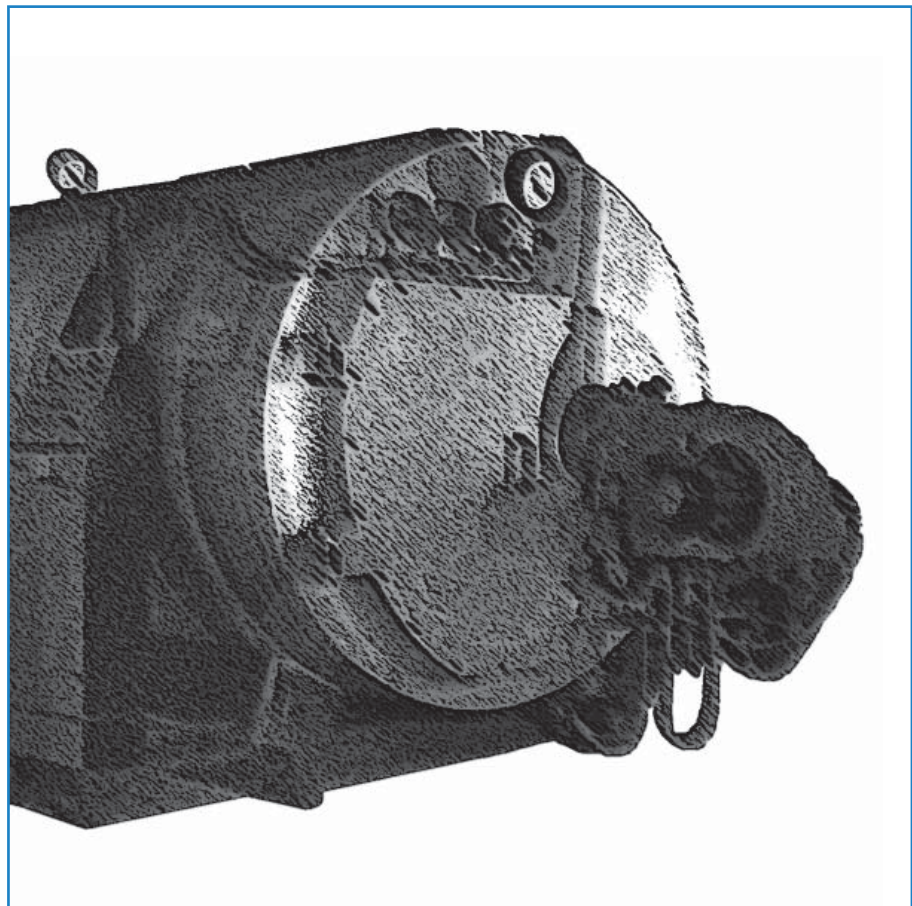


B120 Dampferzeugung: Dampfkessel

Betrieb von Dampferzeugern aus wassertechnischer Sicht



B120 Dampferzeugung: Dampfkessel

Betrieb von Dampferzeugern aus wassertechnischer Sicht

Inhalt

1 Allgemeines zur Kesselwasseraufbereitung	Seite 3
1.1 Richtwerte für Kesselspeisewasser	Seite 4
1.2 Richtwerte für Kesselwasser	Seite 5
1.3 Richtwerte für Kondensat	Seite 5
2 Die wichtigen Kesselwasserparameter	Seite 6
2.1 Leitfähigkeit und Kesseleindickung	Seite 6
2.2 Sauerstoff	Seite 7
2.3 Resthärte und Ablagerungen	Seite 8
2.4 p-Wert ($K_{S8,2}$)	Seite 9
2.5 pH-Wert/Freie Kohlensäure	Seite 9
3 Anlagentechnik	Seite 10

1 Allgemeines zur Dampfkesselwasseraufbereitung

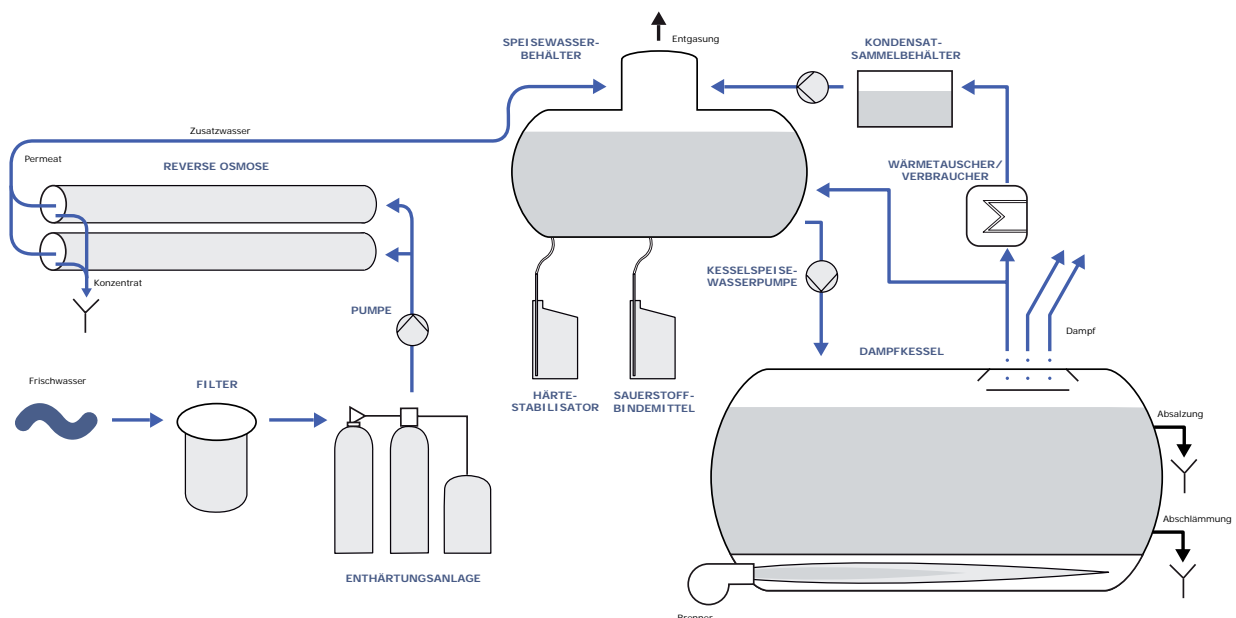
Bei der Dampfkesselwasseraufbereitung werden je nach zulässigem Betriebsüberdruck, Art der Anlage und Verwendung des Dampfes unterschiedliche Ansprüche an die Qualität des aufbereiteten Wassers gestellt.

Ein ungenügend aufbereitetes Speisewasser ist für die Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Werterhaltung der Anlage nachteilig. Dies muss durch eine geeignete Aufbereitung und Konditionierung vermieden werden.

Mit der Entfernung verschiedener Wasserinhaltsstoffe aus dem Speisewasser durch Enthärtung, Entcarbonisierung oder Entsalzung wird das System vor Ablagerungen geschützt. Die Zugabe von Härtestabilisatoren, Dispergatoren, Sauerstoffbindemitteln und Alkalisierungsmitteln sorgt für geringe Korrosionsraten und verhindert Ablagerungen durch Korrosionsprodukte und Resthärte. Eine effektive Anlagentechnik und eine auf das Gesamtsystem abgestimmte Chemikaliendosierung sind notwendig, um mögliche Schäden im System zu vermeiden und gleichzeitig eine wirtschaftliche Betriebsweise der Kesselanlage zu ermöglichen.

Eine geeignete Wasseraufbereitung umfasst insgesamt:

- eine auf das Rohwasser abgestimmte Vorfiltration/Enteisung
- die Entfernung der Härtebildner und/oder Salze aus dem Wasser über Ionenaustauscher oder Umkehrosmose
- das Austreiben gelöster, korrosiver Gase durch thermische Entgasung im Bereich von 0,2 bis 3 bar Überdruck
- Entfernen des Restsauerstoffgehaltes durch Dosierung chemischer Sauerstoffbindemittel
- eine Alkalisierung des Dampf-Kondensatbereiches mit Hilfe dampfflüchtiger Alkalisierungsmittel
- Binden der Resthärte und Dispergieren von Korrosions-/Schwebstoffen durch Dosierung eines Härtestabilisators



Grafik 1: Prinzip der Dampfkesselwasseraufbereitung mit Entsalzung des Zusatzwassers

1.1 Richtwerte für Kesselspeisewasser

Vom VdTÜV Essen sind im Merkblatt 1453 folgende Richtwerte für Kesselspeisewasser vorgegeben worden:
(Diese Werte werden eventuell durch andere, vom Kesselhersteller herausgegebene, Daten ergänzt oder ersetzt)

Zulässiger Betriebsdruck	bar	< 1	> 1 < 22	> 22 < 68
allgemeine Anforderungen		farblos, klar, frei von ungelösten Feststoffen		
pH-Wert bei 25°C		> 9	> 9	> 9
Leitfähigkeit bei 25°C		nur Richtwerte für Kesselwasser sind maßgebend		
Summe Erdalkalien (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	mmol/l °dH	< 0,015 0,084	< 0,010 0,056	< 0,010 0,056
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	< 0,1	< 0,02	< 0,02
Kohlensäure gebunden (CO ₂)	mg/l	< 25	< 25	< 25
Eisen, gesamt (Fe)	mg/l	-	< 0,03 ¹⁾	< 0,03 ¹⁾
Kupfer, gesamt (Cu)	mg/l	-	< 0,005 ¹⁾	< 0,005 ¹⁾
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	nur Richtwerte für Kesselwasser sind maßgebend		
Oxidierbarkeit (MnVII + MnII) als KMnO ₄	mg/l	< 10	< 10	< 10
Öl, Fett	mg/l	< 3		< 1
Kupfer ¹⁾	mg/l	< 0,05		

1) für Großraumwasserkessel < 22 bar

1.2 Richtwerte für Kesselwasser

Für das Kesselwasser werden folgende vom Betriebsüberdruck abhängige Richtwerte empfohlen:

Zulässiger Betriebsüberdruck	bar	< 1	> 1 < 22	> 22 < 44	> 44 < 68 (salzfreie Betriebsweise)
allgemeine Anforderungen		farblos, klar, frei von ungelösten Feststoffen			
pH-Wert bei 25°C		10,5 - 12	10,5 - 12	10 - 11,8	9,5 - 10,5
Erdalkalien Gesamthärte	mmol/l °dH	< 0,015 < 0,1	< 0,01 < 0,05	< 0,01 < 0,05	< 0,01 < 0,05
Säurekapazität bis pH 8,2 ($K_{S8,2}$) p-Wert	mmol/l	1 - 12	1 - 12	0,5 - 6	0,1 - 1
Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	< 5000	< 7500	< 5000	< 150
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	-	druckstufenabhängig		< 10
Phosphat PO ₄	mg/l	10 - 20	10 - 20	5 - 15	< 6

1.3 Richtwerte für Kondensat

Für das Kondensat werden folgende Richtwerte empfohlen:

pH-Wert bei 25°C	> 8
Gesamthärte	< 0,1
Leitfähigkeit	< 30 µS/cm *
Kupfer	< 0,1 mg/l

* Wert kann durch Behandlungsprodukte höher liegen

2 Die wichtigen Kesselparameter

2.1 Leitfähigkeit und Kesseleindickung

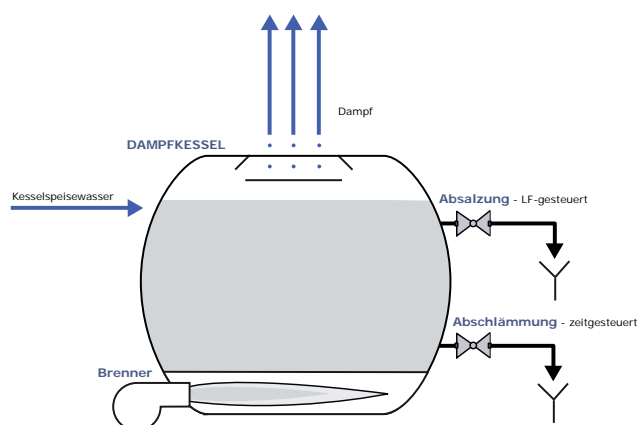
Die Leitfähigkeit des Wassers ist ein direktes Maß für den Salzgehalt. Bei steigendem Salzgehalt steigt auch die Leitfähigkeit proportional an.

Beim Betrieb einer Dampfkesselanlage werden alle Salze des Speisewassers im Wasserraum des Kessels eingedickt. Nur salzfreies Wasser verlässt als Dampf den Kesselraum.

Da die Menge der Salze die vom Gesetzgeber oder Kesselhersteller festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten soll, muß abgesalzen und abgeschlämmt werden. Dabei läßt man das stark salzhaltige Wasser in den Kanal fließen und ergänzt durch weniger salzhaltiges, neues Speisewasser. Um einen Kessel möglichst optimal zu betreiben sollte die Absalzung kontinuierlich und gesteuert erfolgen.

Da die Leitfähigkeit ein einfach und kontinuierlich zu messender Parameter ist, wird häufig eine Messung direkt in den Kessel eingebaut. Über eine Steuerung wird ein Absalzventil angesteuert.

Eine Obergrenze der Leitfähigkeit im Kesselwasser ist nötig, um die Menge der Wasserinhaltsstoffe (Chlorid) und damit eine erhöhte Korrosivität des Wassers zu begrenzen. Da ein Kesselwasser mit sehr hoher Leitfähigkeit zum Schäumen neigt, wird durch die Begrenzung der Leitfähigkeit auch ein Mitreißen der Salze und der dispergierten Feststoffe in die Dampfphase verhindert. Ein solches Mitreißen von Teilchen kann zu Ablagerungen und Korrosionen im Überhitzer, in der Turbine und im Kondensatsystem führen. Dies bedeutet Leistungsverlust oder Stillstand des gesamten Dampfkesselsystems.



Grafik 2: Dampfkessel mit Abschlämung und Absalzung

Die kontinuierliche Absalzung des Kesselwassers kann über die Leitfähigkeit gesteuert werden.

- Ist die Leitfähigkeit zu hoch, muß mehr abgeschlämmt und abgesalzen werden.
- Ist die Leitfähigkeit zu tief, kann zwar nicht unbedingt ein Schaden an der Kesselanlage entstehen, diese wird aber relativ unwirtschaftlich betrieben.
- Ist die Leitfähigkeit **im Kondensat** zu hoch, wird dieses meist durch Mitreißen von Wasserinhaltsstoffen aus dem Kesselwasser verunreinigt.

Unter **Abschlammung** versteht man ein im unteren Teil des Dampferzeugers angebrachtes Ventil, welches manuell oder zeitgesteuert einige male pro Tag geöffnet wird und abgesetzte Feststoffe entfernen soll.

Die **Absalzung** ist ein im oberen Teil des Dampferzeugers angebrachtes Ventil welches entweder in kürzeren Abständen für einen kurzen Zeitraum öffnet oder in Verbindung mit einer Leitfähigkeitsmeßzelle gezielt angesteuert wird.

Eine Kontrolle der Kesselwasserleitfähigkeit nur über das Abschlämventil ist nicht oder nur sehr schwer möglich.

Die Messung der Leitfähigkeit im **Kondensat** gibt Rückschlüsse auf die Reinheit des Dampfes und damit auf den Betrieb der Anlage.

Möglich sind auch Undichtigkeiten in Wärmetauschern, die Prozeßwasser ins Kondensatsystem ziehen. In diesem Fall können akute Korrosionsschäden bei Rückführung eines z.B. mit Säuren oder Laugen verunreinigten Kondensates entstehen.

2.2 Sauerstoff

Die Gegenwart von gelöstem Sauerstoff im Kesselwasser führt zu Korrosionen. Die bekannteste Form eines Sauerstoffangriffs in Kessel-, Dampf- und Kondensatsystemen ist die Lochkorrosion. Ein Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff ist jedoch auch bei den meisten anderen Korrosionsarten Voraussetzung.

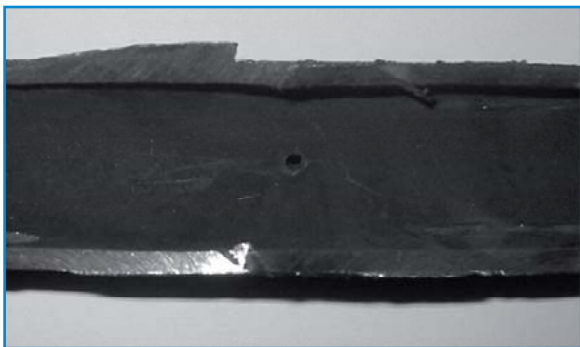


Abb. 1: Lochkorrosion

Die Entfernung von Sauerstoff erreicht man durch eine thermische Entgasungsstufe und eine anschließende Zugabe von sauerstoffbindenden Behandlungsprodukten. Die thermische Entgasung nutzt die Tatsache, dass die Löslichkeit von Gasen bei konstantem Druck mit steigender Temperatur abnimmt. Dabei werden außer Sauerstoff auch noch andere Gase, z.B. CO_2 , mitentfernt.

Ist keine thermische Entgasung vorhanden, muß der gesamte Sauerstoff durch Behandlungsprodukte chemisch entfernt werden.

Die Sauerstoffbindung im Kesselwasser wird in der Regel durch Dosierung geeigneter Produkte in das Kesselspeisewasser erreicht. Grundsätzlich soll auch hier, wie bei allen Behandlungsprodukten, die Dosierung unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche stattfinden (z.B. mittels einer Tauchlanze).

Es werden zur Sauerstoffbindung dampfflüchtige und nicht dampfflüchtige Produkte eingesetzt. **Dampfflüchtige** Produkte haben den Vorteil, dass sie wesentlich weniger Salze in das Kesselwasser eintragen und im Dampf- und Kondensatsystem sowohl sauerstoffbindend wie auch alkalisierend wirken können. Sie haben jedoch den Nachteil, dass sie in lebensmittelverarbeitenden Betrieben nicht oder nur eingeschränkt verwendet werden dürfen.

Nicht dampfflüchtige Produkte können demgegenüber ohne Probleme auch im Lebensmittelbereich eingesetzt werden. Da von dieser Klasse der Behandlungsprodukte (typischer Vertreter ist das Natriumsulfit) das Dampf- und Kondensatsystem nicht mehr direkt beeinflusst wird, muss hier besonders durch analytische Kontrolle das

Kondensat auf mögliche korrosive Eigenschaften (pH-Wert) untersucht werden. Eine zusätzliche Alkalisierungsnahme im Dampf- und Kondensatsystem kann hier notwendig werden.

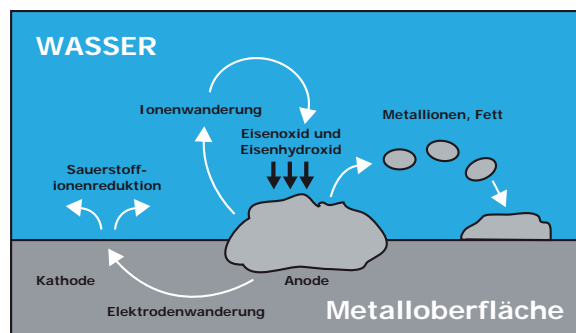
Die Produktreihe Oxycheck 6270 bis Oxycheck 6290 beinhaltet hochwirksame dampfflüchtige Sauerstoffbindemittel auf Deha Basis. Deha ist in der TRGS als Ersatzstoff für Hydrazin aufgeführt. Sie werden zum Schutz gegen Korrosion im gesamten Dampferzeugungssystem eingesetzt. Das Produkt wirkt durch Neutralisierung des sauren Kondensats und durch die chemische Entfernung gelösten Sauerstoffs. Die dabei entstehenden Reaktionsprodukte sind gasförmig. Sie salzen das Kesselwasser so gut wie nicht auf. Durch Reaktion mit Eisen(III)-Oxid bildet sich korrosionsresistentes Magnetit.

Es sollte immer ein Überschuss von 0,2 - 0,5 mg/l im Kondensat vorhanden sein, um eine vollständige Sauerstoffbindung zu gewährleisten. Der Gehalt an Wirksubstanz ist durch ein Schnellmeßbesteck leicht nachzuweisen.

Die Produktreihe Oxycheck 6940 - 6950 ist eine wässrige Lösung eines Sulfites und gehört damit zu den nicht dampfflüchtigen Sauerstoffbindemitteln. Durch einen speziellen Katalysator wird der Sauerstoff spontan gebunden. Eine wirkungsvolle Sauerstoffbindung ist immer dann gegeben, wenn sich ein Überschuss an Sulfit von 5 bis 10 mg/l im Wasser nachweisen läßt. Der Nachweis ist sehr einfach mit einem Schnelltestset durchzuführen.

Bei Einsatz von Sulfit muß die Leitfähigkeitserhöhung des Kesselwassers berücksichtigt werden.

Die Dosierung aller Sauerstoffbindemittel wird immer auf die Gesamtmenge des Kesselspeisewassers bezogen, da auch das Kondensat mit Sauerstoff kontaminiert sein kann (z.B. über Leckagen). Die Menge des Sauerstoffbinders (Sulfit) verändert sich durch eine Kondensatrückführung nicht.



Grafik 3: Korrosion

2.3 Resthärte und Ablagerungen

Zur Stabilisierung (Verhinderung der Kesselsteinbildung) und Abbindung der Resthärte, werden zum Kesselwasser geringe Mengen an Kesselsteigegegenmitteln zu dosiert. Diese Substanzen sind organischer oder anorganischer Natur (wie z.B. Phosphate). Anstelle der üblichen harten Krustenbildung bei einem Härteeinbruch kommt es bei Anwesenheit von geringen Mengen dieser Behandlungsprodukte zu einer nichtkristallinen, nicht belagsbildenden Trübung, die über die Abflutung entfernt werden kann. Geringe Resthärten können durch moderne Behandlungsprodukte vollständig stabilisiert werden.

Zur Härtestabilisierung kommen die Produkte Heizan® 5160 und Heizan® 5165 zum Einsatz. Heizan® 5160 ist eine wässrige Lösung eines schwach alkalischen Phosphats mit speziellen organischen Dispergatoren. Es stabilisiert die Resthärte im Kessel, hat einen zusätzlichen, erwünschten alkalisierenden Effekt auf das Kesselwasser und dispergiert Wasserhärte und Eisenoxide. Diese können über die Abschlammung entfernt werden. Heizan® 5160 ist nicht dampfflüchtig; Es verbleibt in der Wasserphase.

Heizan® 5160 ist zur Verwendung in Lebensmittelbetrieben zugelassen.

Heizan® 5165 hat ähnliche Eigenschaften wie Heizan® 5160, jedoch ist zusätzlich ein dampfflüchtiges, anorganisches Alkalisierungsmittel eingearbeitet. Durch dieses Produkt ist damit ein erhöhter Korrosionsschutz für Dampf- und Kondensatsysteme möglich.

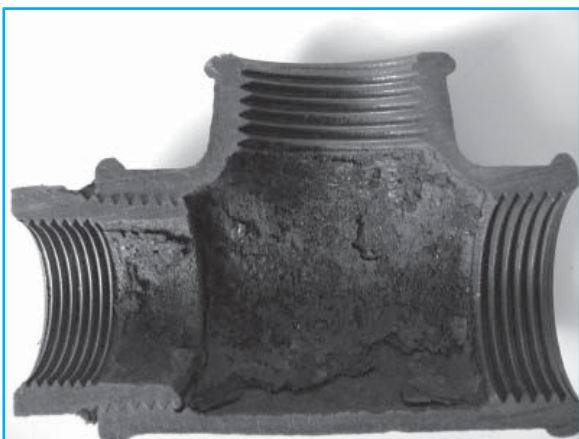


Abb. 2: Härteablagerungen

Heizan® 5104 ist ein Härtestabilisierungsmittel auf der Basis niedermolekularer Polymere ohne anorganische Phosphate. Neben den schon bei geringen Dosiermengen hervorragenden Stabilisierungs- und Dispergierungseigenschaften besitzt es die Fähigkeit, vorhandenen Kesselstein (in gewissen Grenzen), abzubauen. Durch die Abwesenheit von anorganischen Salzen ist der Beitrag dieses Behandlungsmittels zum Gesamtsalzgehalt des Kesselwassers nur sehr gering. Heizan® 5105 ist das entsprechende Gegenstück mit zusätzlicher Dampfalkalisierung

Heizan® 5104/5105 ist zur Verwendung in Lebensmittelbetrieben zugelassen.

Da der Anteil an zurückgeführtem Kondensat im allgemeinen keine weitere Härtebelastung für den Kessel mit sich bringt, muß nur für den Anteil Rohwasser eine Konditionierung mit Härtestabilisatoren erfolgen.

Ablagerungen von Korrosionsprodukten, Schwebstoffen und Verunreinigungen führen im Kessel zu verschiedenen Problemen. Durch Belagsbildung auf der Kesselwandung verschlechtert sich die Wärmeübertragung. Außerdem können sich unter dem Belag sogenannte Belüftungselemente bilden, die lokale Korrosionen verursachen können. Durch den Einsatz von geprüften hochwirksamen organischen Dispergiermitteln werden solche Ablagerungen verhindert und ein leichtes Entfernen der Schwebstoffe über die Abflutung ermöglicht.

Ein Dispergiermittel verändert die Oberflächenladung von Trübstoffen und verhindert so in weiten Grenzen ein Absinken der Teilchen. Anstelle der Bildung von Ablagerungen kommt es dann nur zu einer Trübung des Wassers: Die Teilchen bleiben in der Schwebe und können durch die Abflut aus dem Kessel entfernt werden.

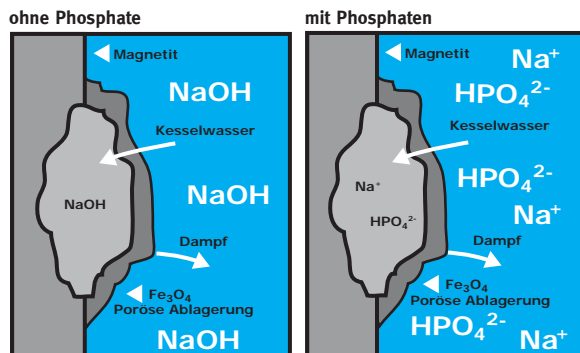
Im Heizan® 5160 sind hochwirksame Dispergiermittel enthalten.

2.4 p-Wert ($K_{S8,2}$)

Der p-Wert ist ein wichtiges Maß für die Alkalität des Kesselwassers. Er wird erhöht, wenn durch die sogenannte Sodaspaltung innerhalb des Kessels oder des Speisewasserbehälters thermisch Carbonate freigesetzt werden. Bei Überschreiten des Grenzwertes von meist 12 mmol/l ergeben sich im wesentlichen zwei Probleme:

- Das Kesselwasser neigt zur Schaumbildung. Es besteht die Möglichkeit eines Mitreißens von Kesselwasser in die Dampfphase (durch den gebildeten Schaum).
- Durch die sogenannte Laugenversprödung besteht die Gefahr ernsthafter Kesselschäden. Laugenversprödung ist eine lokale Korrosionsart, die besonders an spannungsbelasteten Kesselteilen bei zu hoher Alkalikonzentration auftritt.

Ein zu hoher p-Wert kann gut durch verstärkte Abschlämzung gesenkt werden. Ist nur mit einer inakzeptablen niedrigen Leitfähigkeit (damit auch inakzeptabler Wirtschaftlichkeit) ein guter p-Wert zu erreichen, kann nur durch eine Verbesserung der Speisewasserqualität (z.B. Entcarbonisierung, Umkehr-Osmose) Abhilfe geschaffen werden.



Grafik 4: Entstehung von Laugenversprödung

2.5 pH-Wert/Freie Kohlensäure

Die Entwicklung des pH-Wertes im Speisewasser, Kesselwasser und Kondensat sind untereinander stark abhängig.

Im Kesselwasser entstehen aus den Carbonaten und Hydrogencarbonaten aufgrund der hohen Temperaturen CO_2 und Natronlauge (Sodaspaltung). Es findet eine Alkalisierung des Kesselwassers durch die nicht dampfflüchtige Natronlauge statt. Der pH-Wert im Kesselwasser ist darum auch immer höher als im Speisewasser.

Im Dampf- und Kondensatsystem werden durch die freie Kohlensäure niedrige pH-Werte und dadurch häufig Korrosionsprobleme hervorgerufen.

Dies muß über eine zusätzliche Alkalisierung des Dampfes durch eine entsprechende Zugabe geeigneter Behandlungsmittel abgepuffert werden. Außerdem würde die gebildete Kohlensäure zur Bildung von Eisencarbonat führen, das gut löslich ist und keine passivierende (korrosionsschützende) Wirkung hat.

Eine Alkalisierung erfolgt durch eine Neutralisation der Kohlensäure über unterschiedliche, dampfflüchtige Behandlungsprodukte. Bei Verwendung von Ammoniak ist zu beachten, daß Ammoniak kupferhaltige Werkstoffe über Bildung von Komplexverbindungen angreift.

Bei der Neutralisation mit dampfflüchtigen Behandlungsprodukten wird das CO_2 als Carbonat gebunden.

Die Zugabe des Behandlungsproduktes kann direkt in das Dampfsystem oder ins Kesselspeisewasser erfolgen. Ein Verlust entsteht nur durch Kondensat- oder Dampfverlust bzw. Abflutung des Kesselwassers.

Im thermischen Entgaser wird das gebundene CO_2 wieder beseitigt, das Produkt gelangt ins Kesselwasser zurück und nimmt wieder am Kreislauf teil. Da die neutralisierenden Behandlungsprodukte keine sauerstoffbindende Wirkung haben, muß, durch eine absolute Sauerstofffreiheit schon im Kesselbereich, eine Verunreinigung des Dampfes mit Sauerstoff unterbunden werden. Kommt der Dampf mit Lebensmitteln in Berührung, muss von einer Behandlung abgesehen werden.

Ein zu hoher pH-Wert im Kondensat ist zumeist dann anzutreffen, wenn auf der Kondensatseite Prozesswasser (z.B. Waschlösung) in das Kesselsystem gezogen wird. Ohne zusätzliche Dosierung von Ammoniak bzw. Natronlauge kann der pH-Wert in den meisten Fällen nicht zu hoch werden.

3 Anlagentechnik

Für den wassertechnisch optimalen Betrieb einer Dampfkesselanlage sind unterschiedliche Wasseraufbereitungsanlagen erforderlich.

Bei Verwendung von Stadtwasser guter Qualität reicht meist ein kleiner Kerzenfilter oder ein rückspülbarer Schutzfilter aus, um die nachfolgenden Anlagen vor Schmutz zu schützen.

Wird Brunnen- oder Flusswasser als Speisewasser verwendet, muß für die Aufbereitung meist mehr Aufwand investiert werden. Hier werden dann Kies- oder Mehrschichtfilter oder auch Ultrafiltrationsanlagen erforderlich sein, um einen reibungslosen Betrieb der nachgeschalteten Anlagen zu ermöglichen.

Die erforderliche Anlagentechnik zur Kesselspeisewasseraufbereitung ist aus folgenden Prospekten ersichtlich und dort auch näher erklärt:

- C130 Enteisung
- C210 Enthärtung
- C320 Umkehr-Osmose (Wasserentsalzung)
- C510 Dosieranlagen

Nach der Filtration müssen die Härtebildner oder Salze entfernt werden. Dies geschieht im einfachsten Fall durch eine Enthärtungsanlage, ausgelegt als redundante Doppelanlage oder immer häufiger durch eine fast komplette Entsalzung, eine Umkehr-Osmose Anlage.

Bei der Enthärtung werden keine Carbonate entfernt, die meist der eindickungsbegrenzende Faktor im Kesselwasser sind (siehe auch p-Wert). Die Menge der Carbonate und die Leitfähigkeit bleibt vor und nach der Enthärtung gleich, sodass auch im Kessel meist keine hohe Eindickung erreicht wird. Es wird viel heißes Wasser über Abschlammung und Absalzung in den Kanal gegeben. Entsprechend hoch sind die Energieverluste.

Bei der Umkehr-Osmose werden neben einem Großteil der Härtebildner auch fast alle Carbonate und anderen Salze entfernt. Ein so aufbereitetes Kesselspeisewasser kann deutlich höher eingedickt werden. Die Verluste für Absalzung und Abschlammung sinken deutlich.

In eine Wirtschaftlichkeitsberechnung gehen viele Aspekte ein. Wir erstellen Ihnen gerne eine individuelle Beispielrechnung für Ihre Anlage.

Beispielrechnung:

Ausgangslage:

kleine Dampfkesselanlage	
Dampfleistung pro Stunde	10 t
Kesseldruck	7 bar
Dampf Temperatur	170 °C
m-Wert im Zusatzwasser	2,8 mmol/l
Zusatzwasser Temperatur	?? °C
Kondensatrücklauf	45 %
Kondensatrücklauf Temperatur	60 °C
Energiekosten für einen m ³ Gas	0,29 Euro

Die sicherlich häufig anzutreffende Anlagekonfiguration wird nun einmal mit einer Enthärtung (A) und einmal mit einer Entsalzung (B) betrieben:

A: Aus dem vorhandenen m-Wert im Zusatzwasser, der bei der Enthärtung nicht beeinflusst wird, und den anderen Systemdaten errechnen sich folgende Kesselbetriebswerte:

Aufbereitung mit Enthärtung	
Aufbereitetes Zusatzwasser pro Stunde	6,36 m ³
Absalzrate pro Stunde in % der Dampfleistung	8,9 %
Absalzmenge pro Stunde (mit 170 °C)	0,89 m ³
Summe Energiekosten pro Jahr	ca. 145.000 Euro

B: Bedingt durch die Aufbereitung per Umkehr-Osmose werden die Carbonate fast vollständig entfernt. Der Kessel kann höher eingedickt werden:

Aufbereitung mit Entsalzung	
Aufbereitetes Zusatzwasser pro Stunde	5,66 m ³
Absalzrate pro Stunde in % der Dampfleistung	1 %
Absalzmenge pro Stunde (mit 170 °C)	0,09 m ³
Summe Energiekosten pro Jahr	ca. 20.000 Euro

Die Ersparnis durch eine geeignete Wasserbehandlung beträgt in diesem Fall damit: **125.000 Euro pro Jahr**.

Die für diese Ersparnis notwendigen Investitionen betragen je nach örtlicher Gegebenheit und bestehenden Voraussetzungen etwa 30.000 Euro, sodass eine sehr kurze Amortisationszeit gegeben ist.