

2025

Ratgeber Wasseraufbereitung Dampfkessel - Tipps und Tricks rund um die Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung von Dampfkesseln, Heißwasserkesseln und Schnelldampferzeugern.



Jürgen Tauschek
aqua-Technik Beratungs GmbH
9.12.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	3
2. Über uns – Die aqua-Technik Beratungs GmbH.....	2
3. Die 10 wichtigsten Regeln für den Dampfkesselbetrieb	3
4. Die häufigsten Arten von Kesselanlagen im Vergleich	6
4.1 Großwasserraumkessel vs. Wasserrohrkessel	6
4.2. Großwasserraumkessel vs. Schnelldampferzeuger.....	7
4. Kesselspeisewasser – salzfrei, salzarm oder salzhaltig	8
5. Grenzwerte für Kesselanlagen.....	9
6. Wasser- & Grenzwerte praxisnah erklärt.....	9
7. Technische Kesselspeisewasseraufbereitung	11
7.1 Enthärtung	11
7.2 Entsalzung	13
7.2.1.Vollentsalzung	13
7.2.2 Teilentsalzung	14
7.3 Fazit: Enthärtung oder Entsalzung?	14
8. Wichtige Zusammenhänge in Dampfkesselanlagen einfach erklärt.....	15
8.1 Eindickung	15
8.2 Entsalztes Kesselspeisewasser.....	16
8.3 Enthärtetes Kesselspeisewasser.....	16
8.4 Absalzung	17
8.5 Abschlämung.....	18
8.6 Entgasung bzw. Sauerstoff entfernen.....	18
9. Die 2 goldenen Regeln für Kesselanlagen (Wiederholung)	19
9.1 Sauerstofffreiheit.....	19
9.2 Keine Härte, kein Kesselstein	19
10. Chemische Wasserbehandlung von Kesselwasser.....	20
10.1 Professionelle Kalkulation der Kesselwasseraufbereitung	20
10.2 Sauerstoffbinder	21
10.3 Resthärtebindung / Kesselsteingegenmittel / Dispergiermittel.....	23
10.4 pH-Regulierung Kesselspeisewasser und Kesselwasser (nichtflüchtige Produkte)	25
10.5 pH-Regulierung im Dampf- und Kondensatnetz (flüchtige Produkte)	26
11. Tipps zur Auswahl chemische Kesselchemikalien.....	27

11. Praxisausflug – Unsere täglichen Herausforderungen rund um die Kesselwasseraufbereitung

.....28

1. Einleitung

An alle Kessel-Betreiber,

Sauerstoffbindung, Dampfalkalisierung, Resthärtebindung oder Grenzwerte für Dampfkesselanlagen – alles Begriffe, die bei der Wasseraufbereitung von Dampfkesseln eine wichtige Rolle spielen. In diesem, hoffentlich praxisorientierten Ratgeber wollen wir Ihnen ein Grundverständnis zur Wasseraufbereitung von Dampfkesseln, Heißwasserkesseln und Schnelldampferzeugern vermitteln. Praxisnah, d. h. wir werden auf unverständliche chemische Formeln weitestgehend verzichten. Vielmehr wollen wir Ihnen ein praktisches Naschlagewerk an die Hand geben, das grundsätzliche Zusammenhänge zwischen der Wasserqualität, typischen Problemen und den daraus resultierenden Lösungsmöglichkeiten praxisnah erklärt.

Die meisten Betreiber von Heißwasser- oder Dampfkesseln, mit denen wir zu tun haben, stehen im Großen und Ganzen immer vor den gleichen Herausforderungen:

- zu niedriger pH-Wert im Kesselwasser, und/oder Kesselspeisewasser
- zu hohe p-Werte im Kesselwasser bzw. Kesselspeisewasser
- schäumendes Kesselwasser („Dampfmitriss“)
- Ablagerungen durch Kesselstein („Kalk“)
- im Wasser gelöste Gase wie Sauerstoff und Kohlendioxid
- Kesselkorrosion
- Ungenügende/uneffiziente Aufbereitung von Rohwasser
- Sodaspaltung
- Verunreinigtes Kondensat
- Korrosion in Dampf und Kondensatleitungen
- Verminderte Wärmeübertragung und Kesseleffizienz
- Zu viel Silikat bei Turbinenbetrieb
- Ineffiziente/Falsche Chemikalien
- zu hohe Wasseraufbereitungskosten
- TÜV-Prüfer nicht ganz glücklich...

Was aber tun bei solchen Herausforderungen? Damit Ihre Dampfanlage zuverlässig und effizient läuft, kommt es vor allem auf eins an: die **Qualität des Kesselspeisewassers**. Welche Anforderungen genau erfüllt werden müssen, hängt von der Bauart und der Betriebsweise Ihres Kessels ab. In der EU sind diese Vorgaben in Normen wie EN 12952-12 oder EN 12953-10 geregelt, ergänzt durch Empfehlungen von Fachorganisationen wie VGB oder VdTÜV.

Stadtwasser erfüllt die Anforderungen an das Kesselspeisewasser faktisch nicht ohne Wasserbehandlung. Deshalb ist eine gezielte Aufbereitung unerlässlich. Aber wie sorgt man dafür, dass eine Dampfanlage sowohl sicher als auch wirtschaftlich betrieben werden kann?

Die Lösung liegt fast immer in der **Kombination aus technischer und chemischer Wasseraufbereitung**. Verfahren wie **Enthärtung, Entgasung, Vollentsalzung oder Umkehrosmose** bereiten das Wasser optimal vor. Die **chemische Behandlung** des

Kesselspeisewassers – zusammen mit der richtigen Betriebsweise des Kessels – sorgt dann dafür, dass Ihre Anlage reibungslos läuft und lange zuverlässig bleibt.

Selbstverständlich unterstützen wir Sie auch bei allen Ihren Fragen – sprechen Sie uns einfach an.

Ihre **aqua-Technik** Beratungs GmbH

- Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung für die Industrie -



Abbildung 1: Einsatzfahrzeug der aqua-Technik Beratungs GmbH - Wasseraufbereitung für Industrie und Gewerbe

2. Über uns – Die aqua-Technik Beratungs GmbH

In aller Kürze ein paar Worte über uns. Wir sind auf Wasser spezialisiert. Seit mehr als 30 Jahren widmen wir uns als spezialisiertes Wasseraufbereitungsunternehmen effizienten Lösungen für die Wasserbehandlung in der Industrie. Weltkonzerne bis hin zu Kleinunternehmen vertrauen auf unser Knowhow.

Unser Angebotsportfolio umfasst:

- **Chemische Produkte zur Wasseraufbereitung / Wasserbehandlung**
Korrosionsinhibitoren, Härestabilisatoren, Dispergatoren, Biozide, Säuren, Laugen, Ölreiniger, Sauerstoffbinder, CO₂-Binder und viele mehr. Wir bieten fast das ganze Spektrum der Wasseraufbereitungsschemie für die industrielle Anwendung. Insgesamt rund 350 chemische Produkte.
- **Wasseraufbereitungsanlagen**
Enthärtungsanlagen, Kies-/Sandfilter, Ecomix-Anlagen, Greensand-Filter, Aktivkohlefilter, Ultrafiltrationsanlagen, Nanofiltrationsanlagen, Umkehrosmoseanlagen, Entkarbonisierung, Mischbett und einiges mehr.
- **Labordienstleistungen / Services rund um Kühl-, Prozess- und Brauchwasser**
Wasseranalysen, Gutachten, Gefährdungsbeurteilungen, Entkalkungen, Reinigungen, Wartung & Service von Wasseraufbereitungsanlagen, Legionellenuntersuchung, Beratung & Planung
- **Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR)**
Absalzanlagen, Dosieranlagen, Sensoren, SPS-Steuerungen usw.

Nicht ohne Stolz stellen wir immer wieder fest, dass wir uns als mittelständisches, spezialisiertes Wasseraufbereitungsunternehmen mit Sitz im Großraum Nürnberg, einigen Niederlassungen und einer deutschlandweiten Tätigkeit einen Namen auf dem Markt erarbeitet haben.

↗ Mehr über uns erfahren Sie unter folgendem Link: <https://aqua-technik-gmbh.de/>

3. Die 10 wichtigsten Regeln für den Dampfkesselbetrieb

Regel 1: Einen Überschuss an Sauerstoffbinder dosieren & kontrollieren

Fakt ist, dass Korrosion kaum ein Thema mehr ist, wenn ein Sauerstoffbinder, z. B. auf Basis von Natriumsulfit, in der richtigen Menge dosiert wird. Das Verfahren ist einfach: Messen Sie einen Überschuss an Sauerstoffbinder im Kesselwasser, ist kein Sauerstoff mehr im System. Kein Sauerstoff im Kessel bedeutet keine Sauerstoffkorrosion.

Merksatz: Sauerstoffbinder dosieren und regelmäßig kontrollieren!

Regel 2: Thermische Entgasung des Kesselspeisewassers

Korrosionsverursachender Sauerstoff, der thermisch entgast wird, muss nicht mehr chemisch gebunden werden. Denken Sie an einen Kochtopf. Je höher dieser erhitzt wird, umso mehr entgast das Wasser. Umso mehr Sauerstoff thermisch entgast wird, umso weniger Sauerstoffbinder muss dosiert werden. Ideal sind für die meisten Kesselspeisewasserbehälter Temperaturen von 102-106 °C.

Merksatz: Kesselwasserspeisetank entgasen!

Regel 3: Keine Wasserhärte in die Kesselanlage einspeisen

Kalk bzw. Kesselstein ist ein häufiges Problem. Die Lösung ist eigentlich einfach: regelmäßig die Speisewasseraufbereitung kontrollieren. Häufig ist eine Enthärtungsanlage, die nicht mehr richtig funktioniert, der Auslöser für Kalk bzw. Kesselstein in der Kesselanlage. Die Resthärte ist ganz einfach durch ein einfaches Härte-Testkit kontrollierbar. Weiter gibt es automatische Kontrollgeräte, um die Härte nach der Wasseraufbereitung zu kontrollieren. Wird längere Zeit Härte in den Kessel eingespeist, sind meist teure Reinigungen bis hin zum Anlagenstillstand, oft im Rahmen einer TÜV-Prüfung, die Folge.

Merksatz: Keine Härte in die Kesselanlage fahren!

Regel 4: Resthärtebinder dosieren & kontrollieren

Viele Enthärtungsanlagen liefern regelmäßig keine 0 °dH, sondern eine kleine Resthärte von 0,05 – 0,5 °dH. Darüber hinaus wird ein Härteeinbruch (siehe Regel 3) oft nicht sofort erkannt. Die Dosierung eines Resthärtebindemittels ist zwingend angezeigt. Phosphat, Phosphonate oder Polymerverbindungen sind hier die häufigsten Produkte. Es gibt viele chemische Kombinationsprodukte, die z. B. einen Sauerstoffbinder und ein Resthärtebindemittel zeitgleich beinhalten. Für fast alle Produkte gibt es auch entsprechende Testkits, um die Konzentration im Kesselwasser zu kontrollieren.

Merksatz: Unbedingt Resthärtebindemittel dosieren.

Regel 5: Leitfähigkeitsgeregelte Absalzung

Eine zu hohe Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen im Kessel kann signifikante Probleme wie Ablagerungen und Korrosion verursachen. Bei klassischen Kesselanlagen ist eine Leitfähigkeitsmessung am Kessel installiert. Wird eine zu hohe Leitfähigkeit gemessen, öffnet ein Ventil und entfernt „schlechtes“ Kesselwasser. Die Speisewasserpumpen fördern zeitnah „gutes“ Wasser in den Kessel, um den Wasserverlust auszugleichen. Eine fehlerhafte Leitfähigkeitsmessung oder ein defektes Absalzventil sind häufige Gründe für Probleme bei Dampfkesselanlagen. Mit einem Handleitfähigkeitsmessgerät kann die automatische Leitwertmessung im Kessel kontrolliert werden.

Merksatz: Kontrollieren Sie die automatische Absalzung und den elektrischen Leitwert in Ihrer Kesselanlage.

Regel 6: Abschlämmventil

Unten am Kessel ist meistens ein Abschlämmventil installiert. Dieses wird häufig zeitgesteuert, z. B. 3x am Tag, über die Kesselsteuerung kurz geöffnet. Der Grund ist einfach. Schlämme und Ablagerungen setzen sich häufig am Kesselboden ab (Schwerkraft). Durch kurzes Öffnen des Abschlämmvents wird ein Sog (Unterdruck) erzeugt, der die Schlämme aus dem Kessel austragen soll.

Merksatz: Kontrollieren Sie die Funktion Ihres Abschlämmvents!

Regel 7: Fremdstoffeintrag durch Kondensat & Korrosion

Kondensat ist der wieder verflüssigte Dampf, der in vielen Prozessen erneut dem Kesselspeisewassertank zugeführt wird, wenn der Dampf nicht verbraucht wurde.

Ein Eintrag von Ölen, Fetten oder anderen Fremdstoffen ist ein häufiger Grund für Probleme in Kesselanlagen. Denken Sie darüber nach, welche Fremdstoffe, z. B. durch defekte Wärmetauscher etc. eingetragen werden könnten. Idealerweise haben Sie dann die Möglichkeit, einen Fremdstoffeintrag im Kesselspeisetank oder im Kessel analytisch zu messen, bevor ein Schaden entsteht.

Korrosion in den Kondensatleitungen bzw. in Kondensatzsammeltanks ist ein häufiger Grund für das Einbringen von Korrosionsprodukten in die Kesselanlage, was zu Ablagerungen oder weiterer Korrosion führen können.

Der häufigste Grund ist sogenanntes „saures Kondensat“, d.h. ein viel zu niedriger pH-Wert im Kondensat, der zu starker Korrosion der Kondensatleitungen führen kann. Metalle und Säuren vertragen sich schlichtweg nicht. Dieser deutlich zu niedrige pH-Wert wird häufig durch die sogenannte „Sodaspaltung“ durch enthartetes Zusatzwasser begünstigt. Durch Karbonate im Kesselwasser sinkt der pH-Wert im Dampf/Kondensat. Obwohl das

Kesselwasser vielleicht pH 12 hat, kann dadurch das Kondensat mit pH 5 in den Kesselspeisewassertank zurückfließen.

Hier muss über Entfernung der Karbonate, z. B. durch eine Umkehrosmoseanlage, nachgedacht werden. Viel häufiger werden jedoch chemische Dampfalkalsierungsmittel („CO₂-Binder“) in die Kesselanlage dosiert.

Merksatz: Kontrollen Sie die Korrosion in Kondensatleitungen und dosieren Sie ggf. Dampfalkalizerungsmittel.

Regel 8: Der pH-Wert

Auch der pH-Wert speziell im Kesselwasser hat eine zentrale Bedeutung. Bei Verwendung von vollentsalztem Zusatzwasser für die Kesselanlage ist der pH-Wert im Kesselwasser folglich oft zu niedrig und muss durch chemische Zugabe, z. B. Phosphat oder Natronlauge, erhöht werden. Bei Verwendung von enthartetem Zusatzwasser (Enthärtungsanlage) entsteht durch die sogenannte „Sodaspaltung“ eine pH-Anhebung im Kesselwasser und eine pH-Absenkung im Kondensat.

Allgemein ist ein alkalischer pH-Wert im Bereich von 10-12 im Kesselwasser zu empfehlen. Er schützt u.a. vor Korrosion, puffert CO₂, unterstützt eine Magnetitbildung. Ein deutlich zu hoher pH-Wert kann Härteausfällungen fördern oder eine Schaumbildung auf dem Kesselwasser verursachen.

Merksatz: Kontrollieren Sie regelmäßig Ihren pH-Wert und passen diesen ggf. durch Zugabe chemischer Produkte an.

Regel 9: Schnelldampferzeuger mit Spirale

Schnelldampferzeuger mit Spirale zur Dampferzeugung sind eine häufige Kesselart. Auch hier wird oft Phosphat zur Resthärtebindung und ggf. pH-Anhebung zugegeben. Bei einem Härteeinbruch, z. B. aufgrund von Fehlfunktion bzw. Defekt einer Enthärtungsanlage, wird häufig Calcium eingetragen. In Verbindung mit vorhandenem Phosphat im Wasser entsteht Calciumphosphat, das sehr schnell die Kupferspirale verstopfen kann.

Merksatz: Bei Schnelldampferzeugern mit Spirale wenig/kein Phosphat einsetzen, sondern eher andere Härestabilisatoren, z. B. Polymere, nutzen, die kein Calciumphospat bilden.

Regel 10: Ungeeignete chemische Produkte & Dosiermengen

Es gibt mittlerweile sehr viele unterschiedliche Produkte für Dampfkesselanlagen, die unter verschiedenen Markennamen vertrieben werden. Fakt ist, dass Schäden und Ausfälle von Dampfkesseln sehr oft mit der Verwendung von ungeeigneten Produkten und/oder ungeeigneten Dosiermengen zusammenhängen.

Die meisten Betreiber sind hier auf das Knowhow von Firmen zur Wasseraufbereitung & Wasserbehandlung angewiesen.

Merksatz: Prüfen Sie kritisch, ob Ihre verwendeten Produkte für Ihre Dampfkesselanlage geeignet sind.

4. Die häufigsten Arten von Kesselanlagen im Vergleich

4.1 Großwasserraumkessel vs. Wasserrohrkessel

Kriterium	Großraumwasserkessel	Wasserrohrkessel
Wasserqualität	Geringere Anforderungen, salzhaltige Fahrweise möglich	Hohe Anforderungen, salzfreie Fahrweise für die meisten Bauformen erforderlich
Wartung	Einfacher	Aufwendiger
Wiederkehrende Prüfung	Äußere und Innere Prüfung bzw. Druckprobe, z. b. durch TÜV	Aufwendiger, ggf. Ultraschall etc.
Kosten bei vergleichbarem Niveau der Herstellkosten und Qualität	niedriger	Höher
Wirkungsgrad	Höher, leicht aufrechtzuerhalten	Niedriger, schwieriger während des Betriebs aufrechtzuerhalten
Teillastverhalten	Regelbereich der Feuerung kann ausgenutzt werden bei Unterschreitung Mindestlast Brenner problemlos abschaltbar	Teillast muss bei gewissen Bauformen begrenzt werden, Brenner kann nicht ohne weiteres abgeschaltet werden
Wasserinhalt	Prinzipbedingt höher	Niedriger
Speichervermögen	Aufgrund des hohen Wasservolumens robust gegen Druck- und Lastschwankungen	Empfindlich gegen prozesseitige Last- und Druckschwankungen
Lieferzeit	Kürzer	Länger
Platzbedarf	Niedrig	Hoch
Zeit für Aufstellung, Erstinbetriebnahme	kurz	länger



Abbildung 2: Großraumwasserkessel

4.2. Großwasserraumkessel vs. Schnelldampferzeuger

Kriterium	Großraumwasserkessel	Schnelldampferzeuger
Reparatur	Höherer Reparaturaufwand bei Schäden am Druckkörper	Oft leichte und kostengünstige Auswechslungsmöglichkeit von Bauteilen
Kosten bei vergleichbarem Niveau der Herstellkosten und Qualität	Höher	Niedriger (bis zu 40 % günstiger)
Aufheizzeit	Lange Aufheizzeit	Kurze Aufheizzeit als wesentlicher Vorteil
Druck	Konstanter Druck	Schwankender Druck
Korrosionsverhalten	Unempfindlicher gegen Hartwassereinbrüche sowie gegen Korrosion auf der Wasserseite	Frühzeitiger Korrosionsverschleiß bei ungenügender Wasseraufbereitung

Speichervermögen	Aufgrund des hohen Wasservolumens robust gegen Druck- und Lastschwankungen	Kaum/Keinerlei Speichervolumen für Wasser und Dampf
Schalthäufigkeit	Niedriger	Höher
Platzbedarf	Höher	Niedriger
Zeit für Aufstellung, Erstinbetriebnahme	Etwas länger	Schnelle Betriebsbereitschaft mit verkürzter Aufheizzeit

4. Kesselspeisewasser – salzfrei, salzarm oder salzhaltig

Unter Berücksichtigung der aktuellen Regelwerke können die wasserchemischen Fahrweisen von Dampf- und Heißwassererzeugern sinnvollerweise wie folgt definiert werden, jeweils abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Kesselspeisewassers:

- „salzhaltig“: direkte elektrische Leitfähigkeit $> 30 \mu\text{S}/\text{cm}$
- „salzarm“: direkte elektrische Leitfähigkeit $\leq 30 \mu\text{S}/\text{cm}$
- „salzfrei“: Säureleitfähigkeit $< 0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$

In der Praxis gilt Folgendes:

Wird das Zusatzwasser nur mit einer Enthärtungsanlage aufbereitet, spricht man von einer salzhaltigen Fahrweise.

Kommt dagegen eine Umkehrosmoseanlage zum Einsatz, handelt es sich meist um eine salzarme Fahrweise.

Eine salzfreie Fahrweise ist nur möglich, wenn wirklich vollentsalztes Wasser verwendet wird. Das bedeutet: Das Zusatzwasser muss mit einer EDI-Anlage und/oder Ionenaustauschern (Anionen-/Kationentauscher oder Mischbettanlagen) als abschließende Feinreinigungsschritte behandelt werden.

Welche wasserchemische Fahrweise für eine Anlage gewählt wird, ist nicht beliebig, sondern hängt von den technischen Anforderungen, den Betriebsbedingungen und der Qualität des verfügbaren Rohwassers ab.

Hinweis: Bei Dampferzeugern mit Überhitzer zur Prozessdampferzeugung ist meist eine salzarme Fahrweise notwendig. Nur so lässt sich die Anlage sicher und wirtschaftlich betreiben.

Typische Absalzraten des Kesselwassers sind:

- Salzhaltige Fahrweise: ca. 3–10 %
- Salzarme Fahrweise: ca. 1–2 %
- Salzfreie Fahrweise: $\leq 0,5–1 \%$

Für die folgenden Betrachtungen zu Grenzwerten von Kesselanlagen beschränken wir uns auf die salzarme und salzhaltige Fahrweise.

5. Grenzwerte für Kesselanlagen

Für die erfolgreiche Konditionierung von Dampfkesseln, z. B. Großwasserraumkessel, gelten bestimmte Richtwerte gemäß der Norm DIN EN 12953-10 in Bezug auf das Kesselwasser bzw. das Kesselspeisewasser sowie die jeweilige Fahrweise. Diese können hier für die meisten Kesselarten nachgelesen und ausgedruckt werden:

- [Grenzwerte mit Fahrweise salzarm 0,5-20 bar](#)
- [Grenzwerte mit Fahrweise salzarm >20 bar](#)
- [Grenzwerte mit Fahrweise salzhaltig 0,5-20 bar](#)
- [Grenzwerte mit Fahrweise salzhaltig >20 bar](#)

6. Wasser- & Grenzwerte praxisnah erklärt

Begriff	Einfache Erklärung
Elektrische Leitfähigkeit	<p>Die elektrische Leitfähigkeit ist im Prinzip das Maß für die Gesamtheit der im Wasser gelösten Ionen bzw. leitfähigen Teilchen. Zu diesen gehören unter anderem Magnesium, Calcium, Chloride, Sulfate etc.</p> <p>Vereinfacht kann man sagen, dass Wasser mit vielen gelösten Inhaltsstoffen eine hohe Leitfähigkeit hat. Wasser mit wenigen Inhaltsstoffen, wie z. B. entsalztes Wasser, hat eine geringe Leitfähigkeit.</p> <p>Viele Inhaltsstoffe führen in der Regel auch zu mehr Problemen in Dampfkesselanlagen. Denken Sie z. B. an Kesselstein bzw. Kalk oder Korrosion. Die Korrosionsgeschwindigkeit nimmt mit steigender Leitfähigkeit in der Regel zu.</p>
pH-Wert	<p>Der pH-Wert gibt an, ob Wasser sauer, neutral oder basisch ist.</p> <p>Saures Wasser (niedriger pH-Wert) ist für Metalle korrosiv. Ein zu hoher pH-Wert begünstigt Ablagerungen. Ein pH-Wert im Bereich zwischen 10-12 ist für die meisten Kesselanlagen sinnvoll.</p>
Gesamthärte	<p>Der klassische Kesselsteinbildner, der jedem Kesselwärter bekannt sein sollte. Es ist ganz einfach: Umso weniger Gesamthärte im Kesselwasser, desto besser. Am besten kommt erst gar keine Härte in das Kesselspeisewasser.</p>

	<p>Die Gesamthärte ist per Titrationsverfahren sehr einfach und schnell mit einem Härtetestkit zu messen und zu kontrollieren.</p>
Säurekapazität bis 8,2 (p-Wert)	<p>Der oft schwierig zu verstehende Parameter Säurekapazität bis pH 8,2 - auch p-Wert genannt - zeigt an, wie viel definierte Salzsäure benötigt wird, um das Wasser auf einen pH-Wert von 8,2 abzusenken. Dieser Wert ist somit ein Maß für die Pufferfähigkeit des Wassers. Ein höherer p-Wert bedeutet eine höhere Pufferkapazität und somit eine größere Stabilität des pH-Wertes. Ein sehr hoher p-Wert kann aber auch auf Verschmutzungen im Kesselwasser hinweisen.</p> <p>Beispiel: Trinkwasser mit 500 µS/cm Leitwert hat eine größere Pufferkapazität und damit einen höheren p-Wert, weil in ihm mehr Inhaltsstoffe gelöst sind. Entsalztes Wasser hingegen hat mit z. B. 10 µS/cm Leitwert nur wenige gelöste Stoffe und damit einen sehr niedrigen p-Wert.</p> <p>Früher nutzten viele Kesselwärter den p-Wert, um festzustellen, ob das Kesselwasser einen pH-Wert über 8,2 hat. Das war wichtig, weil pH-Sensoren bei hohen Kesselwasser-Temperaturen oft unzuverlässig waren.</p>
Sulfit bzw. Natriumsulfit	<p>Sulfit ist ein klassischer, häufig eingesetzter Sauerstoffbinder. Natriumsulfit reagiert mit gelöstem Sauerstoff im Wasser zu Natriumsulfat. Der Sauerstoff ist dadurch gebunden bzw. „weg“ und kann keine Korrosion mehr verursachen.</p> <p>Die Logik ist einfach. Man misst, ob Sulfit im Kesselwasser vorhanden ist. Ist Sulfit messbar, bedeutet dies im Umkehrschluss, dass kein Sauerstoff mehr vorhanden ist. Kein Sauerstoff, keine Sauerstoffkorrosion.</p>
Natriumascorbat / Ascorbinsäure / Vitamin C	<p>Ebenfalls ein typischer Sauerstoffbinder. Im Gegensatz zu Natriumsulfit bildet Natriumascorbat bei der Reaktion mit Sauerstoff keine Salze, die den Leitwert im Kessel erhöhen. Ascorbinsäure ist teurer als Sulfit, chemisch jedoch die bessere Lösung.</p>
Phosphate / Trinatriumphosphat	<p>Phosphate, insbesondere Trinatriumphosphat, finden häufig Verwendung in Kesselanlagen. Sie können den pH-Wert (die Alkalinität) anheben und funktionieren als Resthärtebinder.</p> <p>Ähnlich wie Sauerstoffbinder sind diese im Kesselwasser leicht messbar und damit die Konzentration kontrollierbar.</p>

Eisen / Kupfer	Die Eisen- und Kupferkonzentration im Kesselspeisewasser sollte möglichst niedrig sein. Erhöhte Eisen- und Kupferwerte sind ein Anzeichen für Korrosion an metallischen Werkstoffen der Anlage, da sie in der Regel nicht über das Zusatzwasser in das Dampfsystem kommen. Häufige Gründe für erhöhte Werte sind zu wenig Sauerstoffbinder im System oder Korrosion von Kondensatleitungen.
Kieselsäure (SiO_2)	Kieselsäure im Kesselwasser ist problematisch, da sie zu hartnäckigen Ablagerungen (Silikaten) an Kesselwänden und Turbinenschaufeln führt, was die Effizienz und Lebensdauer der Anlage beeinträchtigt. Die Konzentration muss daher streng kontrolliert und begrenzt werden, insbesondere bei Hochdruckkesseln und Turbinenbetrieb. Die höchstens zulässigen Kieselsäuregehalte hängen vom pH-Wert und Druck des Kesselwassers ab.

- ↗ Link zu weiterführenden Informationen: <https://aqua-technik-gmbh.de/wasseranalysen-labordienstleistungen-legionellenpruefung/>

7. Technische Kesselspeisewasseraufbereitung

Eines ist klar: Kesselspeisewasser muss behandelt werden, damit die Dampfanlage reibungslos funktioniert. Schließlich neigt unbehandeltes, hartes Wasser zu Kalkablagerungen und Korrosion im Kessel – was wiederum die Energieeffizienz und Lebensdauer der gesamten Anlage deutlich reduziert. Um das zu verhindern, gibt es zwei gängige Methoden der technischen Wasseraufbereitung: **Enthärtung und Entsalzung**. Doch was ist die bessere Wahl? Dieser Frage wollen wir hier auf den Grund gehen.

Eine Frage, die so einfach gar nicht beantwortet werden kann. Schließlich hängt die Wahl der optimalen Wasseraufbereitung von verschiedenen Faktoren wie der Wasserqualität oder der Investitionsbereitschaft ab. Welche Variante aber sollten Sie nun wählen? Enthärtung oder Vollentsalzung? Beides hat Vor- sowie Nachteile. Schauen wir uns die beiden Methoden also einmal genauer an.

7.1 Enthärtung

Bei der Wasserenthärtung werden die Härtebildner Calcium (Ca^{++}) und Magnesium (Mg^{++}) mithilfe eines Ionenauscherharzes in Natrium getauscht. Bei diesem Verfahren bleibt die Leitfähigkeit des Wassers unverändert. Die restlichen Inhaltsstoffe verbleiben im Kesselspeisewasser. Sobald das Harz keine Stoffe mehr aufnehmen kann, wird es erneuert. Diese sogenannte Regeneration erfolgt mit Natriumchlorid (Kochsalz). Man spricht hier von Regeneriersalz, ähnlich dem bei einem Geschirrspüler.

Kleinere Anlagen verfügen oft über sogenannte Zentralsteuerventile, die auf den Drucktanks aufgeschraubt sind. Größere Anlagen werden häufig über Einzelventile separat gesteuert. Ein Austausch der Harze ist meist nur alle 7-10 Jahre erforderlich. Dies ist jedoch stark von der Wasserqualität und der Durchflussmengen abhängig. Insbesondere Eisen und Mangan kann zu einer kürzeren Lebenszeit des Enthärtungsharzes führen.



Abbildung 3: Doppel-Enthärtungsanlage auf Montagegestell

Vorteile einer Enthärtungsanlage:

- Entfernung der Härtebildner Calcium und Magnesium
- geringer Aufwand
- leichte Handhabung
- niedrige Kosten

Doch die Enthärtung birgt auch Nachteile: So verhindert die Wasserenthärtung zwar die Bildung von Kalk und Kesselstein, Bikarbonat bleibt jedoch unverändert im Rohwasser enthalten. Im Kessel kommt es dann zur sogenannten „Sodaspaltung“. Das bedeutet, dass sich das Bikarbonat in Kohlendioxid (CO₂) und Natriumhydroxid (NaOH) aufspaltet, was wiederum korrosives Kondensat und erhöhte Absalzverluste zur Folge hat. Verhindern lässt sich das Ganze nur, wenn das Zusatzwasser zusätzlich entsalzt wird. Dieses entsalzte Wasser kann mithilfe von Umkehrosmose oder einer zweiseitigen Ionenaustauscheranlage (Vollentsalzungsanlage) produziert und z. B. zusätzlich über einen Entgaser entgast werden.

Wasserenthärtungsanlage:	Verringerung/Entfernung
Gesamthärte* (Calcium, Magnesium)	JA
Chloride/Sulfate	NEIN

Silikat	NEIN
Gase, z. B. Kohlensäure, Sauerstoff	NEIN
Eisen/Mangan	NEIN
Biologie, z. B. Algen, Viren, Bakterien	NEIN

*Anmerkung: Die Gesamthärte kann auch Spuren von Strontium- und Bariumionen enthalten.

Dieser Anteil kann jedoch vernachlässigt werden.

7.2 Entsalzung

7.2.1. Vollentsalzung

Zur Vollentsalzung (Demineralisierung) des Zusatzwassers werden normalerweise eine Umkehrosmoseanlage oder ein Ionenaustauscher (Kationen- und Anionentauscher) verwendet. Bei einer Vollentsalzung im Ionenaustauschverfahren werden gelöste Stoffe fast vollständig aus dem Wasser entfernt.

Beim Umkehrosmose-Verfahren wird in der Regel eine Enthärtungsanlage vorgeschaltet, um Ablagerungen an den Membranen der Umkehrosmose-Anlage zu vermeiden. Alternativ kann zum Schutz der empfindlichen Membrane aber auch ein Antiscalant verwendet werden. Optional kann zudem ein Mischbett nach der Umkehrosmose eingesetzt werden. Das Mischbett sorgt für noch reineres Wasser meist mit deutlich $<5 \mu\text{S}/\text{cm}$ Leitwert.

Wird das Wasser nach dem Ionenaustauscherprinzip entsalzt, benötigt man dafür im Standartverfahren einen Kationen- und Anionenaustauscher und idealerweise ein nachgeschaltetes Mischbett.



Abbildung 4: Umkehrosmoseanlage 3 m³

Vorteile einer Vollentsalzung:

- Entfernt mehr als 98 % der Salze im Zusatzwasser

- Entfernt Kalium (K^+), Natrium (Na^+), Chlorid (Cl^-), Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4^{2-}), Kieselsäure (SiO_4^{4-}) und Alkalität (HCO_3^-)
- Höhere Eindickungen des Kesselwassers sind möglich
- Ersparnis von Kesselchemie und Wasser

Vollentsalzung (Demineralisierung):	Verringerung/Entfernung
Gesamthärte (Kalzium, Magnesium)	JA
Leitfähigkeit	JA
Silikat	JA
Gase, z. B. Kohlensäure, Sauerstoff	NEIN

7.2.2 Teilentsalzung

Die Teilentsalzung wird auch Entkarbonisierung genannt. Bei einer Teilentsalzung werden – wie bei der Enthärtung – Härtebildner aus dem Wasser entfernt. Der Austauscher ist ein schwach saurer Ionenaustauscher, der mit Wasserstoffionen vorbeladen ist. Bei der Enthärtung werden, wie bereits gesagt, die härtebildenden Kationen gegen Natrium-Ionen ersetzt. Bei der Entkarbonisierung wird die sogenannte Karbonathärte gegen Wasserstoffionen getauscht. Aus der Karbonathärte entsteht dadurch Kohlensäure. Dem entsprechend wird bei der Entkarbonisierung der Salzgehalt entsprechend reduziert. Die Regeneration der Harze erfolgt hier mit Salzsäure (HCl). Der wesentliche Vorteil der Entkarbonisierung liegt in der Verringerung der Leitfähigkeit. Dadurch kann z. B. im Kesselbetrieb höher eingedickt werden. Wesentliche Nachteile sind die höheren Kosten und die Entstehung von saurem Abwasser.

Teilentsalzung findet bei Kesselanlagen kaum mehr Anwendung.

Auch hier ist nach einigen Jahren ein Harztausch erforderlich.

Teilentsalzung (Entkarbonisierung):	Verringerung/Entfernung
Karbonathärte	JA
Leitfähigkeit	JA
Silikat	NEIN
Gase, z. B. Kohlensäure, Sauerstoff	NEIN
Eisen/Mangan	NEIN
Biologie, z. B. Algen, Viren, Bakterien	NEIN

7.3 Fazit: Enthärtung oder Entsalzung?

Welche Methode der technischen Kesselspeisewasseraufbereitung ist also nun die Bessere?

Immer ein Rechenexample.

Enthärtung ist für kleinere Kesselanlagen oft wirtschaftlicher, deutlich einfacher und günstiger umzusetzen. Entsalzung ist für bestimmte Kessel, z. B. Hochdruckkessel, Pflicht. Entsalzung liefert faktisch immer das bessere Wasser, ist allerdings teurer, weshalb die meisten Kesselanlagen nur mit enthartetem Wasser betrieben werden.

Je größer die Kesselanlage, desto wirtschaftlicher wird eine Entsalzung. Dass liegt daran, dass man das Wasser mit Entsalzung deutlich höher eindicken können, was Wasser und Chemie spart – in vielen Fällen sogar bis zu 60 %.

8. Wichtige Zusammenhänge in Dampfkesselanlagen einfach erklärt

8.1 Eindickung

Wasser wird in Dampfkesselanlagen, wie Großwasserraumkessel oder Schnelldampferzeugern, zu Dampf verarbeitet. Das ist Sinn und Zweck von Dampfkesselanlagen. Der Dampf enthält keine gelösten Inhaltsstoffe des Kesselwassers, wie z. B. Chloride, Sulfate etc. Es verdampft (nicht ganz richtig, aber vereinfacht gesagt) nur das reine Wasser ohne Inhaltsstoffe. Die Folge ist, dass das restliche Wasser im Kessel immer mehr „eindickt“. Es wird konzentrierter, da die Salzkonzentration immer mehr steigt. Das „gute“ Wasser verlässt als Dampf das Kesselwasser und es entsteht immer mehr „schlechtes“ Wasser, da die Menge an (teilweise schädlichen) Inhaltsstoffen zunimmt. Stellen Sie sich einen Kochtopf mit Wasser vor, in dem Sie Gewürze, Gemüse usw. erhitzen. Das Wasser wird bei anhaltender Erhitzung immer weniger, die zugegebenen Zutaten bleiben jedoch in gleicher Menge enthalten. Das Wasser dickt sozusagen ein.

Unter Eindickung versteht man das Verhältnis von der Salzkonzentration des Kesselwassers zu der des Kesselspeisewasser.

Für die Eindickung gilt somit:

$$\text{Eindickungszahl} = \frac{\text{mg/l Salzgehalt des Kesselwassers}}{\text{mg/l Salzgehalt des Kesselspeisewassers}}$$

In der Praxis wird sehr häufig die elektrische Leitfähigkeit zur Berechnung der Eindickung genutzt. Sie hat den Vorteil, dass sie, z. B. über ein Leitfähigkeitsmessgerät sehr einfach gemessen werden kann.

$$\text{Eindickungszahl} = \frac{\mu\text{s/cm Leitfähigkeit des Kesselwassers}}{\mu\text{s/cm Leitfähigkeit des Kesselspeisewassers}}$$

Richtwerte für die Eindickung sind für jeden Kessel andere und von der Bauart und der Kesselspeisewasserqualität abhängig. Die Kunst besteht darin, die Eindickung so zu wählen, dass der Zusatzwasserbedarf so gering wie möglich ist, jedoch keine Störungen des Betriebs, z. B. durch Ablagerungen oder Korrosion entstehen. Wir helfen Ihnen gerne bei der Optimierung Ihrer Kesselanlage.

- ☞ Weiterführender externer Link: <https://aqua-technik-gmbh.de/kontaktformular/>

8.2 Entsalztes Kesselspeisewasser

Die Entsalzung wird meist durch Umkehrosmoseanlagen, Anion-/Kationenaustauscher oder ergänzt durch nachgeschaltete Mischbettaustauscher durchgeführt.

Bei der Entsalzung werden gelöste Wasserinhaltsstoffe annähernd vollständig entfernt. Deshalb sinkt die elektrische Leitfähigkeit oft in Bereiche von 1-20 µS/cm. Zum Vergleich: Typisches Trinkwasser hat einen Leitwert von ca. 500 µS/cm.

Entsalztes Kesselspeisewasser hat meist nach der Entsalzung einen pH-Wert von etwa 5,5 - 6,5, was bedeutet, dass es als leicht sauer angesehen wird. Das Wasser ist in diesem Zustand annähernd frei von gelösten Mineralien und Ionen. Gase wie Sauerstoff oder CO₂ sind jedoch im Wasser noch vorhanden.

Wesentliche Vorteile sind:

- Keine Stoffe im Wasser, die zu Ablagerungen führen können, z. B. Calcium
- Höhere Eindickung möglich und deshalb Wasser- und Chemieersparnis
- Einfache Funktionsüberwachung der Wasseraufbereitung durch automatische Leitwertmessung

Wesentliche Nachteile sind:

- Zu geringer pH-Wert und deshalb Korrekturchemikalien erforderlich, z. B. Phosphate
- Hohe Investitionskosten

8.3 Enthärtetes Kesselspeisewasser

Wasserenthärter, klassisch mit Regenerationsmittel Natriumchlorid (Kochsalz), entfernen nur die Härte-Ionen (hauptsächlich Calcium und Magnesium). Alle anderen Stoffe wie Chloride oder Sulfate sind im Wasser noch vorhanden. Auch Sauerstoff und CO₂ sind noch enthalten.

Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit bleiben unverändert.

Wesentliche Vorteile sind:

- Die so schädliche Wasserhärte wird auf einfache und kostengünstige Art und Weise aus dem Wasser entfernt
- Geringe Investitionskosten

- Oft automatisch geeigneter pH-Wert im Kesselwasser, da Karbonate eine Selbstalkalisierung (pH-Anhebung) bewirken. Oft kein Einsatz von Chemikalien zur pH-Anpassung erforderlich

Wesentliche Nachteile sind:

- Außer Wasserhärte noch alle Inhaltsstoffe im Wasser enthalten
- Keine Reduzierung der elektrischen Leitfähigkeit und folglich höherer Wasser- und Chemiebedarf aufgrund geringerer möglicher Eindickung im Vergleich zu vollentsalztem Speisewasser.

8.4 Absalzung

Unter **Absalzung** versteht man die Ausschleusung von Kesselwasser aus dem Dampfkessel mit dem Ziel, den Salzgehalt des Wassers und damit die Gefahr von Korrosion und Ablagerungen zu verringern.

Das Kesselspeisewasser für Dampfkessel enthält je nach Art der Wasseraufbereitung immer noch für den Betrieb schädliche bzw. störende Inhaltsstoffe, die sich infolge der Verdampfung im Kessel innerhalb des Kesselwassers anreichern.

Die gesteuerte Absalzung eines Kessels erfolgt durch Messung der Leitfähigkeit des Kesselwassers mittels einer Leitfähigkeitselektrode. Wenn die gemessene Leitfähigkeit einen voreingestellten Grenzwert überschreitet, öffnet die Regelung automatisch ein Absalzventil, um salzreiches Kesselwasser abzuleiten. Die Kesselspeisepumpen fördern dann als Ersatz Kesselspeisewasser in den Dampfkessel. Dies verhindert häufig Ablagerungen und Schaumbildung im Kessel.

So funktioniert die Leitfähigkeitssteuerung bei der Absalzung:

Leitfähigkeitsmessung:

Eine Leitfähigkeitselektrode misst kontinuierlich die elektrische Leitfähigkeit des Kesselwassers. Die Leitfähigkeit steigt mit der Konzentration gelöster Salze.

Temperaturkompensation:

Heutige Systeme verfügen über eine automatische Temperaturkompensation, da die Leitfähigkeit temperaturabhängig ist. Dies stellt sicher, dass Temperaturschwankungen nicht zu Fehlermeldungen führen.

Regelbefehl:

Ein Leitfähigkeitsregler vergleicht den gemessenen Wert mit einem voreingestellten Sollwert. Ist der Wert zu hoch, sendet der Regler ein Signal, um das Absalzventil zu öffnen.

Absalzung:

Das Absalzventil öffnet sich für eine bestimmte Zeit oder einen bestimmten Öffnungsgrad, um salzreiches Wasser abzuleiten. Gleichzeitig wird Frischwasser nachgespeist, um den Salzgehalt

wieder zu senken.

Regelkreis:

Dieser Vorgang wiederholt sich ständig, um einen stabilen Salzgehalt im Kesselwasser zu gewährleisten.

8.5 Abschlämmung

Unter Abschlämmung versteht man im Prinzip, wie bei der Absalzung, ebenfalls das Ablassen von Teilen des eingedickten Wassers aus dem Dampfkessel.

Der wesentliche Unterschied zur Absalzung ist, dass die Abschlämmung im Regelfall zeitgesteuert ist und - ganz wichtig - der Ablass unten am Kessel ist. Hiermit soll bewirkt werden, dass mit der Abschlämmung abgelagerte Schlämme im unteren Teil des Kessels ausgetragen werden. Schlämme, also Feststoffe, lagern sich schwerkraftbedingt unten im Kessel ab.

Der Hauptunterschied zwischen Abschlammen und Absalzen ist:

- Abschlammen entfernt die sichtbaren Ablagerungen oder Schlämme im Kessel (also Feststoffe, die sich schon gebildet haben).
- Absalzen reduziert die gelösten Salze im Kesselwasser, damit sie nicht ausfallen und erst gar keinen Schlamm bilden.

Kurz und vereinfacht gesagt: Abschlammen räumt auf, Absalzen verhindert, dass Schlamm entsteht.

8.6 Entgasung bzw. Sauerstoff entfernen

Im rückgeführten Kondensat und im Zusatzspeisewasser gelöste Gase können zu gefährlichen Korrosionen im Kesselspeisewassertank, Kessel, Dampf- und Kondensatnetz führen. Die gelösten Gase, insbesondere der Sauerstoff, sollten möglichst bereits im Kesselspeisewasserbehälter entgast und somit zum größten Teil entfernt werden.

Das am meisten verbreitete Verfahren ist dabei die thermische Entgasung. Bei diesem Verfahren wird die chemisch-physikalische Gesetzmäßigkeit genutzt, dass die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten mit steigender Temperatur abnimmt und im Siedezustand gegen annähernd Null geht. Man kennt dies vom Erhitzen von Wasser. Stellt man einen Topf mit kaltem Wasser auf die Herdplatte, so bilden sich mit zunehmender Temperatur Gasblasen am Boden, die sich vergrößern, vom Boden lösen und nach oben steigen. Es handelt sich dabei um die im Wasser gelösten Gase, wie Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid.

Praktisch wird dies sichergestellt, indem der Kesselspeisewasserbehälter mit Dampf aus dem Dampfkessel erhitzt wird. Bei diesem Prozess wird das Speisewasser durch Zugabe von Dampf im Idealfall auf über 102 °C erhitzt, wodurch die Gase ausgetrieben und an die Atmosphäre abgegeben werden.

Die nach der thermischen Entgasung im Speisewasser verbliebenen Restgehalte an Sauerstoff müssen mit einem geeigneten Konditionierungsmittel chemisch gebunden werden. Dabei gilt: je höher die Entgasungstemperatur, desto geringer ist der Bedarf an chemischen Sauerstoffbindern.

9. Die 2 goldenen Regeln für Kesselanlagen (Wiederholung)

9.1 Sauerstofffreiheit

Sauerstoff ist Grundlage für viele Korrosionsvorgänge. Beginnend im Speisewasserbehälter, den angeschlossenen Rohrleitungen, dem Dampfkessel und letztlich dem gesamten Dampf- und Kondensatnetz. Grundsätzlich wird verlangt, dass weder im Kesselspeise- noch im Kesselwasser Sauerstoff vorhanden ist.

Man beseitigt den Sauerstoff meist mit Hilfe von thermisch wirkender Entgasung (Erhitzung) und ergänzend für Restsauerstoffgehalte eines chemischen Sauerstoffbinders.

Die Löslichkeit von Luftsauerstoff im Wasser beträgt zum Beispiel:

mg O ₂ /Liter	Temperatur °C
11,25	10
7,49	30
4,69	60
2,81	80
1,58	90
0,18	99
<0,1	>104

Daraus ergibt sich ganz eindeutig, dass Kesselspeisewasser immer um oder über der Siedegrenze zu halten ist. Temperaturen von 102-106 °C haben sich hier bewährt.

Weniger Temperatur bei der Entgasung hat einen höheren Verbrauch an Sauerstoffbindemitteln zur Folge. Eine Kesselspeisewassertemperatur von nur 90 °C bedingt bereits einen signifikant höheren Verbrauch an Sauerstoffbinder.

9.2 Keine Härte, kein Kesselstein

Wie wir wissen, ist Rohwasser immer mehr oder weniger kalkhaltig. Je mehr Kalk sich im Wasser befindet, desto „härter“ wird es – und desto größer die Gefahr, dass sich der gefürchtete Kesselstein in den Dampfanlagen bildet. Kesselstein entsteht durch die Ausfällung von Härtebildnern wie Kalzium- und Magnesiumsalzen, die in unbehandeltem Wasser enthalten sind. Wenn das Wasser im Kessel erhitzt wird, verdampft es, während die gelösten Salze

zurückbleiben und sich an den Kesselwänden ablagern. Diese Ablagerungen werden durch hohe Temperaturen und Druckverhältnisse im Kessel noch verstärkt.

Die wichtigsten Kesselsteinbestandteile und typische Ablagerungen sind:

- **Kalziumkarbonat (CaCO_3)**: Klassisch häufig als Kesselstein bezeichnet.
- **Kalziumsulfat (CaSO_4)**: Verursacht besonders harte Ablagerungen.
- **Magnesiumhydroxid (Mg(OH)_2)**: Verschiedene Magnesiumverbindungen sind weiterhin häufig anzutreffen.

Um die Bildung von Kesselstein und anderen Ablagerungen zu verhindern, ist eine geeignete **Kesselwasserbehandlung** erforderlich. Diese umfasst sowohl die Aufbereitung des Speisewassers (Wasserhärte technisch entfernen) als auch die Behandlung des Kesselwassers (Kesselstein chemisch verhindern) während des Betriebs.

10. Chemische Wasserbehandlung von Kesselwasser

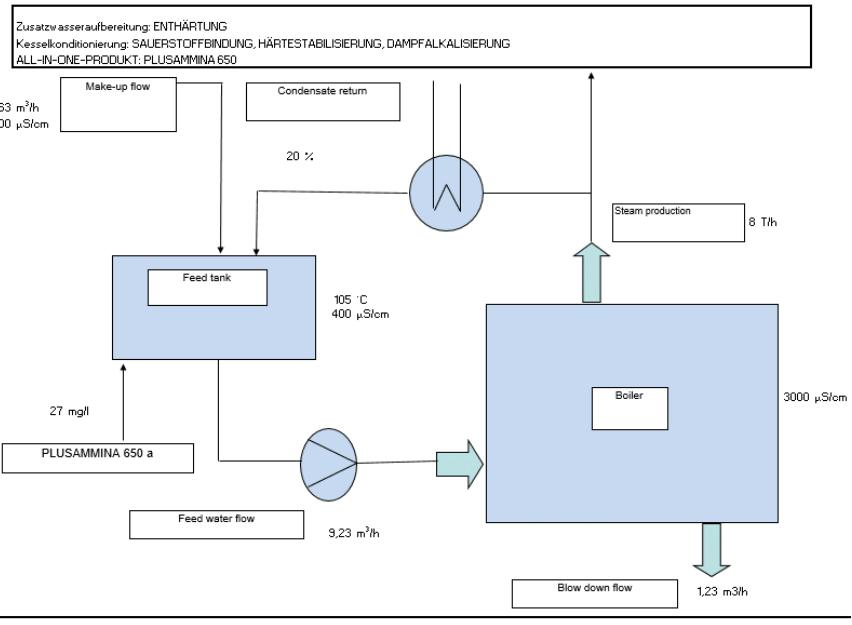
Das Dampfkessel-Behandlungsprogramm für das Kesselspeisewasser muss so eingesetzt werden, dass ein optimaler Schutz vor Kesselstein und Kesselkorrosion gewährleistet wird. Dabei liegt der Schwerpunkt ganz klar darauf, die Lebensdauer des Kesselsystems und der Komponenten zu verlängern, eine hohe Dampfreinheit sicherzustellen und den Wirkungsgrad zu verbessern, um die Versorgungskosten und Ausfallzeiten der Anlagen zu reduzieren. Wie das gelingt? Durch eine professionelle Kessel-Kalkulation und die Auswahl effizienter Produkte zur chemischen Aufbereitung des Wassers.

10.1 Professionelle Kalkulation der Kesselwasseraufbereitung

Um die Kesselspeisewasseraufbereitung so effizient und wirtschaftlich wie möglich betreiben zu können, bedarf es vorab einer durchdachten Kalkulation, in der u. a. die Speisewasserqualität und die Betriebsweise eine wichtige Rolle spielen. Ineffiziente Kessel lassen sich in der Regel durch Wasseranalysen sicher identifizieren. Daraus können die richtigen Maßnahmen abgeleitet werden. So lässt sich nicht nur ein reibungsloser Betrieb sicherstellen, sondern auch signifikant Chemie einsparen, wenn nicht frei nach dem Motto „viel hilft viel“ dosiert wird. Mithilfe der Kessel-Kalkulation können wir die richtige Menge an chemischen Produkten in der optimalen Dosierung ermitteln und so eine optimale Wasserbehandlung gewährleisten.

Beispiel einer Kalkulation für Dampfkessel (vereinfacht):

Boiler water treatment		Start new
Make-up water		
Conductivity make-up water	500 µS/cm	
Feed water		
Temperature feed tank	105 °C	
Condensate return	20 %	
Conductivity feed water	400 µS/cm	
Boiler		
Steam production	8 T/h	
Conductivity boiler water	3000 µS/cm	
Cycles of concentration	7,5	
Boiler Pressure	8 bar	
Excess of sulphite	30 mg/l SO ₃	
Working hours/day	10 h/day	
Working days/year	280 days/(a)	
Flows		
Blow down flow	1,23 m ³ /h	
Feed water flow	9,23 m ³ /h	
Make-up water flow	7,63 m ³ /h	
Concentration oxygen in feed tank	0,05 ppm O ₂	
Dosages		
PLUSAMMINA 650 a on feed flow	27 mg/l	
PLUSAMMINA 650 a on feed flow	212 g/h	
Prices products		
PLUSAMMINA 650 a	5 €/kg	
Consumption product/year		
Consumption PLUSAMMINA 650 a/year	594 kg/a	
Cost PLUSAMMINA 650 a/year	2968 €/a	



10.2 Sauerstoffbinder

Sauerstoffbindemittel sind für Kesselanlagen der vielleicht unverzichtbarste Bestandteil. Eine Entgasung allein gewährleistet in der Regel keinen ausreichenden Schutz.

Die genaue Dosis eines Sauerstoffbinders, die Sie in Ihrem Kessel verwenden sollten, hängt u. a. von der Art des Mittels und dem Sauerstoffgehalt (Qualität der Entgasung) ab. Es muss ein Überschuss des eingesetzten Sauerstoffbinders im Wasser vorliegen, damit Schwankungen beim Sauerstoffeintrag sicher abgefangen werden können.

Mehr Infos finden Sie hier: <https://aqua-technik-gmbh.de/chemie-dampfkessel-kesselspeisewasser/>

Typische Sauerstoffbindemittel:

Sulfit	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Sauerstoffbinder (Korrosionsschutz) Dampfflüchtig: Nein Sehr häufig im Einsatz Nicht gesundheitsschädlich und sehr einfache Handhabung Darf bei sehr hohen Betriebsdrücken jedoch nicht eingesetzt werden
---------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> Bildet nach Reaktion mit Sauerstoff Sulfat, was bei hohen Dosiermengen die Korrosion erhöhen kann Erhöht die Leitfähigkeit im Kesselwasser, was die Absalzrate erhöht Nicht in Hochdruckkesseln einsetzbar
Ascorbate / Ascorbinsäure / Vitamin C	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Sauerstoffbindemittel (Korrosionsschutz) Dampfflüchtig: Nein Salzt im Gegensatz zu Sulfat das Kesselwasser nicht auf Bildet keine „unerwünschten“ Nebenprodukte nach der Reaktion mit Sauerstoff Technisch besser als Sulfat, jedoch teurer Nicht in Hochdruckkesseln einsetzbar
DEHA	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Sauerstoffbinder (Korrosionsschutz), Alkalisierung, Schutz des Kondensat-/Dampfnetzes Dampfflüchtig: Ja, jedoch nicht sehr viel Gehört zur Gruppe der Amine, wird jedoch aufgrund der Wichtigkeit separat genannt Bildet wie Hydrazin einen passiven Oxidfilm (Magnetit) auf Metalloberflächen, um Korrosion zu minimieren Ist ebenfalls ein hervorragender Sauerstoffbinder Schützt das gesamte System – vom Kesselspeisewasser über den Kessel bis zum Kondensat Häufig bei Hochdruck- bzw. Wasserrohrkesseln im Einsatz
Carbohydrazid	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Sauerstoffbinder (Korrosionsschutz), Schutz des Dampf-/Kondensatnetzes Dampfflüchtig: Ja, mehr als z. B. DEHA Wurde als Alternative zu Hydrazin entwickelt und ist mit diesem eng verwandt Ist jedoch im Gegensatz zu Hydrazin nicht als krebserregend eingestuft Funktioniert als Sauerstoffbinder und Metallpassivator (Schutz vor Kesselkorrosion) Da Reaktionsprodukte flüchtig sind, kann auch das Dampf-/Kondensatnetz geschützt werden Kann auch bei Hochdruck- bzw. Wasserrohrkesseln eingesetzt werden
Hydrazin	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Sauerstoffbinder (Korrosionsschutz), Alkalisierung, Schutz des Dampf-/Kondensatnetzes

	<ul style="list-style-type: none"> • Dampfflüchtig: Ja • Bindet Sauerstoff und trägt zur Metallpassivierung (Schutz vor Kesselkorrosion) bei • Wird jedoch immer seltener verwendet, da die Dosierung kompliziert ist und es sich um einen sehr giftigen gesundheitsgefährdenden Stoff (krebsfördernd) handelt
Tannine	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendungszweck: Sauerstoffbinder (Korrosionsschutz) und Ablagerungsschutz (tw. auch Alkalisierung) • Dampfflüchtig: Nein • Es gibt keine offiziellen Grenzwerte für die Aufbereitung von Kesselwasser mit Tannin • Eine Färbung des Kesselwassers ist oft eine Folge des Produkteinsatzes, was die Wasseranalytik oft erschwert • Wird nicht sehr häufig eingesetzt

Zu unseren Produkten zur Dampfkesselbehandlung:

[All-in-one-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

[Kombinierbare-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

10.3 Resthärtebindung / Kesselsteingegenmittel / Dispergiermittel

Resthärtebindemittel, Kesselsteingegenmittel und Dispergiermittel können als eine Familie bezeichnet werden. Mit diesen chemischen Produkten sollen Ablagerungen wie z. B. Kesselstein („Kalk“) oder Eisenverbindungen (Korrosionsrückstände) verhindert werden. Typische Vertreter sind Phosphate, Phosphonate, Komplexbildner und Polymere. Diese erzeugen, je nach Stabilisierungsmechanismus, in Anwesenheit von „Kalk“ Schlämme oder nutzen den Threshold-Effekt und verhindern die Bildung oder das feste Anbacken von Kesselstein & Co.

Der Einsatz derartiger Mittel wirkt sich sehr positiv auf die Kesseleffizienz aus und erhöht die Betriebssicherheit eines Dampfsystems markant. Sind bereits geringfügige Beläge entstanden, die noch keine chemische Dampfkesselreinigung im Anlagenstillstand erfordern, können Kesselsteingegenmittel in höheren Konzentrationen sogar Beläge von der Oberfläche abtragen. Die dispergierten Mineralien werden über die Absalzung bzw. Abschlammung aus dem Dampfkessel ausgeschleust.

Typische Resthärtebindemittel, Kesselsteingegenmittel und Dispergiermittel

Phosphonate	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Ablagerungsschutz Dampfflüchtig: Nein Unter Einfluss von Druck und Temperatur reagiert ein Teil zu Phosphat Sind für viele kleinere Kessel oft ausreichend Wird gegenüber Phosphaten deutlich weniger genutzt
Phosphate	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Ablagerungsschutz (teilweise auch zur pH-Anhebung) Dampfflüchtig: Nein Der Klassiker ist Trinatriumsphophat Wird ebenfalls als Alkalisierungsmittel zur Anhebung des pH-Werts verwendet Bildet Schlämme in Anwesenheit von Calciumcarbonat bzw. Kalk, die über die Abschlämung des Kessels entfernt werden müssen Dient auch dem Korrosionsschutz
Polymere	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Ablagerungsschutz Dampfflüchtig: Nein Werden bei gewünschter Optimierung des Wirkungsgrades oft als Ergänzung zur Ablagerungsvermeidung, also als Dispergiermittel, eingesetzt Zur Anwendung kommen meist Polyelektrolyte, Polyacrylate und Polyamide In der Regel als Hilfsstoff in einem Kombinationsprodukt sehr sinnvoll In höheren Konzentration können Kessel sogar im Betrieb von Ablagerungen gereinigt werden

Zu unseren Produkten zur Dampfkesselbehandlung:

[All-in-one-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

[Kombinierbare-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

10.4 pH-Regulierung Kesselspeisewasser und Kesselwasser (nichtflüchtige Produkte)

Alkalisierungsmittel dienen dazu, den pH-Wert anzuheben und ihn zu stabilisieren. Man spricht hier auch von einer guten Alkalinität bzw. einem vorhandenen Kesselwasser p-Wert (Säurekapazität KS 8,2). Bei Dampfkesseln ist in der Regel ein leicht alkalischer pH-Wert wichtig, um Korrosion zu vermindern und die Effizienz des Kessels zu erhalten. Alkalisierungsmittel können einzeln oder in Kombination mit anderen Produkten dosiert werden.

Bei vollentsalztem Wasser als Zusatzwasserquelle für die Dampfkesselanlage finden diese so gut wie immer Anwendung.

Alkalisierungsmittel lassen sich im Wesentlichen danach unterscheiden, ob sie dampfflüchtig (können auch das Dampf-/Kondensatnetz alkalisieren) oder nicht dampfflüchtig (verbleiben im Wasser) sind.

Typische nichtflüchtige Produkte zur pH-Regulierung

Phosphate	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Ablagerungsschutz und teilweise auch zur pH-Anhebung Dampfflüchtig: Nein Der Klassiker ist Trinatriumsphophat Bildet Schlämme in Anwesenheit von Calciumcarbonat bzw. Kalk, die über die Abschlämung des Kessels entfernt werden müssen Dient auch dem Korrosionsschutz
Natronlauge (NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Alkalisierung des Kesselwassers Dampfflüchtig: Nein Sehr günstig Es ist heutzutage seltener das Mittel der Wahl, da Phosphat der Natronlauge aufgrund des zusätzlichen Nutzens als Härtebindemittel überlegen ist Weiter gab es bereits Schadensfälle durch Laugenkorrosion bei Einsatz von Natronlauge, z. B. Spannungsrisse durch Lauge an den Eckkern von Großwasserraumkesseln

Zu unseren Produkten zur Dampfkesselbehandlung:

[All-in-one-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

[Kombinierbare-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

10.5 pH-Regulierung im Dampf- und Kondensatnetz (flüchtige Produkte)

Korrosion von Dampf- und Kondensatleitungen ist für viele Betreiber von Kesselanlagen eine große Herausforderung. Der häufigste Grund ist ein zu geringer pH-Wert des Kondensats und ein fehlender Einsatz von Dampfalkalisierungsmitteln bzw. Neutralisationsmitteln für CO₂ („CO₂-Fänger“).

Derartige Produkte sind dampfflüchtig. D. h. Sie verbleiben nicht nur im Kesselwasser, sondern „verflüchtigen“ sich, je nach Druck oft unterschiedlich stark, mit in den Dampf. Hier wird CO₂ neutralisiert und der pH-Wert, nachfolgend natürlich auch der pH-Wert des Kondensats, zum Schutz vor Korrosion angehoben.

Typische flüchtige Produkte zur pH-Regulierung

Ammoniak	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Dampfalkalisierung / CO₂-Binder Dampfflüchtig: Ja, sehr stark Wird sehr häufig eingesetzt Günstig Bei Anwesenheit von Sauerstoff kann Kupfer stark angegriffen werden. Deshalb wird von der Verwendung von Ammoniak bei kupferhaltigen Dampf-/Kondensatbauteilen meist abgeraten
Morpholin	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Dampfalkalisierung / CO₂-Binder Dampfflüchtig: Ja Thermisch sehr stabil, häufig in Hochdruckkesseln verwendet Problem ist häufig eine relativ hohe Giftigkeit
2-(Diethylamino)-ethanol (DEAE)	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Dampfalkalisierung / CO₂-Binder Dampfflüchtig: Ja Thermisch stabil Ausgewogene Verteilung zwischen Kesselwasseralkalisierung und Dampfalkalisierung
Cyclohexylamin	<ul style="list-style-type: none"> Verwendungszweck: Dampfalkalisierung / CO₂-Binder Dampfflüchtig: Ja, sehr stark Thermisch sehr stabil Oft bei weit verzweigten Kondensatnetzen eingesetzt

Ein häufig eingesetztes Produkt ist eine Kombination von Cyclohexylamin, Morpholin und DEAE in einem Produkt.

Zu unseren Produkten zur Dampfkesselbehandlung:

[All-in-one-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

[Kombinierbare-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf](#)

11. Tipps zur Auswahl chemische Kesselchemikalien

Bei der chemischen Wasseraufbereitung von Dampfkesseln gilt es, das effizienteste und wirtschaftlichste Behandlungsprogramm auszuwählen. Es gibt Anwendungsfälle, bei denen mit einem einzigen Produkt ein reibungsloser und langlebiger Betrieb der Anlagen gewährleistet werden kann. In anderen Fällen ist es sinnvoll, dass mehrere Produkte (in der Regel 2, in seltenen Fällen 3) eingesetzt werden. Auf diese Weise kann die Dosiermenge jedes Produkts individuell eingestellt werden.

Grundsätzlich sind vor der Wahl der Chemie für Dampfkessel einige Dinge zwingend zu beachten:

- Kesselart (Großraumwasserkessel, Wasserrohrkessel, Schnelldampferzeuger, Niederdruck-/Hochdruckkessel etc.)
- Art und Qualität des Kesselspeisewassers (Kondensatqualität/-verunreinigungen, Enthärtung oder Vollentsalzung etc.)
- Entgasung ja/nein, Qualität/Temperatur der Entgasung
- FDA ja/nein
- Kondensatrückführung ja/nein, falls ja Rückführquote
- Überheizer ja/nein
- Eindickung des Kesselwassers
- Metallurgie des Systems, inkl. Dampf- und Kondensatleitungen
- Dampfturbine ja/nein

All-in-one Produkte zur Kesselspeisewasseraufbereitung

Hier brauchen Sie nur ein Produkt, um die Entfernung von Kalk, Korrosion und anderen Ablagerungen im Dampfkessel zu gewährleisten.

<https://aqua-technik-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/10/All-in-one-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf>

Kombinierbare Produkte zur Kesselspeisewasseraufbereitung

Hier werden für die ideale chemische Kesselbehandlung 2-3 Produkte eingesetzt. In manchen Fällen ist das die bessere Wahl.

<https://aqua-technik-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/10/Kombinierbare-Produkte-Kesselspeisewasseraufbereitung.pdf>

Mehr Informationen: <https://aqua-technik-gmbh.de/chemie-dampfkessel-kesselspeisewasser/>

12. Praxisausflug – Unsere täglichen Herausforderungen rund um die Kesselwasseraufbereitung

Bei Industrieunternehmen gibt es viele unterschiedliche Anforderungen und Ziele rund um Dampfkessel. Eine kleine Sammlung kleiner und großer Herausforderungen aus unserer täglichen Praxis sehen Sie hier:

Problem: Abnehmende Kesseleffizienz

Ein großer deutscher Lebensmittelhersteller hatte immense Brennstoffkosten für seine Dampfkesselsysteme. Die Gründe lagen in einer schlechten Kesselspeisewasserqualität und einem verminderten Wärmeübertrag durch wasserseitige Ablagerungen. Dadurch verringerte sich der Wirkungsgrad der Anlage und die Kosten stiegen signifikant. 6 Monate vor der turnusmäßigen inneren Prüfung durch die Überwachungsorganisation war dringend Handlungsbedarf geboten.

Maßnahme: Nachhaltige Kesselwasserbehandlung, die Energie und Kosten spart

Experten der aqua-Technik Beratungs GmbH inspizierten die Anlage, analysierten Zusatzwasser, Speisewasser und Kesselwasser sowie die technische und chemische Aufbereitung des Wassers.

Die Lösung war banal. Durch kleinste Stellschrauben bei der Rohwasseraufbereitung stand signifikant besseres Zusatzwasser zur Verfügung. Durch unser Produkt DISPERDENTE 2090 wurde die Dampfkesselanlage im laufenden Betrieb bis zur inneren Prüfung von einem Großteil der Ablagerungen befreit. Weiterhin wurde die Anlage mit einem einzigen weiteren Produkt, unserem **PLUSAMMINA 650**, laufend konditioniert.

Ergebnis: Verbesserte Qualität des Speisewassers, niedrigere Energiekosten

Nach der Aufbereitung des Kesselspeisewassers und der Entfernung der Ablagerungen konnte der Betrieb der Anlagen beachtliche Energieeinsparungen aufweisen. Die Kosten für die Chemikalien zur Behandlung des Wassers sind gesunken und es kann seitdem von einem reibungslosen Kesselbetrieb gesprochen werden.

Sie haben auch Herausforderungen rund um Ihre Kesselanlagen?

↗ Fragen Sie uns doch einfach: <https://aqua-technik-gmbh.de/kontaktformular/>

Wir helfen. Gerne.

Ihre aqua-Technik Beratungs GmbH



aqua-Technik Beratungs GmbH
- Industriewasser-Management –

Hugo-Wolf-Str. 12
D-90455 Nürnberg

Tel.: 09122 / 888 029
Fax: 09122 / 874 952

E-Mail: service@aquabest.de

Kontaktformular: <https://aqua-technik-gmbh.de/kontaktformular/>