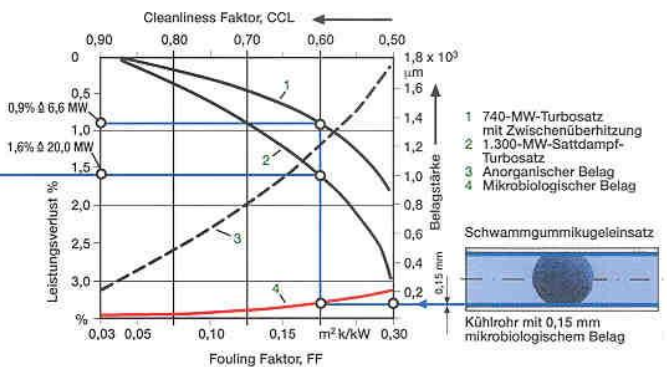
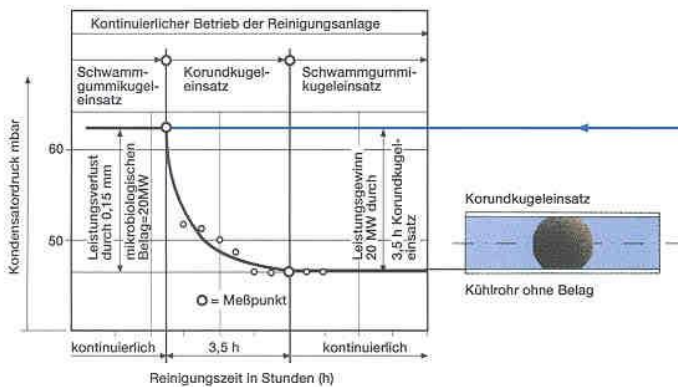
anlage durch Umstellung auf dafür geeignete Reinigungskugeln angepasst werden.

Das folgende Bild zeigt, dass bereits bei einem mikrobiologischen Belag in den Kühlrohren von 0,15 mm Leistungsverluste von 20 MW bei einem 1300 MW-Block und von 6,6 MW bei einem 740-MW-Block gemessen wurden.

Nach dem Einsatz von TAPROGGE-Korundkugeln über einen Zeitraum von 3,5 h sank der Kondensatordruck um 16 mbar und die Turbinenleistung erhöhte sich entsprechend um 20 MW.

**Leistungsgewinn von 20 MW bei einem 1300-MW-Turbosatz durch 3,5-stündigen Einsatz von Korundkugeln**

**Bild 11:**  
Leistungsgewinn



### 4. Aufgabenstellung der Kühlwasser-Filteranlagen

Die automatischen Rückspülfilter haben die Aufgabe, das Kühlwasser mechanisch so zu reinigen, dass die Kühlrohre und Rohrböden des nachgeschalteten Wärmetauschers frei von Verstopfungen bleiben, die Rohrreinigungsanlage einwandfrei arbeitet und verstopfungsbedingte Kühlrohrkorrosion vermieden wird.

Vor Plattenwärmetauschern werden Rückspülfilter mit einer Filterfeinheit von 1–2 mm eingesetzt, oft in Verbindung mit Rückspüleinrichtungen für den Plattenaustauscher selbst. Bei einem Filtrationsgrad von ca. 200–300 µm kann auf eine Rückspüleinrichtung verzichtet werden. Diese Filter reduzieren den Schwebstoffgehalt des Kühlwassers erheblich und führen zur langsameren Verschmutzung der Übertragungsflächen, so dass

manuelle Reinigungen in längeren Zeitintervallen durchgeführt werden können.

#### 4.1 Problemstellung

Ein großes Problem stellen im Kühlwasser mitgeführte Grobteile für Röhren- und insbesondere für Plattenwärmetauscher dar.

Die Grobteile blockieren teilweise oder vollständig die Kühlrohre oder die Kanäle in den Plattenwärmetauschern. Verstopfte Kühlrohre und Kanäle reduzieren die

verfügbaren Wärmeübertragungsflächen der Wärmetauscher. In den blockierten Rohren wird durch den eingeschränkten Kühlwasserdurchfluss das Wachstum von Microfouling besonders gefördert. Eine Reinigung durch Schwammgummikugeln ist, wenn überhaupt, bei diesen Rohren nur eingeschränkt möglich. Auch können im Bereich der eingeklemmten Grobteile Erosions- und Spaltkorrosionen ausgelöst werden.



Bereits 15% Kühlrohrverstopfungen erhöhen den spezifischen Wärmeverbrauch pro kWh um etwa 0,15% und reduzieren die Turbinenleistung um rund 1,5 MW bei einem 800-MW-Block.

Durch die Kühlrohrverstopfungen werden Reinigungskugeln zurückgehalten, so dass die Anzahl der zirkulierenden Kugeln entsprechend kleiner wird. Die Verschmutzung der Wärmetauscherflächen und folglich der Kondensatordruck steigen an.

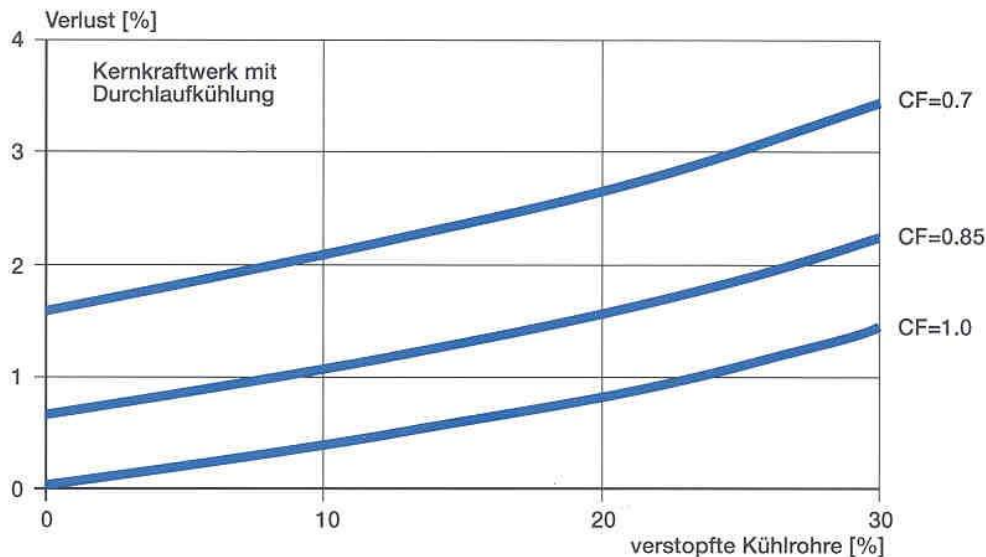


Bild 12:

Verlust von Turbinenwirkungsgrad in Bezug auf Kühlrohrverstopfung und Cleanliness Faktor CF von nicht verstopften Kühlrohren

#### 4.2 Arbeitsweise der Kühlwasser-Filteranlagen

Alle Bestandteile des Kühlwassers, die größer als der Lochdurchmesser im Filtereinsatz bzw. die Spalte der Filterkerzen sind, werden im Filter zurückgehalten. Durch die ansteigende Beladung der Filterflächen durch Grobschmutz und sonstige Schwebstoffe erhöht sich der Druckabfall. Erreicht der Differenzdruck über

ten Grobverschmutzungen und Schwebstoffe aus dem Filter heraus.

Die Spülzeit der automatischen Rückspülfilter liegt zwischen ca. 30 Sekunden und einigen Minuten. Die Spülwassermenge beträgt bei größeren Lochungen ungefähr 3% des Gesamtkühlwasservolumens und erhöht sich bei kleineren Filterfeinheiten entsprechend.

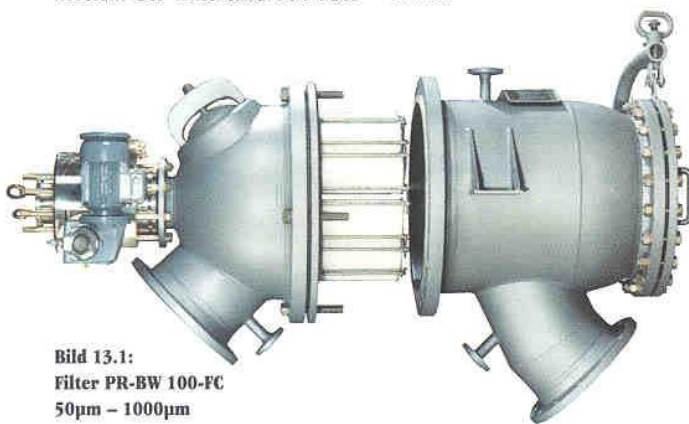


Bild 13.1: Filter PR-BW 100-FC 50µm – 1000µm

den Filtereinsatz oder die Filterkerzen den am Differenzdruckmanometer eingestellten Grenzwert, wird in den automatischen Rückspülfiltern die Spülarmatur geöffnet und der Rückspülrotor in Gang gesetzt.

Ein Teilvolumenstrom des bereits gefilterten Kühlwassers fließt infolge des Differenzdruckes zwischen dem Filter und dem Ende der Rückspülleitung von dem Filtereinsatz oder der Filterkerze zum Ende der Spülwasserleitung und führt die dort angeschwemm-

Der Rückspülvorgang wird beendet durch das Abschalten des Rückspülrotors und das Schließen der Rückspülarmatur.

Über konventionelle Vorreinigungsanlagen (z.B. Trommelsiebe, Siebbandmaschinen mit Überdruckklappen), die z. Teil schnell verschleifen können, gelangen Grobverschmutzungen in die Hauptkühlwasserleitungen.

Muschellarven werden in das Rohrleitungssystem transportiert und haben Gelegenheit, in Zonen niedriger Geschwindigkeit aufzu-

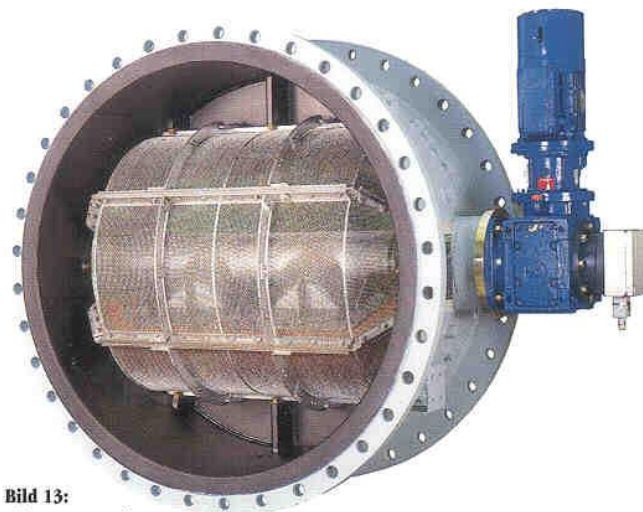


Bild 13: Filter PR-BW 600

wachsen, zumal ein ständiger Nahrungsstrom an ihnen vorbeigeführt wird.

Außerdem lösen sich aus den zum Teil mehrere 100 m langen Kühlwasserleitungen Korrosionsprodukte, die vor den Kondensator gelangen.

Kühlwasserfilter werden daher, wann immer möglich, unmittelbar vor Wärmetauschern oder Kondensatoren installiert.

#### 5. Wirtschaftlichkeit mechanischer Reinigungsanlagen

Die Ausrüstung von Turbinenkondensatoren mit automatischen Rückspülfiltern und Rohrreinigungsanlagen zur Erzielung eines besseren Vakuums erbrachte Grädigkeitsverbesserungen zwischen 2 und 10 K. Dies bedeutet eine korrespondierende Reduzierung des spezifischen Wärmeverbrauchs von 0,5 bis 3%.

In vielen Kraftwerken konnte der Einsatz von Bioziden reduziert

oder ganz vermieden werden. Auf manuelle Reinigungen der Kondensatoren konnte verzichtet werden.

Durch den Einsatz von Hochleistungs-Rückspülfiltern konnte bei einigen Anlagen auf den Einbau von Trommelsieben und Siebbandmaschinen verzichtet werden, wobei nur noch Grob- und Feinrechen als Vorfiltration notwendig waren.



Aufgrund der unterschiedlichen Kühlwasserzusammensetzung, der Anlagenkonstellation und der Anforderungen bezüglich der Verfügbarkeit ist der wirtschaftliche Einsatz von Kühlwasserfiltern und Kühlrohr-Reinigungsanlagen und deren Grad der Automatisierung bei Wärmeaustauschern in jedem Einzelfall zu prüfen.

## 6. IN-TA-CT®

Das INTEGRIERTE TAPROGGE CONCEPT (Schaubild 1) beinhaltet neben den bereits aufgeführten Rohrreinigungsanlagen und automatischen Hochleistungs-Filtern außerdem die TAPROGGE-Produkte:

### 1. TAPIS®

TAPROGGE Air Powered Intake System

und

### 6. CMS

Condenser Monitoring System

die im folgenden kurz beschrieben werden. Die Punkte 5. „Tube Sheet Cladding“ und 7. „Eddy Current Testing“ werden im Rahmen des Gesamtkonzeptes zusätzlich durchgeführt, sollen aber hier nicht besonders beschrieben werden.

## 6.1 TAPIS®

### 6.1.1 Aufgabenstellung des Systems TAPIS®

TAPIS® wird eingesetzt bei der Entnahme von Kühlwasser aus Meeren, Flüssen, Kanälen oder Häfen. Im Gegensatz zu konventionellen Konzepten, bei denen der Kühlwassereinlauf in mehreren Schritten erfolgt, z.B. in Form von Rechen und/oder Siebbandmaschinen/Trommelsieben, vereinigt TAPIS® die mechanische Kühlwasserbehandlung vor den Kühlwasserpumpen in nur einem Schritt. TAPIS® ersetzt somit die herkömmliche Vorreinigungsanlage.

Das ursprüngliche Konzept, das zur Entwicklung von TAPIS® führte, entstand aus der Tatsache, dass für die Kühlung eines Kondensators oder Wärmetauschers Kühl-

wasser benötigt wird, das frei von Grobverschmutzung ist – eine Forderung, die es zu erfüllen galt. Während konventionelle Anlagen dieses Problem durch die Entnahme der Grobverschmutzung aus dem Kühlwasser zu lösen versuchen – d.h. Fische, Quallen, Holzstücke, Styropor, Muscheln, Algen usw., die danach entsorgt werden müssen, belästigt TAPIS® diese Partikel im Wasser; das Kühlwasser wird also der Mischung „Grobverschmutz-Wasser“ entnommen und nicht umgekehrt.

### 6.1.2 Funktionsbeschreibung

Zur Entnahme von Kühlwasser aus Meer, Fluss oder See werden polyederförmige Siebe unter Wasser installiert und mit Anschlussrohren an einen geschlossenen Pumpensumpf verbunden. Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser in die Polyedersiebe eintritt, beträgt lediglich weniger als 0,5 m/s und ist demnach so niedrig, daß im Wasser befindliche Lebewesen wie Fische, Algen oder Quallen nicht in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die unterstützende Siebkonstruktion besteht aus Edelstahl (1.4439 im Fall von Meerwasser, 1.4401 für Süßwasser) und trägt die Siebelemente, die speziell für die auftretende Verschmutzungsart ausgewählt werden. Diese Elemente bestehen vorzugsweise aus

dem Kunststoffmaterial Delrin mit Lochkanälen. Nach unserer Erfahrung bieten nur derartige Lochkanäle den besten Schutz vor faseriger Verschmutzung, weswegen Seegras, Algen usw., Quallen, Muscheln, Seesterne, Holzstücke, oder auch Zivilisationsmüll wie Plastiktüten, -folien oder Blechdosen keinerlei Probleme für TAPIS® darstellen.

Wenn das Wasser dem Gewässer entnommen wird, sorgen die Polyedersiebe dafür, dass der Schmutz, der größer ist als die Lochung der Siebelemente, zurückgehalten wird.

Zur Entfernung dieses aufliegenden Schmutzes bedient man sich der physikalischen Eigenschaften von Luft in Wasser, d.h. über einen Kompressor wird eine bestimmte Menge Luft in einem Druckluftbehälter auf 10 bar komprimiert und dann in Form eines Luftimpulses in das Innere des Polyedersiebes geleitet.

Die Luft, die durch speziell angeordnete Luftdüsen geführt wird, entfernt den Schmutz von der Sieboberfläche, und zwar zunächst durch Druckwirkung und dann durch die Abhebekräfte der Luftdruckwolke. Die Meeres- oder Flusströmung treibt die Verschmutzung dann von dem Einlaufsieb weg, wobei jedoch

auch das Luftvolumen für eine großflächige Verteilung des durch die Druckluft rückgespülten Schmutzes sorgt.

Sobald der Druck innerhalb des Luftbehälters einen bestimmten Wert unterschreitet (je nach Einbautiefe der Einlaufsiebe), schließen sich die Druckluftventile und der Kompressor beginnt mit der Befüllung des Behälters. Bei Erreichen eines Drucks innerhalb des Behälters von 10 bar wird der Kompressor gestoppt, eine Signalleuchte am Steuerschrank meldet „bereit zum Spülen“, und der Prozess kann neu gestartet werden.

Gute Wirtschaftlichkeit wird erzielt durch einfache Bauweise mit einem Sieb ohne bewegliche Teile, minimalen Wartungsaufwand und vereinfachten Einbau.

TAPIS® ist umweltfreundlich, schützt die Wasserflora und -fauna und trägt dazu bei, dass gesetzliche Umweltauflagen leichter erfüllt werden können.

Eine Nachrüstung ist möglich: bestehende, althergebrachte Einlaufmaschinenanlagen können durch TAPIS® ersetzt werden.



Bild 14:  
Polyedrische Einlaufsiebe



## 6.2 CMS - CONDENSER MONITORING SYSTEM (Kondensatorüberwachung)

### 6.2.1 Aufgabenstellung des CMS

Die richtige Anwendung der Rohrreinigungsanlagen und Kühlwasserfilter ist Voraussetzung für optimale Betriebsergebnisse.

Der Überwachung der Rohrreinigungsanlage kommt besondere Bedeutung zu, da nur durch eine kontinuierlich wirksame Rohrreinigung die Entstehung von Ablagerungen verhindert werden kann. Dazu müssen der Umlauf und die Wirksamkeit der Reinigungskugeln ständig überwacht werden. Störungen des Kugelumlaufes müssen unverzüglich erkannt und beseitigt werden.

Verschlossene Kugeln müssen bei Erreichen einer Mindestwirksamkeit sofort erneuert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die notwendige Überwachung der Rohrreinigungsanlage nicht immer gewährleistet ist. Die üblicherweise im Kraftwerk vorhandene Messtechnik ermöglicht in vielen Fällen keine genaue und schnelle Beurteilung des Kondensatorzustandes. Deshalb werden durch zeitweise

ungenügende Reinigung entstandene Rohrverschmutzungen oft nicht erkannt. So ist es erklärlich, dass erst bei einer Inspektion des Kondensators Verschmutzungen und Beläge entdeckt werden, die dann häufig bereits erhebliche Leistungsverluste und Korrosionsschädigungen verursacht haben. Hauptursache dabei ist der zu späte Austausch der Reinigungskugeln.

### 6.2.2 Lösungskonzept

Zur Lösung dieser Aufgabe hat TAPROGGE das modular aufgebaute Messsystem THERMOVEBROM zur Kondensatorüberwachung entwickelt.

Basis ist eine speziell für diesen Zweck entwickelte Messtechnik. Sie ermöglicht eine genaue und sehr schnell reagierende Temperaturmessung an Ein- und Austritten einzelner Kondensatorrohre. Durch Erfassung und Auswertung von zeitlichen Temperaturprofilen an diesen Einzelrohren werden folgende Überwachungsfunktionen ermöglicht:

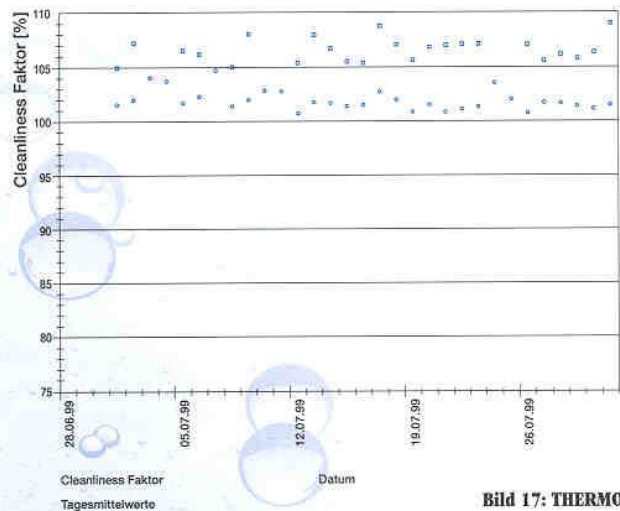
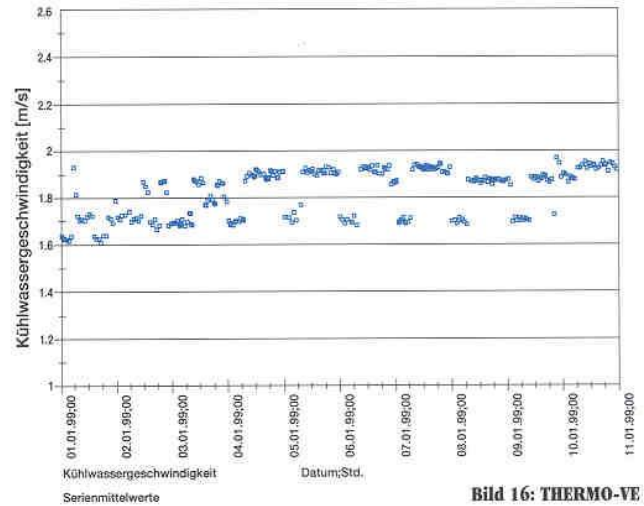
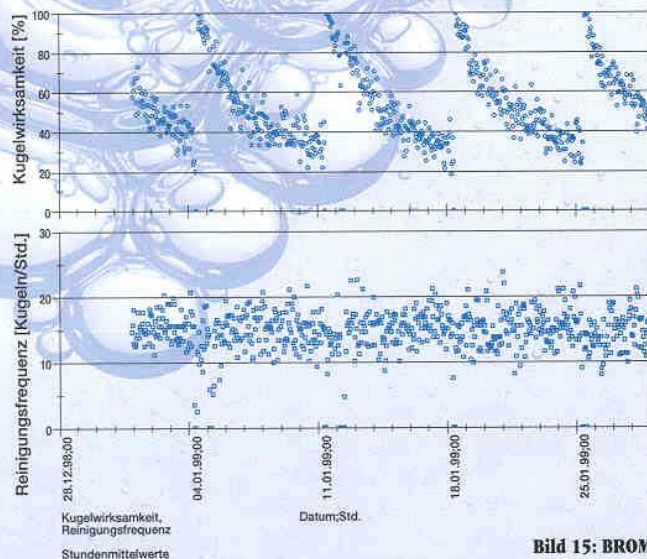
1. Überwachung von Umlauf und Wirksamkeit der Reinigungskugeln durch Aufnahme und Analyse von Temperatursignalen am Rohraustritt (BROM)
2. Bestimmung der Kühlwassergeschwindigkeit im Einzelrohr durch Vergleich von Temperaturprofilen am Rohrein- und

-austritt (korrelative Durchflussmessung) und der Überwachung des Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) durch zusätzliche Messung der Dampftemperatur. Bestimmte verschmutzungsgefährdete Bereiche des Kondensators können gezielt überwacht werden. (THERMO-VE)

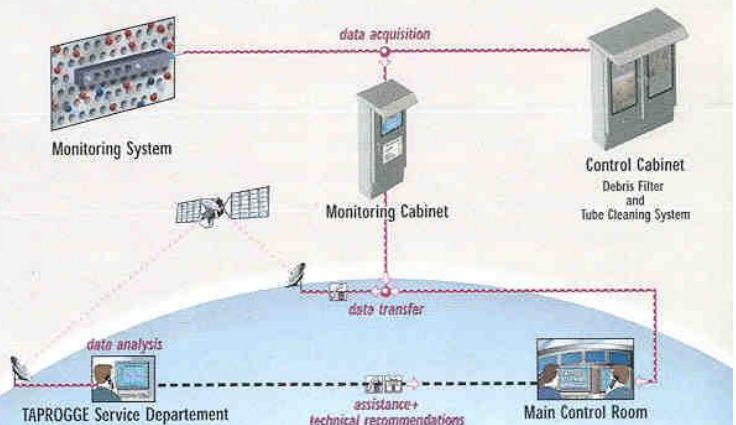
3. Aufnahme und Auswertung aller Messdaten durch eine spezielle Software im Messschrank.

4. Fernübertragung der Daten in die Hauptwarte des Kraftwerkes oder durch Modem und Telefonleitung in das TAPROGGE Service Department.

Hier wird eine Analyse des Kondensatorzustandes durchgeführt. Diese gezielte Auswertung garantiert die höchste Verfügbarkeit der Gesamtanlage.



### TAPROGGE REMOTE DATA ANALYSIS





## 7. Rohrreinigungs- und Filteranlagen für Klimatechnik und Chemie

Im Bereich Klimatechnik und Chemieanlagen sind andere Anlagenkonzepte erforderlich, da hier bedeutend kleinere Wärmetauscher eingesetzt werden. Kühlwasseranschlussweiten zwischen DN 500 und DN 80 sind hier gebräuchlich, wobei es auch in einigen Fällen möglich ist, die Reinigungsanlagen Off-line zu betreiben.

Für diesen Bereich setzt TAPROGGE zwei unterschiedliche, kostengünstige Systeme ein:

### 7.1 CCS für den On-line Betrieb von DN 500 bis DN 150

Funktion:

Der einzelne Wärmeübertrager oder Gruppen von Wärmeübertragern werden bei der CCS mit festen Rohrleitungen oder flexiblen Schläuchen (mobile Anlage) an der Kühlwassereintrittsleitung und an der Siebeinrichtung, die in der Austrittsleitung direkt hinter dem Wärmeübertrager installiert wird, angeschlossen. Die Anlage wird über den Schaltschrank gestartet. Die Fahrweise kann sowohl manuell als auch automatisch vorgenommen werden, wobei die CCS immer getaktet im Batchbetrieb läuft.

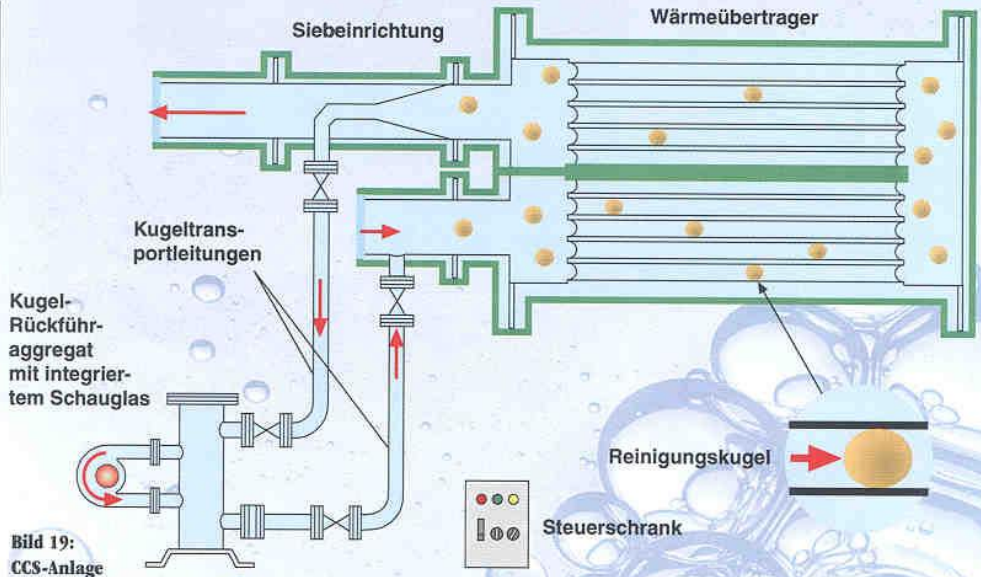


Bild 19:  
CCS-Anlage



Bild 21:  
CCS-Siebeinrichtung

Die Reinigungskugeln laufen bei der Förderung nicht durch die Pumpe selbst, sondern werden mittels einer beweglichen Kugelfangklappe entweder in der Kugelschleuse gehalten oder in einem bestimmten Zeitintervall aus der Kugelschleuse heraus wieder dem Wärmeübertrager zugeführt.

Der Kugeltransport kann durch das integrierte Schauglas im Schleusendeckel beobachtet werden.

Da die Siebeinrichtung über ein feststehendes Sieb verfügt, ist eventuell auftretender Grobschmutz mit einem entsprechenden Filter vor dem Wärmeübertrager zu entfernen.

TAPROGGE hat hierfür verschiedene automatische Rückspülfilter entwickelt, z.B. das DYNAMICFILTER mit Filterfeinheiten von 50 µm bis zu mehreren Millimetern.



Bild 20:  
CCS-Kugelrückführung



Bild 22:  
Dynamicfilter DN 150, 50µm

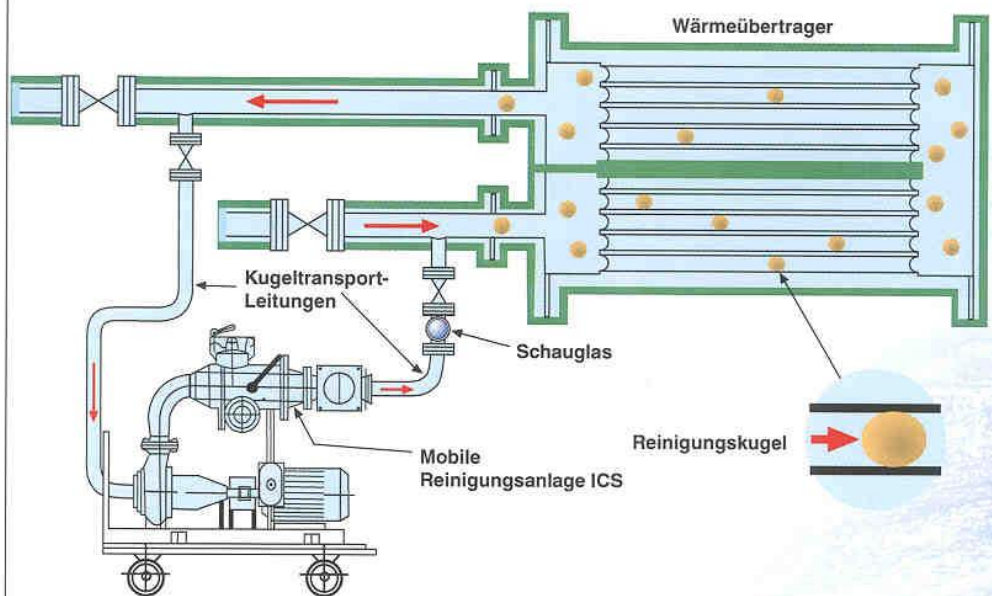


Bild 23:  
Dynamicfilter DN 300, 1000µm



## 7.2 ICS für den Off-line Betrieb von DN 150 bis DN 80

Da die Kugeltransportleitung im On-line Betrieb mit DN 80 – ähnlich dimensioniert wie die Hauptkühlwasserleitung – somit fast die gleiche erwärmte Kühlwassermenge von der Austrittsleitung des Wärmeübertragers wieder vor dessen Eintritt leiten würde, wäre die Wärmebilanz erheblich gestört und die gewünschte Grädigkeit könnte nicht erreicht werden. Daher kann die ICS nur im Off-line Betrieb eingesetzt werden, benötigt daher keine Siebeinrichtung, sondern verfügt über einen Schmutzabscheider. Die Reinigungskugeln verbleiben in dem neu geschlossenen kurzen Kreislauf. Allerdings muß die Kugelrückförmpumpe alle Widerstände dieses Kreislaufs einschließlich Wärmeübertrager überwinden. Eine Filtration des Kühlwassers ist nicht erforderlich. Die ICS eignet sich für den intermittierenden Betrieb, das heißt immer dann, wenn außerhalb der Produktion gereinigt werden kann oder muss, wenn hohe Temperaturen oder Drücke gefahren werden oder das Produkt aggressiv oder toxisch ist.



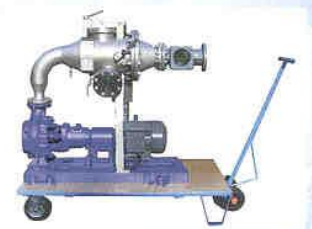
**Bild 24:**  
ICS-Mobile Rohrreinigungsanlage

### Funktion:

Der einzelne Wärmeübertrager oder Gruppen von Wärmeübertragern werden bei der mobilen ICS mit flexiblen Schläuchen an Vor- und Rücklauf angeschlossen, der Kühlkreislauf wird abgesperrt und der kurze Reinigungskreislauf geöffnet und aufgefüllt. Die Anlage ist nun betriebsbereit und wird

über den integrierten Schalter gestartet. Die Fahrweise ist alternativ manuell oder automatisch. Die Verunreinigungen können durch das Schauglas kontrolliert werden.

Ein Stutzen im Abscheider ermöglicht den Schmutzaustrag.



**Bild 25:**  
ICS-Mobile Rohrreinigungsanlage

## 8. Zusammenfassung

Der Einsatz von automatischen Rohrreinigungsanlagen mit Schwammgummikugeln hat sich in fast allen Bereichen der Wärmetauscherreinigung bestens bewährt.

Allerdings gibt es nicht die generelle Lösung für die unterschiedlichsten Aufgaben, die bestimmt wird durch die Kühlwasserzusammensetzung, den biologischen Zustand des Wassers, Art des Gesamtsystems mit technischen und betriebswirtschaftlichen Anforderungen.

Bei richtiger Auslegung unter Beachtung aller Anforderungen und dem sorgfältigen Betrieb der Rohrreinigungsanlagen mit Schwammgummikugeln und der automatischen Rückspülfilter ist eine manuelle Reinigung der Wärmetauscher nicht mehr notwendig. Der Einsatz chemischer Additive kann entscheidend verringert oder sogar vermieden werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Rohrreinigungsanlagen bei kleineren Wärmetauschern, z.B. in chemischen Anlagen, lässt sich naturgemäß schwerer darstellen als bei

Turbinenkondensatoren großer Kraftwerke. Dennoch haben sich speziell entwickelte Kleinanlagen mit reduzierten Anforderungen auch in dieser Hinsicht bewährt und es ergaben sich auch hier gute Chancen der Amortisation in angemessenen Zeiträumen.

Oft wird auch nur durch den Einsatz von automatischen Grob- und Feinfiltern die Betriebszeit eines Wärmetauschers beträchtlich verlängert.

In vielen Bereichen der Industrie sind TAPROGGE-Anlagen unverzichtbar und repräsentieren den neuesten Stand der Technik.





## Literatur

- (1) Müller-Steinhagen, H., Dr. Ing.: Verschmutzung von Wärmeübertragsflächen, Abschnitt Oc, VDI, Wärmeatlas, 5. Auflage 1988
- (2) VGB-Richtlinien: „Rohre für Kondensatoren und andere Wärmetauscher“
  - (2.1) Abnahmemessung und Betriebsüberwachung an wassergekühlten Oberflächenkondensatoren
  - (2.2) Teil A: Kupferlegierungen, VGB-A-106L
  - (2.3) Teil B: Nichtrostende Stähle, VGB-R-114L