

Filtration für Kühlturmsysteme und Wärmetauscher

Ulrich Pfeffer, Pfeffer Filtertechnik, D 73333 Gingen

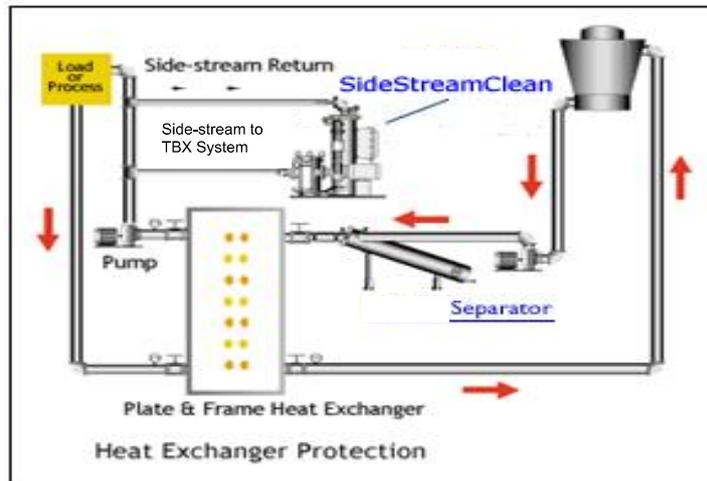
Die Verdunstungskühlung hat sich im Laufe der Zeit sowohl im Hinblick auf die Kosteneffizienz als auch im Hinblick auf die Gesamtleistung in hohem Maße bewährt. Es sind verschiedene Ausführungen, Modelle, Typen und Konfigurationen mit jeweils spezifischen Vorzügen und Stärken erhältlich. In Bezug auf die Lebensdauer lassen sich Kühltürme grundsätzlich in drei Kategorien einteilen: Kompaktkühltürme, die aus einer Metallkonstruktion bestehen und eine Lebenserwartung von bis zu ca. 15 Jahren haben; vor Ort erbaute Kühltürme aus Holz mit einer Lebenserwartung von bis zu ca. 15-20 Jahren und Kühltürme aus keramischem Beton oder Ortbeton, die eine längere Lebensdauer aufweisen (und mit höheren Anschaffungskosten verbunden sind) – für diese Kühltürme wird nicht selten eine Lebensdauer von 15 Jahren garantiert. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass Kompaktkühltürme in der Regel nicht länger als 9 Jahre halten und vor Ort erbaute Kühltürme nur etwa 10-15 Jahre.

Dies liegt weniger an der Bauart als an der jeweiligen Umgebung, an betriebsbedingten Faktoren und an der Handhabung des Systems. Katastrophenfälle wie etwa Blitzeinschlag, Sturm, Feuer und sonstige bedeutsame Vorkommnisse sind keine Seltenheit. Chemisches Ungleichgewicht im Wasser lässt sich ebenfalls eindeutig als Ursache ausmachen. Unerwünschte Kontamination stellt ein verblüffend hohes Risiko für Kühltürme dar – und darum soll es uns in diesem Artikel gehen, denn durch Verringerung der Kontamination lässt sich die Lebenserwartung eines Kühlturms um mehrere Jahre verlängern und seine Leistung verbessern bzw. auf hohem Niveau beibehalten.

Kühltürme funktionieren im Prinzip wie effektive Luftwäscher, da sie Staub, Schmutz, organisches Material und sonstige Partikel aus der Luft in die Kühlturmumgebung leiten. Auch im Zusatzwasser befinden sich Anteile von Sand, Lehm und sonstigen Partikeln, und zwar auch in Stadtgebieten, wo das Wasser häufig aus Speicherbecken oder Brunnen stammt; im Wasser befinden sich stets gewisse Anteile an gelösten oder ungelösten Feststoffpartikeln. Als letzter und wichtigster Punkt sei erwähnt, dass die Verdunstungskühlung sich selbst der größte Feind ist, da im Rahmen des Kühlprozesses durch die Abfolge Heizen-Kühlen, Beschleunigung-Stillstand und durch die Wasseraufbereitung große Mengen mineralischer Ablagerungen ausgefällt werden können.

Die größte Gefahr für ein Kühlwassersystem in Zusammenhang mit derartigen Verschmutzungen besteht für den Wärmetauscher. Wärmetauscher verfügen über schmale Strömungswege mit kontrollierter Strömungsgeschwindigkeit, die sich leicht mit Feststoffen zusetzen und verschmutzen können. Und lange vor dem aufwändigen Stilllegungs- und Reinigungsprozess der Anlage kommt es zu überhöhten Fließgeschwindigkeiten (jenseits der vorgesehenen Grenzwerte) und

verringertes Effizienz der Wärmetauscher durch wärmeisolierende Schmutzschichten.



Wärmetauscherschutz

Ebenso problematisch sind heutzutage die Auswirkungen der Kontamination im Kühlturm selbst. Feststoffpartikel aus dem Wasser, das durch den Füllkörper des Kühlturms fließt, lagern sich automatisch in Spalten und an Oberflächen ab und beeinträchtigen somit sowohl die Fließeigenschaften als auch die Effizienz. Die Wasserverteilköpfe und Düsen können durch diese Ablagerungen verstopfen und dadurch die Strömungsgeschwindigkeit und den Benetzungsprozess durch Veränderung des Düsensprühbildes beeinträchtigen. Das größte Problem ist jedoch, dass in jedem Fall Feststoffe in das Kühlturmbecken oder in den separat gelegenen Auffangbehälter gelangen und sich dort absetzen, was wiederum zu weiteren Komplikationen führt.

Auch bei gründlicher routinemäßiger Absalzung, Wasseraustausch und angemessener chemischer Behandlung bleiben Partikelablagerungen in Kühlturmbecken oder Auffangbehältern weiterhin problematisch. Durch das Absalzen kommt es zum Verlust von Wasser, was wiederum die Zufuhr von Zusatzwasser sowie eine erneute chemische Aufbereitung erforderlich macht. Darüber hinaus besteht jedoch auch das zunehmend offensichtliche Problem der mikrobiellen Kontamination mit zum Teil gesundheitsgefährdenden Bakterien und der damit verbundenen potentiellen Verbreitung von Krankheiten, z.B. Legionellen. Denn wenn sich ungestört Feststoffe an feuchten, strömungsarmen Orten ansammeln können, bieten sie einen idealen Nährboden für Bakterien. Und wenn das Wasser erst einmal kontaminiert ist, ist es bald auch die Luft, wodurch es zu Erkrankungen der Atemwege wie z. B. Tuberkulose, durch Staphylokokken verursachter Lungenentzündung und sogar den vorher erwähnten Legionellen kommen kann.

Der amerikanische Verband für Krankenhaustechniker ASHE hat bereits Vorgaben für seine Mitgliedseinrichtungen herausgegeben, mit denen Feststoffablagerungen begrenzt werden sollen; die Richtlinie enthält Zertifizierungsanforderungen, mit denen Verdunstungskühlsysteme davor geschützt sein sollen, dass

Feststoffe in das System gelangen und sich dort ablagern. Der amerikanische Berufsverband für Techniker aus dem Bereich der Heizungs-, Kühl- und Klimaanlage, ASHRAE, weist in seinem Handbuch ebenfalls darauf hin, dass unerwünschte Kontaminationen aus der Umgebung des Kühlturms fernzuhalten sind.

IDENTIFIZIERUNG DER KONTAMINATION

Um ein Problem lösen zu können, muss man es zunächst genauer untersuchen. Erst wenn man das Problem genau kennt, kann man nach einer angemessenen und realisierbaren Lösung suchen. Angesichts der oben beschriebenen Kontaminationsquellen gibt es verschiedene Arten von Kontamination:

Anorganische Feststoffe – Sand, Kies, Staub und Schmutz können aus der Wasserversorgung bzw. aus dem Zusatzwasser und über die Lufteinlässe ins System gelangen (Kühltürme sind großartige Luftwäscher!).

Organische Feststoffe – Blätter, Gräser, Pappelsamen, Algen, Pollen, Insekten und sonstige vom Wasser mitgerissene Rückstände gelangen in das Kühlturmsystem.

Ausgefällte Feststoffe – Beim Verdunsten von Wasser bleiben die Mineralstoffe zurück, die mineralische Ablagerungen ergeben.

Diese Kontaminationsarten treten in der Regel entweder in Form von sedimentierbarem oder in Form von schwimmfähigem Material auf. Diese Unterscheidung ist wichtig, da es sich bei sedimentierbarem Material größtenteils um Feststoffe handelt, die sich im Kühlturmbecken oder im separaten Auffangbecken ansammeln, während beide Arten von Kontamination in Wärmetauschern, Kühlturmverteilerköpfen, Düsen und Füllkörpern vorzufinden sind.

Auch die Größe der Feststoffpartikel spielt eine Rolle. In einem Kühlturmsystem können Feststoffpartikel in den unterschiedlichsten Größen auftreten; es genügt jedoch, sich nur mit den für größere Feststoffansammlungen relevanten Partikelgrößen zu befassen. Einige Beispiele zur Veranschaulichung: 40 Mikrometer groß ist der kleinste mit dem menschlichen Auge wahrnehmbare Partikel; ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von etwa 30-120 Mikrometer; ein Sandkorn vom Strand hat eine Größe von mindestens ca. 150-200 Mikrometern; Blütenstaubpollen haben einen Durchmesser von 20-200 Mikrometern; rote Blutkörperchen sind etwa zwischen 7 und 10 Mikrometer groß; Viren sind 0,01 bis 0,1 Mikrometer groß; und die meisten Bakterien haben eine Größe von maximal 5 Mikrometern. Nach dem amerikanischen Wasserqualitätsverband befinden sich im Trinkwasser in der Regel Partikelgrößen zwischen 0,5 und 5 Mikrometern und in dieser Größe stellen nur Bakterien ein Problem dar, welche üblicherweise ausschließlich durch Desinfektion und nicht durch Filtration beseitigt werden.

Der Versuch, extrem kleine Partikel herauszufiltern, würde vor allem kostenaufwändig und ineffizient sein, eine technische Notwendigkeit der Filtration dieser

Mikropartikel ist meist nicht gegeben. Erschwingliche Schutzmaßnahmen sind sinnvoller als absolute Perfektion und eine (zusätzliche) Desinfektion ist meist die bessere Lösung .

BESTIMMUNG DER SYSTEMANFORDERUNGEN

Überlegen Sie sich einfach, was Sie für den Schutz folgender Komponenten vor Kontamination brauchen: Wärmetauscher, Kühlturmbecken oder separater Auffangbehälter, Füllkörper des Kühlturms und/oder Verteilerköpfe/Düsen.

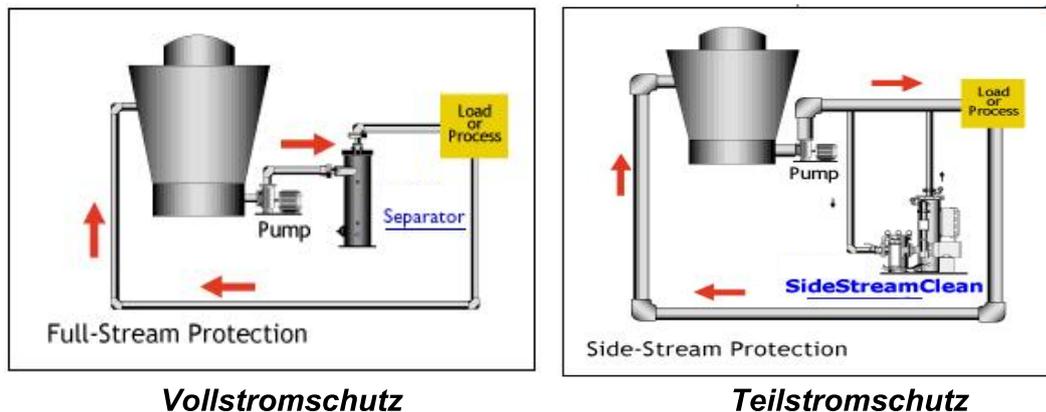
Schätzen Sie die anfallenden Kosten für folgende Aspekte ab: Stillstandszeit der Anlage, Reinigung, Reparatur- und/oder Austauscharbeiten, Außenarbeiten, Überstunden für Zusatz- und Wartungsarbeiten. Diese Aspekte spielen eine wichtige Rolle, wenn man die durch das Problem entstehenden Kosten mit den Kosten für die Lösung des Problems vergleicht.

FILTRATIONSVERFAHREN

Im Allgemeinen haben sich fünf Verfahren zur Eindämmung von Feststoffablagerungen in Verdunstungskühlsystemen bewährt. Jedes dieser Verfahren beruht auf einer anderen Herangehensweise und hat seine eigenen Stärken und Vorzüge aber ggf. auch Schwächen.

Vollstromfiltration – Bei diesem Verfahren wird der Filter ausgangsseitig an der (dem Kühlturmbecken oder dem separaten Auffangbehälter nachgeschalteten) Systemversorgungspumpe vor den Wärmetauschern/Kühleinheiten installiert. Die Größe des Filters ist für die gesamte von der Pumpe kommende Wassermenge ausgelegt, so dass das gesamte Wasser gefiltert wird, das zu den Wärmetauschern/Kühleinheiten geleitet wird.

Der Hauptvorteil dieser Technik liegt im Schutz der Wärmetauscher/Kühleinheiten; der Arbeitszyklus eines Wärmetauschers zwischen den Instandhaltungsintervallen wird dadurch schätzungsweise verachtfacht (die Berechnung beruht auf Erfahrungen von Benutzern, die genaue "Vorher/Nachher"-Daten erfasst haben). Bei diesem Verfahren wird jedoch nicht direkt das Problem der Feststoffablagerungen in Kühlturmbecken/separaten Auffangbecken behandelt. Zwar kann durch effektive Filtration die Gesamtkonzentration an Feststoffen gesenkt werden, aber die Kühlturmumgebung an sich ist anfällig für unerwünschte Ablagerungen und die Bildung von Feststoffen, die sich im Becken absetzen können und niemals zum Wärmetauscher geleitet werden.



Teilstromfiltration – Bei diesem Verfahren werden in der Regel 10-20 % der Hauptströmung durch einen Filter und anschließend wieder in die Hauptströmung zurückgeleitet, bevor diese dann den Wärmetauschern/Kühleinheiten zugeführt wird. Die Teilströmung sollte nicht zur Eingangsseite der Pumpe zurückgeleitet werden, da so den Wärmetauschern eine geringere Wassermenge zugeführt würde oder die Pumpe ausgangsseitig entsprechend mehr Wasser abgeben müsste. Dieses Verfahren basiert auf dem Grundgedanken, dass eine Teilwassermenge gefiltert wird und die Schmutzentnahme größer sein muss als der Schmutzeintag in das Gesamtsystem pro Zeiteinheit.

In manchen Fällen werden auch geringere Teilströme abgezweigt, dies ist jedoch nicht zu empfehlen. Je nach Standort (z. B. in der Nähe großer Freiflächen oder windiger, staubbelasteter Gebiete) und saisonbedingten Faktoren (z. B. Pollenflugzeiten, Erntezeiten oder Sandsturmsaison) kann es zu größeren Kontaminationen kommen, die mit einem geringen Teilstrom nicht mehr aufgefangen werden könnten. Bei der Auslegung des Systems sollte immer von einem „worst case scenario“ ausgegangen werden.

Der Arbeitszyklus der Wärmetauscher eines Kühlturms zwischen den Instandhaltungsintervallen wird beim Teilstromverfahren schätzungsweise verdreifacht (die Berechnung beruht auf Erfahrungen von Benutzern, die genaue "Vorher/Nachher"-Daten erfasst haben). Dieses Filtrationsverfahren wird in der Regel bei besonders hohen Gesamtumwälzmengen gewählt, da hier das Filtrieren der gesamten Vollstroms kostenbedingt kaum realisierbar oder nicht sinnvoll ist. Wie auch bei der Vollstromfiltration wird hier das Problem von Feststoffansammlungen im Kühlturmbecken oder im separaten Auffangbecken nicht gelöst.

Systemumwälzung – Dieses System wird manchmal mit der Teilstromfiltration oder der Beckenreinigung verwechselt; hier wird die gesamte Wassermenge im Kühlkreislauf berechnet (Becken/Auffangbehälter, Wasserleitungen, Wärmetauscher usw.) und eine stündlich umzuwälzende Wassermenge bestimmt (Gesamtwassermenge in m³ geteilt durch 1 = Durchflussmenge in m³/ Stunde). In vielen Fällen entspricht die zu filternde Durchflussmenge hier in etwa der Teilstromfiltration; jedoch werden hier größere Systemflüssigkeitsmengen durch um-

fangreiche Rohrleitungen, größere Becken usw. berücksichtigt. (Die umgewälzte Wassermenge (=Vollstrom) ist in der Regel ein vielfaches des Systemvolumens)

Der Arbeitszyklus eines Wärmetauschers zwischen den Instandhaltungsintervallen wird bei der Systemumwälzung schätzungsweise verdreifacht (die Berechnung beruht auf Erfahrungen von Benutzern, die genaue "Vorher/Nachher"-Daten erfasst haben). Wie auch bei den oben beschriebenen Filtrationsverfahren wird hier das Problem der Feststoffansammlungen im Kühlturmbecken oder im separaten Auffangbecken ebenfalls nicht gelöst

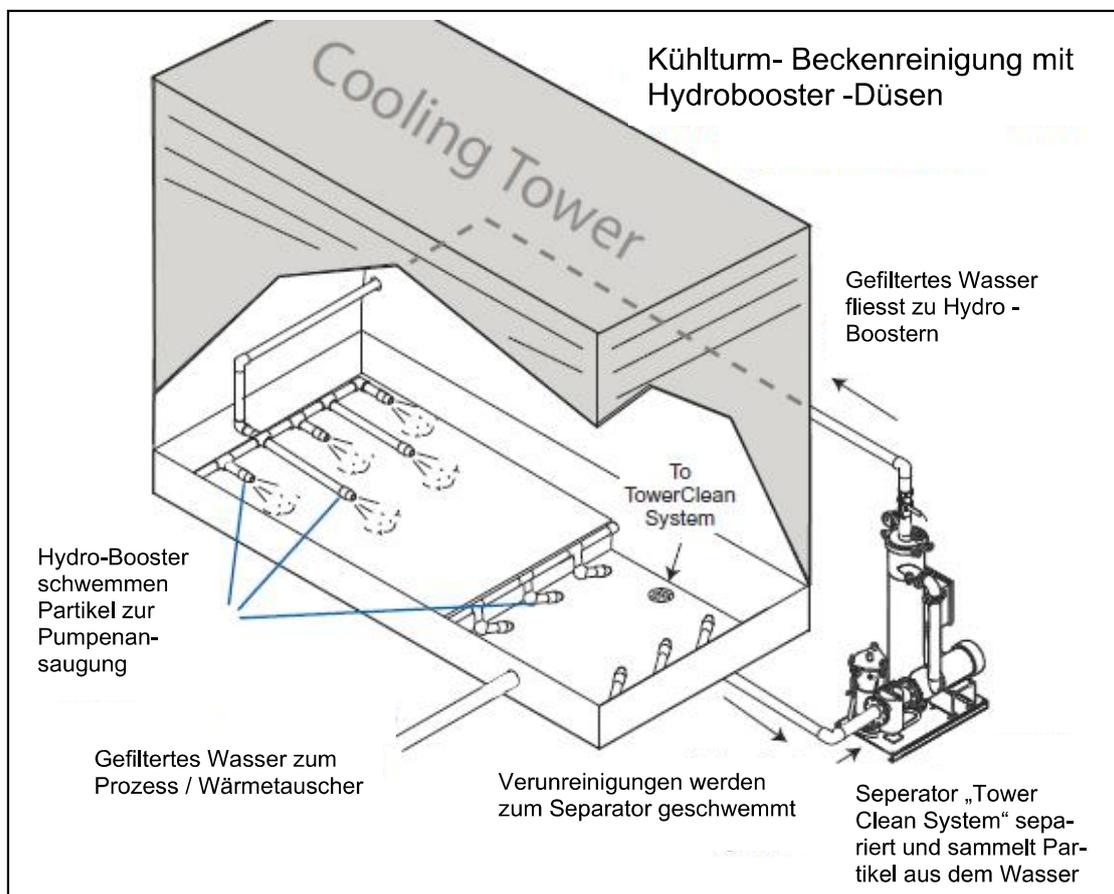
Kühlturmtassen- / Pumpensumpfreinigung – Im Hinblick auf die oben beschriebenen Verfahren stellt eine speziell auf Feststoffablagerungen im Kühlturmbecken bzw. im separaten Auffangbecken ausgelegte Filtration in der Industrie einen neuartigen technischen Ansatz dar. Der Erfolg und Nutzen eines solchen Verfahrens hat dieses Konzept jedoch inzwischen zu einer der beliebtesten Lösungen gemacht. Im Prinzip wird dabei Wasser aus dem Kühlturmbecken/Auffangbecken zur Filtereinheit und direkt wieder in das Kühlturmbecken/Auffangbecken zurück geleitet. Die Wiedereinleitung in das Becken erfolgt über spezielle Düsen, die eine speziell ausgerichtete Strömung erzeugen, mit der sedimentierbare Partikel zum Pumpeneinlass der Beckenreinigungseinheit bewegt werden. Die Größe der Filtereinheit richtet sich nach der Größe des Kühlturmbeckens/Auffangbeckens. Es gilt die allgemeine Regel "3 bis 9 m³/h pro Quadratmeter", in Abhängigkeit von der Anwendung, der Wassertiefe und dem voraussichtlichen Kontaminationsumfang im Kühlturmbecken.

Auch wenn sich dieses Verfahren speziell auf das jeweilige Kühlturmbecken/Auffangbecken bezieht, lässt sich der Nutzen des Verfahrens dennoch berechnen: der Arbeitszyklus eines Wärmetauschers zwischen den Instandhaltungsintervallen wird schätzungsweise verfünffacht (die Berechnung beruht auf Erfahrungen von Benutzern, die genaue "Vorher/Nachher"-Daten erfasst haben). Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Verfahren zielt nur die Beckenreinigung tatsächlich auf die Beseitigung von Ablagerungen im Kühlturmbecken/Auffangbecken ab, ganz nebenbei wird aber auch das Gesamtwasservolumen sauber gehalten.

Bei diesem Ansatz muss ein System aus Venturidüsen so konzipiert werden, dass die Strömungsaktivität und das Aufwirbeln der Partikel im Becken insgesamt ohne den Einsatz einer Pumpe mit besonders hohem Fördervolumen ermöglicht wird. So werden Anlagenkosten und Energiekosten für die Pumpe so gering wie möglich gehalten. Diese Düsen werden als Eduktoren oder Hydro-Booster bezeichnet und erhöhen die Durchflussgeschwindigkeit des durch die Düsen fließenden Wassers deutlich, die bewegte Wassermenge wird aber durch den Venturi - Effekt um das 5 bis 6 fache gesteigert. Dadurch können in der Filtereinheit kleinere Filter und Pumpen eingesetzt werden, während zugleich die nötige Strömungsaktivität erzielt wird, um das sedimentierbare Material durch

das Kühlturmbecken bzw den Pumpensumpf zum Pumpeneinlass der Filtereinheit zu bewegen.

Damit diese Methode auch möglichst wirksam ist, müssen die Durchfluss- und Druckanforderungen der ausgewählten Düsen unbedingt eingehalten werden. Nur so kann die Strömungsaktivität erzielt werden die nötig ist, um die Feststoffe im Becken in Bewegung zu bringen, zu halten und problematische Materialablagerungen zu vermeiden. Wenn das Wasser mit unzureichender Geschwindigkeit oder unzureichendem Druck durch die Düsen geleitet wird, können diese die Strömungsgeschwindigkeit nur ungenügend erhöhen und die Gesamtströmungsaktivität, mit der die Feststoffe zum Pumpeneinlass und so zum Filter bewegt werden, lässt nach, so dass das Ergebnis eher der oben beschriebenen Systemumwälzung entspricht als einer Behälterreinigung.



Nachfüllwasserfiltration – Bei diesem Filtrationsverfahren befindet sich am Einlass für das Nachfüllwasser ein Filter, der unerwünschte Feststoffpartikel vom System fernhält. Der Nutzen dieser Technik beschränkt sich darauf zu verhindern, dass Verschmutzungen des Nachfüllwassers zur Kontamination des Systems beitragen. Dieses Filtrationsverfahren ist wenig effektiv, da der Großteil der

Feststoffe in der Regel mit dem Luftstrom in das System gelangt oder während des Verdunstungs-/Ausfällungsprozesses entsteht. Bisher wurde für die Nachfüllfiltration noch kein konkreter Schutzfaktor ermittelt; jedoch kann die Zufuhr von Wasser mit großen Mengen Sand, Kies oder organischen Stoffen zweifelsohne zu ebenso großen Problemen führen, wenn das Wasser nicht entsprechend gefiltert wird.

AUSWAHL DES FILTRATIONSVERFAHRENS

Nachdem das Problem genau definiert und die Filtrationslösung ausgewählt wurde, muss nur noch der richtige Filter bzw. Separator bestimmt werden, mit dem die gewünschten Ergebnisse erzielt werden sollen.

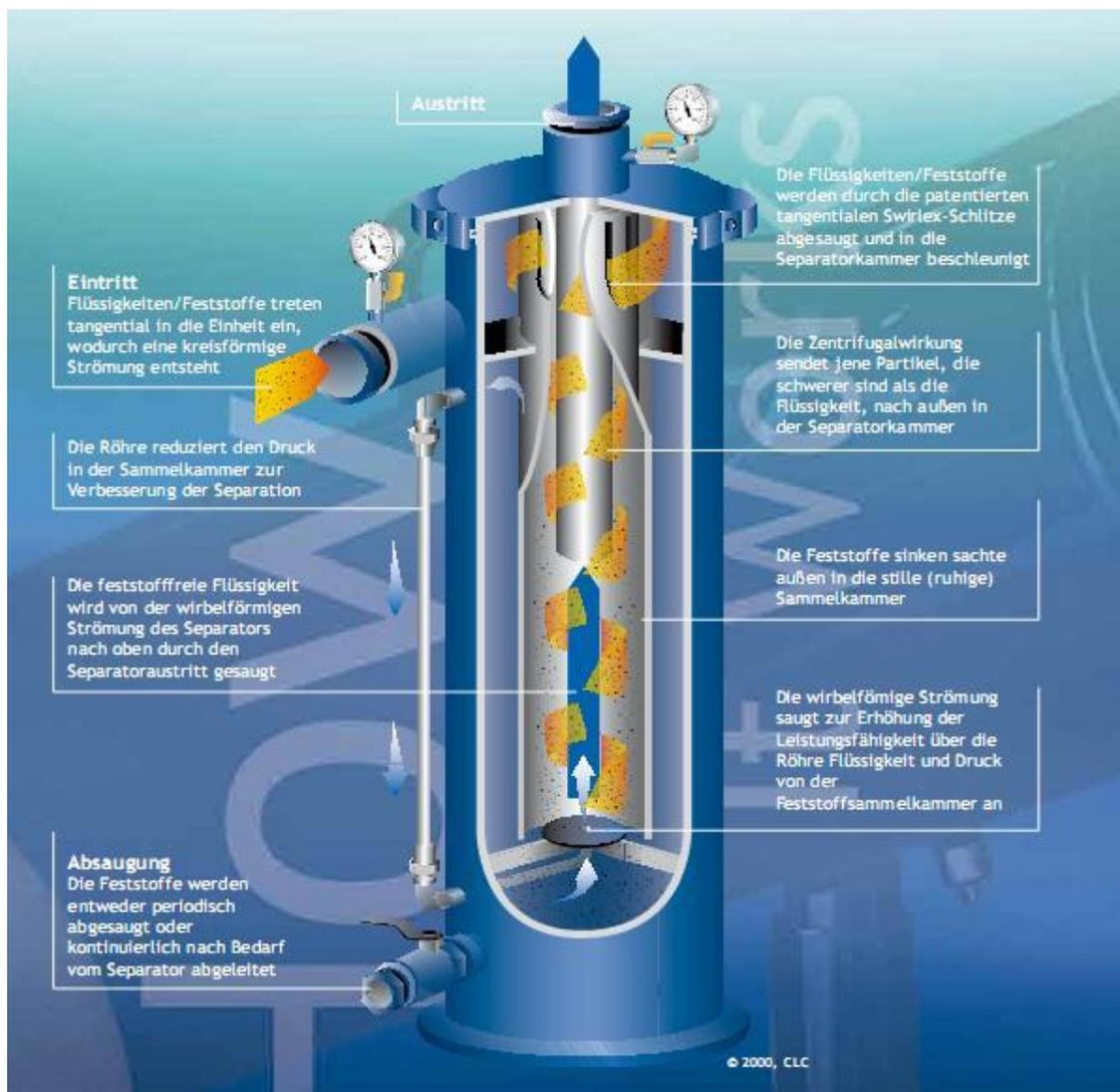
Filteroptionen:

Siebfilter – Schlauchfilter, Filterpatronen oder selbstreinigende Siebfilter

Sandfilter – Filtervorrichtungen mit Filterbett

Separatoren – Zur Trennung von Feststoffen aus Flüssigkeit

Funktionsprinzip eines Pfeffer-Separators



Mit Hilfe folgender Kriterien kann der Käufer ermitteln, welcher Filter bzw. Separator der richtige für sein System ist:

- **Leistungsfähigkeit bzgl. Partikelentfernung** – Kann der Filter die problematischen Feststoffmengen angesichts der jeweiligen Systemanforderungen entfernen?

- *Durchflussmenge* – Ist der Filter für den erforderlichen Volumenstrom ausgelegt?
- *Druckverlust* – Wie hoch ist der mit dem Filter verbundene Druckverlust? Ist der Druckverlust variabel oder konstant? (dies hat u.A. Auswirkung auf das Düsensprühbild)
- *Flüssigkeitsverlust* – Wie viel Wasser wird zur Reinigung des Filters benötigt? Wie fangen Sie diesen Wasserverlust auf?
- *Feststoffhandhabung* – Wie wird mit den herausgefilterten/abgetrennten Feststoffen verfahren?
- *Ersatzteile* – Welche Teile müssen regelmäßig ausgetauscht werden und welche Kosten sind damit verbunden?
- *Wartungsaufwand* – Welche Wartungsarbeiten müssen durchgeführt werden? In welchen Intervallen? Muss der Anlagenbetrieb für die Wartungsarbeiten unterbrochen werden, und falls ja, wie lange? Müssen Komponenten am Lager vorgehalten werden?
- *Platzbedarf* – Wie viel Platz steht zur Verfügung? Passt der Filter in den vorgesehenen Platz?

Gehen Sie bei der Auswahl des Filters bzw. Separators lösungsorientiert vor. Zu einer Gesamtlösung gehört der richtige Filter, eine geeignete Automatisierungsvorrichtung, eine geeignete Technik zum Auffangen und Handhaben der gefilterten/abgetrennten Feststoffe und die Möglichkeit, die Lösung so kompakt zu gestalten, dass der Aufwand für Konstruktion, Beschaffung, Installation und Inbetriebnahme möglichst gering ist.

Es gibt Filtrations- und Separationssysteme für die verschiedensten Anforderungen. Untersuchen Sie die konkreten Gegebenheiten des Problems ganz genau, denn eine absolut perfekte Lösung ist zwar möglich, es kommt jedoch darauf an, eine sinnvolle und erschwingliche / leicht amortisierbare Lösung zu finden.

EINSPARUNG DURCH FILTRATION

Man sagt, dass Kosteneinsparung stets "beim Budget" beginnt, das zunächst so lange fehlgeleitet wird, bis man das bzw. die Probleme erkannt hat und das Budget in geringerem Umfang für die Lösung des Problems einsetzen kann. So verhält es sich auch mit der richtigen Filtration eines Verdunstungskühlungssystems. Rechnen Sie sich aus, welche Kosten ohne Filtration anfallen und vergleichen Sie diese mit den Kosten für die empfohlene Lösung. Die Differenz ist Ihr Gewinn.

Um herauszufinden, ob Filtration für Sie in Frage kommt, können Sie sich auch folgende Kriterien ansehen:

- *Geringere Wartungskosten: Einsparung mit Pfeffer-Separator von 60-90 % sind möglich* – Rechnen Sie sich aus, welche Kosten derzeit bedingt durch

die Verschmutzung des Wassersystems anfallen: Stillstandszeit der Anlage; Arbeitskosten; Überstunden; Produktivitätsverlust; Reinigen/Entkrusten der Wärmetauscher, Gesundheitsrisiken der Mitarbeiter und so weiter. Man kann sich gut vorstellen, dass hier ein großes Einsparpotential besteht.

- *Geringere Energiekosten: Einsparung durch Pfeffer-Separator von 10 % – 30% .* Wenn sich Schmutz auf einem Wärmetauscher oder einer Kühlvorrichtung absetzt, entsteht eine Isolierschicht auf den Überträgerflächen und es dauert länger, bis der Wärmeabfluss erreicht werden kann. Es muss mehr und länger Kühlwasser umgewälzt werden. Durch die längeren Pumpenlaufzeiten entstehen höhere Energiekosten und mehr Verschleiss. Die angegebene Schätzung möglicher Einsparungen ist sogar noch niedrig angesetzt.
- *Geringere Wasserkosten: Einsparung von 5-10 % –* Bei richtiger Filtration müssen deutlich weniger Absalzprozesse durchgeführt werden. Es sind nicht nur die Kosten für das zugeführte Frischwasser, sondern auch die Kosten für die Abwasser-/Schmutzwasserentsorgung zu berücksichtigen.
- *Geringere Chemikalienkosten: Einsparung von 5-15 % -* Durch das Hinzufügen von Zusatzwasser und das Ablagern von Feststoffen müssen größere Mengen an Wasser bzw. Material chemisch aufbereitet werden. Ohne diesen Mehrbedarf an chemischer Aufbereitung werden ganz klar Kosten eingespart.

Orientieren Sie sich bei der Berechnung der Einsparungen durch richtige Filtration an diesen Hinweisen und Eckdaten. Berücksichtigen Sie bei den Kosten auch Verschleiß und Ersetzen von Kühlturmhüllen, Packungen und Wärmetauschern/Kühleinheiten sowie Pumpenschäden und die Verunreinigung und Reparatur-/Austauscharbeiten an Ventilen und Steuerungselementen. Durch Filtration kommt es automatisch zu Einsparungen, mit denen die Mehrkosten für die Pfeffer-Separatoren kurzfristig und vollständig aufgefangen werden.