Ratgeber mit vielen Tipps zu Kühlkreisläufen, Kühlwasser, Kühltürmen, und Verdunstungskühl-anlagen

Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung von offenen, halboffenen und geschlossenen Prozess-, Brauch- und Kühlkreisläufen

5. aktualisierte und überarbeitete Auflage
September 2024

von Jürgen Tauschek
Geschäftsführer

aqua-Technik Beratungs GmbH
Hugo-Wolf-Str. 12
D-90455 Nürnberg

Tel.: +49 (0) 9122 / 88 80 29
Fax: +49 (0) 9122 / 87 49 52
E-Mail: service@aquabest.de
Web: www.aqua-technik-gmbh.de

aqua-Technik
Beratungs
GmbH

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 1
1. Einleitung 4
2. Über uns – Die aqua-Technik Beratungs GmbH 6
3. Typische Herausforderungen rund um Prozess- und Kühlwasser (Statistik) 7
4. Arten von Kühl- und Prozesswasserkreisläufen 8
4.1 Durchlaufkühlung 8
4.2 Offener Kühlkreislauf 8
4.3 Halboffener Kühlkreislauf 9
4.4 Geschlossener Kühlkreislauf 10
4.5 Zusammenfassung von Vor- und Nachteilen 10
5. Arten der Rückkühlung 11
5.1 Kältemaschinen, Kühltürme / Verdunstungskühlanlagen und Freikühler 11
6. Bezugsquellen von Speise- bzw. Zusatzwasser für Prozess-, Brauch- und Kühlwassersysteme 13
6.1 Grundwasser (Brunnen/Quellen) 13
6.2 Oberflächenwasser (Flüsse/Seen) 13
6.3 Regenwasser 14
6.4 Stadtwasser, Leitungswasser, Trinkwasser 14
6.4.1 Grenzwerte und Wasserqualität nach Trinkwasserverordnung (Auszug) 15
6.5 Zusammenfassung 15
7. Kühlwasser, Prozesswasser, Brauchwasser, Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen in der Industrie – Die Schlüsselfaktoren für einen reibungslosen Betrieb 16
7.1 Korrosion und Rost in industriellen Brauch-, Prozess- und Kühlwasserkreisläufen 16
7.1.1 Korrosionsschutz / Rostschutz in Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisläufen 17
7.1.2 Hohe Korrosion / Rost durch falschen pH-Wert 18
7.1.3 Korrosionsinhibitoren und Korrosionsschutzmittel für die Prozess-, Brauch- und Kühlwasseraufbereitung 20
7.2 Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen 21
7.2.1 Typische Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen 22
7.2.2 Beseitigung von Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen 23
7.3 Kalk- bzw. Härteablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen 23
7.3.1 Vermeidung von Kalkablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen 25
7.3.2 Kalk mit Chemie verhindern – Chemikalien und Produkte zur Härtestabilisierung für Brauch-, Prozess- und Kühlwasser 25

7.4 Biofouling – Biofilme, Legionellen, Bakterien, Algen, Pilze und Schleim in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen, Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen 27
7.4.1 Grundsätzliche Faktoren, die Mikrobiologie (Biofouling) in Prozess-, Brauch- und Kühlwasser begünstigen 27
7.4.2 Biozide und Desinfektionsmittel (Chemikalien) zur Vermeidung von Biofilmen, Legionellen, Bakterien, Algen, Pilzen in Brauch-, Prozess- und Kühlwasserkreisläufen 28
7.4.3 Beispiele und Erläuterungen zu oxidierenden Bioziden / Desinfektionsmitteln 30
7.4.4 Erläuterungen zu nicht oxidierenden Bioziden / Desinfektionsmitteln 32
8. Entkalkung von Kühlkreisläufen, Prozesswasserkreisläufen, Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Wärmetauschern 33
8.1 Allgemeines zu Kalkablagerungen und Reinigungen 33
8.1.1 Checkliste vor Durchführung einer Entkalkung / Reinigung von Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisläufen bzw. Wärmetauschern 34
8.1.2 Häufige Fehler bei einer Entkalkung / Reinigung von Industriewasseranlagen 35
8.2 Desinfektion und Reinigung von Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen, Kühl-, Brauch- und Prozesswasserkreisläufen 36
8.2.1 Kühlturmreinigung / Kühlturmdesinfektion 36
8.2.2 Manuelle Reinigung und Desinfektion 37
8.2.3 Chemische Reinigung und Desinfektion mit dem Schwerpunkt Legionellen 37
9. Chemische Wasserbehandlung und die technisch-physikalische Wasseraufbereitung 39
9.1 Chemische Wasserkonditionierung und Wasserbehandlung 39
9.1.1 Produkte zur chemischen Wasserbehandlung / Wasserkonditionierung 39
9.1.1.1 Korrosionsinhibitoren / Korrosionsschutzmittel 40
9.1.1.2 Härtestabilisatoren und Dispergatoren 40
9.1.1.3 Biozide / Desinfektions- und Entkeimungsmittel 41
9.1.2 Erfolgskriterien bei Verwendung von Chemikalien zur Wasserbehandlung und Wasseraufbereitung 42
9.1.3 Dosieranlagen, Dosierstationen und Dosierpumpen - Dosieren von Chemikalien für die Prozess-, Brauch- und Kühlwasserbehandlung 42
9.2 Wasseraufbereitungsanlagen und technisch-physikalische Wasseraufbereitung 44
9.2.1 Filtration – Klassische Filtersiebe 44
9.2.1.1 Kiesfilter / Sandfilter / AFM-Filter / Mehrschichtfilter 46
9.2.1.2 Aktivkohlefilter 48
9.2.1.3 Ultrafiltration 49
9.2.1.4 Umkehrosmoseanlage (RO) / Nanofiltrationsanlage (NF) 50
9.2.1.5 BIRM-Filteranlagen / Greensand-Filteranlagen / Ecomix-Filteranlagen 51

9.2.2 Ionenaustauscheranlagen....53
9.2.3 Enthärtungsanlagen....53
9.2.4 Teilentsalzung....55
9.2.5 Vollentsalzung über Anionentauscher und Kationentauscher....55
9.2.6 Multistep-Verfahren....56
9.2.7 Mischbett....56
9.2.8 EDI Vollentsalzungsanlagen....57
9.2.9 Membranentgasung....58
9.2.10 UV-Anlagen....58
9.2.11 Neutralisationsanlagen....59
10. Funktion, Richtwerte und Wasseraufbereitung von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen....60
10.1 Grundsätzliches zu Kühltürmen....60
10.2 Arten und Funktionsweise von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen....60
10.3 Verdunstung, Eindickung und Abschlämmung bei Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen....63
10.3.1 Eindickung Kühlturm....63
10.3.2 Abschlämmung bzw. Absalzung bei Kühltürmen....64
10.4 Richtwerte Wasserqualität für Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen....65
10.5 Wasseranalysen und wichtige Wasserparameter für Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen....68
10.6 Verhältnis zwischen Eindickung und Wasserverbrauch bei Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen....71
10.7 Optimale Betriebsbedingungen für Kühltürme....72
11. Praxisausflug – Unsere täglichen Herausforderungen rund um die Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung....73
12. Special 42. BImSchV – Legionellen in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheidern....75
12.1 Prüf- und Maßnahmenwerte der 42. BImSchV für Legionellen in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider....76
12.2 Laboruntersuchung - Überwachung und Maßnahmen bei Anstieg der allgemeinen Koloniezahl....78
12.3 Pflicht zur Überprüfung der Anlagen....79
12.4 Muster und Vorlage für ein Betriebstagebuch gemäß 42. BImSchV für Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider....79
13. Die spannende Frage zum Schluss oder das Fazit....84

1. Einleitung

Sehr geehrte Leser,

in diesem Ratgeber geht es darum, Ihnen ein Grundverständnis zur Aufbereitung von Wasser, das z. B. zur Kühlung während eines Produktionsprozesses eingesetzt wird, zu vermitteln. Der Ratgeber legt besonderen Wert darauf, grundsätzliche Zusammenhänge zwischen der Wasserqualität, typischen Problemen und den daraus resultierenden Lösungsmöglichkeiten für die Wasseraufbereitung zu erörtern. Er verzichtet größtenteils auf komplexe wissenschaftliche Erklärungen und unverständliche chemische Formeln. Vielmehr ist er ein Nachschlagewerk und Ratgeber für die Praxis mit vielen Tipps rund um Kühlwasser, Kühlkreisläufe, Brauch-, Prozesswasser, Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Kühlwasseraufbereitung und Kühlwasserbehandlung von Kühltürmen bzw. Verdunstungskühlanlagen. Die Brauch- bzw. Prozesswasseraufbereitung sowie Wasseraufbereitungsanlagen sind weiterer Bestandteil dieser Ausgabe.

Kühlwasser ist auf den ersten Blick nur ein Medium, das zur Kühlung eingesetzt wird, um beispielsweise dafür zu sorgen, dass Maschinen dauerhaft laufen. Durch die Kühlleistung in Verbindung mit einer Rückkühleinheit (anders gesagt: Aufnahme und spätere Abgabe von Wärmeenergie) wird oftmals ein effizienter Einsatz von Maschinen erst möglich. Maschinen funktionieren nicht mehr, wenn sie überhitzen. Somit beeinflusst Kühlwasser die Effizienz des Produktionsprozesses signifikant.

Der Einsatz von Wasser als Prozesswasser bringt nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile. So entstehen durch den Einsatz von Wasser häufig

- Korrosionsschäden, die teure Reparaturen erfordern,
- Ablagerungen in Rohren, Kühlwasserfiltern oder Wärmetauschern, die zu Maschinen- und Produktionsausfällen führen,
- Biofilme und Mikrobiologie, die gesundheitlich bedenklich sind und Wärmeübergänge verschlechtern können oder
- diverse Verschmutzungen, die entweder vom Produktionsprozess selbst oder von mit dem Wasser eingeschleppten oder ausgefallenen Feststoffen (z. B. Schmutz, Sand, Eisenoxide) kommen.

Ein Ausfall des Kühlsystems macht keinen Spaß. Denn in der Regel führt er zu erheblichen Ausfallkosten in der Produktion und zu einem teuren Reparaturaufwand. Deshalb ist ein effizienter und reibungsloser Betrieb des Kühlsystems von großer Bedeutung, um ein Höchstmaß an Betriebssicherheit und Stabilität der Produktion zu gewährleisten. Hierbei spielt die Qualität des Zusatz- und Kreislaufwassers eine entscheidende Rolle. Eine spezielle Behandlung des Wassers ist meist unerlässlich, wenn ein Produktionsprozess dauerhaft reibungslos laufen soll.

Sinnvolle Optimierungen der Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung, genauer gesagt der Kühlwasseraufbereitung und Kühlwasserbehandlung, bringen u. a. folgende Vorteile:

- Einsparung von Energiekosten
- Reduzierung des Wasserverbrauchs
- Geringere Wartungs- und Reparaturkosten
- Erhöhung der Betriebssicherheit
- Höhere Maschinenverfügbarkeit
- Effizientere Produktionsprozesse

Für viele Unternehmen sind dies sehr lohnende Ziele. Es macht Sinn, über Wasseraufbereitung nachzudenken.

Ihre aqua-Technik Beratungs GmbH
- Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung für die Industrie -

Hinweis: Als „Kühlturm“ werden korrekterweise Naturzugkühltürme mit mehr als 200 MW bezeichnet. Da der Begriff „Kühlturm“ jedoch in der Praxis meist auch für die typischerweise in Unternehmen vorzufindenden Verdunstungskühlanlagen (VDKA) verwendet werden, ist er auch bei uns aus Gründen der Verständlichkeit mit Verdunstungskühlanlagen gleichgesetzt. Bitte sehen Sie uns dies nach.

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, Härtestabilisatoren, Dispergatoren, Biozide, Säuren, Laugen, Ölreiniger, Sauerstoffbinder und viele mehr. Wir bieten fast das ganze Spektrum der Wasseraufbereitungschemie 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.

Kennen Sie schon alle unsere Lösungen?

CHEMIE	TECHNIK	SERVICE
• Biozide	• Enthärtungsanlagen	• All-in-One-Service 42. BImSchV
• Korrosionsschutzmittel	• Dosieranlagen	• Reinigung / Desinfektion
• Härtestabilisatoren	• Absalzanlagen	• Gefährdungsbeurteilung
• Dispergatoren	• Mess- und Regeltechnik	• Sachverständigenprüfung
• Sauerstoffbinder	• Umkehrosmose	• Montage / Wartung / Labor
• Entkalker / Reiniger	• Filtration	• 42. BImSchV konform

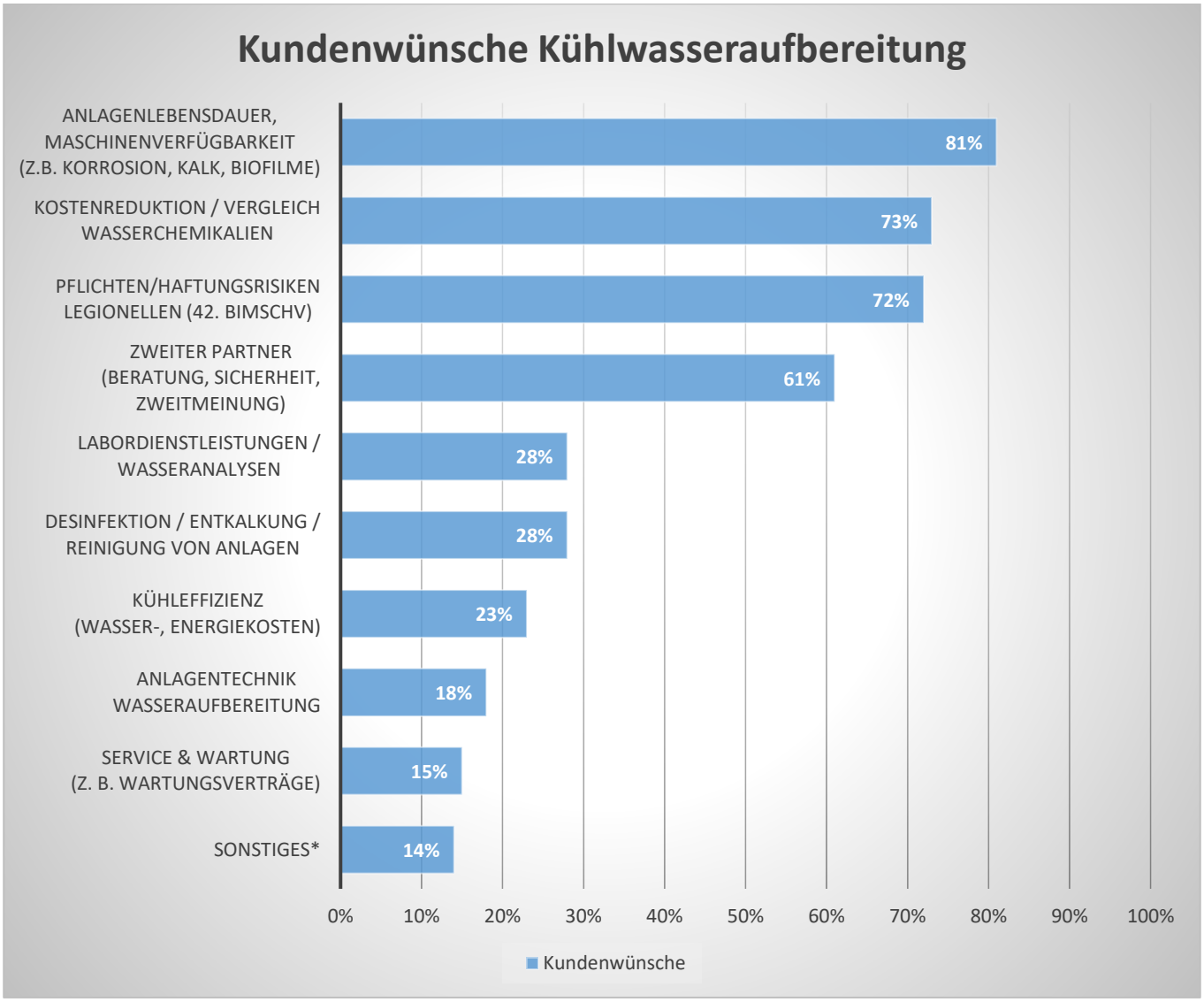
Welche Herausforderungen haben Sie? Verraten Sie es uns.
Wir helfen. Gerne.

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. Typische Herausforderungen rund um Prozess- und Kühlwasser (Statistik)

Wenn es um Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen, Rückkühler, Prozess- und Brauchwasser geht, gibt es eine Vielzahl an Herausforderungen und Stellschrauben bei der Wasseraufbereitung. Eine interne Statistik der aqua-Technik Beratungs GmbH ergab folgende Kundenwünsche, die Neukunden als Grund der Kontaktaufnahme genannt haben (Datenbasis 4 Jahre, Stand 31.12.2018 – zum 31.12.2018 wurde die Datenerhebung eingestellt):



*Kaputte Dichtungen, Eisen-/Manganablagerungen, Verschmutzungen Produkte, Gesundheitsschutz Mitarbeiter, verstopfte Maschinenleitungen/Filter, Gefährdungsbeurteilung, Ablagerungen Wärmetauscher, Probleme mit bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen und vieles mehr

4. Arten von Kühl- und Prozesswasserkreisläufen

Wasserführende Kühlkreisläufe werden in 4 Kategorien eingeteilt, welche verschiedene Vor- und Nachteile bieten:

- Durchlaufkühlung
- offene Kühlkreisläufe
- halboffene Kühlkreisläufe
- geschlossene Kühlkreisläufe

Zum Verständnis ist es wichtig zu wissen, dass in vielen Unternehmen mehrere Systeme vorhanden sind. Es können z. B. ein offener Kühlkreislauf mit einem Kühlturm (Sekundärkreislauf) und ein geschlossener Kühlkreislauf, z. B. für die Hydraulik-/Maschinenkühlung (Primärkreislauf) existieren. Über einen Wärmetauscher kühlt der Sekundärkreislauf das Wasser des Primärkreislaufes. Weiterhin kann es in Unternehmen mehrere separate Kreisläufe desselben Typs geben. Jeder Prozesswasserkreislauf muss deshalb hinsichtlich seiner Art individuell betrachtet werden.

4.1 Durchlaufkühlung

Früher wurde am häufigsten die sogenannte Durchlaufkühlung angewendet.

Durchlaufkühlung bedeutet, dass Wasser nur einmalig zur Kühlung verwendet wird. Das heißt, dass es beispielsweise von einem Brunnen, einem Fluss/See oder vom Trinkwasserversorger bezogen, einmal zur Kühlung verwendet und danach wieder aus dem Unternehmen herausgeleitet wird.

Daraus ergibt sich selbstredend ein entscheidender Nachteil: hoher Wasserverbrauch.

Die aus dem Wasserverbrauch resultierenden hohen Kosten führten und führen immer mehr dazu, dass die Durchlaufkühlung durch offene, halboffene oder geschlossene Prozesswassersysteme ersetzt wird. Ausnahmen stellen Betriebe dar, die Regen- oder Brunnenwasser nutzen und/oder das Abwasser in einen Fluss/See leiten dürfen. In diesem Fall entstehen keine hohen Wasserverbrauchskosten, weshalb eine Durchlaufkühlung manchmal noch eingesetzt wird. So ist dies bei Kraftwerken meist Standard.

4.2 Offener Kühlkreislauf

Die zunehmende Verknappung an Frischwasser und die steigenden Kosten für Brauch- und Abwasser haben zum verstärkten Einsatz von sogenannten offenen Kühlkreisläufen geführt, bei denen das Kühlwasser meist über einen Nasskühlturm bzw. eine Verdunstungskühlanlage geleitet wird.

Ein Kühlkreislauf wird als „offenes System“ bezeichnet, wenn das Kühlwasser innerhalb des Prozesswasserkreises mit der umgebenden Atmosphäre bzw. mit Fremdwasser aus einem anderen Kühlkreislauf in Berührung kommt und dadurch Veränderungen der

Wasserparameter, also der Beschaffenheit des Wassers durch äußere Einflüsse, stattfinden können. Bei einem offenen Kühlturmkreislauf kommt das Wasser mit der umgebenden Luft in Berührung.

Der Vorteil eines offenen Systems gegenüber der Durchlaufkühlung liegt im geringeren Wasserverbrauch, da immer ein Teil des Wassers erneut zur Kühlung verwendet wird. Der wesentlichste Vorteil eines offenen Kühlkreislaufes mit einem Verdunstungskühler als Rückkühlanlage ist jedoch, dass die Kühlung des Wassers durch die natürliche Verdunstungskälte erfolgt. Für die eigentliche Abkühlung muss also keine Energie verwendet werden, da dies von der Natur erledigt wird. Nachteile dieses Systems sind größere Herausforderungen hinsichtlich Ablagerungen, z. B. Kalk und biologisches Wachstum wie Legionellen im Kühlwasser. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass nur reines Wasser verdunstet. Das Wasser, das sich weiterhin im Kreislauf befindet, hat somit oft mehr „schädliche“ Inhaltsstoffe (da diese ja im Restwasser bleiben). Sie konzentrieren sich sozusagen auf. Man spricht hier von der sogenannten Eindickung. (Mehr dazu unter 10.3.1 Eindickung Kühlturm)

Abbildung 2: Verdunstungskühlanlage (VDKA) als Beispiel für einen offenen Kühlkreislauf

Abbildung 3: Kühlturm eines Kraftwerks als Beispiel für einen offenen Kühlkreislauf

4.3 Halboffener Kühlkreislauf

Halboffene Kühlsysteme trifft man nicht ganz so häufig wie geschlossene und offene Kreisläufe an. Ein halboffener Kühlkreislauf besitzt im Gegensatz zum geschlossenen Kühlkreis in der Regel einen Puffertank. Der Grund ist manchmal simpel. Durch die natürliche Wärmeabstrahlung in einem Kühlwassertank kühlt das Wasser ab. Ist die Verweilzeit des Wassers in einem großen Tank also lange genug, kann das Kühlwasser so auf die erforderliche Temperatur rückgekühlt werden. Da ein solcher Wassertank einen Öffnungsdeckel mit Kontakt zur Atmosphäre hat, spricht man von einem halboffenen System.

Soll tatsächlich nur auf diese Weise gekühlt werden, sind die richtige Dimensionierung des Puffertanks und eine nicht zu große abzuführende Wärmemenge entscheidend. Heutzutage besitzen solche Kreisläufe jedoch meist eine weitere Rückkühlung, z. B. über einen Wärmetauscher oder eine Kältemaschine.

Obwohl ein kleiner Teil des Wassers verdunsten kann, ist der Wasserverbrauch somit sehr gering.

4.4 Geschlossener Kühlkreislauf

Ein Kühl- oder Prozesskreislauf wird als geschlossenes System bezeichnet, wenn das Kühlwasser in einem hermetisch abgeschlossenen Kreislauf zirkuliert und dadurch mit der umgebenden Atmosphäre bzw. mit Fremdwasser aus anderen Kühlkreisen nicht in Berührung kommt.

Die großen Vorteile des geschlossenen Systems sind ein sehr geringer Wasserverbrauch (meist müssen nur kleine Mengen Wasser „nachgefüllt" werden, z. B. durch Leckagen oder Wasserverluste im Produktionsprozess) und eine relativ stabile Wasserqualität. Diese ist stabiler, da keine Stoffe von außen eindringen und keine Eindickung wie bei einer Verdunstungskühlanlage bzw. einem Kühlturm erfolgt. In geschlossenen Systemen können sich jedoch Korrosionsprodukte im System ansammeln und die Korrosion von metallischen Werkstoffen signifikant verstärken. Im Gegensatz zum offenen Rückkühlkreislauf findet ja kein bzw. nur ein sehr geringer Wasseraustausch statt. Korrosion ist in geschlossenen Kühlkreisläufen meist das zentrale Problem.

Die Wärme wird entweder über Wärmetauscher an ein anderes Medium abgegeben oder über einen Rückkühler direkt gekühlt. Wenn dann z. B. eine klassische Kältemaschine eingesetzt wird, kann ein hoher Stromverbrauch ein weiterer Nachteil sein.

4.5 Zusammenfassung von Vor- und Nachteilen

Zusammenfassend kann man die Kühlkreislaufarten hinsichtlich des Wasserverbrauchs und den Anforderungen an die Wasserbehandlung wie folgt einteilen:

Kühlkreislaufart:	Durchlaufkühlung	Geschlossen	Halboffen	Offen
Wasserverbrauch	Sehr hoch	Keiner bzw. sehr gering	Gering	Mittel bis hoch
Anforderung an Wasseraufbereitung / Wasserbehandlung	Gering	Gering	Mittel	Hoch

5. Arten der Rückkühlung

Sie wissen, dass Wasser oder auch andere eingesetzte Medien, z. B. Öl, gekühlt werden müssen. Die Frage ist nur noch wie.

5.1 Kältemaschinen, Kühltürme / Verdunstungskühlanlagen und Freikühler

Gängige Kühlarten und Rückkühler werden wir Ihnen hier kurz vorstellen und typische Merkmale beleuchten:

	Kältemaschine	Kühlturm / Verdunstungskühlanlage	Freikühler
Typische Kaltwasser-temperatur (Temperatur nach Kühlung)	0 °C möglich	Feuchtkugeltemperatur* + 3 °C	Außentemperatur + 3 °C
Kreislauf	Meist geschlossener / halboffener Kühlwasserkreislauf	Meist offener Kühlwasserkreislauf	Meist geschlossener / halboffener Kühlwasserkreislauf
Größter Kostenaspekt im Betriebszustand (ohne Wasseraufbereitung)	Energie (z. B. Strom)	Wasser	Strom
Abhängigkeit von Umgebungstemperatur	Nein	Mittel	Stark
Betriebskosten (ohne Wasserbehandlung)	Hoch	Gering	Gering
Vorteile	- Sehr geringe Kaltwasser-temperaturen möglich - Unabhängig von Außentemperaturen	- geringe Stromkosten - Erreichbare Kaltwasser-temperaturen meist ausreichend - Kühlung durch natürlichen Effekt Verdunstungskälte	- sehr geringe Betriebskosten - oft kaum Wasseraufbereitung notwendig
Nachteile	- Hohe Energiekosten - Wartungsintensiv	- Wasserverbrauch - Kühlwasserbehandlung notwendig	- hohe Kaltwassertemperatur (speziell in Sommermonaten Kühlung oft nicht ausreichend)

*Als Feuchtkugeltemperatur (tF) bezeichnet man die angezeigte Temperatur, die von einem mit einem befeuchteten Stoffüberzug versehenen Thermometer angezeigt wird. Aufgrund der Verdunstung liegt diese Temperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur, die von dem trockenen Vergleichsthermometer angezeigt wird. Die Temperaturdifferenz ist dabei umso größer, je trockener die umgebende Luft ist.

Bitte beachten Sie, dass diese tabellarische Übersicht weder eine vollständige Übersicht der Rückkühlarten, noch eine abschließende Aufzählung von Vor- und Nachteilen darstellt. Es gibt viele unterschiedliche Systeme mit einer Vielzahl an Variationsmöglichkeiten. Auch die genannten Systeme können in Kühlsystemen miteinander kombiniert werden. Als Überblick und zum Grundverständnis ist die Tabelle jedoch sehr hilfreich.

Zusammenfassend könnte man sagen, dass die Energie- bzw. Stromkosten einer Kältemaschine meist der größte Nachteil sind. Ein Vorteil sind sehr tiefe erreichbare Wassertemperaturen. Der Wasserverbrauch und die notwendige Aufbereitung des Wassers (Wasserkonditionierung) sind Nachteile des Kühlturmes bzw. der Verdunstungskühlanlage. Wasser ist noch relativ günstig zu beziehen. Dies relativiert natürlich den Nachteil Wasserverbrauch. Die Kosten für die chemische Wasserbehandlung sind durch wirkungsvolle Chemikalien meist überschaubar. Freikühler haben sehr geringe Betriebskosten. Die „schlechte“ Kühlleistung in den Sommermonaten sorgt jedoch dafür, dass diese oft nicht allein eingesetzt werden können, da die Kaltwassertemperaturen nicht niedrig genug sind.

Abbildung 4: Pumpstation mit Verbraucher- und Kühlturmpumpen eines Kühlturms

Abbildung 5: Dosierstation mit gammaX-Pumpen

6. Bezugsquellen von Speise- bzw. Zusatzwasser für Prozess-, Brauch- und Kühlwassersysteme

Brauch-, Prozess- oder Kühlwasserkreisläufe brauchen, je nach Kreislaufart, mehr oder weniger Zusatzwasser. insbesondere offenen Kühltürmen bzw. Verdunstungskühlanlagen muss regelmäßig Kühlturmzusatzwasser zugeführt werden, da aufgrund von Absalzung und Verdunstung Wasserverluste auftreten. Als Speise- bzw. Zusatzwasser eingesetztes Wasser stammt im Regelfall aus einer der folgenden Quellen.

6.1 Grundwasser (Brunnen/Quellen)

Wasser kann, wie seit Jahrhunderten gängige Praxis, aus einem Brunnen gewonnen werden. Je nach Bundesland gibt es hier bestimmte Auflagen bzw. bedarf die Brunnenwassergewinnung einer Genehmigung.

Die meisten Inhaltsstoffe im Grundwasser sind geologischen Ursprungs (z.B. der Kalk, Eisen- oder Mangan-Gehalt), andere sind durch den Einfluss von Düngung (z.B. Nitrat-Gehalt oder Rückstände von Pflanzenschutzmitteln) bedingt. Die Wasserbeschaffenheit kann sehr unterschiedlich sein. Oberflächennahes Brunnenwasser ist dabei mehr von der Gefahr der Verunreinigung durch chemische Stoffe und Bakterien/Keime betroffen, da die natürliche Filtrationsschicht des Bodens für eine Reinigung oder Rückhaltung nicht ausreicht. Als Faustregel gilt: Umso tiefer der Brunnen, desto mehr ist das Wasser von Oberflächenverschmutzungen geschützt.

Brunnenwasser an sich ist, abgesehen von der benötigten Fördertechnik, kostenlos.

Hohe Eisen- und Mangangehalte des Brunnenwassers führen häufig zu Ablagerungen im Leitungssystem oder in Wärmetauschern und verstopfen diese zunehmend. Die enthaltene Wasserhärte (sogenannte Erdalkalien oder auch „Kalk“) sorgt für die bekannte „Verkalkung“. Die erforderliche Brunnenwasseraufbereitung und Brunnenwasserbehandlung sind stark von der vorliegenden Wasserqualität abhängig.

6.2 Oberflächenwasser (Flüsse/Seen)

Mit entsprechender Genehmigung können Unternehmen aus Flüssen oder Seen sogenanntes Oberflächenwasser gewinnen.

Oberflächenwasser enthält i.d.R. weniger Mineralstoffe (z. B. Eisen oder Mangan) als Grundwasser, muss jedoch verstärkt aufbereitet werden. Das liegt daran, dass da es größeren Verschmutzungen ausgesetzt ist, da der natürliche Filtereffekt des langsamen Versickerns durch verschiedenste Gesteinsschichten entfällt.

Oberflächenwasser an sich ist in der Regel kostenlos.

In Oberflächenwasser finden Sie meist verschiedenste Inhaltsstoffe/Verschmutzungen in Form von Sand, Dreck, Laub, Kleinstlebewesen, biologischen Stoffen, Bakterien, Viren und vielem

mehr. Pflanzenschutzmittel und Medikamentenrückstände sind natürlich ebenfalls immer mehr ein Thema. Eine Filtration, also das Filtern des Oberflächenwassers vor Nutzung als Prozesswasser, ist meist unumgänglich.

6.3 Regenwasser

Regenwasser gilt häufig als relativ rein. Man sollte jedoch beachten, dass Regen als eine Art „Luftwäscher" agiert. Bei Regen reißen die Wassertropfen viele in der Luft befindliche Schadstoffe mit und kontaminieren damit. Beim Ablaufen vom Dach nimmt das Regenwasser beispielsweise durch Vogelkot fäkale Bakterien auf. Tote Tiere und Laub auf dem Dach tragen zu weiteren Keimen bei. Vor allem bei der Zwischenspeicherung in Auffangbecken/Zisternen können sich Bakterien schnell vermehren. So auch Pseudomonas aeruginosa, landläufig auch als Krankenhauskeim bezeichnet. Würde man von kontaminiertem Regenwasser trinken, könnte dies schwerwiegende gesundheitliche Folgen haben.

Regenwasser an sich ist kostenlos. Ein großer Vorteil von Regenwasser ist unter anderem, dass es so gut wie keine Härte („Kalk"), Eisen und Mangan enthält. Weiter ist die Leitfähigkeit sehr gering, was z. B. eine höhere Eindickung im Kühlturm zulässt. Die Verschmutzungen, z. B. durch Sand, Dreck, Blätter, Laub, Pollen und Mikrobiologie sind jedoch häufig groß. Dies ist allerdings stark von der Technik zur Gewinnung des Regenwassers abhängig. Ein Filter für das Regenwasser vor Nutzung als Brauchwasser ist Mindeststandard.

6.4 Stadtwasser, Leitungswasser, Trinkwasser

Rund 2/3 Drittel des Wassers von Trinkwasserversorgern ist Grundwasser, stammt also ebenfalls aus Brunnen oder Quellen. Trinkwasser ist ein streng kontrolliertes Lebensmittel. Es gelten strenge Regeln hinsichtlich der Freiheit von Schadstoffen, Krankheitserregern und Stoffen die zu Störungen im Verteilungsnetz oder beim Wasserverbraucher führen können. Ist zur Einhaltung der nach der Trinkwasserverordnung geforderten Wasserqualität eine Wasseraufbereitung notwendig, wird diese bereits vom Versorger durchgeführt. Aufbereitungsmaßnahmen oder Desinfektion in Eigenregie sind deshalb beim Stadtwasser in der Regel nicht erforderlich. Ein Feinfilter in der Zulaufleitung, wie Sie es vielleicht von Ihrem Hausanschluss kennen, ist Standard. Bestimmte Wasserinhaltsstoffe wie z. B. die bekannte Wasserhärte („Kalk") bleiben im Stadtwasser erhalten. Es findet von Seiten des Wasserversorgers keine Wasserenthärtung statt.

Ein Nachteil des Stadtwassers sind selbstredend die Kosten.

Stadtwasser schützt Kühl-, Prozess- und Brauchwassersysteme leider nicht automatisch vor Korrosion, Kalk, Bakterien, Algen und Pilzen im Kreislauf. Speziell die Härte (=Verkalkung, denken Sie an ihren Wasser- oder Eierkocher zuhause) führt häufig zu Problemen in industriellen Prozesswasserkreisläufen.

Wenn Sie Stadtwasser, Leitungswasser oder Trinkwasser beziehen, müssen vom Versorger bestimmte Wasserparameter eingehalten werden. Einige Wichtige sind nachfolgend dargestellt.

6.4.1 Grenzwerte und Wasserqualität nach Trinkwasserverordnung (Auszug)

Stadtwasser, auch Leitungswasser oder Trinkwasser genannt, muss folgende Grenzwerte einhalten:

Parameter	Einheit	Grenzwert
pH-Wert	pH-Einheiten	6,5 – 9,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2790 (bei 25 °C)
Blei	mg/l	0,01
Eisen	mg/l	0,20
Mangan	mg/l	0,05
Chlorid	mg/l	250
Sulfat	mg/l	250

Zu beachten ist, dass es für die Gesamthärte keinen Grenzwert gibt. Von Seiten des Versorgers wird auch bei sehr hohen Wasserhärten keine Verringerung der Wasserhärte durchgeführt. Die Verringerung der Gesamtwasserhärte z. B. durch eine industrielle Wasserenthärtungsanlage obliegt Ihnen als Betreiber. Alternativ kann durch Chemikalien, sogenannte Härtestabilisatoren, der Ausfall von Kalk verhindert bzw. gemindert werden. (Mehr dazu unter 7.3.2 Chemikalien und Produkte zur Härtestabilisierung)

6.5 Zusammenfassung

Alle Herkunftsarten von Zusatzwasser, z. B. für Kühltürme oder Verdunstungskühlanlagen, sind mit Vor- und Nachteilen behaftet. Sei es aus Sicht der Kosten oder aus Sicht der Wasserqualität. Unabhängig von der Bezugsquelle ist eine Wasserbehandlung bzw. Wasseraufbereitung meist erforderlich.

Auch wenn die Bezugsquelle die gleiche ist, muss die Qualität nicht zwangsläufig identisch sein. Ihnen ist sicher bekannt, dass die Wasserparameter des Trinkwassers (Stadtwassers) je nach Region stark variieren kann. Meist findet man auf den Internetseiten der jeweiligen Versorger die entsprechenden Wasserparameter für sein Versorgungsgebiet.

Einen groben Überblick über wesentliche Unterschiede von Zusatzwasser für Prozess-, Kühl- oder Brauchwasserkreisläufe in der Industrie bietet Ihnen folgende Tabelle:

	Brunnenwasser	Oberflächenwasser	Regenwasser	Stadtwasser
Härte	Oft hoch	Mittel	Gering	Oft hoch
Eisen/Mangan	Oft hoch	Meist Gering	Gering	Sehr gering
Mikrobiologie (Bakterien, Algen Pilze etc.)	Meist gering	Oft hoch	Tendenziell hoch	Keine bis sehr gering
Allgemeine Verschmutzung, z. B. Sand, Dreck	Gering	Oft hoch	Mittel (stark von technischer Gewinnung abhängig)	Keine bis sehr gering
Wasserkosten (ohne Fördertechnik / Wasseraufbereitung)	Meist kostenlos	Meist kostenlos	Meist kostenlos	Kostenpflichtig

7. Kühlwasser, Prozesswasser, Brauchwasser, Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen in der Industrie – Die Schlüsselfaktoren für einen reibungslosen Betrieb

Man kann es drehen und wenden wie man möchte. Will man die Komplexität in Grenzen halten, geht es bei der Kühl-, Prozess- und Brauchwasserbehandlung um 4 markante Ziele für den kompletten Wasserkreislauf:

- Korrosionsschutz / Rostschutz für metallische Werkstoffe,
- Vermeidung von Ablagerungen, z. B. Kalk (Calciumkarbonat), Gips (Calciumsulfat), Korrosionspartikel
- Minimierung des Wachstums von Biofilmen, Legionellen, Bakterien, Algen, Pilzen und
- Verhinderung von Verschmutzungen (z. B. Verstopfungen) durch Feststoffe wie Sand, Schmutz, ausgefallene Wasserinhaltsstoffe, Rost etc. verhindern.

Hat man diese 4 Faktoren im Griff, läuft der Betrieb einer wasserführenden Anlage meist gut. Teure Folgekosten wie z. B. Produktionsausfälle oder Reparaturen werden damit minimiert.

Diese Ziele, die richtige Wasserbehandlung vorausgesetzt, sind meist zu überschaubaren Kosten erreichbar.

7.1 Korrosion und Rost in industriellen Brauch-, Prozess- und Kühlwasserkreisläufen

Vielleicht kennen Sie die Weisheit „Der beste Korrosionsschutz ist, Feuchtigkeit zu vermeiden“. Dies kann man vom Grundsatz so stehen lassen. Wenn es um wasserführende Bauteile geht, wie die Verrohrung von Kühlkreisläufen, ist dies natürlich nicht einhaltbar. Will man die Langlebigkeit von wasserführenden Prozess- und Kühlwassersystemen, z. B. von Kühltürmen oder Verdunstungskühlanlagen, erhöhen, muss man sich um Korrosionsraten Gedanken machen. Denn Rost- und Korrosionsschäden sind meist nur eine Frage der Zeit. Hier ist natürlich die Auswahl der Werkstoffe, die Wasseraufbereitung und die Wasserbehandlung wichtig. Die Wasserqualität muss für das System geeignet sein. Wobei zu beachten ist, dass Ablagerungen wie Kalk oder die Bildung von Mikrobiologie bei Kühltürmen meist vorrangig die Herausforderungen sind.

Korrosion, umgangssprachlich auch Rost genannt, verursacht in Industrienationen jährlich Schäden in Höhe von ca. 4 % des Bruttosozialprodukts. Das sind Milliarden Euro. Weltweit werden pro Sekunde (!) ca. 5 Tonnen Stahl durch Korrosion zerstört.

Die Arten der Korrosion sind vielfältig und in vielen Kühlsystemen irgendwann ein Thema. Ob Unterbelags-, Loch-, Flächen- oder mikrobiologisch induzierte Korrosion, alle verursachen hohe Reparaturkosten und Ausfallzeiten.

Korrosionsvorgänge können flächendeckend auf der gesamten Werkstoffoberfläche (Flächenabtragung) oder punktuell als Lochfraß auftreten. Lochfraß findet häufig dort statt, wo sich Ablagerungen, z. B. Biofilme, gebildet haben.

7.1.1 Korrosionsschutz / Rostschutz in Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisläufen

Bei wasserseitig bedingten Korrosionsvorgängen handelt es sich vorwiegend um elektrochemische Prozesse. Korrosionsraten können mit einem geeigneten Korrosionsschutzmittel bzw. Korrosionsinhibitor auf ein Minimum reduziert werden. Doch welches Mittel ist geeignet?

Verschiedenste in Kreisläufen verbaute Werkstoffe und die vorliegende Wasserqualität des Zusatz- und Kreislaufwassers sind wesentliche Parameter zur Auswahl eines geeigneten Inhibitors. Weiterhin spielen die Betriebsweise, Temperaturen und die Art des Prozesswasserkreislaufes eine entscheidende Rolle. Die Wasseraufbereitung mit chemischen Produkten z. B. von offenen Kühltürmen / Verdunstungskühlanlagen oder geschlossen Kühlkreislaufen unterscheidet sich signifikant.

Chemikalien zur Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung sind sehr wirkungsvoll. Schon die Zugabe sehr kleiner Konzentrationen gut ausgewählter Produkte kann die Lebensdauer eines wasserführenden Kreislaufs drastisch verlängern. Zeitgleich wird die Betriebssicherheit des Produktionsprozesses deutlich erhöht. Die Kosten sind hier in der Regel mehr als überschaubar und es handelt sich meist um eine sehr rentable Investition.

Wir möchten Ihnen eine kleine Checkliste rund um den Schutz vor Korrosion bzw. Rost mit auf den Weg geben:

Mögliche Gründe für Korrosion / Rost in Kühlkreisläufen:	**Beispielhafter Lösungsansatz zur Senkung der Korrosionsrate:**
Zu niedriger bzw. zu hoher pH-Wert	-Zugabe von Säuren oder Laugen -Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel mit integrierter pH-Anpassung dosieren -Eindickung anpassen -Qualität bzw. Wasseraufbereitung des Nachspeisewassers prüfen
Zu geringer Calciumgehalt, z. B. durch zu geringe Verschnitthärte nach Enthärtungsanlage	-Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel dosieren -Calciumhärte (Bestandteil der Gesamthärte) erhöhen
Zu hohe elektrische Leitfähigkeit	-Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel dosieren -Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen, z. B. Eindickung des Kühlturmwassers, reduzieren -Regelmäßiger Wassertausch
Zu viele Metalloxide, z. B. Eisenoxide	-Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel bzw. Stabilisator für Metalloxid dosieren -Regelmäßiger Wassertausch -Filtration der Metalloxide
Chloridgehalt des Wassers zu hoch	-Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel dosieren -Chloridgehalt reduzieren, z. B. durch verringerte Eindickung -Reduzierung oder Ersatz von chloridbildenden Bioziden
Sulfatgehalt des Wassers zu hoch	-Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel dosieren

	-Sulfatgehalt reduzieren, z. B. mit Wasseraufbereitungsanlagen oder geringerer Eindickung des Wassers
Viele Fremdstoffe (z. B. aus Produktion)	-Filtration durch geeignete Filter -Dosierung eines Dispergators
Belagsbildende Mikrobiologie, z. B. Biofilme	-Zugabe eines wirkungsvollen Biozids zur Desinfektion -Reinigung des Prozess-, Brauch-, Kühlwasserkreislaufes -Nahrungsquellen minimieren (Licht, Nährstoffe etc.)
Falsches Korrosionsschutzmittel / Korrosionsinhibitor	-Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel wechseln
Ungeeignete Dosiermengen für Korrosionsschutzmittel / Korrosionsinhibitor	-Dosiermengen für Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel erhöhen oder senken
Korrosives Biozid bzw. falsche Dosiermengen	-Biozid wechseln oder Dosiermengen anpassen
Kontaktkorrosion, z. B. bei leitender Verbindung von Kupfer und Stahl	-Hier bietet sich primär eine bauliche Korrektur der wasserführenden Installation an Achtung: Auch bei nicht direkter Verbindung von z. B. Kupfer und Stahl kann durch Korrosion von Kupfer (edler) signifikante Korrosion von unedleren Metallen im selben Kühlkreislauf entstehen.
Ungeeignetes Zusatzwasser / Nachspeisewasser	--Geeigneten Korrosionsinhibitor / Korrosionsschutzmittel dosieren -Zusatzwasserquelle ändern -Zusatzwasseraufbereitung korrigieren

Hinweis: Diese Checkliste stellt keinesfalls eine vollständige Aufzählung aller Möglichkeiten dar.

Der meist effizienteste Weg, Korrosionsprobleme in den Griff zu bekommen, ist ein wirksamer Korrosionsinhibitor. Ein Korrosionsinhibitor ist ein chemisches Produkt zum Schutz vor Korrosion bzw. Rost in Wassersystemen. Der Begriff Korrosionsschutzmittel wird als Synonym verwendet. Ein von einem Fachunternehmen gut ausgewählter Inhibitor verbessert meist mehrere Parameter gleichzeitig. Die Wahl des geeigneten Korrosionsschutzes und dessen erforderliche Dosierung ist ohne eine Wasseranalyse und Kenntnisse der wasserführenden Werkstoffe nicht möglich. Denn nur so können Probleme mit der Wasserqualität sichtbar gemacht und geeignete Lösungen gefunden werden.

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

7.1.2 Hohe Korrosion / Rost durch falschen pH-Wert

Der pH-Wert hat eine ganz zentrale Bedeutung für die Korrosionsrate bei Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisläufen. Zu niedrige bzw. zu hohe pH-Werte fördern Korrosion. Wenn Sie den idealen pH-Wert für die verbauten wasserführenden Bauteile nicht kennen, verschenken Sie viele Jahre Lebensdauer Ihrer Kühl- oder Prozesswasseranlage.

Sehr häufig ist die Nachspeisung mit vollentsalztem Wasser, z. B. durch Umkehrosmoseanlage, ein zentrales Problem. Meist wird davon gesprochen, dass entsalztes Wasser ja am besten sei. Eine weit verbreitete Fehleinschätzung in vielen Fällen. Grund ist schlichtweg, dass der pH-Wert in der Folge im Kühlwasserkreislauf zu gering ist.

In folgendem Schaubild sehen Sie die geeigneten pH-Wert-Bereiche des Wassers für die verschiedenen metallische Werkstoffe:

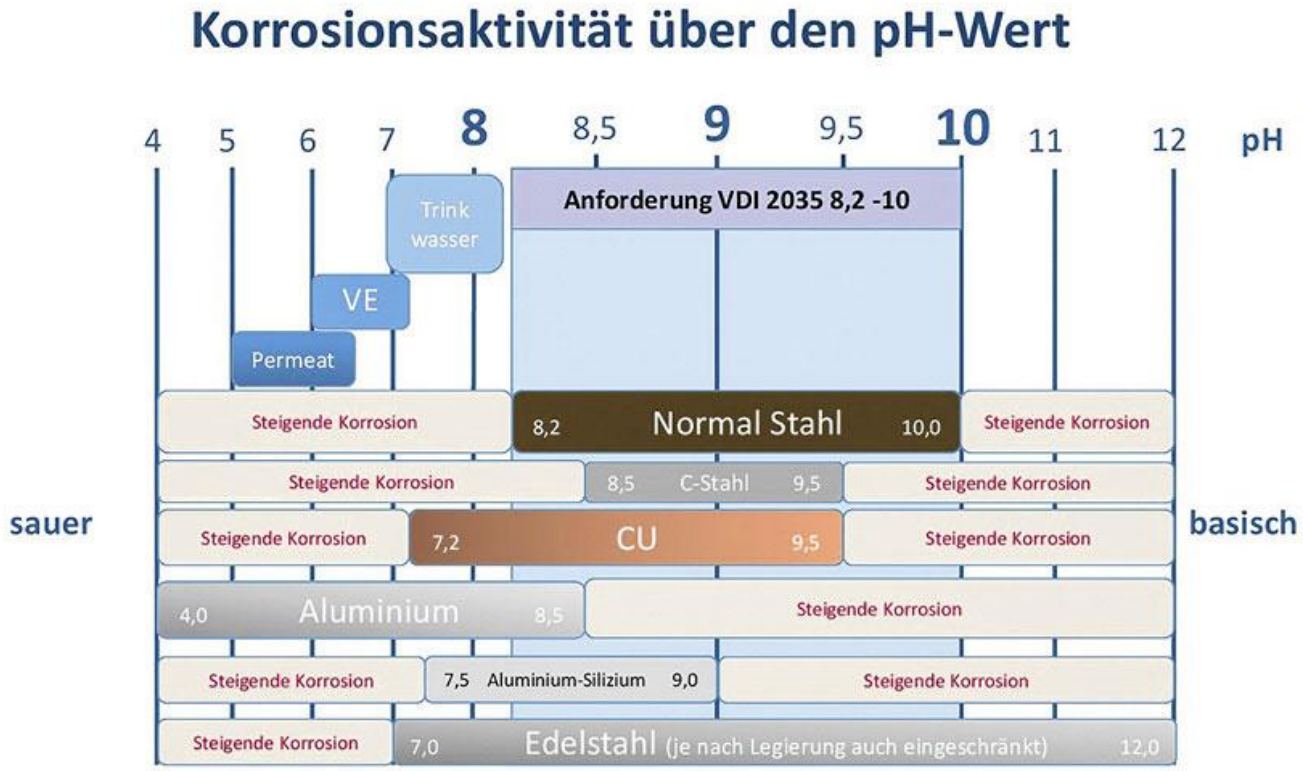


Abbildung 6: Tabelle VDI Korrosion in Abhängigkeit von pH-Wert (Bildquelle: VDI)

Erläuterungen:
- Stahl ist eine Verbindung aus Eisen und Kohlenstoff (mind. 50 % Eisen). Es gibt ca. 2.500 Stähle
- C-Stahl (Carbon-Stahl) ist unlegierter Qualitätsstahl. C-Stahl ist für Installationen konzipiert, in denen vor allem die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht
- CU (=Kupfer)

Sie erkennen sicherlich, dass sich der ideale pH-Wert, der die geringsten Korrosionsraten zur Folge hat, von Werkstoff zu Werkstoff ändert. Besonders bei Aluminium oder auch bei verzinktem Stahl sollte der pH-Wert 8,5 nicht überschreiten. Da bei industriellen Prozess- und Kühlwasseranlagen sehr häufig eine Mischinstallation mit vielen verschiedenen Metallen vorhanden ist, ist die Auswahl des idealen pH-Wertes nicht ganz einfach. Weiterhin muss beachtet werden, dass sich durch eine Erhöhung des pH-Wertes die Gefahr der Ausfällung von Wasserinhaltsstoffen erhöhen kann. Speziell Kalkablagerungen (Calciumkarbonat) können bei einem zu hohen pH-Wert zum echten Problem werden. Als Faustregel hat sich ein pH-Wert

von ca. 9 bei vielen Werkstoffen als sehr gut erwiesen. Beim Betrieb von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen sind häufig bereits pH-Werte von 8,5 – 9,5 aufgrund der Natur der Sache gegeben.

Bleibt die Frage, wie der pH-Wert gemessen werden kann. Dies kann durch eine Wasseranalyse im Labor geschehen. Weitere Methoden sind die Benutzung eines digitalen pH-Meters oder pH-Teststreifen mit farbigen Skalen.

7.1.3 Korrosionsinhibitoren und Korrosionsschutzmittel für die Prozess-, Brauch- und Kühlwasseraufbereitung

Korrosion ist eine sogenannte Redoxreaktion. Eine Redoxreaktion ist eine chemische Reaktion, bei der ein Partner Elektronen auf einen anderen Partner überträgt. Sauerstoff oder Säure ist das Oxidationsmittel, Wasser als Lösungsmittel stellt als Elektrolyt die Transportwege zur Verfügung. Bei der Anode findet die Oxidation, bei der Kathode die Reduktion statt. Die Theorie von Korrosion und Rost soll hier jedoch kein Thema sein. Hierzu finden Sie im Internet unzählige Abhandlungen.

Der Korrosionsschutz von wasserführenden Bauteilen, z. B. bei Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen oder jeglichen Kühl- und Prozesswasserkreisläufen ist für jedes Unternehmen ein Thema. Egal, ob es sich um offene, halboffene oder geschlossene Kühlkreisläufe handelt, überall wo metallische Werkstoffe in Kontakt mit Wasser stehen, sollte man sich um den Schutz vor Rost und Korrosion Gedanken machen.

Folgende Wirkstoffe sind als Korrosionsschutzmittel bzw. Korrosionsinhibitoren in Brauch-, Prozess- oder Kühlwasserkreisläufen gängig:

Basisstoff Inhibitor	Beispiel/e:	Verwendung	Anmerkung
Zinksalze	Zinksulfat-Monohydrat	Eher selten	Abwassergrenzwert, Risiko „Zinkschwund“
Phosphate	Natrium-Tripolyphosphat	Mittel	Risiko von Calciumphosphat-ablagerungen
Phosphonate	HEPD, ATMP, HPAA, PBTC	Sehr häufig	Thermisch und chemisch sehr stabil, Nr. 1 bei Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen
Molybdat	Natriummolybdat	Sehr häufig	Bevorzugt bei halboffenen und geschlossenen Kühlkreisen eingesetzt. Sehr wirkungsvoll
Nitrite	Natriumnitrit	Mittel	Gefahr durch mögliche Oxidation von Nitrit, Problem Toxizität Abwasser
Silikate	Natriumsilikat	Eher selten	Risiko Calciumsilikatausfall
Azole	Benzotriazole, Totyltriazole	Sehr häufig	Nr. 1 für Korrosionsschutz von Buntmetallen (Kupfer, Messing, Rotguss etc.)
Sauerstoffbinder	Natriumbisulfit, Ascorbinsäure	Mittel	In Kühltürmen z. B. nicht sinnvoll da ständige

			Sauerstoffsättigung stattfindet

Diese Aufzählung ist weder vollständig, noch sind alle Vor- und Nachteile ausreichend beschrieben. Sie soll Ihnen lediglich als Überblick dienen. Im Sicherheitsdatenblatt Ihres Korrosionsinhibitors sind die Wirkstoffe übrigens meist nur teilweise oder gar nicht aufgeführt. Hier finden Sie nur die Wirkstoffe, für die eine Pflicht zur Angabe besteht. Kontrollen durch den Verwender sind in der Regel schwierig, da Hersteller und Lieferanten selten die genauen Inhaltsstoffe preisgeben.

Die Anforderungen an einen Korrosionsinhibitor für die Prozess- und Kühlwasserbehandlung von offenen, halboffenen oder geschlossenen Kreisläufen sind häufig komplett unterschiedlich. Die Auswahl des geeigneten Inhibitors sollte einer erfahrenen Firma für Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung überlassen werden. Ungeeignete Produkte oder Dosiermengen können mehr schaden als nutzen. Gerne können auch Sie von unserer langjährigen Erfahrung profitieren und sich eine Zweitmeinung einholen. Sie können sicher sein, dass wir Ihnen nur etwas anbieten, wenn wir eine gute Lösung für Sie haben. Denn wir sind nur an langfristigen Kundenbeziehungen interessiert.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/braunes-kuehlwasser-korrosion-in-kuehltuermen-verdunstungskuehlanlagen-und-kuehlkreislaeufen/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/gutachten-korrosion-ablagerungen/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/preisvergleich-und-zweitmeinung-chemikalien-wasseraufbereitung/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/chemische-wasseraufbereitung-industrie/

7.2 Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen

Unter dem Fachbegriff Scaling versteht man das Ausfällen von Stoffen (Verwandlung zu einem Feststoff), die vorher im Wasser gelöst, also „unsichtbar“ waren. Dies kann beispielsweise durch Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen und Überschreitung der Löslichkeit beim Betrieb eines Kühlturms bzw. einer Verdunstungskühlanlage oder durch Temperaturänderungen erfolgen. Unter Ausfällen versteht man den Übergang von einem im Wasser gelösten Stoff zu einem Feststoff. Zum besseren Verständnis können Sie sich ein Glas Leitungswasser vorstellen. Darin befindet sich in der Regel das Calcium in gelöster Form, was später zu „Kalk“ werden kann. Sie sehen es jedoch nicht. Für Sie ist es noch unsichtbar. Kochen Sie nun das Wasser in einem Wasserkocher auf, dann wird Kalk (Calciumkarbonat) ausgefällt und Sie können den Kalk nun deutlich erkennen. Gelöst könnte man also als „unsichtbar aber im Wasser vorhanden“ und ausgefällt als „sichtbar vorhanden“ bezeichnen.

7.2.1 Typische Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen

In wasserführenden Systemen wie Kühltürmen oder Verdunstungskühlanlagen kann man es mit einigen verschiedenen Ablagerungen (Scaling) zu tun haben.

Folgende chemische Feststoffverbindungen könnten beispielsweise zu Funktionsbeeinträchtigungen von Kühlanlagen führen:

Ablagerung	Chemisches Kürzel	Mögliche Gründe für Ablagerung:
Kalk (Calciumkarbonat)	$CaCO_3$	Hohe Karbonathärte, Hoher pH-Wert, hohe Temperatur, hohe Eindickung etc.
Gips (Calciumsulfat)	$CaSO_4$	Hohe Eindickung, hoher Sulfatgehalt etc.
Apatit, Phosphatstein (Calciumphosphat)	Ca_2OHPO_4 / $Ca_2(PO_4)_2$	Hoher pH-Wert, hoher Phosphatgehalt, hohe Eindickung etc.
Silikate	$MgSiO_3$	Hoher Silikatgehalt
Braunstein	MnO_2	Manganoxidation
Metalloxide	Diverse Metallverbindungen, u. a. Fe_2O_3	Korrosion von Metallen und anschließende Oxidation, Eintrag über Zusatzwasser

Abbildung 7: Rohrstück, das sehr viele Kalkablagerungen aufweist durch Kalk im Kühlwasser

Abbildung 8: Kalkablagerungen am Rohrbündelwärmetauscher eines Kühlturms

Abbildung 9: Füllkörper- bzw. Kühlturmeinbauten mit Biofilm und Ablagerungen

Am häufigsten führt sicherlich der altbekannte Kalk zu störenden Ablagerungen in Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisen. Besonders häufig ist dies bei offenen Verdunstungskühlern und Kühltürmen zu beobachten. Wesentliche Gründe hierfür sind die in offenen Kühlkreisen stattfindende Eindickung (Aufkonzentration der „Härte“) und die im Kühlturmbetrieb erhöhten pH-Werte. Bei Nutzung von Brunnenwasser sind häufig viel Eisen und Mangan im Wasser enthalten, die zu Störungen im Prozesswasserkreis führen können.

7.2.2 Beseitigung von Ablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen

Sollten Sie Feststoffablagerungen in Ihrem Kühl-, Prozess- oder Brauchwasser feststellen, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

1. **Sichere Diagnose / Feststellung um welche Ablagerungen es sich handelt.**
   Ggf. ist eine Wasser- und Feststoffanalyse zu beauftragen.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/wasseranalysen-labordienstleistungen-legionellenpruefung/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/gutachten-korrosion-ablagerungen/

2. **Prüfung, ob eine Entkalkung / Reinigung / Entrostung des Kühl-, Prozess- oder Brauchwasserkreislaufes sinnvoll und erforderlich ist.**

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/entkalker-reiniger/

3. **Maßnahmen zur Verhinderung der Feststoffausfällungen in Zukunft einleiten**
   Hier kommen verschiedene Maßnahmen in Betracht. Eine gängige Maßnahme ist die Entfernung von störenden Wasserinhaltsstoffen mit Wasseraufbereitungsanlagen. Dies kann z. B. durch eine Wasserenthärtungsanlage für industrielle Anforderungen oder eine Umkehrosmoseanlage erfolgen. Darüber hinaus kann die Wasserbehandlung bzw. Wasserkonditionierung mit chemischen Produkten, z. B. mit Korrosionsinhibitoren, Härtestabilisatoren, Dispergatoren etc. die sinnvollste Maßnahme sein. Oft ist auch eine Kombination von beiden Verfahren angezeigt.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/chemische-wasseraufbereitung-industrie/

7.3 Kalk- bzw. Härteablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen

Sicherlich kennen Sie Kalkablagerungen von zuhause an Duschköpfen, Eier- oder Wasserkochern – ein lästiges Problem, von dem auch Maschinen, Rohrleitungen oder Wärmetauscher nicht verschont bleiben. Zur Beseitigung von Kalk im Wasserkocher hat sich übrigens Essig bewährt (im Wasserkocher aufkochen). Umso höher die Wasserhärte, also umso „kalkhaltiger" Wasser ist, desto größer sind oft die Probleme.

Bereits eine Kalkschicht von deutlich weniger als 1 mm auf Wärmetauschern sorgt für mindestens 15 % weniger Kühl- bzw. Heizleistung und somit mehr Energiebedarf. Kalk isoliert und leitet Wärmeenergie deutlich schlechter. Sehr häufig sind Plattenwärmetauscher von Kalkablagerungen betroffen und müssen entkalkt / gereinigt werden.

Aufgrund ständig wechselnder Bedingungen, wie Temperaturen, kommt es in vielen Kühl-, Brauch- oder Prozesswasserkreisläufen oft zu Störungen des umgangssprachlichen Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und in diesem Zusammenhang zu Ausscheidungen der

sogenannten Härtebildner, meist Calciumkarbonat ($CaCO_3$). Die Härtebildner sind im Wesentlichen für die Kalk- und Steinbildung in wasserführenden Systemen verantwortlich. Eine hohe Karbonathärte führt oft bereits ab mittelhartem Wasser zu Steinbildung, also Kalkablagerungen. Besonders häufig von Verkalkung betroffen sind offene Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen. Wesentlich verantwortlich dafür ist die im Kühlturmbetrieb vorhandene Eindickung (Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen) und das Entweichen von Kohlensäure. Typische pH-Werte von 8,5 – 9,5 bei Verdunstungskühlern fördern den Ausfall von Kalk im Kühlwasser zusätzlich.

Wasser wird hinsichtlich der Gesamthärte wie folgt eingeteilt:

Gesamthärte	Grad deutsche Härte (°dH)
Weiches Wasser	Bis 8,4
Mittelhartes Wasser	8,4 bis 14
Hartes Wasser	Ab 14

Das Wasser von Trinkwasserversorgern in Deutschland ist meist hart. So beträgt die durchschnittliche Wasserhärte in Deutschland ca. 16 °dH.

Kalkablagerungen können in Rohrleitungen, Pumpen, Wärmetauschern, in den Kühlturmeinbauten bzw. Packungen oder Düsenstöcken (Wasserverrieselungsdüsen) Ihres Kühlturmes oder Ihrer Verdunstungskühlanlage zum Problem werden. Sehr häufig sind auch Plattenwärmetauscher betroffen.

Negative Folgen von Kalk sind häufig:

- Unterbelagskorrosion
- Verminderter Wasserdurchfluss
- Leistungsverlust von Wärmetauschern
- Verstärktes Biofouling (mikrobiologisches Wachstum)
- Verstopfte Kühlwasserfilter
- Höherer Energieverbrauch

Der Wirkungsgrad des kompletten Kühl- oder Prozesswassersystems wird reduziert und es entstehen höhere Kosten bis hin zu Produktionsausfällen.

Wichtig zu wissen ist, dass Kalk bei höheren Wassertemperaturen bevorzugt „ausfällt“, sich also aus dem Wasser löst und ggf. ablagert. Ab 50-60 °C wird es ganz besonders kritisch. Dies erklärt natürlich, weshalb häufig Duschköpfe oder Wasserkocher von Verkalkungen betroffen sind. Bei geringeren Temperaturen bleibt der Kalk eher im Wasser gelöst und mit Temperaturerhöhung fällt er bevorzugt aus und lagert sich ab. Speziell an thermisch stark belasteten Bereichen (hohe Temperaturen) entstehen oft massive Ablagerungen durch Kalk. Häufig kommt das bei Wärmetauschern (z. B. Platten- oder Rohrbündelwärmetauschern), bei denen hohe Temperaturunterschiede zwischen „heißem“ und „kaltem“ Wasser auftreten und die Wärmetauscherflächen entsprechend hohe Temperaturen annehmen. In Abhängigkeit vom „Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht“ müssen aber bei weitem nicht immer hohe Temperaturen ursächlich für Kalk sein. Auch Kaltwasserkreisläufe können von Kalk betroffen sein.

7.3.1 Vermeidung von Kalkablagerungen in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen

Die Vermeidung von Kalkausfällungen ist für Wasseraufbereitungsunternehmen tägliches Geschäft. Kalk im Kühlwasser kann durch systemspezifische Kühlwasserbehandlungsprodukte, also Wasseraufbereitungschemikalien, sehr gut verhindert werden. Es gibt eine Vielzahl von Produkten zur Härtestabilisierung und Dispergierung. Im Regelfall werden sogenannte Treshold-Inhibitoren bzw. Treshold-Stabilisatoren eingesetzt. Diese ermöglichen bei sehr geringen Dosiermengen eine sehr gute Wirkung. Eine Wasseranalyse und eine Begutachtung der Betriebsweise und der technischen Gegebenheiten ist hier häufig der erste Schritt um das richtige Produkt zu definieren. Das Behandlungskonzept kann auch Aufbereitungsmaßnahmen, z. B. eine Enthärtungsanlage in Industriequalität beinhalten. Eine Enthärtungsanlage, idealerweise mit Redundanz, ist eine effiziente Standardlösung.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/wasseraufbereitung-fuer-kuehlkreislaeufe-kuehltuerme/

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/enthaertung-von-wasser-enthaertungsanlagen/

7.3.2 Kalk mit Chemie verhindern – Chemikalien und Produkte zur Härtestabilisierung für Brauch-, Prozess- und Kühlwasser

Dass sich Kalkablagerungen mit Chemikalien, sogenannten Härtestabilisatoren, verhindern lassen, ist den meisten Menschen bekannt. Wie dies allerdings genau funktioniert, ist häufig unbekannt. Wir wollen ohne chemische Fachbegriffe eine (halbwegs) verständliche Erklärung liefern.

Vielen ist bekannt, dass Kalk sich bevorzugt ablagert, wenn das Wasser einen hohen pH-Wert und/oder eine hohe Temperatur hat. Dies ist korrekt. Demnach ist es im Gegenzug ebenfalls möglich, den pH-Wert durch Zugabe von Säuren zu senken und somit Kalkausfällungen zu vermindern bzw. sogar gänzlich zu verhindern. Auch das ist korrekt. Leider ist eine reine pH-Senkung mit Nachteilen verbunden. In erster Linie sind höhere Korrosionsraten ein signifikanter Nachteil. Weitere Nachteile sind je nach verwendeter Säure die Reaktionsprodukte, z. B. Sulfate bei Schwefelsäure, Phosphate bei Phosphorsäure oder Chloride bei Salzsäure.

Bei einer Wasseranalyse des Kühlturm-, Brauch- oder Prozesswassers kann mit dem sogenannten Langelier-Index (auch LSI-Index genannt) berechnet werden, ob und wie stark das Wasser zu Kalkablagerungen tendiert.

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

Folgende chemische Verbindungen werden häufig für industrielle Wasserkreisläufe als Härtestabilisatoren oder Hilfsstoffe, also Produkte gegen Kalkablagerungen, eingesetzt:

Härtestabilisator*	Hauptgruppe
ATMP (Aminotrimethylenphosphonsäure)	Salze und Ester der Phosphonsäuren (Phosphonate)
HEPD (1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure)	Salze und Ester der Phosphonsäuren (Phosphonate)
HPAA (Hydroxyphosphonessigsäure)	Salze und Ester der Phosphonsäuren (Phosphonate)
PBTC (2-Phosphonobutan-1,2,4-tricarbonsäure)	Salze und Ester der Phosphonsäuren (Phosphonate)
DTPMP (Diethylentriaminpentamethylenphosphonsäure)	Salze und Ester der Phosphonsäuren (Phosphonate)
Polycarboxylate	Polymere der Acrylsäure, der Methacrylsäure und ihrer Derivate (Polyacrylate)
Polymere	Polymere der Acrylsäure, der Methacrylsäure und ihrer Derivate
Polyphosphat	Salze der ortho-Phosphorsäure (H3PO4)

*Teilweise existieren für die Wirkstoffe unterschiedliche chemische Bezeichnungen. Diese wurden vereinfacht dargestellt

Früher wurde eine Härtestabilisierung häufig mit Polyphosphaten durchgeführt. Polyphosphate sind jedoch für die Verwendung in Kühlturm- oder Verdunstungskühlkreisläufen zu wenig hydrolysebeständig, also zu instabil. Meist werden Polyphosphate nur noch im Trinkwasserbereich oder bei Durchlaufkühlungen eingesetzt. Für die Wasserbehandlung, genauer gesagt die Härtestabilisierung in Brauch-, Kühl- oder Prozesswassersystemen, werden heute bevorzugt organische Phosphorverbindungen, die sogenannten Phosphonate eingesetzt. Kombinationen mit Polymeren sind weiterhin sehr häufig. Beide Produktgruppen sind thermisch und chemisch sehr stabil und bereits in geringen Dosiermengen sehr wirkungsvoll (Treshold-Effekt).

Wie aber funktioniert nun die Verhinderung von Kalkausfällen? Dies ist sehr komplex, wir versuchen aber, es halbwegs verständlich zu erläutern. Kalk als Feststoff besteht aus einzelnen, winzigen Kristallen in einem wohlgeordnetem Calcitgitter. Das Wachstum dieser Kristalle zu einem harten Feststoff, dem Kalk, wird durch den Härtestabilisator verhindert. Der Härtestabilisator haftet an Oberflächen der Kristallstruktur. Diese Adsorption verhindert durch die Änderung der Oberflächenstruktur das weitere Wachstum. Bei kleineren Calcitgittern mit sogenannten unkritischen Größen führt dies in der Regel sogar zur spontanen Auflösung des Kalkristalls. Sollte ein Kalkkristall bereits die sogenannte kritische Größe erreicht haben, die die Auflösung verhindert, kann sich leichter Kalk ablagern. Diese Ablagerungen sind jedoch viel weicher als bei klassischem Kalk und lassen sich leicht entfernen. Häufig genügt hier sogar ein Wasserwechsel oder die Absalzung eines Kühlturms bzw. einer Verdunstungskühlanlage, um den Kalk loszuwerden.

Wir setzen bevorzugt Kombinationsprodukte z. B. aus Phosphonaten, Polyacrylaten und Acrylpolymeren ein. Damit werden die besten Ergebnisse erzielt. Als Faustregel ist bis 20 °dH Karbonathärte und ca. 70 °C Wassertemperatur Kalk im Kühlwasser sehr gut zu stabilisieren. Die Dosiermengen dieser sogenannten Treshold-Inhibitoren sind sehr gering. Selbst Kühlturmwasser mit relativ hoher Karbonathärte kann teilweise mit Dosiermengen von 30-50 ppm (30-50 ml Produkt pro m³ Kühlturmzusatzwasser) zuverlässig stabilisiert werden. Natürlich ist dies stark von der Kühlturmzusatzwasserbeschaffenheit und der Eindickung abhängig.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/chemische-wasseraufbereitung-industrie/

7.4 Biofouling – Biofilme, Legionellen, Bakterien, Algen, Pilze und Schleim in Kühl-, Prozess- und Brauchwasserkreisläufen, Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen

Innerhalb von wasserführenden Systemen können sich Algen, Bakterien, Pilze und Schleim bilden. Ihr Wachstum wird durch anorganische Salze und Spurenelemente gefördert und durch Wärme, Sauerstoff und Lichteinwirkung noch verstärkt. Mikroorganismen finden in industriellen Wasserkreisläufen häufig ideale Lebensbedingungen. Besonders von Biofouling betroffen sind offene Verdunstungskühlkreise und Kühltürme. Ständiger Nährstoffeintrag über die Luft, Lichteinfall, Eindickung der Wasserinhaltsstoffe und häufig ideale Temperaturen für mikrobiologisches Wachstum sind hier die entscheidenden Gründe.

Biofilme dienen häufig als exzellenter Lebens- und Schutzraum für Mikrobiologie. Biofilme, verursacht durch schleimbildende Bakterien, führen zu Unterbelagskorrosion, Reduktion des Wasserflusses, blockieren Siebe und Filtersysteme und verursachen eine Reduktion des Wärmeübergangs am Wärmetauscher. Neben der Gefahr für die Gesundheit sind hohe Wartungskosten und im Extremfall ein Stillstand der Anlage negative Folgen von Biofilmen.

Seit Inkrafttreten der VDI 2047 Blatt 2 und insbesondere der 42. BImSchV (Verordnung über Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider) hat das Verhindern und Bekämpfen von Legionellen besondere Bedeutung erlangt.

7.4.1 Grundsätzliche Faktoren, die Mikrobiologie (Biofouling) in Prozess-, Brauch- und Kühlwasser begünstigen

Folgende Punkte sind grundsätzliche Faktoren, die das Wachstum von Legionellen, Bakterien, Algen, Pilzen, Sulfatreduzierern, Schleimbildnern usw., z. B. in Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen oder anderen Kühlwasserkreisläufen begünstigen:

- „Totzonen“ im Verrohrungssystem, in denen Wasser steht bzw. sich kaum bewegt
- Stehendes Wasser aufgrund fehlender Umwälzung, z. B. an Wochenenden oder im Betriebsurlaub
- Mineralische Ablagerungen, z. B. Kalk, Rost
- Schmutz- und Schlammablagerungen
- Temperaturen von 20-40 °C

- Hohe Nährstoffkonzentration
- Lichteinfall
- Mikrobiologie fördernder Korrosionsinhibitor oder Härtestabilsator
- Unwirksames / fehlendes Biozid

7.4.2 Biozide und Desinfektionsmittel (Chemikalien) zur Vermeidung von Biofilmen, Legionellen, Bakterien, Algen, Pilzen in Brauch-, Prozess- und Kühlwasserkreisläufen

Durch den Einsatz von Bioziden und Biodispergatoren kann die mikrobiologische Aktivität in Kühl- oder Prozesswassersystemen effektiv reduziert werden. Kühlwasser kann hiermit sozusagen desinfiziert werden.

Biozide und Desinfektionsmittel können in 2 große Gruppen unterteilt werden. Einmal in oxidative Biozide und einmal in nichtoxidative Biozide. Wesentliche Unterschiede sind der Wirkmechanismus.

Oxidative Biozide wirken meist schnell und es ist keine Resistenzbildung von Mikrobiologie möglich. Bei Überdosierungen von oxidativen Bioziden können jedoch erhöhte Korrosionsraten die Folge sein. Die Wirksamkeit von oxidativen Bioziden kann durch Metallionen, UV-Licht, reduzierende und organische Substanzen gemindert werden. Bei geringen theoretischen Verweilzeiten des Kühl-, Prozess- oder Brauchwassers im Kühlsystem, z. B. bedingt durch hohe Verdunstungsleistungen eines Kühlturmes und einem geringen Wasservolumen des Systems, sind oxidative Biozide meist die bessere Wahl. Das liegt daran, dass diese eine schnellere Wirkung gegen Mikrobiologie haben. Die Dosierung und Konzentrationskontrolle der oxidativen Biozide ist über entsprechende Sensoren einfach zu kontrollieren und zu steuern.

Nichtoxidative Biozide benötigen oft, jedoch nicht immer, eine gewisse Einwirkzeit. Außerdem ist es theoretisch möglich, dass bei nichtoxidativen Bioziden und Desinfektionsmitteln Resistenzen von Mikrobiologie gegen das jeweilige Biozid aufgebaut werden. Ein wesentlicher Vorteil von nichtoxidativen Bioziden ist eine von pH-Wert und Wassertemperatur abhängige, teilweise lange Halbwertszeit. Nichtoxidative Biozide können lange Zeit das Kühl-, Prozess- oder Brauchwasser vor Mikrobiologie, z. B. Legionellen, schützen. In diesem Fall wirken sie also nicht nur keimtötend, sondern auch präventiv. Bei hohen theoretischen Verweilzeiten von Prozess-, Kühl- oder Brauchwassers im Kühlsystem, z. B. bedingt durch geringe Verdunstungsleistungen eines Kühlturms und einem hohen Wasservolumen des Systems, können nichtoxidative Biozide das richtige Produkt sein. Auch bei geschlossenen Kreisläufen sind nicht oxidierende Biozide meist die bessere Wahl. Bei nichtoxidativen Bioziden sollte Wert daraufgelegt werden, dass die Wirksamkeit gegen Legionellen gemäß DIN EN 13623 geprüft wurde.

Die wichtigsten in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen oder jeglichen Prozess-, Kühl- und Brauchwasserkreisläufen eingesetzten oxidative Biozide sehen Sie in folgender Liste:

Biozidwirkstoff / Desinfektionsmittel	Empfohlener pH-Bereich	Wirksamkeit gegen… Bakterien	Algen	Pilze	Anmerkungen
BCDMH („Chlor-Brom-Tabs“)	6-9	Wirksam, da es ein oxidatives Biozid ist	Wirksam mit erhöhten Einsatz-konzentrationen		Feststoff in Tablettenform
Chlor („Chlorbleichlauge“)	6-7,5				Enger optimaler pH-Wirkbereich, Hohe AOX-Bildung, günstig
Chlor-Brom (Bromid/Hypochlorit)	6-9				Ggf. hohe AOX-Bildung
Chlordioxid	6-10				Ggf. Herstellung vor Ort notwendig
Ozon	6-10				Herstellung vor Ort notwendig
Peressigsäure	6-9				Sehr umweltschonend, ggf. Inaktivierung durch Enzyme
Wasserstoffperoxid	6-9				Sehr umweltschonend, günstig, ggf. Inaktivierung durch Enzyme

Die gängigsten in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen oder jeglichen Prozess-, Kühl- und Brauchwasserkreisläufen eingesetzten nichtoxidativen Biozide und Desinfektionsmittel sehen Sie in folgender Liste:

Biozidwirkstoff / Desinfektionsmittel	Empfohlener pH-Bereich	Wirksamkeit gegen… Bakterien	Algen	Pilze	Anmerkungen
2-Brom-2-nitro-1,3-propandiol (Bronopol)	6-9	+	-	-	Lange Halbwertszeit
Dibromnitrilopropionamid (DBNPA)	6-9	+	-	+	Kurze Einwirkzeit, wenig Hydrolysestabil
Glutardialdehyd	6-8,5	+	-	-	Gefahrgut mit Symbol Lungenschädigung
Isothiazolinone	6-9,5	(+)	+	+	Lange Einwirkzeit, sehr stabil
THPS	6-10	+	+	-	Lange Halbwertszeit, grenzflächenaktiv
Quaternäre Ammoniumsalze (QAV, Quats)	6-14	+	+	-	Ggf. Schaumbildung, Leitungsabfall bei schmutzigem Wasser

7.4.3 Beispiele und Erläuterungen zu oxidierenden Bioziden / Desinfektionsmitteln

Chlor / Brom

Ein bekanntes Biozid bzw. Desinfektionsmittel ist die Chlorbleichlauge bzw. Natriumhypochloritlösung. Handelsübliche Lösungen enthalten rund 12-15 % wirksames Chlor. Die eigentliche biozide Wirksubstanz ist die hypochlorige Säure.

Die Anwendung von Chlor kann zur Bildung einer Reihe unerwünschter Nebenprodukte führen. Relevant sind hier insbesondere organische Chlorverbindungen (AOX) und die Bildung von Chloriden. Chloride können die Korrosion signifikant verstärken. Auch Geruchs- und Geschmacks-beeinträchtigungen sind nicht selten.

Bei den in Kühlkreisläufen üblichen pH-Werten von über 8 nimmt die biozide Wirkung von Chlor im Wasser jedoch stark ab. Durch gemeinsame Zugabe von Chlorbleichlauge und Natriumbromid (Bildung der hypobromigen Säure) kann eine Wirksamkeit auch bei pH-Werten bis 9 erreicht werden. Früher wurde Brom häufig durch Dosierung von Chlor und Bromid über einen statischen Mischer, der eine schnelle Vermischung der beiden Wirkstoffe fördert, erzeugt. Brom als Wirkstoff gibt es jedoch mittlerweile auch als fertiges Produkt in einer wässrigen Lösung, ähnlich wie es bei Chlor der Fall ist.

In vielen Fällen ist Brom die bessere Wahl.

Chlor- und Bromabspalter, „Chlortabletten“ / „Bromtabletten“

Im offenen Kühlkreislauf können auch sogenannte Chlor- und Bromabspalter eingesetzt werden. Dies sind organische Feststoffe, die bei Kontakt mit Wasser die eigentlich aktiven Wirkstoffe (hypobromige bzw. hypochlorige Säure) langsam freisetzen. Verwendet wird meist die Substanz 1-Brom-3-Chlor-5,5-Dimethylhydantoin (BCDMH).

Häufiges Problem ist die Einstellung der richtigen Dosiermenge. Der Wirkstoff löst sich aus den Tabletten heraus. Dies ist von der Durchströmung und Menge der Tabs abhängig. Da nicht Menge X, z. B. aus einem Kanister dosiert werden kann, ist eine Über- oder Unterdosierung sehr gängig.

Chlordioxid

Chlordioxid hat chemisch so gut wie nichts mit Chlor zu tun. Ein einziges Atom reicht manchmal aus, um alles zu verändern. Chlordioxid kann z. B. aus Natriumchlorit und Salzsäure in Anlagen direkt vor Ort erzeugt werden. Im Gegensatz zum Chlorungsverfahren produziert es keine chlorierten Nebenprodukte. Gleichzeitig dringt Chlordioxid als Gas in den Biofilm ein und baut diesen ab. Darüber hinaus ist die Wirkung kaum vom pH-Wert abhängig. Die erforderliche Herstellung vor Ort macht eine Desinfektion mit Chlordioxid oft komplex und die Produktion ist bei falscher Handhabung gefährlich (u. a. Explosionsgefahr). Es gibt jedoch bereits chemisch stabile Chlordioxidlösungen, die fertig gekauft und über eine Dosieranlage in den Kreislauf eingebracht werden können.

Ozon

Ozon ist das stärkste Oxidationsmittel in der Wasseraufbereitung. Der Geruch von Frische, Reinheit und Sauberkeit, den wir nach einem Unwetter wahrnehmen, entsteht übrigens durch die natürliche Produktion von Ozon. Ozon ist aufgrund der Ozonschicht oder des Straßenverkehrs vielen bereits ein Begriff.

Ein Vorteil von Ozon ist, dass weniger umweltschädliche Nebenprodukte entstehen als bei vergleichbaren Oxidations- und Desinfektionsmitteln. Ökologisch betrachtet, zerfällt das Ozon nach getaner Arbeit wieder zu dem Element, aus dem es erzeugt wurde: und zwar zu reinem Sauerstoff. Die notwendige Ressource für das Desinfektionsverfahren ist Energie. Die Lebensdauer von Ozon ist sehr gering. Deshalb wird es bedarfsgerecht mit Ozonerzeugungsanlagen vor Ort aus der Umgebungsluft hergestellt. Die richtige Ozonkonzentration liegt vor, wenn das erzeugte Ozon nach dem Vollenden seiner Arbeit (Töten der Bakterien, Keime usw.) vollständig verbraucht ist. Allerdings ist es oft ein Balanceakt, diese Konzentration zu erreichen. Durch die hohe Oxidationskraft von Ozon können auch organische Konditionierungsmittel sowie Kunststoff- und Holzeinbauten angegriffen werden. Um Nebenreaktionen zu vermeiden, sollte das Kühlwasser bei Einsatz von Ozon einen möglichst geringen Gehalt an organischen Stoffen haben. Im Gegensatz zu anderen Desinfektionsmitteln darf Ozon (und Wasserstoffperoxid) dem Kühlwasser kontinuierlich zugegeben werden.

Wie Sie sehen, hat Ozon einige Vorteile zu bieten. Die notwendige Herstellung vor Ort kann jedoch eine Herausforderung sein und die notwendige Anwendung teuer machen.

UV (ultraviolette Strahlung)

Im Gegensatz zu chemischen Wasserdesinfektionsverfahren beruht die UV-Bestrahlung auf einem physikalischen Prozess, bei dem Mikroorganismen schnell und wirksam deaktiviert werden. Wenn Bakterien, Viren und Protozoen den keimtötenden Wellenlängen der UV-Strahlung ausgesetzt werden, wird der Zellkern so verändert, dass eine Zellteilung unmöglich wird. Sie verlieren ihre Reproduktions- und Infektionsfähigkeit.

UV-Strahlung hat sich als hochwirksam gegen viele Organismen bewährt. Die Bestrahlung des Kühlwassers ist in der Praxis jedoch nicht immer leicht umzusetzen. Schmutz und Feststoffe können die Wirksamkeit stark beeinträchtigen. Weiter wirkt es nur lokal an der Einbaustelle und kann z. B. keine Biofilme an anderen Stellen des Leitungssystems bekämpfen. Deshalb wird UV oft als zusätzliches Hilfsmittel, aber nicht als vollständiges Desinfektionssystem eingesetzt.

Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) gilt als sicher und vielseitig. Wasserstoffperoxid ist vom Grundsatz ein Oxidationsmittel und kein Biozid. Obwohl es kein klassisches Biozid ist, wird es nicht selten eingesetzt. Es ist eine in verdünnter Form farblose, weitgehend stabile Flüssigverbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Entscheidende Vorteile in der Praxis sind häufig: Wasserstoffperoxid hat nur völlig unschädliche Zersetzungsprodukte (Wasser und Sauerstoff) und bildet keine Chlorverbindungen (keine AOX-Bildung). Wasserstoffperoxid darf wie Ozon kontinuierlich dosiert werden.

Signifikante Nachteile sind z. B., dass bei höheren pH-Werten die Wirkung schnell nachlässt und H_2O_2 ein relativ schwaches Biozid ist. Außerdem kann es in Kühltürmen ausgasen, da es flüchtig ist. In hermetisch geschlossenen Kühlkreisläufen darf es daher aufgrund evtl. Druckentwicklungen (Gasentweichung) nicht eingesetzt werden.

7.4.4 Erläuterungen zu nicht oxidierenden Bioziden / Desinfektionsmitteln

Bei Kühl-, Prozess- und Brauchwasser werden eine ganze Reihe nicht oxidierende Biozide eingesetzt. Diese haben häufig signifikante Vorteile, z. B. hinsichtlich geringerer Korrosion und der längeren Wirkzeit.

Die wichtigsten Stoffe bzw. Stoffgruppen sind: Isothiazolinone, Quaternäre Ammoniumverbindungen (QAV/QUATS), Bronopol, Glutardialdehyd und DBNPA.

Die Wirkmechanismen sind stark unterschiedlich. Um die Gefahr einer Resistenzbildung zu vermindern, empfiehlt die VDI, in regelmäßigen Abständen das Biozid zu wechseln. In der Praxis ist dies jedoch sehr selten wirklich relevant. Die Dosierung sollte als Stoßdosierung, also z. B. 3mal pro Woche, erfolgen. Die Absalzung/Abschlämmung sollte über einen Zeitraum von einigen Stunden geschlossen bleiben, um eine gewisse Einwirkzeit zu gewährleisten und Wirkstoffverluste in Richtung Kanal zu vermeiden.

Besonders bewährt z. B. für Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen hat sich eine Biozidkombination aus Isothiazolinone und Bronopol. Sie erfreut sich großer Beliebtheit und verbindet eine hohe Wirksamkeit mit einer langen Wirkzeit.

Die Produktauswahl und die Dosiermenge sollten zwingend einer erfahrenen Firma für Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung überlassen werden. Durch die Erstellung abgestimmter Behandlungsprogramme mit dem richtigen Biozid können wir Sie dabei unterstützen, Legionellen zu bekämpfen, gesundheitliche Risiken abzubauen, Ihre Anlage wirtschaftlich zu betreiben und deren Lebensdauer zu erhöhen. Wir beraten Sie gerne unverbindlich.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/legionellen-vermeiden-ursachen-und-massnahmen-gegen-legionellen-in-kuehlkreislaeufen/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/bestes-biozid-mittel-gegen-legionellen/
- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/algen-im-kuehlturm-kuehlwasser-kuehlkreislauf-entstehung-vorbeugung-und-beseitigung/

8. Entkalkung von Kühlkreisläufen, Prozesswasserkreisläufen, Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Wärmetauschern

8.1 Allgemeines zu Kalkablagerungen und Reinigungen

Meist handelt es sich um Verkalkungen, wenn es um Beläge in Kühl-, Prozess- oder Brauchwassersystemen geht. Die Verwendung von kalkhaltigem Wasser führt in vielen wasserführenden Systemen zur Ablagerung einer festen, isolierenden Kalkschicht. Dadurch wird die Heiz- oder Kühlleistung reduziert und der Energiebedarf steigt. Darüber hinaus können sich in der Kalkschicht Keime festsetzen und vermehren. Der Einsatz von Entkalkern ist in diesen Fällen unerlässlich. Durch die dabei verwendeten sauren Produkte wird meist gleichzeitig leichter Rost entfernt.

Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen, Plattenwärmetauscher, Temperiergeräte, Pufferspeicher, Kessel und viele weitere Anlagen in der Industrie sind von Kalk (Calciumkarbonat) betroffen.

Ein Entkalker muss dabei immer den Spagat schaffen, einerseits kraftvoll und schnell gegen Kalk zu wirken und andererseits Metalle so wenig wie möglich anzugreifen.

Je nach individueller Situation sollte der Entkalker einige zusätzliche Inhaltsstoffe haben:

- Hilfsstoffe zur Benetzung, um Kalkablagerungen zu unterwandern, damit der Angriff auf die Verkrustungen zügiger und umfangreicher wirkt
- Korrosionsschutzmittel bzw. Korrosionsinhibitoren, die den Angriff der Säure auf die Werkstoffe (Metalle) drastisch reduzieren
- Entschäumer, die Schaumbildung verhindern (die Kohlensäure-Entwicklung bei der Kalkzersetzung kann sonst zum Überschäumen des Systems führen)
- Desinfizierende Stoffe, die vorhandene Mikrobiologie und Biofilme abtöten

Nicht nur Kalk, sondern meist auch weitere Beläge können durch eine Entkalkung bzw. Reinigung entfernt werden und so die Lebensdauer eines Prozesswassersystems erhöhen:

- Korrosionsbeläge,
- Biofilme,
- Zunder,
- mineralische Ablagerungen (z. B. Eisen, Mangan)

Bei der Nutzung von Brunnenwasser sind häufig schwere Eisen- und Manganablagerungen zu lösen. Hier kann es schlimmstenfalls notwendig sein, zusätzlich mit einer Fräse zu arbeiten.

8.1.1 Checkliste vor Durchführung einer Entkalkung / Reinigung von Prozess-, Brauch- und Kühlwasserkreisläufen bzw. Wärmetauschern

Kalkablagerungen werden mit Säuren gelöst, z. B. Ameisen-, Amidosulfon-, Essig-, Phospor-, Salz- oder Zitronensäure. Die Säuren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, der Entstehung von Nebenprodukten und dem Korrosionsangriff auf die Werkstoffe. Ob verbaute Werkstoffe, Temperaturen, Konzentration, Belagstärke etc. – es gilt, viele Dinge zu beachten. So gibt es fertige Produkte, die bereits einen Korrosionsschutz (muss unbedingt auf vorhandene Werkstoffe ausgelegt sein) und auch einen Dispergator enthalten. Diese sind hinsichtlich des Reinigungserfolgs und der Sicherheit lohnenswert.

Vor der Durchführung einer Entkalkung bzw. Reinigung in Eigenregie sollten Sie sich einige grundsätzliche Fragen stellen. Hier eine kleine Checkliste:

- Ist sichergestellt, um welche Ablagerungen es sich handelt?
- Sind kritische Werkstoffe (z. B. Aluminium) verbaut, für die eine chemische Reinigung gefährlich sein könnte?
- Soll ein Kreislauf komplett oder sollen nur einzelne Anlagenteile gereinigt / entkalkt werden?
- Welche kritischen Kreisläufe bzw. Bypässe sollten abgesperrt oder separat gereinigt / entkalkt werden?
- Welche kritischen Stellen, z. B. Filter, feine Maschinenkühlkanäle etc., gibt es, die z. B. vor Verstopfungen oder Korrosion geschützt werden müssen?
- Macht eine manuelle Reinigung von Anlagenteilen im Vorfeld der chemischen Reinigung Sinn?
- Durch die Lösung von Kalk kann Druck entstehen – kann dieser Druck in meinem Reinigungskreislauf entweichen?
- Wie kann der Reinigungserfolg während der Reinigung kontrolliert werden?
- Habe ich das entsprechende Wissen und die Ausrüstung, z. B. pH-Messgerät, pH-Stäbchen etc., um die richtige Dosierung zu gewährleisten?
- Ist mir das Wasservolumen des Reinigungskreislaufes zur Bestimmung der idealen Dosiermenge der Reinigungschemie bekannt?
- Habe ich die technische Möglichkeit, Wasser nachzuspeisen, wasserführende Bauteile zu entleeren und zu spülen?
- Habe ich die geeignete Reinigungschemikalie, z. B. Säure, die für die Ablagerungen und die Werkstoffe meines Prozesswasserkreislaufes ideal ist?
- Sind mir die Dosiermengen und Eigenschaften/Risiken des Reinigungsproduktes bekannt?
- Ist ein für meine Werkstoffe wirkungsvolles Korrosionsschutzmittel im Entkalker enthalten?
- Habe ich ein geeignetes Neutralisationsmittel, z. B. zur pH-Neutralisation nach der Reinigung, in der richtigen Menge vorrätig und ist mir die Dosiermenge bekannt?
- Habe ich einen Entschäumer zur Bekämpfung von Schaumbildung zur Hand?
- Habe ich das für meine Werkstoffe passende Passivierungsmittel (Korrosionsschutz nach Reinigung mit Säure) in der richtigen Menge vorrätig?

Außerdem sollten Sie sich unbedingt die 3 wichtigsten Fragen beantworten, bevor Sie eine Entkalkung bzw. Reinigung Ihres Kühlkreislaufs selbst durchführen:

1. Was ist der schlimmste Fall, der bei falscher Anwendung oder ungeeigneten Produkten eintreten könnte und welche Auswirkungen hat das für meinen Anlagenbetrieb?

2. Ist mir der Ablauf der Reinigung / Entkalkung bekannt und welche möglichen Schwierigkeiten könnten auftreten?

3. Möchte ich das Risiko von Schäden selbst tragen oder möchte ich das Risiko an einen Dienstleister für professionelle Reinigungen und Entkalkungen auslagern?

Besonders Frage 1 hat enorme Wichtigkeit. Reinigung und Entkalkung sind oft komplexer als gedacht und bereits kleine Fehler bei der Anwendung können fatale Folgen für Ihre Anlagen haben. Immer wieder erhalten wir Anfragen, Schäden durch unsachgemäße Reinigung an industriellen Anlagen zu beheben. Einen Kühlkreislauf reinigen oder zu desinfizieren muss mit der nötigen Sorgfalt gemacht werden.

Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/entkalker-reiniger/

8.1.2 Häufige Fehler bei einer Entkalkung / Reinigung von Industriewasseranlagen

Häufige Fehler und ihre Folgen bei Reinigungs- und Entkalkungsmaßnahmen möchten wir Ihnen nicht vorenthalten:

- Ungeeignetes Reinigungsmittel, z. B. Säure
  => erfolglose Reinigung bzw. Werkstoffschädigungen
- Zu niedrige oder zu hohe Produktkonzentration
  => erfolglose Reinigung bzw. Werkstoffschädigungen
- Fehlende Zugabe eines spezifischen Korrosionsinhibitors
  => Korrosionsschäden
- Zu hohe Temperaturen
  => ggf. Bildung schwerlöslicher Ablagerungen (z. B. Calciumcitrat)
- Zu lange Verweildauer im System
  => Korrosionsschäden
- Zu hohe Druckentwicklung durch entstehende Kohlensäure
  => ggf. Leckagen
- Zu niedrige oder zu hohe Nachdosierung durch fehlende Kontrolle (pH-Wert etc., Bläschenbildung)
  => Kein Reinigungserfolg bzw. Werkstoffschädigungen
- Zu niedrige oder zu hohe Produktkonzentration durch mangelhafte Ermittlung bzw. Bestimmung des Gesamtwasserinhaltes des Systems
  => kaum Wirkung bzw. Werkstoffschädigung
- Fehler in der technischen Vorbereitung, z. B. Kreislaufbildung
  => Anlagenschäden durch Stagnationszonen
- Fehlende Vorreinigung, z. B. von stark verschmutzen Anlagenteilen
  => Verstopfung von z. B. (feinen) Maschinenzuleitungen durch falsch eingeschätzten Stoffaustrag

8.2 Desinfektion und Reinigung von Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen, Kühl-, Brauch- und Prozesswasserkreisläufen

Mikrobiologische Ablagerungen bzw. Biofilme und krankmachende Legionellen sind bei Industriewasserkreisläufen ohne Zugabe eines geeigneten Biozids oft nicht zu vermeiden. Das hat oft auch einen verminderten Wärmeübergang, Energieverluste oder Lochfraß zur Folge. Ein durch biologische Verunreinigungen verursachter erhöhter Wartungs- und Reinigungsaufwand bedeutet in vielen Fällen nicht nur einen gesteigerten Personalaufwand, sondern ist auch mit einer geringeren Verfügbarkeit der Anlage und damit der Produktionsleistung verknüpft. Außerdem entsteht ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit z. B. durch Legionellen oder Pseudomonaden. Insbesondere Menschen in der Umgebung von offenen Kühlkreisläufen sind durch mikrobiologisch belastete Aerosole gefährdet.

Grundsätzlich unterscheidet man die thermische (durch hohe Temperaturen) und chemische (Zugabe von chemischen Mitteln) Desinfektion. Eine thermische Desinfektion durch Temperaturen von mindestens 70 °C ist gegen Legionellen sehr wirkungsvoll. Jedoch ist diese in der Industrie kaum relevant, da sie technisch meist nicht durchführbar ist.

Kühlwasser desinfizieren steht deshalb meist in Verbindung mit dem Einsatz von Bioziden.

8.2.1 Kühlturmreinigung / Kühlturmdesinfektion

Die Reinigung und Desinfektion eines Kühlturmes bzw. einer Verdunstungskühlanlage kann in Eigenregie oder durch einen Dienstleister durchgeführt werden. Es gibt hier keine gesetzlichen Vorgaben. Entscheidend ist nur, dass sie fachmännisch mit dem gewünschten Reinigungserfolg und ohne Folgeschäden durchgeführt wird. Folgende Varianten sind gängige Verfahren:

- Manuelle und chemische Reinigung durch den Betreiber selbst. Der Betreiber kauft nur die notwendigen Reinigungsmittel / Reinigungschemikalien zu
- Manuelle und chemische Reinigung des Kühlturms durch einen Dienstleister bzw. eine Fachfirma für Desinfektionen / Reinigungen
- Manuelle Reinigung des Kühlturms in Eigenregie, chemische Reinigung von Anlagenteilen bzw. des kompletten Kühlwasserkreislaufs durch Dienstleister / Unternehmen

Eine Kühlturmreinigung wird meist geplant, wenn Leistungseinbußen durch Kalk, Biofilme oder erhöhte Legionellenkonzentrationen zu verzeichnen sind. Speziell bei Legionellen muss die Gesundheitsgefahr für Mitarbeiter und Anwohner reduziert werden. Nicht selten wird eine Reinigung und Desinfektion von einer Behörde angeordnet. Auch die Erhöhung der Lebensdauer eines Kühlturmes bzw. einer Verdunstungskühlanlage sind wichtige Gründe.

8.2.2 Manuelle Reinigung und Desinfektion

Die manuelle Reinigung eines Kühlturmes vor der chemischen Reinigung macht im Regelfall Sinn. Mindestens die Kühlturmtasse sollte von Ablagerungen und Belägen befreit werden. Da der Kühlturm als Luftwäscher viele Fremdstoffe aus der Luft auswäscht, lagern sich diese in der Kühlturmtasse ab. Es handelt sich meist um losen Schmutz und Schlamm, der abgesaugt werden kann. Puffertanks können ebenfalls manuell gereinigt werden. Manchmal macht auch der Austausch von Füllkörpern / Kühlturmeinbauten und Tropfenabscheidern Sinn. Diese unterliegen einem natürlichen Verschleiß.

Eine manuelle Intensivreinigung eines Kühlturms könnte wie folgt aussehen:

- Reinigung und Desinfektion der Lufteintrittsjalousien bzw. -gitter
- Reinigung und Desinfektion der Tropfenabscheider
- Reinigung und Desinfektion der Füllkörper bzw. Kühlturmeinbauten
- Reinigung und Desinfektion von Schalldämpferkulissen
- Reinigung und Desinfektion der Sprühdüsen
- Reinigung und Desinfektion der Kühlturmtasse / Kühlturmwanne
- Reinigung und Desinfektion von Puffertanks / Speichertanks
- Innere und äußere Reinigung / Desinfektion des Kühlturmgehäuses

Ob eine Demontage von Bauteilen erfolgen sollte, muss im Einzelfall entschieden werden. Demontierte Kleinteile können in ein chemisches Reinigungsbad eingelegt werden. Andere Teile könnten mit Hochdruckreinigern gereinigt werden. Darüber hinaus kann eine Reinigungslösung in Sprühflaschen zur Reinigung und Desinfektion von erreichbaren Oberflächen genutzt werden. Es sollten zwingend professionelle chemische Reiniger verwendet werden. Sind zudem Kalkablagerungen vorhanden, sollte zeitgleich entkalkt werden. Bei manuellen Reinigungen ist besonders der Arbeitsschutz zu beachten. Persönliche Schutzausrüstung, insbesondere zum Schutz vor pathogenen Bakterien (u.a. Legionellen), ist zwingend erforderlich.

8.2.3 Chemische Reinigung und Desinfektion mit dem Schwerpunkt Legionellen

Die Checkliste zur Durchführung einer Reinigung / Entkalkung trifft in großen Teilen auch für eine Desinfektion und Reinigung von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen zu.

Ziel einer chemischen Desinfektion ist die Beseitigung von Gesundheitsgefahren, die Leistungssteigerung der Anlage und die Schaffung eines hygienisch guten Ausgangszustands des Prozess-, Brauch- oder Kühlwasserkreislaufes für den zukünftigen Betrieb. Die Legionellenbekämpfung und Legionellenprävention ist hierbei sicherlich ein Schwerpunkt. Legionellen und deren bevorzugte Lebensräume sollten nach der Maßnahme abgetötet und entfernt sein.

Als Reinigungs- bzw. Desinfektionsmittel werden im Regelfall Biozide zur Desinfektion und ggf. ein unterstützender Dispergator oder Biodispergator für die Biofilmentfernung verwendet. Die

Auswahl der Biozide und Hilfsmittel sollte zwingend einer Fachfirma für Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung überlassen werden. Die Kosten einer Desinfektion und Reinigung, z. B. aufgrund eines Befalls mit Legionellen, sind nur dann gerechtfertigt, wenn die Maßnahme von Erfolg gekrönt ist.

- Folgender Artikel könnte in diesem Zusammenhang für Sie interessant sein: https://aqua-technik-gmbh.de/bestes-biozid-mittel-gegen-legionellen/

Wenn Sie diesen Artikel gelesen haben, sollten Sie erkennen, dass die Produktauswahl – auch wenn es nur um Legionellen geht – nicht vorschnell getroffen werden sollte. Die richtigen chemischen Produkte (ggf. Biozide, Säuren, Laugen, Dispergatoren, Passivierungsmittel etc.) und Wasserbehandlungsmittel sind wohl die wichtigste Voraussetzung für einen Erfolg der Reinigung und Desinfektion. Ein wichtiges Entscheidungskriterium für viele Betreiber ist sicherlich auch die Verlagerung von Haftungsrisiken. Deshalb lassen Betreiber Reinigungen und Desinfektionen, speziell wenn es um Legionellen und Kühltürme geht, meist von Fachfirmen durchführen.

- Weitere Informationen zu Bioziden und Desinfektionsmitteln finden Sie unter dem Punkt 7.4.2

Anbei eine Übersicht zu häufig angewendeten Bioziden und Verfahren zur Desinfektion:

	Chlor	Chlordioxid	Brom	Ozon	Wasserstoffperoxid
Wirksamkeit	Mittel	Stark	Stark	Stark	Mittel
Abhängigkeit pH-Wert	Hoch	Gering	Gering	Gering	Gering
Oxidierend	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Die Desinfektion ist ein sehr komplexes und für jeden Kühl-, Brauch- oder Prozesswasserkreislauf individuell zu betrachtendes Thema. Wir beraten Sie gerne.

- Weiterführender Link: https://aqua-technik-gmbh.de/kontaktformular/

9. Chemische Wasserbehandlung und die technisch-physikalische Wasseraufbereitung

Grundsätzlich gibt es 2 gängige Möglichkeiten, Brauch-, Prozess- oder Kühlwasser, z. B. für Kühltürme oder Verdunstungskühlanlagen, zu „verbessern“ und Probleme wie Korrosion, Ablagerungen und biologischem Wachstum zu verhindern bzw. dafür zu sorgen, dass sie nicht zu Beeinträchtigungen der Anlage führen. Es handelt sich um die chemische Wasserbehandlung (auch Wasserkonditionierung genannt) und die technische Wasseraufbereitung (Anlagentechnik).

Die chemische Wasserbehandlung, auch Wasserkonditionierung genannt, erfolgt durch Zugabe von Chemikalien, z. B. in den Kühlturmkreislauf. Unter der technisch-physikalischen Wasseraufbereitung versteht man im Regelfall sogenannte Wasseraufbereitungsanlagen, die schädliche Stoffe aus dem Wasser entfernen bzw. die Zusammensetzung der Wasserparameter verändern. Unter Wasserbehandlung versteht man also sinngemäß das „Behandeln“ von Wasser, z. B. durch Zugabe chemischer Mittel (Korrosionsinhibitoren / Korrosionsschutzmittel, Härtestabilisatoren, Dispergatoren, Biozide etc.) und unter technischer Wasseraufbereitung technische Verfahren im Sinne von Wasseraufbereitungsanlagen (z. B. Enthärtungs- oder Umkehrosmoseanlagen).

9.1 Chemische Wasserkonditionierung und Wasserbehandlung

Chemikalien können Korrosion, Ablagerungen und biologisches Wachstum bei richtiger Auswahl und Dosierung verhindern bzw. signifikant reduzieren. Die Kosten für die Wasseraufbereitung mit Chemikalien sind in der Regel im Verhältnis zu sonst möglichen Beeinträchtigungen sehr gering.

9.1.1 Produkte zur chemischen Wasserbehandlung / Wasserkonditionierung

Gängige chemische Behandlungsprodukte für Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen, Kühl-, Prozess- oder Brauchwassersysteme sind:

- Dispergatoren (halten Stoffe „in Schwebe“ und vermeiden die Ablagerungen)
- Härtestabilisatoren (verhindern, dass sich Kalk bildet)
- Korrosionsinhibitoren bzw. Korrosionsschutzmittel (vermindern Korrosion / Rost)
- pH-Stabilisatoren (stabilisieren und passen pH-Wert auf gewünschten Wert an)
- Biozide bzw. Desinfektionsmittel (bekämpfen Biofilme und Mikrobiologie, z. B. Legionellen)

Es gibt zudem noch eine Vielzahl von weiteren Produkten in unterschiedlichster chemischer Zusammensetzung. Ein Produkt kann verschiedene Wirkungen kombinieren. So kann ein Korrosionsinhibitor z. B. eine Schutzschicht für das Metall fördern, den pH-Wert verbessern sowie als Härtestabilisator und Dispergiermittel (Dispergator) wirken. Alles in einem Produkt.

Ein Einstieg in die Welt der Chemie ist sicherlich nicht zielführend und setzt viel Wissen voraus. Die Auswahl des richtigen Produkts, um den optimalen Schutz für Ihr wasserführendes System zu gewährleisten, ist u.a. von verschiedenen Wasserparametern, der Kreislaufart sowie den verwendeten Werkstoffen in Ihrem System abhängig. Zum Wohle Ihrer Anlage überlassen Sie die Auswahl bitte spezialisierten Unternehmen – Ihre Anlage wird es Ihnen danken. Wir beraten Sie gerne.

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

Grundsätzliche Wasserbehandlungsprodukte sehen Sie nachfolgend dargestellt:

9.1.1.1 Korrosionsinhibitoren / Korrosionsschutzmittel

ZWECK/NUTZEN:
Korrosionsschutz / Rostschutz von Metallen – Verlängerung der Lebensdauer

TYPISCHE EINSATZGEBIETE:
Offene, halboffene und geschlossene Kühl-, Brauch- Prozesswasserkreisläufe, Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen

TYPISCHE WIRKSTOFFE:
Molybdat, Phosphate, Zinksalze, Phosphonate, Azole

TYPISCHE WIRKUNGSWEISEN:
- signifikante Verringerung des elektrochemischen Korrosionsprozesses
- Schutzschichtbildung auf metallischen Werkstoffen
- ggf. Alkalisierung (Anhebung des pH-Wertes)

ANMERKUNG:
Häufig werden Inhibitoren mit Härtestabilisatoren/Dispergatoren kombiniert.
Abstimmung auf vorhandene Werkstoffe und Prozessbedingungen ist zwingend erforderlich.

MÖGLICHE VORTEILE?
Anlagenlebensdauer – Maschinenverfügbarkeit – Störungsfreiere Produktion - Vermeidung teurer Reparaturen/hoher Investitionen - gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis

9.1.1.2 Härtestabilisatoren und Dispergatoren

VORWORT:
Härtestabilisatoren werden meist zur Härtestabilisierung (Kalk) eingesetzt. Es gibt jedoch auch spezielle Stabilisatoren, z. B. zur Stabilisierung von Eisenoxiden. Dispergatoren werden meist allgemein zur Dispergierung verschiedener Stoffe verwendet (z. B. Schmutz, Eisen etc.). Der Übergang ist jedoch meist fließend.

ZWECK/NUTZEN:
- Verringerung von Ablagerungen/Verkalkungen
- reibungsloser Betrieb

TYPISCHE EINSATZGEBIETE:
Offene, halboffene und geschlossene Kühl-, Brauch- Prozesswasserkreisläufe, Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen

TYPISCHE WIRKSTOFFE:
Verschiedene Phosphonate, Polymere, Polycarboxylate, Tenside

TYPISCHE WIRKUNGSWEISEN:
Beim Härtestabilisator wird primär der Ausfall von Calciumkarbonat (Kalk) verhindert bzw. verringert.
Bei Dispergatoren werden Feststoffe „in Schwebe" gehalten und es wird verhindert, dass sich diese im System ablagern bzw. festsetzen. Auch die Lösung von bereits vorhandenen Belägen ist möglich.

ANMERKUNG:
Häufig alternativ/ergänzend zu Anlagen wie z. B. Filtration, Enthärtung

MÖGLICHE VORTEILE?
Anlagenlebensdauer – Maschinenverfügbarkeit - Reibungslosere Produktion - Effizienz/Sicherung Kühlleistung - Hartes Wasser und hohe Temperaturen möglich – Keine Verschmutzungen/Verstopfungen – Gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis

9.1.1.3 Biozide / Desinfektions- und Entkeimungsmittel

ZWECK/NUTZEN:
Vermeidung/Verringerung von biologischem Wachstums/Bioschleims und Legionellen

TYPISCHE EINSATZGEBIETE:
Offene, halboffene und geschlossene Kühl-, Brauch- Prozesswasserkreisläufe, Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen

TYPISCHE WIRKSTOFFE:
Oxidativ: Brom, BCDMH, Chlor, Chlordioxid, Wasserstoffperoxid
Nichtoxidativ: Isothiazolinone, Bronopol, DBNPA, Quaternäre Ammoniumsalze

TYPISCHE WIRKUNGSWEISEN:
Abtötung von Mikrobiologie (Legionellen, Bakterien, Algen, Pilze, Schleimbildner etc.), Prävention und Vermeidung der Bildung von Biofilmen und Bioschleimen

MÖGLICHE VORTEILE?
Unterbelagskorrosion – Einhaltung gesetzlicher Richtlinien (Haftungsrisiken Legionellen) - Gesundheitsschutz Mitarbeiter - Reibungslosere Produktion – Keine verstopften Rohre/Maschinenleitungen/Filter - Gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis

9.1.2 Erfolgskriterien bei Verwendung von Chemikalien zur Wasserbehandlung und Wasseraufbereitung

Für eine für alle Beteiligten erfolgreiche Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung von Prozesswasser, Kühlwasser oder Brauchwasser mit Wasseraufbereitungsmitteln sind grundsätzlich nur 3 Dinge wesentlich:

1. Sie benötigen Beratung und Hilfe von einem erfahrenen Wasserbehandler / Wasseraufbereiter
2. Dieser muss Sie fair und fachlich kompetent beraten und die notwendige Zeit in die Problemstellung investieren (ggf. Vor-Ort-Besichtigung, Wasseranalysen etc.)
3. Die Empfehlungen und Dosiermengen der geeigneten Wasseraufbereitungschemikalien müssen umgesetzt werden

Diese 3 Punkte mögen Ihnen banal erscheinen, die unterstrichenen Worte sind jedoch meist die entscheidenden Faktoren für Erfolg oder Misserfolg einer Behandlung. Wir können Ihnen nach 30 Jahren praktischer Erfahrungen versichern, dass die meisten teuren Fehler durch das Missachten dieser 3 genannten Punkte entstehen.

9.1.3 Dosieranlagen, Dosierstationen und Dosierpumpen - Dosieren von Chemikalien für die Prozess-, Brauch- und Kühlwasserbehandlung

Korrosionsschutzmittel / Korrosionsinhibitoren, Härtestabilisatoren, Dispergatoren, pH-Stabilisatoren oder Biozide sollten möglichst über geeignete Dosieranlagen in Kreisläufe dosiert werden. Dosierpumpen bzw. Dosierstationen sorgen dafür, dass Wasseraufbereitungsmittel in der richtigen Menge zugegeben werden und somit in der richtigen Konzentration im Wasser vorliegen.

Betriebssicherheit und Dosiergenauigkeit sind hierbei die maßgebenden Parameter. Diverse Mess-, Steuer- und Regelgeräte können die Dosierung überwachen, regeln und komplett automatisieren. Einfachste Dosieranlagen bestehen meist aus eine Sauglanze, die die flüssige Chemikalie aus dem Gebinde ansaugt, und einer Membrandosierpumpe.

Inhibitoren, Korrosionsschutzmittel, Härtestabilisatoren und Dispergatoren werden üblicherweise über Kontaktwasserzähler angesteuert. Wird z. B. Kühlturmzusatzwasser über den Wasserzähler nachgespeist, erhält die Dosierpumpe ein entsprechendes Signal vom Wasserzähler und dosiert entsprechend der Zusatzwassermenge. So kann sichergestellt werden, dass immer die richtige Konzentration im Kreislauf vorliegt. Wichtig ist meist, dass die Dosierung proportional zur Zusatzwassermenge durchgeführt wird. Dies ist über einen Kontaktwasserzähler in der Nachspeiseleitung meist einfach umzusetzen.

pH-Stabilisatoren (Mittel zur Anhebung oder Senkung des pH-Wertes) müssen über eine Messung des pH-Wertes geregelt werden. Hier ist üblicherweise ein kontinuierlich messender pH-Sensor im Kreislauf verbaut, der den pH-Wert kontrolliert. Weicht z. B. der pH-Wert vom Normwert nach unten ab, wird die Pumpe angehalten, ein Alkalisierungsmittel (pH-Wert anheben) zu dosieren.

Biozide und Desinfektionsmittel werden nicht immer analog der Zusatzwassermenge eines Prozess-, Brauch- oder Kühlwasserkreislaufes dosiert. Biozide werden oft per Stoßdosierung zu

festen Zeiten in das System dosiert. Hierzu wird beispielsweise über Zeitschaltuhren oder entsprechende Steuer- und Regelgeräte die Dosierung an 2-3 Tagen jeder Woche zu festgelegten Uhrzeiten durchgeführt.

Bei Bioziden ist die richtige Dosiermenge unter anderem vom gesamten Wasservolumen und der mikrobiologischen Belastung des Systems abhängig. Die Konzentration von oxidativen Bioziden für die Wasseraufbereitung kann im Regelfall über entsprechende Sensoren gemessen werden. In diesem Fall macht es Sinn, die Dosierung in Abhängigkeit der gemessenen Werte zu dosieren. Die Wirkstoffkonzentration des Biozids im Kühlkreislauf in Verbindung mit den gewünschten Sollwerten ist somit die steuernde Größe.

Dosierpumpen brauchen im Regelfall auch Zubehör und viele Dinge sind für eine optimale Dosierung von Chemikalien zu beachten. Unter dem folgenden Link können Sie sich weiter informieren.

- Link zu weiterführenden Informationen: https://aqua-technik-gmbh.de/dosieranlagen-fuer-die-wasserbehandlung-mit-chemikalien/

Abbildung 10: Dosieranlage für Chemikalien

Abbildung 11: Dosierstation für Chemikalien

9.2 Wasseraufbereitungsanlagen und technisch-physikalische Wasseraufbereitung

Nicht nur die chemische Wasserkonditionierung, sondern auch die technisch-physikalische Wasserbehandlung und Wasseraufbereitung ist komplex. Wir wollen versuchen, etwas Licht ins Dunkel zu bringen und stellen Ihnen in der Folge einige Wasseraufbereitungsanlagen vor.

Vorab eine übersichtliche Darstellung sehr gängiger Wasseraufbereitungsanlagen und -verfahren:

Anlage / Verfahren	Klassische Filtersiebe	Enthärtungsanlage	Aktivkohle-filter	Sand-/Kiesfilter	BIRM-Filter	Greensand Filter	Ecomix-Anlage	Mehr-schicht-filter
Typischer Haupt-zweck	Entfernung größerer ungelöster Partikel	Wasserhärte / Kalk entfernen	Chlor / Organik entfernen	ungelöste Partikel, Schweb-stoffe entfernen	Eisen / Mangan entfernen	Eisen / Mangan entfernen	Eisen / Mangan / Härte entfernen	Ungelöste Partikel, Schweb-stoffe entfernen

Anlage / Verfahren	Neutrali-sations-anlagen	Entkarbon-isierung	Mischbett	Ultra-filtratio (UF)	Nanofiltration (NF)	Umkehr-osmose (RO)	Anionen-/Kationen-tauscher	Entgasung
Typischer Haupt-zweck	pH-Wert korrigieren	Entfernung Karbonat-härte	Entsalzung	Sehr feine Partikel-filtration	Entsalzung (nicht komplett)	Entsalzung	Entsalzung	Entfernung von Gasen, z. B. Kohlen-säure, Sauerstoff

Der Auswahl des richtigen Verfahrens für die speziellen Ziele der Wasserbehandlung kommt natürlich besondere Bedeutung zu. Bestimmte Ziele hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit und der Wasserqualität können sowohl mit Chemikalien als auch mit Wasseraufbereitungsanlagen erreicht werden. Nicht selten ist auch eine Kombination beider Verfahren zielführend und effizient.

9.2.1 Filtration – Klassische Filtersiebe

Filtration heißt, es werden Stoffe aus dem Wasser herausgefiltert. Filtration gilt hierbei als Überbegriff für eine Vielzahl von Methoden zur Wasserfiltration. Ein Kaffeefilter ist ebenfalls eine Filtrationsmethode. Filter sind elementar in der Wasseraufbereitung. Von groben Stoffen wie Blättern und Sand bis hin zu kleinsten Bakterien oder Viren ist vieles durch Filtrieren aus dem Wasser entfernbar. Größtenteils wird bei Filtration zwischen klassischen mechanischen Filtern, z. B. Ihrem Feinfilter am Hauswassereingang und einer sehr viel feineren Membranfiltration, z. B. Umkehrosmoseanlagen unterschieden.

Übersicht über einige Filtrationsmethoden:

	Sieb-Filtration	Fein-Filtration	Partikel-Filtration	Mikro-Filtration	Ultra-Filtration (UF)	Nano-Filtration (NF)	Umkehr-osmose (RO)
Trenn-größen	>500 µm (=0,5 mm)	5-500 µm	1-10 µm	0,1-1 µm	0,01-0,1 µm	0,001-0,01 µm	< 0,001 µm
Abtrenn-bare Stoffe	Größere Partikel, Fasern, Blätter	Größere Partikel, Algen	Kleine Partikel, Keime, Bakterien	Kleinstpartikel, Viren	Makromoleküle, Viren, Kolloide	Niedermole-kulare Substanzen, Huminstoffe	Ionen
Beispiele Verfahren	Siebung, Zyklone, Sedimenta-tion, Klärung	Gewebe-filter, Tuchfilter, Kies-/Sandfilter	Mehr-schicht-filter, FAG-Filter, Filter AG Plus-Filter	Mehrschicht-Langsam-filter, Membran-Filtration	Membran-Filtration	Membran-filtration	Membran-filtration

Bei den meisten Verdunstungskühlkreisläufen, Kühltürmen, Prozess- und Brauchwassersystemen ist die Filtration ab 10 µm meist sinnvoll, wenn man Probleme vermeiden und ein Kühlsystem länger betreiben will. Wird nicht filtriert, können Feststoffe wie Sand, Schmutz, Blätter, Rostpartikel, sonstige eingetragene Fremdstoffe etc. schnell zu Problemen führen. Es ist natürlich nicht immer ein Muss, aber im Regelfall sinnvoll, da diese Art der groben Filtration sehr kostengünstig umzusetzen ist. Es lohnt sich in den allermeisten Fällen.

Speziell bei klassischen Filtersieben ist darauf zu achten, dass diese regelmäßig gereinigt werden. Wie auf folgendem Bild sollten Filtersiebe nicht aussehen. Viele moderne Filtrationsanlagen besitzen jedoch eine sogenannte Rückspülfunktion. Diese kann händisch oder auch automatisch ausgelöst werden. Mit dieser kann sich der Filter bis zu einem bestimmten Verschmutzungsgrad selbst reinigen. Bei größeren Wassermengen sind vollautomatische Kies-/Sandfilter meist eine gute Wahl und sehr günstig in den Betriebskosten.

Abbildung 12: Ungereinigte dreckige Filtersiebe

Abbildung 13: Kalk auf der Membrane einer Umkehrosmoseanlage

9.2.1.1 Kiesfilter / Sandfilter / AFM-Filter / Mehrschichtfilter

Ein Kiesfilter dient der Filtration von Feststoffen aus dem Wasser. Als Synonym wird in der Praxis häufig auch von einem Sandfilter gesprochen. Er wird sehr häufig in industriellen Kühlsystemen eingesetzt. Egal ob es sich um offene, halboffene oder andere Prozesswassersysteme handelt.

Er besteht aus einem mit Kies gefüllten Behälter. Häufig ist der Behälter ein GFK-Drucktank. Dies ist bis zu einer gewissen Größe problemlos möglich. Bei diesem Kies handelt es sich um gewaschenen Quarzkies mit unterschiedlicher Körnung.
Oft sind Kiesfilter auch als Mehrschichtfilter aufgebaut (Wasser durchströmt nacheinander unterschiedliche Filtermaterialien), um die Filtration zu verbessern. Hier kommt häufig zusätzlich Hydroanthrazit oder Filter-AG Plus-Filtermaterial neben dem klassischen Quarzkies zum Einsatz.

Sogenannte AFM-Filter die mit einem AFM-Filtermaterial gefüllt sind, werden immer häufiger als Alternative speziell in Verdunstungskühlkreisläufen / Kühlturmkreisläufen eingesetzt.

Meist strömt das Wasser von oben nach unten durch den Behälter. Dabei lagern sich Feststoffe im Kies ab. Sand-/Kiesfilter zählen zu den mechanischen Trennverfahren. Durch mikrobiologische Prozesse im Filterkuchen kann diese Filtertechnik jedoch weitaus mehr als nur Feststoffe filtern. Auch im Wasser gelöste Stoffe wie Eisen oder Mangan können durch eine vorgeschaltete Belüftungsstufe oxidiert und somit ebenfalls nahezu restlos entfernt werden. Mit BIRM-Filteranlagen oder auch Greensand-Filteranlagen gibt es mittlerweile in vielen Fällen aber bessere Methoden um Eisen und Mangan zu entfernen. Die notwendige Belüftung bei Kies- und Sandfiltern mit einer Oxidationsstufe (Sauerstoff wird eingebracht, um Eisen zu oxidieren, also in Feststoff zu verwandeln) ist relativ teuer und manchmal mit Problemen behaftet.

Bei der Auslegung sind u. a. Fließgeschwindigkeiten, der Volumenstrom, Auswahl der Quarzkieskörnung und eine exakte Behälterdimensionierung Voraussetzung für einen einwandfreien Betrieb.

Häufig ist zu beobachten, dass Poolsandfilter, die eigentlich für Swimmingpools gedacht sind, in industriellen Prozessen z. B. zur Filterung in Verdunstungskühlkreisläufen eingesetzt werden. Diese sind qualitativ ganz klar von industriellen Tiefenkiesfiltern abzugrenzen. Hinsichtlich der Verblockung des Filtermaterials, der Feinheit der Filterung und der Zuverlässigkeit liegen zwischen beiden Filtern in der Regel Welten. Vielfach war bereits zu beobachten, dass Poolfilter in industriellen Prozessen nicht mehr als Filter, sondern eher als Herd von Mikrobiologie gedient haben.

Abbildung 14: Große Sandfilter bei einem Kunden auf Mallorca

Abbildung 15: Kleiner Einzelkiesfilter zur Bypassfilterung

9.2.1.2 Aktivkohlefilter

Als Aktivkohlefilter werden Filter bezeichnet, die Aktivkohle enthalten. Derartige Filter werden sowohl für die Behandlung und Reinigung von Gasen wie auch von Flüssigkeiten verwendet. Zweck ist die Entfernung von störenden Stoffen wie Staub, Schwermetallen oder unerwünschten und zum Teil auch giftigen Chemikalien aus Gasen oder Flüssigkeiten. Häufige Verwendung findet er z. B. auch bei Dunstabzugshauben. Er besteht meist aus einem mit Aktivkohle gefüllten Behälter, oft inkl. Rückspülfunktion.

Anwendung

Aktivkohlefilter werden in der Trinkwasseraufbereitung, Prozesswasseraufbereitung und Abwasseraufbereitung verwendet. Die Anwendungspalette ist sehr groß.

Anwendungsbeispiele sind die Entfernung von:

- Geruchs- und Geschmacksstoffen
- Schwebstoffen
- Ozon
- Organischen Substanzen
- Schwermetallen

- Chemikalien
- Chlor
- Huminsäuren
- Ligninsulfonsäuren
- Ölen
- Halogenkohlenwasserstoffe
- Pestiziden

Aktivkohle hat einen großen Vorteil. Sie ermöglicht verschiedene Aufbereitungsverfahren in einem einzigen Filter. Ein Filter kann mechanisch reinigen, indem er Partikel und Schwebstoffe zurückhält. Durch die Ablagerung auf dem Filtermaterial ist bei höherem Verschmutzungsgrad eine Rückspülung analog einem Kies-/Sandfilter sinnvoll. Zusätzlich kann die Oberfläche der Aktivkohle verschiedene Substanzen durch Adsorption aufnehmen und sozusagen in ihrer eigenen Kohlenstoffmasse einlagern. Ein Teil der Aktivkohle wird hier durch Oxidation verbraucht.

Erschöpfte Aktivkohle muss ausgetauscht werden. Je nach Stoffen muss diese als Sondermüll oder Bauschutt entsorgt werden.

Abbildung 16: Aktivkohlefilter für Rohwasser 15 m³/h

Abbildung 17: Verrohrung eines Aktivkohlefilters mit BIRM Filtermaterial

9.2.1.3 Ultrafiltration

Die Ultrafiltration ist eine sehr feine Filtrationsmethode – ultrafein sozusagen. Diese Filtration wird jedoch nicht durch „Filter“, sondern durch „Filterröhrchen“ erreicht. Durch die Porengröße von weniger als 0,01 µm ist die Ultrafiltration hervorragend zum Filtern von sehr kleinen Stoffen und Verbindungen geeignet. Trübstoffe sowie Bakterien und Viren können die vielen

„Filterröhrchen“ nicht passieren und werden somit zurückgehalten. Ionen und sehr kleine Moleküle werden jedoch nicht entfernt.

Durch das Bündeln vieler kleiner Filterröhrchen in sogenannten Filtermodulen entsteht die notwendige Fläche, die einen größeren Wasserdurchfluss ermöglicht.

Ultrafiltrationsanlagen sind meist voll automatisiert und mit moderner Mess- und Regeltechnik zur Überwachung ausgestattet. Meist wird über ein periodisches Rückspülen die Membrane selbständig gereinigt. Hierfür ist ein sehr geringer Chemikalienaufwand erforderlich.

Die Lebensdauer derartiger Membrane liegt meist zwischen 3-5 Jahren, teilweise auch deutlich darüber. Diese ist ähnlich hoch wie bei Umkehrosmose-Membranen, jedoch stark abhängig von der Rohwasserqualität und Fahrweise.

Wichtiger Parameter zur Planung einer Anlage ist immer die Rohwasserqualität. Bei der Planung einer Ultrafiltration muss man immer die Rohwasserqualität prüfen und die Membrane entsprechend auswählen.

Durch eine übersichtliche SPS-Steuerung lässt sich die Anlage optimal in jede Produktion einbinden und ermöglicht eine bedienerfreundliche Steuerung. Hochwertige Messgeräte und Armaturen garantieren ein zuverlässiges System.

9.2.1.4 Umkehrosmoseanlage (RO) / Nanofiltrationsanlage (NF)

Häufig verwendete Synonyme für Umkehrosmose sind Osmoseanlage, RO-Anlage (Englisch: Reverse Osmosis) oder UO-Anlage (Abkürzung für Umkehrosmoseanlage).

Umkehrosmose:	Verringerung/Entfernung
Härte (Calcium, Magnesium)	JA
Chloride/Sulfate	JA
Gase, z. B. Kohlensäure, Sauerstoff	NEIN
Eisen/Mangan	JA
Biologie, z. B. Algen, Viren, Bakterien	JA

Eine Umkehrosmoseanlage wird dazu verwendet sehr reines Wasser zu produzieren. Die Umkehrosmose entfernt jedoch keinerlei Gase, wie z. B. Sauerstoff. Hierzu ist zusätzliche Technik wie eine Membranentgasung erforderlich.

Es handelt sich dabei um ein physisches Verfahren, bei dem mit Druck Wasser durch eine Membrane gepresst wird. Während ungelöste und gelöste Stoffe im Konzentrat (aufkonzentriertes Wasser) zurückgehalten werden, tritt das Permeat (das reine Wasser) nahezu inhaltsstofflos aus.

Zum Schutz der Membrane ist manchmal ein sogenanntes Antiscalant (chemisches Zusatzmittel) sinnvoll. Dieses soll Ablagerungen auf der Membrane, z. B. Kalk, verhindern. Je nach Wasserqualität sollten die Membrane hin und wieder sauer (bei Kalkablagerungen) oder alkalisch bzw. mit einem Biozid (bei Biologiebefall) gereinigt werden.

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Membrane undurchlässig für Keime und Viren sind. Die Membrane der Umkehrosmose stellen eine sogenannte Keimsperre dar. Deshalb werden die Umkehrosmoseanlagen besonders häufig in hygienischen Prozessen eingesetzt. Weit verbreitet ist die Anwendung von UO-Anlagen in Krankenhäusern, Laboren und kleinen Pharmaanwendungen. Auch Schwermetalle, Pestizide, Hormone oder Medikamentenrückstände lassen sich mit einer Umkehrosmoseanlage restlos entfernen.

Bei der Auslegung einer Umkehrosmoseanlage ist immer die Rohwasserqualität zu prüfen und die Membrane entsprechend auszulegen. Bestimmte Voraufbereitungsverfahren des Wassers, wie z. B. eine Enthärtung sind meist sinnvoll. Die Membrane der UO-Anlage haben dadurch eine deutlich höhere Lebensdauer.

Durch eine übersichtliche SPS-Steuerung lässt sich eine Anlage optimal in die Produktion einbinden und ermöglicht eine bedienerfreundliche Nutzung. Kompaktsteuerungen für Umkehrosmoseanlagen sind deutlich kostengünstiger und in vielen Fällen ebenfalls ausreichend.

Abbildung 18: UO Anlage 8 m³/h mit EH Ventilautomatik

Abbildung 19: Reinigung und Wartung einer UO-Anlage

9.2.1.5 BIRM-Filteranlagen / Greensand-Filteranlagen / Ecomix-Filteranlagen

Alle 3 genannten Anlagen verbindet, dass alle Eisen und Mangan aus dem Wasser entfernen können. Klassisch bestehen BIRM-Filter, Greensand-Filter und Ecomix-Filter aus einem GFK-Drucktank mit einem auf diesem sitzenden Zentralsteuerventil. Sie können aber auch als Doppelanlagen mit 2 Drucktanks ausgeführt werden.

Schauen wir uns zuerst BIRM-Filter etwas genauer an. Häufig werden diese bei der Brunnenwasseraufbereitung eingesetzt. Sie entfernen Eisen, Mangan und zu großen Teilen auch Schwebstoffe aus dem Wasser. Das BIRM-Filtermaterial ist katalytisch und besitzt die Fähigkeit Metalloxide dadurch zu entfernen. BIRM-Filter eignen sich besonders bei Eisengehalten von <2,5 mg/l. Zusätzlich sollte Sauerstoff im Wasser enthalten sein und der pH-

Wert zwischen 6,8-9 liegen. Bei sehr wenig Sauerstoffgehalt ist das Eisen häufig nicht sicher entfernbar.

Das BIRM-Filtermaterial wird nicht verbraucht, die Filter haben eine sehr einfache Handhabung (nur Rückspülung mit Wasser), ein langlebiges Filtermaterial und einen chemikalienfreien Betrieb.

Greensand-Filteranlagen haben einen ähnlichen Anlagenaufbau mit Drucktank und Zentralsteuerventil. Sie entfernen sehr sicher Eisen, Mangen, Schwefelwasserstoff und Schwebstoffe. Wesentlicher Unterschied zum BIRM-Filter ist, dass eine Regeneration mit Kaliumpermanganat ($KMnO_4$) erforderlich ist. Dies macht die Anwendung etwas komplizierter. Insbesondere kann das Greensand-Filtermaterial beim Überfahren des Filters zerstört werden. Deshalb ist Kenntnis des Eisen- und Mangangehaltes erforderlich um die die Kapazität bis zur Regeneration zu berechnen. Der pH-Wert des Wassers sollte über 6,2 liegen.

Greensand-Filter erlauben eine sehr sichere und effiziente Entfernung auch von hohen Eisen-/Mangangehalten. Richtig eingestellt ist Greensand deutlich effizienter als z. B. BIRM. Greensand kann die perfekte Anlage sein, um z. B. bei stark belasteten Kühl- und Prozesswasserkreisläufen Eisen sicher zu entfernen.

Ecomix-Anlagen sind etwas neuer in Wasseraufbereitung, erfreuen sich aber zunehmender Beliebtheit. Sie erlauben die Entfernung von mehreren Stoffen durch eine Wasseraufbereitungsanlage. Eine Ecomix-Anlage kann Wasser enthärten (Enthärtungsanlage), Eisen und Mangan entfernen (BIRM / Greensand), Schwebstoffe filtern und TOC und Ammonium reduzieren. Die Anlage muss wie eine Enthärtungsanlage mit Salz (Kochsalz bzw. Natriumchlorid) regeneriert werden.

Abbildung 20: Einfacher Aufbau einer Einzelanlage – GFK-Drucktank, Zentralsteuerventil, Rohr mit unterer Düse

Abbildung 21: Birm® Filtermaterial der Firma Clack

9.2.2 Ionenaustauscheranlagen

Die Wasseraufbereitung ist das bekannteste und größte Anwendungsfeld für Ionenaustauscherharze. Optisch sehen diese Harze wie kleine Kügelchen aus. Den Ionenaustausch stellen Sie sich am besten so vor, dass bestimmte Bestandteile des Wassers durch andere Bestandteile ersetzt werden. Die einen Ionen raus, die anderen Ionen meistens rein. Klassische Enthärtungs-, Teil- und Vollentsalzungsanlagen funktionieren meist über diesen besagten Ionenaustausch. Später werden die einzelnen Verfahren noch etwas genauer beleuchtet.

Ionenaustauscher (meist in den Ihnen vielleicht bekannten Druckbehältern untergebracht) beinhalten diese künstlich hergestellten Harze. Im Wasser gelöste Ionen werden durch andere Ionen mit gleicher Ladung ersetzt.

Wenn die Kapazität der Harze erschöpft ist, oder einfacher ausgedrückt, wenn die Harze mit den aus dem Wasser zu entfernenden Stoffen voll beladen sind, müssen sie wieder regeneriert werden. Ganz einfach deshalb, weil die Harze nur so wieder neue zu entfernende Stoffe aus dem Wasser aufnehmen können. Diese sogenannte Regeneration wird je nach Anlagentyp mit Salz (Kochsalz bzw. Natriumchlorid), Laugen oder Säuren durchgeführt. Die Regeneration kann im Gleich- oder im Gegenstrom durchgeführt werden, was sich auf die Fließrichtung während der Regeneration bezieht. Bei Gleichstrom wird der Ionenaustauscher sowohl im Betrieb (auch Beladung genannt) als auch bei der Regeneration in der gleichen Richtung durchströmt. Bei Gegenstrom verläuft die Regeneration entgegengesetzt der Beladung. Das Gegenstromverfahren ist meist effektiver.

Ionentauscherharze befinden sich in Druckbehältern, die auf den Wasserdurchsatz ausgelegt sind. Bei kleineren Anlagen kann dies ein GFK-Behälter (Glasfaserverstärkter Kunststoffbehälter) sein. Bei höheren Durchsätzen oder hohen Anforderungen an die Qualität werden stahl gummierte Behälter oder Edelstahlbehälter mit Düsenböden eingesetzt. Jede Anlage kann individuell berechnet und ausgelegt werden. In bestimmten Fällen ist dies sogar zwingend notwendig.

9.2.3 Enthärtungsanlagen

Bei der Wasserenthärtung (=Weichwassererzeugung) wird dem Wasser mit Hilfe eines kationischen Ionenaustauscherharzes Calcium und Magnesium (zusammen auch als „Erdalkalien“ bezeichnet) entzogen. Enthärtungsanlagen sind sehr gängig bei der industriellen Wasseraufbereitung. Bei Verdunstungskühlanlagen bzw. Kühltürmen wird sehr häufig das Zusatzwasser teilenthärtet. Von Teilenthärtung spricht man, wenn nicht die ganze Härte entfernt, sondern Teile der Härte im Wasser belassen 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.

Das Harz wird mit einer Kochsalzlösung (Natriumchlorid) regeneriert, damit es wieder Weichwasser erzeugen kann. Man spricht hier von Regeneriersalz, ähnlich dem bei einem Geschirrspüler.

Das Wasser strömt durch einen Kationenaustauscher (Druckbehälter). Die Ca2+- und Mg2+-Ionen werden gegen Na+-Ionen getauscht. Das enthärtete Wasser enthält nun mehr Na+-Ionen. Die anderen Ionen bleiben unverändert. Die Enthärtungsanlagen können als Doppelenthärtung (Pendelanlage) oder Einzelenthärtung ausgeführt werden. Seit einigen Jahren gibt es auch Dreifach-Enthärtungsanlagen mit 3 Druckbehältern. Industrielle Anlagen sollten aufgrund höherer Betriebssicherheit redundant aufgebaut werden. Redundant bedeutet nicht nur, dass diese aus 2 Drucktanks bestehen, sondern dass jeder Drucktank mit jeweils einem Steuerkopf versehen ist. Idealerweise wird zusätzlich die Soleansaugung und Soletankbefüllung redundant aufgebaut. Somit kann die Anlage auch dann noch Weichwasser erzeugen, wenn ein Steuerkopf ausgefallen ist.

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 22: Doppel-Enthärtungsanlage (rechts) und Einzelkiesfilter (links) bei einem Kunden im Container verbaut

9.2.4 Teilentsalzung

Die Teilentsalzung wird auch Entkarbonisierung genannt.

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

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. Als Folge 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 Kühlturmbetrieb höher eingedickt werden. Wesentliche Nachteile sind die höheren Kosten und die Entstehung von saurem Abwasser.

Auch hier ist nach einigen Jahren ein Harztausch erforderlich.

9.2.5 Vollentsalzung über Anionentauscher und Kationentauscher

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

Bei einer Vollentsalzung im Ionenaustauschverfahren werden gelöste Stoffe fast vollständig aus dem Wasser entfernt. Die Vollentsalzung wird häufig auch als Demineralisierung bezeichnet. Es gibt verschiedene Verfahren, die wir Ihnen hier kurz vorstellen.

Um die Entfernung der Härtebildner, z. B. Calcium und Magnesium (Kationen) und Chloride, Sulfate etc. (Anionen) zu erreichen, wird ein Kationen- und ein Anionaustauscher eingesetzt. Diese Austauscher, die jeweils mit Harzen befüllt sind, werden nacheinander geschaltet (2 Druckbehälter). Die Regeneration der Harze erfolgt mit Salzsäure (HCl) und Natronlauge (NaOH).

Um eine Optimierung der Laufzeiten zu erreichen werden häufig Entgasungssysteme zwischen die beiden Austauscher geschaltet. Membranentgasungssysteme haben sich am Markt durchgesetzt und bieten Vorteile gegenüber der klassischen Entgasung mit Riesler.

Durch die erste Passage des Kationentauschers wird das Wasser aufgrund entstehender Kohlensäure stark sauer (niedriger pH-Wert). Die Kohlensäure wird bei der Entgasung ausgetrieben. Im Nachgang fließt das Wasser durch den Anionentauscher, der hierdurch geringer dimensioniert werden kann.

Eine übergeordnete SPS-Steuerung regelt und überwacht meist die einzelnen Betriebszyklen. Über ein TouchPanel mit umfangreichen Bildern kann eine Anlage bedient und beobachtet werden. Anwendungsgebiete sind in der Reinstwassererzeugung der Halbleiterindustrie, Pharma- und Kosmetikindustrie sowie der Kesselspeisewassererzeugung insbesondere für Turbinenbetrieb zu finden. Zur Behandlung der Abwässer ist meist eine Neutralisationsanlage notwendig.

Das Harz muss nach gewisser Zeit ebenfalls getauscht werden. Bei größeren Anlagen sollte die Funktion der Ionenaustauscherharze regelmäßig über eine Harzanalyse überprüft werden.

Nochmals zusammenfassend:
Die Vollentsalzung erfolgt, ähnlich wie die Enthärtung, über Ionenaustauscher. In zwei voneinander getrennten, aber nacheinander geschalteten Tanks befindet sich im ersten kationisches, im zweiten anionisches Harz. Dabei wird das kationische Harz mit HCl (Salzsäure, Chlorwasserstoffsäure), das anionische Harz mit NaOH (Natronlauge, Natriumhydroxid) regeneriert.

9.2.6 Multistep-Verfahren

Das sogenannte Multistep-Verfahren ist eine Variante der Vollentsalzung. Mehrere Ionenaustauscher mit verschiedenen Aufgaben werden hier in einer einzigen Filtersäule untergebracht. Die unterschiedlichen Harze können dabei mit den für sie richtigen Chemikalienlösungen regeneriert werden (z. B. Salzsäure oder Natronlauge), ohne dass dies zu Störungen oder Beschädigungen führt. Das Multistep-Verfahren ist eine Alternative zum bekannteren Mischbettverfahren, das der Herstellung von hochreinem Reinstwasser dient.

Es werden Leitfähigkeiten < 0,05 Mikrosiemens pro cm und ein Kieselsäuregehalt von annähernd 0 mg/l erreicht. Ein vollautomatischer Polizeifilter zur Feinreinigung ist häufig sinnvoll und hat den Vorteil von sehr langen Standzeiten und einem sehr geringen Wartungs- und Pflegeaufwand. Die Multistep-Anlage lässt sich sehr einfach und zuverlässig vollautomatisch steuern.

9.2.7 Mischbett

Ein Mischbett wird häufig zur Restentsalzung von entsalztem Wasser eingesetzt. Es kann jedoch auch als eigenständige Vollentsalzung betrieben werden. Somit ist es eine weitere Art der Vollentsalzung bzw. Demineralisierung.

Vollentsalzungskartuschen werden z. B. häufig im Heizungsbau bei Befüllung von Heizkreisläufen eingesetzt. Sie finden aber auch sehr häufig Anwendung in der Industrie, wenn kleinere Wassermengen, z. B. für geschlossene Kühlkreisläufe, entsalzt werden sollten.

Die Anwendung ist sehr einfach. Es genügt, dass Wasser durch den Drucktank (meist GFK oder Edelstahl) laufen zu lassen.

Werden an bereits aufbereitetes Wasser höchste Anforderungen bezüglich Restleitfähigkeit und Restsilikat gestellt, wird häufig ein Mischbettaustauscher nachgeschaltet. In einem Mischbettaustauscher liegen Kationenaustauscherharz und Anionenaustauscherharz innig vermischt nebeneinander vor. Weiterhin dient dieses Verfahren der Sicherheit, wenn bei Störungen der vorangeschalteten Anlage die Vorentsalzung nicht gewährleistet ist.

Wenn die Kapazität der Harze erschöpft ist, muss das Harz ausgetauscht oder regeneriert werden. Dabei werden die beiden Harztypen mit unterschiedlichen Schüttgewichten (Dichten) in einem exakt eingestellten Aufstrom getrennt. Über ein Drainagesystem werden danach die räumlich getrennten Harze mit Säure und Lauge regeneriert. Nach der Regeneration wird die Harzfüllung mit Luft wieder vermischt. Bei kleinen Anlagen wird dies mit Pressluft durchgeführt. In großen Anlagen sind separate Gebläse notwendig.

9.2.8 EDI Vollentsalzungsanlagen

Die Elektrodeionisation (EDI) ist ein elektrochemisches Verfahren zum weitestgehenden Entfernen von Ionen und ionisierbaren Stoffen aus dem Wasser. Es handelt sich um eine Kombination aus Ionenaustausch und Elektrodialyse. Der zentrale Baustein einer Wasseraufbereitungsanlage, die dieses Verfahren anwendet, ist das sogenannte EDI-Modul, in dem die Elektrodeionisation abläuft.

Innerhalb des EDI-Moduls strömt das Wasser senkrecht zu dem im Modul anliegenden elektrischen Feld durch Kammern, die jeweils von einer Anionenaustauschermembran sowie einer Kationenaustauschermembran begrenzt und mit einem Mischbettionenaustauscher gefüllt sind.

Durch das elektrische Feld kommt es zu einer Ladungswanderung der Ionen zur jeweiligen Elektrode. Die Austauschermembrane erlauben den Durchtritt von z. B. Anionen, während Kationen an der Durchdringung gehindert werden. So wird eine Aufkonzentration der Ionen im Konzentratraum erreicht. Unter Einfluss des elektrischen Feldes findet gleichzeitig eine Dissoziation eines Teils der Wassermoleküle statt. Dies bewirkt eine Selbstregeneration des Mischbettaustauscherharzes und erlaubt einen kontinuierlichen und chemikalienfreien Betrieb.

Die Ausbeute an Reinstwasser ohne Einsatz von Chemie ist hier enorm hoch. 15 bis 18 Megaohm/cm oder 0,063 bis 0,056 Mikrosiemens/cm Reinstwasserqualität macht diese Technologie zu einem sehr attraktiven Verfahren im Vergleich zur klassischen Mischbett-Ionenaustauscher-Technologie. Die Zellen werden nur über eine angelegte Spannung regeneriert, was während des Betriebs geschieht. Damit ist keine Unterbrechung bei der Regeneration notwendig.

Anwendungsgebiete zu dieser Reinstwassererzeugung sind in der Halbleiterindustrie, Pharma- und Kosmetikindustrie sowie der Kesselspeisewassererzeugung, insbesondere für Turbinenbetrieb, zu finden. Für die Anwendung im Laborbereich und in Krankenhausanlagen sind verschiedene Kompaktsysteme erhältlich.

Nach Bedarf sind eine Überprüfung und ein Austausch der EDI-Zellen sinnvoll.

9.2.9 Membranentgasung

Eine Membranentgasung dient dazu, gelöste Gase aus Flüssigkeiten zu entfernen. Speziell geht es um die Entfernung von freier Kohlensäure und Sauerstoff aus Wasser.

Die Membranentgasung besteht im Wesentlichen aus einem außen liegenden Druckbehälter und innenliegenden Hohlfasermembranen. Flüssigkeit durchströmt den Druckbehälter und umströmt dabei die Außenflächen der Hohlfasermodule. Das Funktionsprinzip der Membranentgasung besteht meistens darin, dass Luft in einer äußeren Kammer der Module im Gegenstrom des Wasserflusses in der inneren Kammer (im Druckbehälter) vorbeigezogen wird. Dadurch werden die Gase vom Wasserstrom in den Luftstrom gezogen und verlassen das Wasser.

Während des Betriebs fällt meist eine kleine Menge Abwasser auf der äußeren Seite an. Sollten Vakuumpumpen eingesetzt werden, entsteht hier ggf. noch zusätzlicher Bedarf an Kühlwasser.

Die Betriebskosten sind wesentlich geringer als bei der herkömmlichen Rieslerentgasung. Weiter erfolgt eine deutlich bessere Entgasung von CO2. Dementsprechend sind z. B. nachgeschaltete Vollentsalzungsanlagen effizienter und Betriebskosten werden gespart. Ein geringerer Platzbedarf und weniger Druckverluste sind weitere Vorteile, z. B. gegenüber Riesler-Anlagen.

9.2.10 UV-Anlagen

UV-Entkeimung (Desinfektion durch UV-Licht) kann auch zur Desinfektion von Wasser eingesetzt werden. Durch die Umweltfreundlichkeit dieser Anlagen werden diese häufig im Trinkwasserbereich installiert. Auch zur Restozon-Entfernung nach Desinfektionsanlagen können die Anlagen dienen.

Um eine Desinfektion zu erreichen, muss das Wasser mit UV-Licht bestrahlt werden. Hierfür werden meist sogenannte UV-Reaktoren eingesetzt, durch die das Wasser fließt. Zur Desinfektion ist eine UV-Dosis von 400 J/m² erforderlich.

Nach einer UV-Anlage sollte ein Sterilfilter mit mindestens 0,2 µm nachgeschaltet werden, um die abgetöteten Mikroorganismen aufzufangen. Zur Steuerung und Überwachung sind Controller verbaut, die die Lebensdauer und Effizienz anzeigen. Bei UV-Anlagen sind die Schaltzyklen begrenzt und somit empfiehlt sich ein Dauerbetrieb. Auch beim Einschalten der Anlage ist die Hochfahrzeit zu beachten.

Unsere Anlagen sind für Trinkwasser, Pharmaanwendungen und Industriewasser zugelassen und verfügen je nach Bauart über Leistungen bis zu 500 m³/h. Bei Bedarf führen wir einen Austausch der UV-Lampen und Überprüfung der UV-Anlage für Sie durch.

UV-Anlagen haben den wesentlichen Nachteil, dass Sie nur an der Installationsstelle lokal wirken. Mikrobiologie oder Biofilme an anderen Stellen eines Kühlwassersystems können damit nicht beseitigt werden.

9.2.11 Neutralisationsanlagen

Unter einer Neutralisation versteht man die Aufhebung der ätzenden Wirkung von Säuren oder Basen (Synonym: Laugen). Nach der Neutralisation muss das Wasser einen pH-Wert im sogenannten neutralen Bereich haben, damit es z. B. ins Abwassersystem geleitet werden kann.

Die Funktionsweise ist sehr einfach. Eine Säure (niedriger pH-Wert) kann durch Zugabe einer Lauge (hoher pH-Wert) „neutralisiert" werden. Dies bedeutet, dass der pH-Wert in der Folge nicht mehr „zu niedrig", sondern im neutralen Bereich, z. B. bei 7,5 liegt. Die Ätzwirkung von Säuren und Basen wird also bei Zugabe nicht addiert, sondern hebt sich gegenseitig auf. Eine Säure kann also mit einer geeigneten Basenmenge und eine Base mit einer geeigneten Säuremenge neutralisiert werden. Der pH-Wert ist hier das entscheidende Kriterium.

Neutralisationsanlagen übernehmen die Regelung des pH-Werts vollautomatisiert. Somit können z. B. Abwässer neutralisiert werden.

Folgendes Vorgehen empfiehlt sich: Zuerst sollte die Menge der zu neutralisierenden Abwässer festgelegt werden, da die Neutralisation normalerweise im Chargenbetrieb eingesetzt wird. Durchlaufneutralisationsanlagen sind möglich, meist aber nur bei einfacheren Anlagen geeignet. Je nach Anforderung ist eine Abwasservorlage über einen Tank notwendig. Die Grenzwerte der Behörden für die Einleitung von Abwässern muss zwingend eingehalten werden. Zur Nachverfolgung sind zugelassene Schreiber notwendig, die den pH-Wert aufzeichnen und entsprechend protokolieren.

Der einwandfreie und störungsfreie Betrieb ist sehr wichtig, um vorgeschaltete Prozesse nicht zu stoppen. Ebenso müssen die sicherheitstechnischen Vorschriften umgesetzt und eingehalten werden, da hier mit hochkonzentrierten Chemikalien gearbeitet wird. Alle Messinstrumente und Armaturen müssen chemikalienbeständig ausgeführt werden.

Die Steuerung erfolgt über eine übergeordnete SPS, die die Regelfunktion übernimmt. Alle Parameter, Regler und Grenzwerte werden meist auf einem TouchPanel visualisiert.

10. Funktion, Richtwerte und Wasseraufbereitung von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen

10.1 Grundsätzliches zu Kühltürmen

In der Praxis häufig synonym verwendete Begriffe für Kühltürme sind Rückkühlanlage, Rückkühler oder Verdunstungskühlanlage. Im Folgenden werden wir den in der Praxis geläufigsten Begriff „Kühlturm" verwenden. Wohlwissend, dass dieser korrekterweise nur für Naturzugkühltürme mit über 200 MW gilt.

Der grundsätzliche Zweck eines Kühlturms ist es, Kühlwasser, das erwärmt zum Kühlturm kommt, wieder abzukühlen, um es erneut zur Kühlung verwenden zu können. Die Abkühlung des erwärmten Wassers erfolgt durch den natürlichen Prozess der Verdunstung. Verdunstung heißt, dass ein Teil des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Zustand wechselt. Die Verdunstung benötigt Wärmeenergie, die aus dem Wasser entnommen wird. Durch den Wärmeentzug wird das Wasser abgekühlt. In einem Kühlturm verdunstet also ein Teil des Wassers und wird zu reinem Wasserdampf, der mit der Luft in die Atmosphäre hinausgetragen wird.

Da das Wasser im Kühlkreislauf durch die Verdunstung immer weniger werden würde, muss natürlich ständig Wasser hinzugeführt werden. Dieses zugeführte Wasser wird als Speise- oder Zusatzwasser bezeichnet.

10.2 Arten und Funktionsweise von Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen

Es gibt viele Arten und Unterarten von Kühltürmen, mit denen wir Sie jedoch nicht weiter verwirren möchten. Ganz grob lassen sich sehr große Naturzugkühltürme (häufig bei Kraftwerken zu finden), kleinere Nasskühltürme (sehr häufig in der Industrie zu finden) sowie Trocken- und Hybridkühltürme unterscheiden. Eine besondere Form sind noch sogenannte Verdunstungsverflüssiger, die das Prozesswasser in einem geschlossenen Kühlkreislauf führen und durch Verdunstungskühlung wird dieses abgekühlt. Die Wärmetauschoberfläche ist meist mit verzinktem Stahl ausgeführt. Wir werden hier näher auf die offenen Nasskühltürme, die häufig zur Kühlung in der Industrie eingesetzt werden, eingehen.

Abbildung 23: Naturzugkühltürme eines Kraftwerkes

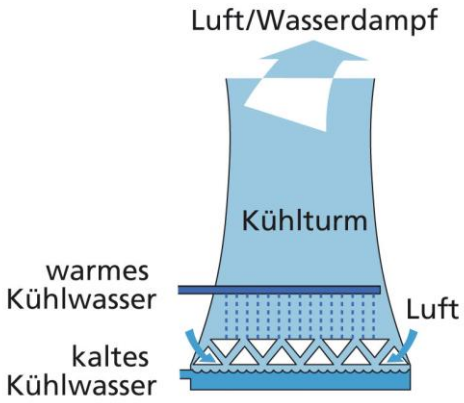


Abbildung 24: Schema Naturzugkühlturm

Abbildung 255: Verdunstungskühlanlage („Kühlturm“) eines Kunden in der Industrie

Anbei eine Grafik einer Verdunstungskühlanlage in der Ausführung als Zellenkühler:

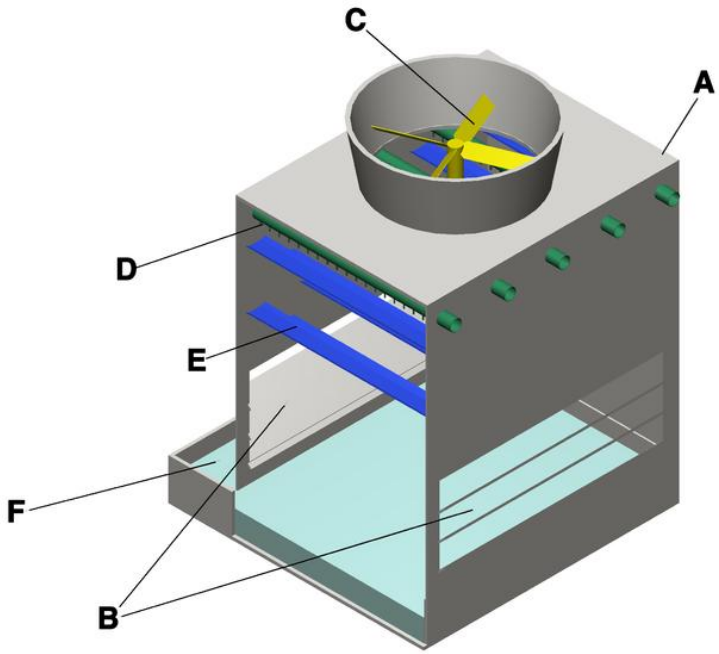


Abbildung 26: Schema bzw. Schaubild eines Kühlturmes und Verdunstungskühlanlage (Bildquelle: Wikipedia)

A Kühlturmgehäuse
B Lufteingänge (hier dringt die Umgebungsluft ein)
C Saugender Ventilator (zieht die Luft an, oben tritt dann der Wasserdampf aus)
D Sprühdüsen (hiermit wird das warme Wasser verrieselt, damit es besser verdunstet)
E Rieselkörper (zur optimalen Wasserverteilung)
F Kühlturmbecken (hier sammelt sich das abgekühlte Wasser, das nicht verdunstet ist und wieder dem Kühlkreislauf zugeführt wird)

Wärmeabgabe (Abkühlung) des Kühlwassers im Kühlturm:

- Das zu kühlende Kühlwasser wird am „Eintritt Kühlwasser“ (grüne Rohre im Bild)) in den Kühlturm geführt
- Über ein internes Wasserverteilsystem wird das Kühlwasser gleichmäßig und flächendeckend im oberen Bereich des Kühlturms versprüht (Sprühdüsen, die auf Düsenstöcken verteilt sind)
- Es fließt anschließend durch die Rieselköper (auch Kühlturmeinbauten oder Füllkörper genannt) in das Kühlturmbecken. Die entgegenströmende Luft (vom saugenden Ventilator angezogen) nimmt vom warmen Kühlwasser Wärme auf. Der Luftstrom erwärmt sich dadurch leicht
- Zeitgleich verdunstet auch ein Teil des versprühten Wassers und entzieht dadurch dem verbleibenden Kühlwasser Verdunstungswärme
- Beide Effekte zusammen ergeben die gewünschte Abkühlung des Kühlwassers
- Durch die zusätzliche Verdunstungskühlung können Kühltürme Kühlwassertemperaturen liefern, die unter der Umgebungstemperatur liegen.

10.3 Verdunstung, Eindickung und Abschlämmung bei Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen

Im Kühlturm verdunstet ein Teil des Wassers, wodurch sich der hauptsächliche Kühleffekt ergibt. Deshalb muss zwangsläufig Zusatzwasser „nachgefüllt" werden, damit die Wassermenge im Kühlkreislauf stabil bleibt.

10.3.1 Eindickung Kühlturm

Leider verdunstet jedoch nur das reine, salzfreie Wasser. Was sich nicht beeinflussen lässt, da es sich um ein physikalisches Gesetz handelt. Die Natur kann man hier leider nicht überlisten. Die Folge ist, dass das restliche Wasser im Kühlturmbecken und im Kühlkreislauf immer mehr „eindickt". Es wird konzentrierter, da die Salzkonzentration immer mehr steigt. Das „gute" Wasser verlässt durch die Verdunstung den Kreislauf und es entsteht immer mehr „schlechtes" Wasser, da die Menge an (teilweise schädlichen) Inhaltsstoffen gleichbleibt, sich aber auf immer weniger Wasser konzentriert. 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 gleich. Das Wasser dickt sozusagen ein.

Unter der Eindickung versteht man das Verhältnis von der Salzkonzentration des Kühlkreislaufs zu der des Zusatzwassers.

Für die Eindickung gilt somit:

$$Eindickungszahl = \frac{mg/l\ Salzgehalt\ des\ Kühlwassers}{mg/l\ Salzgehalt\ des\ Kühlturmzusatzwassers}$$

Oder vielleicht etwas vereinfacht auf den Parameter Chlorid bezogen:

$$Eindickungszahl\ = \frac{mg/l\ Chlorid\ im\ Kreislaufwasser}{mg/l\ Chlorid\ im\ Zusatzwasser}$$

Anstelle der Salz- oder Chloridkonzentration kann prinzipiell auch jede andere Substanz, die im Zusatzwasser und auch im Kreislaufwasser enthalten ist, zur Bestimmung der Eindickung herangezogen werden. In der Praxis wird sehr häufig die elektrische Leitfähigkeit genutzt. Sie hat den Vorteil, dass sie, z. B. über ein Leitfähigkeitsmessgerät sehr einfach gemessen werden kann.

$$Eindickungszahl\ = \frac{\mu S/cm\ Leitfähigkeit\ des\ Kreislaufwassers}{\mu S/cm\ Leitfähigkeit\ des\ Zusatzwassers}$$

Da die Eindickung von zentraler Bedeutung für den Kühlturmbetrieb ist, nochmals ein paar Sätze hierzu. Der Grund für viele Probleme (Korrosion, Kalk, Biofilme etc.) liegt darin, dass im Kühlturm laufend eine Eindickung (=Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen) erfolgt, d.h. dass das Kühlkreislaufwasser laufend konzentrierter wird. Im Kühlturm verdunstet nur das reine Wasser, während die im Wasser gelösten Salze im Kreislauf zurückbleiben und der Salzgehalt

somit zunimmt. Ohne Eingriff wird daher nach einer bestimmten Betriebszeit eine Salzmenge entstehen, die nach Erreichen der Löslichkeitsgrenze zur Bildung von Ablagerungen führt.

Beträgt die ursprüngliche Härte z. B. 10 °dH und der Chloridgehalt 200 mg/l und besteht eine Eindickung von 3, so beträgt die Härte im Kühlturmkreislauf theoretisch 30 °dH und der Chloridgehalt 600 mg/l.

Weiter bildet derartig salzangereichertes Wasser den idealen Nährboden für Algen und Bakterien, wobei besonders die üblichen Temperaturen von ca. 20 bis 35 °C ein mikrobiologisches Wachstum, z. B. von Legionellen, fördern. Zusätzlich werden über den Kühlturm laufend Keime und Nahrung für Mikrobiologie aus der Luft eingeschleppt. Weiter kommt es über den Kühlturm oft zur Eintragung von Insekten, Schmutzteilchen, Sand usw. Derartige Verunreinigungen werden allerdings häufig auch aus dem Zusatzwasser eingeschleppt. Eine besondere Korrosionsgefahr ist in einem Kühlkreislauf einerseits durch die erhöhte Salzkonzentration gegeben, andererseits auch durch die Sauerstoffsättigung des Kühlwassers, die durch den Kühlturmbetrieb bedingt ist (ständiger Luftkontakt).

Höhere Eindickung bedeutet einen geringeren Wasserverbrauch im Kühlturm (siehe auch Tabelle unter Punkt 10.6 Eindickung und Wasserverbrauch), bringt aber wie beschrieben ggf. gewichtige Probleme mit sich. Die maximal mögliche bzw. sinnvolle Eindickung ergibt sich aus der Beschaffenheit des Zusatzwassers und den Systemeigenschaften. Aus all diesen Gründen ist die Eindickung des Kreislaufwassers nur bis zu einem gewissen Grad tolerierbar. Um daher zu verhindern, dass die Eindickung im Kühlkreislauf eine gewisse Grenze überschreitet, muss laufend ein Teil des Kreislaufwassers verworfen (Abschlämmung bzw. Absalzung) und neues Zusatzwasser zugeführt werden.

Richtwerte für die Eindickung liegen im Bereich 3-4. 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. Um die optimale Eindickung für einen Kühlturm oder eine Verdunstungskühlanlage zu berechnen, muss z. B. bekannt sein, bis zu welcher Karbonathärte ein Härtestabilisator Härte- bzw. Kalkausfälle verhindern kann. Wir helfen Ihnen gerne bei der Optimierung Ihres Kühlturms bzw. Ihrer Verdunstungskühlanlage.

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

10.3.2 Abschlämmung bzw. Absalzung bei Kühltürmen

Unter Abschlämmung bzw. Absalzung versteht man das Ablassen von Teilen des eingedickten Wassers. Dieses Wasser muss mit neuem „guten“ Wasser ersetzt werden. Damit sinkt in der Summe der Salzgehalt des Kühlturmwassers und damit auch die Korrosionsneigung oder die Tendenz zu Ablagerungen wie z. B. Kalk. Ein Teil des sehr „schlechten“ Wasser wird entsorgt und „besseres“ Wasser dem Kreislauf hinzugeführt. Aus diesem Grund steigt die Wasserqualität in der Summe an.

Die Absalzung wird in der Regel sinnvollerweise über eine Absalzanlage bzw. Absalzautomatik geregelt. Diese regelt die Absalzung („Ablassen“ von eingedicktem Wasser über ein Ventil). Als Regelgröße wird meist die Leitfähigkeit genutzt, die durch die Absalzanlage automatisch in einem sinnvollen Bereich gehalten wird. Soll die Leitfähigkeit im Kreislauf z. B. auf 1.200 µS/cm

begrenzt werden, kümmert sich die leitfähigkeitsgesteuerte Absalzungseinheit um die Messung der Leitfähigkeit und um das bei Überschreiten erforderliche Absalzen. Über eine Füllstandsmessung, z. B. in der Kühlturmtasse oder einem Pufferbecken wird fehlendes Wasser dann entsprechend nachgespeist.

Eine manuelle Absalzung oder zeitgesteuerte Absalzung finden immer weniger Anwendung. Genauigkeit, Personalkosten, Zuverlässigkeit und schlussendlich ein reibungsloser Betrieb sind Argumente für eine automatisierte Absalzung.

10.4 Richtwerte Wasserqualität für Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen

Je nach spezifischen Gegebenheiten, z. B. den Produktionsanforderungen oder den verbauten Werkstoffen, ergeben sich sehr unterschiedliche optimale Wasserparameter für Rückkühlanlagen bzw. Kühltürme. Wohlwissend, dass es sinnvoll ist, diese jeweils anlagenspezifisch zu erheben, möchten wir Ihnen dennoch Richtwerte nennen. Es handelt sich meist um Werte, die keinesfalls überschritten werden sollten. Für einen optimalen Betrieb sind häufig deutlich geringere Werte sinnvoll.

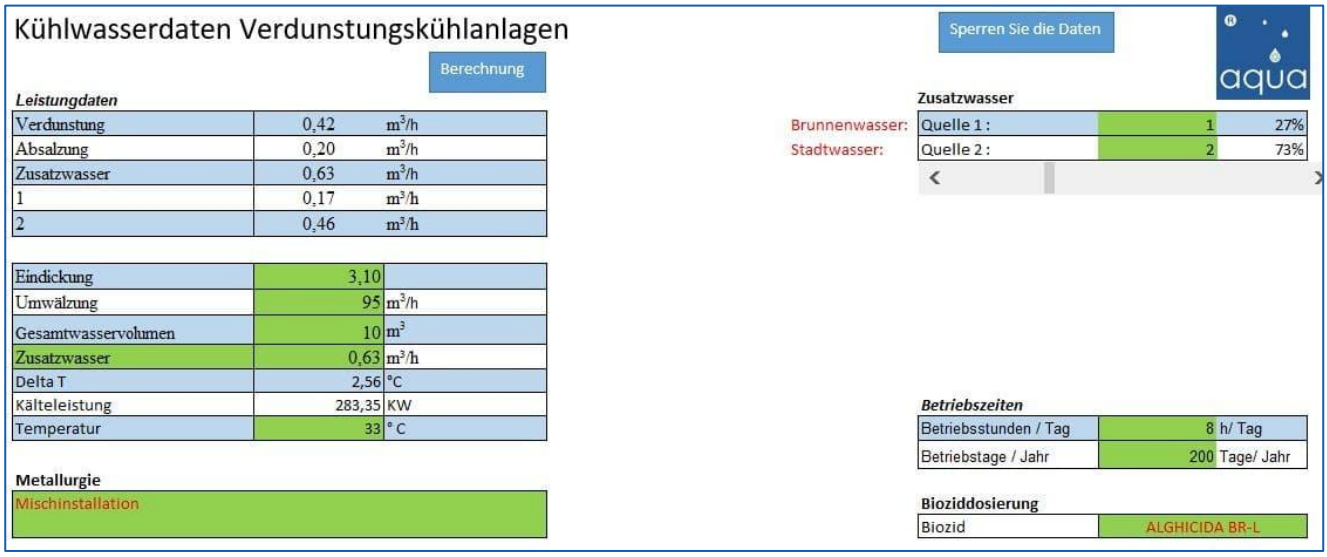
Tabelle: Richtwerte Wasserqualität, teilweise angelehnt an Empfehlungen des VDI:

Parameter:	**Einheit:**	**Richtwerte VDI:**
Aussehen:		**farblos, klar**
pH-Wert:		**7,5 bis 8,5** (wenn keine Aluminiumbauteile mit Wasser in Berührung kommen bis 9,3)
Leitfähigkeit:	µS/cm	**< 3000**
Gesamthärte:	° dH	**< 60** nach Enthärtung: < 20
Karbonathärte:	° dH	**< 4** nach Härtestabilisierung: < 20
Gesamtsalzgehalt:	mg/l	**< 1800**
aggressive Kohlensäure:	mg/l	**0**
Calcium:	mg/l	**> 20**
Eisen:	mg/l	**< 0,1**
Chlorid:	mg/l	**< 250**
Sulfat:	mg/l	**< 600**
Gesamtkeimzahl:	KBE/ml	**<10.000**
Legionellen:	KBE/ml	**<100**
KS 4,3		**< 1,4** nach Härtestabilisierung: < 7

Leider können Sie diese Richtwerte nicht 1:1 für Ihren Kühlturm übernehmen. Die Richtwerte für die Wasserqualität müssen für jeden Kühlturm individuell betrachtet werden. Allein deshalb, da es eine große Abhängigkeit von der Zusatzwasserqualität und den verwendeten chemischen Wasseraufbereitungsprodukten gibt.

Die genannten Richtwerte sind auch nicht in allen Bereich plausibel. Es handelt sich wirklich nur um grobe Orientierungswerte. Jede Verdunstungskühlanlage sollte individuell kalkuliert werden. Geschieht dies nicht, wird bares Geld verschwendet oder schlimmstenfalls die Funktionsfähigkeit über kurz oder lang leiden.

Für optimale Betriebsbedingungen zu den geringsten Kosten ist eine Kalkulation unabdingbar. Auszüge aus einer beispielhaften Kalkulation eines Kühlwasserkreislaufs mit einer Verdunstungskühlanlage ist nachfolgend dargestellt:



Kühlwasserdaten Verdunstungskühlanlagen

Berechnung

Sperren Sie die Daten

aqua

Leistungdaten

Verdunstung	0,42	m³/h
Absalzung	0,20	m³/h
Zusatzwasser	0,63	m³/h
1	0,17	m³/h
2	0,46	m³/h

Eindickung	3,10	
Umwälzung	95	m³/h
Gesamtwasservolumen	10	m³
Zusatzwasser	0,63	m³/h
Delta T	2,56	°C
Kälteleistung	283,35	KW
Temperatur	33	° C

Metallurgie

Mischinstallation

Zusatzwasser

Brunnenwasser:	Quelle 1 :	1	27%
Stadtwasser:	Quelle 2 :	2	73%

Betriebszeiten

Betriebsstunden / Tag	8	h/ Tag
Betriebstage / Jahr	200	Tage/ Jahr

Bioziddosierung

Biozid	ALGHICIDA BR-L

Abbildung 27: Kalkulation eines Kühlwasserkreislaufs mit einer Verdunstungskühlanlage (1)

Wasserqualität

PARAMETER	Einheit	Brunnenwasser (1)	Stadtwasser (2)	Zusatzwasser	Kühlturmwasser
pH-Wert		7,2	7,7	7,6	9,0
KS 4,3	mmol/l	5,5	4,8	5,0	15,5
Karbonathärte	°dH	15,4	13,5	14,0	43,4
Natrium	in mg/l Na	11,1	6,3	7,6	23,5
Kalium	in mg/l K	6,2	5,3	5,5	17,2
Gesamthärte	°dH	25,4	16,3	18,7	58,1
Calcium	mg/l	169,0	64,2	92,5	286,7
Calciumhärte	°dH	23,7	9,0	13,0	40,3
Magnesium	mg/l	7,1	31,4	24,8	77,0
Magnesiumhärte	°dH	1,6	7,3	5,7	17,8
Chlorid	in mg/l Cl	55,0	24,3	32,6	101,0
Sulfat	in mg/l SO_4	132,0	28,3	56,3	174,5
Phosphat	in mg/l PO_4	0,3	1,1	0,9	10,4
Leitfähigkeit	in µS/cm	924,0	591,0	680,9	2110,8
Langelier-Index (LSI)	33°C				2,9
Ryznar index					3,2
Wassertendenz					Kalkausfälle
Halbwertszeit (HTI)	h				34,38

HINWEISE:
! Gefahr Kalkablagerungen !
! Enthärtungsanlage wirtschaftlich !

Zu verwendender Korrosionsinhibitor, Härtestabilisator, Dispergator

SEQUESTRANTE 002 aT	148 g/m³ in Kühlwasser

Notwendige Dosiermenge im Zusatzwasser

SEQUESTRANTE 002 aT	47,7 g/m³

Abbildung 28: Kalkulation eines Kühlwasserkreislaufs mit einer Verdunstungskühlanlage (2)

Situation B (momentane Situation)		
Verdunstung	0,42 m³/h	
Absalzung	0,20 m³/h	
Zusatzwasser	0,63 m³/h	
Quelle 1	0,17 m³/h	
Quelle 2	0,46 m³/h	
Eindickung	3,1	
Langelier index (33°C)	2,9	
Betriebsstunden / Tag	8,0	
Betriebstage / Jahr	200,0	
Dosierung SEQUESTRANTE 002 aT (g/m³)	47,7	
Jahresverbrauch SEQUESTRANTE 002 aT (kg)		
Bioziddosierung (nach Volumen) (g/m³)		
Jahresverbrauch Biozid (kg)		
Dosierung H2SO4 (g/m³)	0,0	
Jahresverbrauch H2SO4 (kg)	0,0	
Jahresverbrauch Wasser (Quelle 1)	270,0 m³	
Jahresverbrauch Wasser (Quelle 2)	730,0 m³	
SEQUESTRANTE 002 aT		Euro/kg
Biozid		Euro/kg
H2SO4		Euro/Kg
Zusatzwasser (Quelle 1)	0,00	Euro/m³
Zusatzwasser (Quelle 2)	2,20	Euro/m³
Antiscale		Euro/year
Biozid		Euro/year
H2SO4	0,00	Euro/year
Zusatzwasser (Quelle 1)	0,00	Euro/year
Zusatzwasser (Quelle 2)	1606,00	Euro/year

Abbildung 29: Kalkulation eines Kühlwasserkreislaufs mit einer Verdunstungskühlanlag (3)

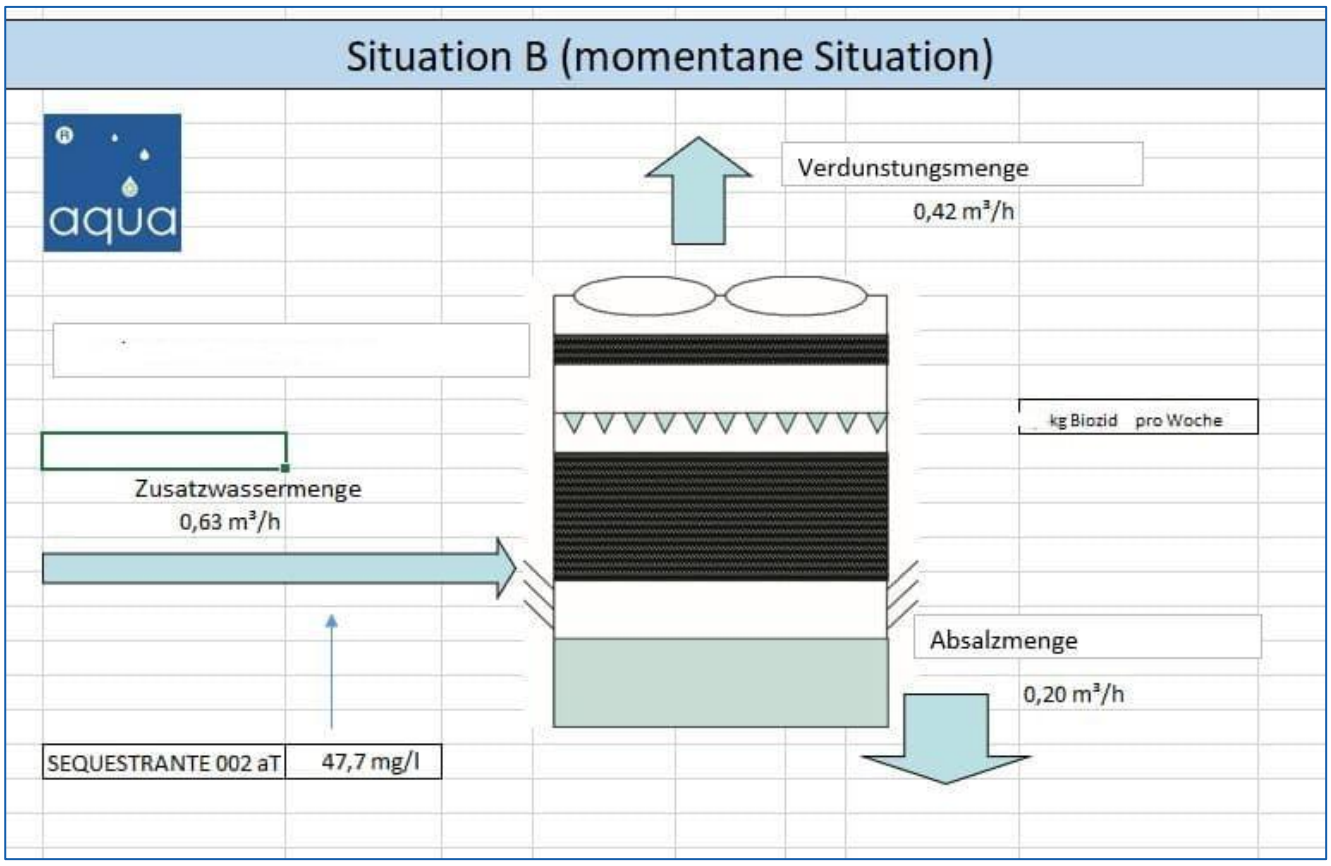


Abbildung 30: Kalkulation eines Kühlwasserkreislaufs mit einer Verdunstungskühlanlage (4)

10.5 Wasseranalysen und wichtige Wasserparameter für Kühltürme und Verdunstungskühlanlagen

Wasseranalysen sind für Sie äußerst unverständlich? Wir versuchen, so gut es geht, wirklich nur das Allerwichtigste in einfachen Worten zu erklären. Natürlich führt dies dazu, dass aus chemischer Sicht nicht alles vollständig korrekt wiedergegeben werden kann.

Im ersten Schritt ist es wichtig, dass Ihr Labor bzw. Ihre Wasseraufbereitungsfirma mithilfe einer Wasseranalyse Grenz- bzw. Richtwerte für Ihren Kühlturm definiert. Nur so haben Sie die Möglichkeit, Abweichungen auf den ersten Blick zu erkennen, wenn Sie Ihr Kühlwasser analysieren lassen. Weiterhin sollte zwingend die Zusatzwasserqualität bekannt sein. Ist z. B. eine Enthärtungsanlage vorhanden, die das Zusatzwasser teilenthärtet, sollte auch die Härte nach dieser Enthärtungsanlage gemessen werden.

Die wichtigsten Wasserparameter für Kühltürme und deren Bedeutung:

Elektrische Leitfähigkeit

Meist verwendete Einheit: µs/cm

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß ist für die Menge an gelösten Salzen und lässt somit Rückschlüsse auf die Wasserbeschaffenheit zu. Allein durch die Leitfähigkeit ist Ihnen jedoch nicht bekannt, welche Inhaltsstoffe im Wasser vorhanden sind. Eine zu hohe Leitfähigkeit fördert u. a. Korrosion. Faustregel: Viel Salz => hohe Leitfähigkeit => höhere Korrosion.

Ihnen sollte die maximale Leitfähigkeit Ihres Kühlturmwassers bekannt sein. Diese sollte nicht überschritten werden. Sie können die Leitfähigkeit mit dem angezeigten Wert auf Ihrer Absalzautomatik vergleichen. Bestehen hier große Abweichungen, könnte es z. B. sein, dass der Leitfähigkeitssensor der Absalzanlage verschmutzt ist und eine Reinigung benötigt.

pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Menge an Säuren bzw. Basen im Wasser. Die Skala reicht von 0-14. Wasser mit einem pH-Wert um 7 ist neutral. Umso niedriger der pH-Wert, desto „saurer" ist das Wasser und umso höher der pH-Wert, desto alkalischer ist das Wasser. Der Wert ist wichtig für den Korrosionsschutz. Aber auch das Entstehen von Ablagerungen wie Kalk oder die Wirksamkeit von Bioziden werden durch den pH-Wert beeinflusst. Kühlwasser sollte, je nach verbauten Werkstoffen, grob im Bereich von 8,0-9,3 liegen. Wenn Aluminium oder verzinkte Bauteile im Kühlkreislauf vorhanden sind, sollte der PH-Wert zum Korrosionsschutz des Aluminiums und des Zinks auf maximal 8,5 begrenzt werden.

Chlorid

Einheit: mg/l

Einen wesentlichen Einfluss auf das Korrosionsverhalten von Wasser üben die Chloride aus. Sie wirken bei vielen Metallen, einschließlich Edelstahl, korrosiv und erzeugen Lochfraß. Je höher die Temperatur, desto stärker ist die korrosive Wirkung. Je niedriger der Wert, desto besser. Bei Kühltürmen werden hohe Chloridwerte häufig durch falsche Dosierungen von chloridbildenden Bioziden, z. B. Chlorbleichlauge, hervorgerufen.

Sulfat

Einheit: mg/l

Sulfat fördert ebenfalls, wie die Chloride, Korrosion auf metallischen Werkstoffen, wenn auch nicht ganz so stark. Je niedriger der Wert, umso besser.

Eisen/Kupfer/Zink etc.

Je nach verbauten Werkstoffen macht es Sinn, bestimmte Metallionen im Wasser zu messen. Dadurch sehen Sie, wie stark Ihr Kühlturm bzw. Ihr Kühlwasser von Korrosion betroffen ist.

Calcium bzw. Calciumhärte

Meist verwendete Einheit: mg/l

Mit der Calciumhärte wird die Menge an Calcium im Wasser gemessen. Viel Calcium kann zu Verkalkung führen (Calciumkarbonat). Da die Härte im Wesentlichen aus Calcium und Magnesium besteht, ist die Calciumhärte geringer als die Gesamtwasserhärte.

Im Kühlturmwasser sollten idealerweise mindestens 20-40 mg/l Calcium enthalten sein. Dies entspricht einer Calciumhärte von 2,8 – 5,6 °dH. Bei zu wenig Calciumgehalt neigt das Wasser eher zu Korrosion.

Gesamthärte (Wasserhärte)

Einheit: °dH oder mmol/l

Die Härte des Wassers ist die Summe von Calcium- und Magnesiumionen. Strontium- und Barium, das in Spuren vorhanden sein kann, ist zu vernachlässigen. Vereinfacht gesagt, setzt sich die Wasserhärte aus der Calcium- und Magnesiumhärte zusammen. Eine zu hohe Härte ist meist negativ, da sie Ablagerungen bzw. Verkalkungen (Calciumkarbonat) fördert. Eine zu geringe Härte ist negativ, da dadurch die korrosive Tendenz des Wassers steigt.

Eine Gesamthärte von gut 6 °dH im Kühlturmwasser hat sich als Mindestwert etabliert.

Karbonathärte

Meist verwendete Einheit: °dH

Jetzt wird es kompliziert. Vereinfacht gesagt, ist die Karbonathärte die Summe an Calcium und Magnesium, die zusammen mit Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}) und Hydrogenkarbonat-Ionen (HCO_3^-) im Wasser gelöst sind. Sie ist ein Teil der Gesamthärte. Bei deutschem Trinkwasser ist der Anteil der Karbonathärte an der Gesamthärte meist ca. 60-80 %. Die Karbonathärte wird auch temporäre Härte genannt, weil es sich dabei um den Anteil an der Gesamthärte handelt, der durch Kochen des Wassers ausgeschieden wird. Grob gesagt, ist es der Anteil an der Gesamthärte, der in Ihrem Kühlturm als Kalk ausfallen kann. Je weniger Karbonathärte Ihr Wasser enthält, desto geringer ist also die Gefahr von Kalkausfällen.

Eindickung bzw. Eindickungszahl

Die Eindickung ist das Verhältnis der Wasserinhaltsstoffe des Kühlwassers zu den Wasserinhaltsstoffen des Zusatzwassers. Wird ein Kühlturm z. B. Zusatzwasser mit 300 µS/cm Leitfähigkeit gespeist und beträgt die Leitfähigkeit im Kühlturmwasser 1.200 µS/cm, liegt die

Eindickungszahl bei 4. Beträgt die Leitfähigkeit im Kühlwasser 900 µS/cm, dann liegt die Eindickung bei 3.

Bei einer Eindickung von 3 sollten alle Wasserparameter (z. B. Gesamthärte, Chlorid, Sulfat) im Kühlturmwasser theoretisch 3x so hoch sein wie im Zusatzwasser. Sollte der Chloridwert im Zusatzwasser z. B. 25 mg/l betragen und Sie haben eine Eindickung von 3, sollte im Kühlturm ein Chloridwert von 75 mg/l vorliegen. Bei chloridbildenden Bioziden liegt dieser jedoch höher.

Die Eindickung wird meist mit den Parametern Leitfähigkeit, Chlorid oder Sulfat berechnet. Alle Parameter haben ihre Tücken. Die Leitfähigkeit im Kühlwasser kann z. B. sinken, wenn Kalk ausfällt. Sie kann durch chemische Wasseraufbereitungschemikalien oder Korrosion steigen. Chlorid kann sich zusätzlich erhöhen, wenn Sie ein chloridbildendes Biozid dosieren. Sulfat kann durch Sulfatausfälle abweichen, was jedoch nur sehr wenig Relevanz in der Praxis hat. Ein klares Bild ergibt sich meist nur, wenn mehrere Wasserparameter für die Eindickungszahl verwendet werden und die zugegebenen Wasseraufbereitungsprodukte bekannt sind. Erfahrene Wasseraufbereitungsunternehmen können hieraus die richtigen Schlüsse ziehen. Wir unterstützen Sie gerne.

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

10.6 Verhältnis zwischen Eindickung und Wasserverbrauch bei Kühltürmen und Verdunstungskühlanlagen

Bei nicht wenigen Unternehmen, insbesondere wenn sie Stadtwasser nutzen, wird versucht, durch eine höhere Eindickung die Wasserkosten und den Wasserverbrauch im Kühlturm zu senken. Die vielerorts vorliegende Vermutung, dass durch eine Verdoppelung der Eindickungszahl die Wasserkosten um die Hälfte reduziert werden, ist schlichtweg falsch.

Beispiel:
Um einem Kühlkreislauf die Wärmemenge von 650 kWh zu entziehen, wird 1 m³ Wasser verdunstet. Sehen wir jetzt dazu folgende Tabelle an:

	Eindickungszahl					
	1,1	1,5	2,0	4,0	10,0	20,0
Verdunstungswassermenge	1 m³	1 m³	1 m³	1 m³	1 m³	1 m³
Absalzmenge	10,0 m³	2,0 m³	1,0 m³	0,33 m³	0,11 m³	0,05 m³
Gesamtverbrauch	11,0 m³	3,0 m³	2,0 m³	1,33 m³	1,11 m³	1,05 m³
Wasserkosten je m³ (fiktiv)	3 €	3 €	3 €	3 €	3 €	3 €
Wasserkosten für 650 kWh	33 €	9 €	6 €	3,99 €	3,33 €	3,15 €

Was erkennen wir?

- Die Verdunstungswassermenge bleibt natürlich unabhängig von der Eindickung immer gleich.
- Die Wasserersparnis bei höherer Eindickung resultiert aus geringeren Wassermengen, die abgesalzt bzw. abgeschlämmt werden müssen
- Zwischen einer Eindickung von 1,1 und 1,5 sind die Ersparnisse gewaltig!
- Auch bis zu einer Eindickung von 4 sind die Ersparnisse signifikant!
- Ab einer Eindickung von 4 sind die Ersparnisse jedoch sehr gering!
- Zwischen einer Eindickung von 10 und 20 besteht kaum ein Unterschied!

Fazit: Ein Kühlkreislauf sollte auf keinen Fall mit einer Eindickung von 10 oder 20 gefahren werden. Die Ersparnisse bei Wasserkosten bzw. Wasserverbrauch im Kühlturm stehen in keinem Verhältnis zu den negativen Auswirkungen hinsichtlich Korrosion, Ablagerungen und Biologie.

10.7 Optimale Betriebsbedingungen für Kühltürme

Die Beschaffenheit sowie die chemischen, mineralischen und mikrobiologischen Bestandteile des Kühlwassers haben erheblichen Einfluss auf folgende Eigenschaften des Kühlturms:

- Effizienz
- Leistung (Wärmeübertragung)
- Frostschutz
- Korrosionsschutz
- Lebensdauer
- Sicherheit
- Gesundheitsschutz
- Umweltschutz
- Haftungsrisiken des Betreibers

Um optimale Betriebsbedingungen zu erreichen und die zuvor genannten Eigenschaften auf hohem Niveau zu halten, sind technische und organisatorische Maßnahmen festzulegen. Folgende Maßnahmen entsprechen dem allgemeinen Stand der Technik und sollten als Mindeststandard durchgeführt werden:

- Regelmäßige Wasseranalysen durchführen und bewerten
- Regelmäßige Kontrolle und Bewertung des Kühlwassers bezüglich mikrobiologischen Zustands und Keimwachstums
- Planung und Installation bzw. Durchführung einer für das örtliche System geeigneten Wasserbehandlung
- Regelmäßige Absalzung

11. Praxisausflug – Unsere täglichen Herausforderungen rund um die Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung

Bei Industrieunternehmen gibt es viele unterschiedliche Anforderungen und Ziele rund um Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen, Brauch-, Prozess- und Kühlwasserkreisläufe. Eine kleine Sammlung kleiner und großer Herausforderungen aus unserer täglichen Praxis rund um die Kühl-, Brauch- und Prozesswasseraufbereitung sehen Sie hier:

- Biozide wirken nicht
- Korrosionsinhibitoren / Korrosionsschutzmittel wirken nicht
- Ablagerungen, z. B. Kalk, soll verhindert werden
- Dichtungen werden regelmäßig undicht
- Maschine bzw. Kühlanlage schaltet aufgrund von Druckverlusten ab
- Eisen- und/oder Manganablagerungen, speziell bei Nutzung von Brunnenwasser
- Die Energiekosten des kompletten Prozesswassersystems sollen gesenkt werden
- Die Maschinenverfügbarkeit soll gesteigert werden
- Hergestellte Endprodukte sind nach Wasserkontakt verschmutzt
- Der Gesundheitsschutz für Mitarbeiter soll erhöht werden
- Haftungsrisiken speziell wegen Legionellen sollen reduziert werden
- Reparatur- und Wartungskosten des Kühlsystems sollen gesenkt werden
- Der Wasserverbrauch des Kühlsystems soll reduziert werden
- Filter, bevorzugt Vorfilter an Maschinen oder Kühlwasserfilter verstopfen ständig
- Die Geschäftsleitung bzw. der Einkauf wünscht eine Kostenreduzierung bei Chemie für Prozess-, Brauch- und Kühlwassersysteme
- Zur Erhöhung der Produktionssicherheit soll die Wasserqualität des Prozesswassers regelmäßig kontrolliert werden
- Es wird ein Dienstleister zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung (im Sinne der VDI 2047 Blatt 2 oder 42. BImSchV) gesucht
- Verstopfte, kleine Kühlkanäle bei Produktionsmaschinen sorgen für Produktionsausfälle
- Die allgemeine Anlagenlebensdauer der Kühlsysteme soll erhöht werden
- Die Kühlleistung ist saisonal zu gering (z. B. im Sommer)
- Es werden Produkte für interne Überprüfungen der Wasserqualität benötigt (z. B. Dipslides zur Kontrolle der allgemeinen Koloniezahlen, pH-Messgeräte, Leitfähigkeitsmessgeräte, Sensoren etc.)
- Das komplette Kühlsystem, der Kühlturm, die Verdunstungskühlanlage, Wärmetauscher, Temperiergeräte etc. sollen entkalkt und/oder gereinigt werden
- Differenzdruck von Wärmetauschern ist angestiegen und Leistungsverlust droht
- Durch Leckagen in Plattenwärmetauschern findet ein Wasseraustausch zwischen 2 Kreisläufen statt
- Korrosionsrückstände sammeln sich in Filtern
- Das Kühlwasser hat sich verfärbt bzw. hat sich eingetrübt
- Öl ist ins Wasser gelangt und soll beseitigt werden
- Es soll eine Fachfirma mit der Betreuung und Wartung von Anlagen zur Wasseraufbereitung beauftragt werden

- Bereits installierte Wasseraufbereitungsanlagen, z. B. Enthärtungsanlagen, funktionieren nicht (mehr) richtig
- Schwarze Ablagerungen finden sich im Kühl-, Prozess- oder Brauchwasser
- Weiße Ablagerungen finden sich im Kühl-, Prozess- oder Brauchwasser
- Hohe Korrosion / Rost speziell von verzinkten Bauteilen
- Hohe Korrosion / Rost speziell an Buntmetallen, z. B. Kupfer
- Aluminiumbauteile korrodieren bzw. rosten
- Hohe Korrosion / Rost von Stahl bzw. Eisen
- Das Kühlwasser ist braun
- Eine Sachverständigenprüfung im Sinne der 42. BImSchV soll beauftragt werden

Sie haben ähnliche Herausforderungen?

- Fragen Sie uns: https://aqua-technik-gmbh.de/kontaktformular/

Abbildung 301: Mitarbeiter der aqua-Technik Beratungs GmbH bei der Kühlturmreinigung und Instandsetzung

Abbildung 32: Mitarbeiter der aqua-Technik Beratungs GmbH entnimmt Kühlwasserprobe

12. Special 42. BImSchV – Legionellen in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheidern

Legionellen sind seit jeher ein von Unternehmen häufig unterschätztes Thema, obwohl schätzungsweise 30.000 Infektionen mit Legionellen bis zu 3.000 Todesopfer jährlich in Deutschland fordern. Wir möchten Ihnen die wichtigsten Fragen zum Thema Legionellen und 42. BImSchV beantworten.

Was ist überhaupt die 42. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung)?

Eine Verordnung der Bundesregierung, die seit dem 19.08.2017 in Kraft ist. Dieses Gesetz wurde primär zum Schutz vor Legionellen erlassen und schafft erstmals rechtlich verbindliche Regelungen, um Infektionen durch Legionellen aus Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheidern zu reduzieren.

Was sind überhaupt Legionellen?

Legionellen sind Wasserbakterien, die u. a. die lebensbedrohliche Legionärskrankheit (schwerer Infekt der Lunge) auslösen können. Legionellen leben nur im Wasser. Eine Infektion findet nur durch Einatmen von Legionellen, z. B. durch Aerosole im Wasserdampf statt. Eine Ansteckung durch Trinken von mit Legionellen verunreinigtem Wasser ist nach dem aktuellen Kenntnisstand nicht möglich. Bis zu 10 % der Infektionen mit Legionellen enden tödlich.

Welche Unternehmen sind von den gesetzlichen Pflichten der 42. BImSchV betroffen?

Unternehmen, die einen Kühlturm, eine Verdunstungskühlanlage oder einen Nassabscheider betreiben. Wenige Ausnahmen je nach Art und Betrieb der Anlage sind möglich. Die Ausnahmen finden Sie unter dem § 1 der 42. BImSchV.

Welche Folgen entstehen bei Missachtung der 42. BImSchV bzw. der relevanten Pflichten?

Achtung: Von Bußgeldern wegen Ordnungswidrigkeiten über die Haftungspflicht der Geschäftsführung bis hin zur Unternehmensstilllegung ist alles möglich. Die Behörden gehen immer strenger gegen Vergehen vor.

Welche Pflichten sind aufgrund der 42 BImSchV beispielsweise zu erfüllen?

Als betroffener Betreiber mit einem unter die BImSchV fallenden Kühlturm, einer Verdunstungskühlanlage oder einem Nassabscheider müssen Sie unter anderem…

- regelmäßig, mindestens zweiwöchentlich betriebsinterne Überprüfungen chemischer, physikalischer oder mikrobiologischer Kenngrößen des Nutzwassers durchführen. Die

Bestimmung der Gesamtkeimzahl (mit Dipslides) ist als Kontrollparameter für die Mikrobiologie zu empfehlen und hat sich als interne Kontrolle bewährt

- regelmäßig, mindestens alle drei Monate von einem sogenannten akkreditierten Labor Laboruntersuchungen des Nutzwassers auf die Parameter „allgemeine Koloniezahl“ und „Legionellen“ durchführen lassen ein Betriebstagebuch führen und die Ergebnisse der betriebsinternen Überprüfungen und der Laboruntersuchungen jeweils nach deren Vorliegen unverzüglich darin dokumentieren (den Pflichtinhalt des Betriebstagebuchs können Sie unter Anlage 4 der 42. BImSchV nachlesen)
- alle fünf Jahre von einem öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen oder
- einer akkreditierten Inspektionsstelle Typ A eine Überprüfung des ordnungsgemäßen
- Anlagenbetriebs durchführen zu lassen (siehe § 14 der 42. BImSchV)
- in bestimmten Fällen behördliche Melde- und Informationspflichten erfüllen

Hinweis: Ein Muster bzw. eine Vorlage eines Betriebstagebuchs stellt Ihnen die aqua-Technik Beratungs GmbH kostenlos zur Verfügung. Ein Muster zur Ansicht finden Sie in am Ende dieses Ratgebers.

Wer kann mir bei der Erfüllung der Pflichten helfen?

Die Wasserprobeentnahme muss durch eine „hygienisch fachkundige Person“ und die Laboruntersuchung durch ein „akkreditiertes Labor“ durchgeführt werden. Bitte sprechen Sie uns bei Bedarf einfach an – die aqua-Technik Beratungs GmbH berät Sie umfassend zur neuen Rechtslage und erklärt Ihnen, wie die Pflichten unbürokratisch erfüllt werden können.

12.1 Prüf- und Maßnahmenwerte der 42. BImSchV für Legionellen in Kühltürmen, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider

Im Rahmen der 42. BImSchV hat der Gesetzgeber verbindliche Prüf- und Maßnahmenwerte für Legionellen definiert. Diese sind einzuhalten. Sie sehen die Werte in folgender Tabelle:

Legionellen:	**Prüfwert 1** KBE* je 100ml	**Prüfwert 2** KBE* je 100ml	**Maßnahmenwert** KBE* je 100ml
Verdunstungskühlanlagen	100	1.000	10.000
Nassabscheider	100	1.000	10.000
Kühltürme	500	5.000	50.000

*Koloniebildende Einheiten

Wichtiger Hinweis: Als Kühltürme im Sinne des Gesetzes und der dargestellten Grenzwerte gelten Anlagen, bei denen durch Verdunstung von Wasser Wärme an die Umgebungsluft abgeführt wird, insbesondere bestehend aus einer Verrieselungs- oder Verregnungseinrichtung für Kühlwasser und einem Wärmeübertrager, in der die Luft im Wesentlichen durch den natürlichen Zug, der im Kaminbauwerk des Kühlturms erzeugt wird, durch den Kühlturm gefördert wird und einer Kühlleistung von mehr als **200 Megawatt** je Luftaustritt einschließlich der Nassabscheider, deren gereinigte Rauchgase über den Kühlturm abgeleitet werden; der Einsatz drückend angeordneter Ventilatoren zur Unterstützung der Luftzufuhr ist unschädlich, soweit diese das Charakteristikum des Kühlturms nur unwesentlich beeinflussen;

Die allermeisten Anlagen fallen somit unter die Kategorie Verdunstungskühlanlagen, für die geringere Grenzwerte als für Kühltürme gelten. In der Praxis ist meist jedoch pauschal, unabhängig von der Leistung, von Kühltürmen die Rede.

Folgen bei Überschreiten der Prüfwerte für Legionellen

Wird bei einer Laboruntersuchung eine Überschreitung der Prüfwerte 1 (100 KBE) oder 2 (1.000 KBE) festgestellt, hat der Betreiber unverzüglich eine zusätzliche Laboruntersuchung auf den Parameter Legionellen durchführen zu lassen.

=> Prüfwert 1 bei Folgeuntersuchung erneut überschritten:

Der Betreiber hat unverzüglich

1. Untersuchungen zur Aufklärung der Ursachen durchzuführen,
2. die erforderlichen Maßnahmen für einen ordnungsgemäßen Betrieb zu ergreifen,
3. betriebsinterne Überprüfungen wöchentlich durchzuführen und
4. Laboruntersuchungen auf die Parameter „allgemeine Koloniezahl“ und „Legionellen“ monatlich durchführen zu lassen.
5.

=> Prüfwert 2 bei Folgeuntersuchung wieder überschritten:

Der Betreiber hat unverzüglich

1. die Pflichten gemäß Überschreitung Prüfwert 1 (siehe oben) zu erfüllen und
2. technische Maßnahmen nach dem Stand der Technik, insbesondere Sofortmaßnahmen zur Verminderung der mikrobiellen Belastung, zu ergreifen, um die Legionellenkonzentration im Nutzwasser unter den Prüfwert 2 zu reduzieren.

Es ist jeweils darauf zu achten, dass Eintragungen in das Betriebstagebuch verbindlich durchzuführen sind.

Bei Überschreiten des Maßnahmenwerts sind noch weitere Verpflichtungen zu erfüllen: unter anderem Gefahrenabwehrmaßnahmen, insbesondere zur Vermeidung der Freisetzung mikroorganismenhaltiger Aerosole.

12.2 Laboruntersuchung - Überwachung und Maßnahmen bei Anstieg der allgemeinen Koloniezahl

Neben dem Parameter Legionellen hat ein Betreiber eines Kühlturms, einer Verdunstungskühlanlage oder eines Nassabscheiders ebenfalls Laboruntersuchungen hinsichtlich der allgemeinen Koloniezahl (Gesamtkeimzahl) durchführen zu lassen. Diese werden in der Regel zusammen mit der Legionellenuntersuchung von einem akkreditierten Labor durchgeführt.

Es gibt hier keine fixen gesetzlichen Grenzwerte, da je nach Anlage sehr unterschiedliche Gesamtkeimzahlen als typischer Betriebszustand gelten. Es ist vielmehr ein Referenzwert für die Anlagen zu bestimmen. Bei bestehenden Anlagen, für die bei Inkrafttreten der 42. BImSchV noch kein Referenzwert bestimmt wurde, kann der Referenzwert aus den ersten sechs Laboruntersuchungen nach dem 19. August 2017 bestimmt werden. Bis zur Bestimmung des Referenzwertes ist die bei der ersten Untersuchung ermittelte Konzentration der allgemeinen Koloniezahl, jedoch nicht mehr als 10 000 KBE/ml, als Referenzwert heranzuziehen.

Ist aufgrund einer Laboruntersuchung ein Anstieg der Konzentration der allgemeinen Koloniezahl um den Faktor 100 oder mehr gegenüber dem Referenzwert festzustellen, hat der Betreiber unverzüglich

1. Untersuchungen zur Aufklärung der Ursachen durchzuführen und
2. die erforderlichen Maßnahmen für einen ordnungsgemäßen Betrieb, insbesondere Sofortmaßnahmen zur Verminderung der mikrobiellen Belastung, zu ergreifen.

Der Betreiber hat die ermittelten Ursachen und die gegebenenfalls ergriffenen Maßnahmen jeweils nach deren Durchführung unverzüglich im Betriebstagebuch zu dokumentieren.

In der Praxis sollte natürlich nicht erst bei einem Überschreiten um das 100-fache reagiert werden. Die Suche nach den Ursachen sollte zeitnah beginnen.

12.3 Pflicht zur Überprüfung der Anlagen

Der Betreiber hat nach der Inbetriebnahme regelmäßig alle fünf Jahre von

1. einem öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen oder
2. einer akkreditierten Inspektionsstelle Typ A

eine Überprüfung des ordnungsgemäßen Anlagenbetriebs durchführen zu lassen. Für bestehende Anlagen ist die erste Überprüfung bis zu den nachstehenden Daten fällig:

für Anlagen, die in Betrieb gegangen sind vor dem	**erste Überprüfung bis zum**
19. August 2011	19. August 2019
19. August 2013	19. August 2020
19. August 2015	19. August 2021
19. August 2017	19. August 2022

12.4 Muster und Vorlage für ein Betriebstagebuch gemäß 42. BImSchV für Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider

Das Führen eines Betriebstagebuchs ist Pflicht. Die Dokumentationen sollten speziell aus Gründen der eigenen Nachvollziehbarkeit und Haftung mit einer gewissen Sorgfalt gemacht werden. Ein Auszug aus einem Musterbetriebstagebuch ist nachfolgend dargestellt. Die aqua-Technik Beratungs GmbH stellt Ihnen auf Anfrage gerne das vollständige Muster bzw. eine Vorlage eines Betriebstagebuchs zur Verfügung. Wahlweise in Papierform oder im Excelformat. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um eine Vorlage für ein Betriebstagebuch zur Einhaltung der Pflichten der 42. BImSchV handelt. Im Rahmen anderer Gesetze können erweiterte Anforderungen möglich sein.

aqua-Technik
Beratungs
GmbH

Betriebstagebuch

(Vorlage zur Einhaltung der 42. BImSchV -
42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)

Übersicht der Pflichten gemäß 42. BImSchV:

HINWEIS: Bitte beachten Sie in Ihrem eigenen Interesse die 42. BImSchV. Rechtsfolgen: Ordnungswidrigkeiten bis zur persönlichen Haftung im Schadensfall!

- **Allgemeine Anforderungen:** Anlagen sind so auszurichten, zu errichten und zu betreiben, dass Verunreinigungen des Nutzwassers durch Mikroorganismen, insbesondere Legionellen, nach dem Stand der Technik vermieden werden
- **Betriebstagebuch führen:** Aufbewahrungsfrist 5 Jahre
- **Betriebsinterne Überprüfungen:** Zweiwöchentliche chemische, physikalische oder mikrobiologische Kenngrößen des Nutzwassers (Dip-Slides)
- **Laboruntersuchungen:** Alle drei Monate Laboruntersuchungen des Nutzwassers auf die Parameter allgemeine Koloniezahl und Legionellen (hygienisch fachkundiger Probenehmer und akkreditiertes Labor)

Art der Anlage	Prüfwert 1	Prüfwert 2	Maßnahmenwert
	Legionellenkonzentration [KBE Legionella spp. Je 100 ml]		
Verdunstungskühlanlage	100	1.000	10.000
Nassabscheider	100	1.000	10.000
Kühltürme	500	5.000	50.000

Achtung: Die meisten Unternehmen betreiben Verdunstungskühlanlagen. Kühltürme sind per gesetzlicher Definition nur Anlagen ab 200 MW!

- **Gefährdungsbeurteilung:** Vor Inbetriebnahme bzw. Wiederinbetriebnahme durch hygienisch fachkundige Person
- **Überprüfung ordnungsgemäßer Anlagenbetrieb:** Alle 5 Jahre (vereidigter Sachverständiger oder akkreditierte Inspektionsstelle Typ A)

für Anlagen die in Betrieb gegangen sind vor dem…	erste Überprüfung zum…
19. August 2011	19. August 2019
19. August 2013	19. August 2020
19. August 2015	19. August 2021
19. August 2017	19. August 2022

- **Behördliche Melde- und Informationspflichten:** In bestimmten Fällen, z. B. Überschreitung der Maßnahmenwerte
- **Behördliche Anzeigepflichten:** Ab 19.07.2018 (!) sind Bestands- und Neuanlagen an die zuständige Behörde zu melden

aqua-Technik
Beratungs
GmbH

Betriebstagebuch

(Vorlage zur Einhaltung der 42. BImSchV -
42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)

Allgemeine Angaben

Anlagen-ID: _____

Standort der Anlage
Geokoordinaten: _____ Adresse der Anlage: _____

Anlagenbetreiber: _____

Ansprechpartner: _____

Kontaktdaten: _____

Art der Anlage: O Verdunstungskühlanlage O Kühlturm O Nassabscheider

Erstmalige Inbetriebnahme: _____

Datum der Stilllegung: _____

Was muss/sollte im folgenden Betriebstagebuch dokumentiert werden?

- Grundsätzlich alles, was in Zusammenhang mit der Anlage relevant ist

Beispiele:

- ✓ Ergebnisse betriebsinterner Überprüfungen (z. B. chemische, mikrobiologische und physikalische Kennzahlen)
- ✓ Zustandsänderungen der Anlage (z. B. Entleerung und Wiederbefüllung des Kreislaufes, bauliche Änderungen, Änderungen der Betriebsart)
- ✓ Probenahmen für Laboruntersuchungen (z. B. Stelle der Probenahme, Datum, Zeit, Probenehmer)
- ✓ Ergebnisse von Laboruntersuchungen, insbesondere Überschreitungen von Prüf- und Maßnahmenwerten und anschließenden Maßnahmen (Laborbericht beifügen)
- ✓ Angaben zur Biozidzugabe (Zeitpunkt, Menge und Art des Biozids)
- ✓ Gefährdungsbeurteilungen (Bericht beifügen)
- ✓ Erfolgte Meldungen an Behörden
- ✓ Änderungen bei zuständigen Mitarbeitern
- ✓ Einweisung / Schulungen von Personal
- ✓ Erfolgte Reparatur- und Wartungsarbeiten
- ✓ Änderungen hinsichtlich Wasserkonditionierung / -aufbereitung
- ✓ Besondere Vorkommnisse / Vorfälle

aqua-Technik
Beratungs
GmbH

Betriebstagebuch

(Vorlage zur Einhaltung der 42. BImSchV -
42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)

Beispiel - Checkliste für regelmäßige Inspektionen gemäß VDI 2047 Blatt 2 (orientierend):

Prüfungen auf:	Bauteile/Komponenten	Maßnahmen	Intervall:		
			1 Monat	3 Monate	12 Monate
Funktion	Mess- und Regelorgane	Instandsetzen	✓		
	Abflutung / Absalzung / Abschlämmung		✓		
	Pumpen		✓		
	Filter		✓		
Mineralische Ablagerungen Schmutz- und Schlamm-ablagerungen Biofilm (biologische Ablagerungen)	Mess- und Regelorgane	weitergehende Untersuchungen, ggf. mikrobiologische Bestimmung Entfernen der Ablagerungen		✓	
	Wärmeüberträger			✓	
	Filter			✓	
	Füllkörper			✓	
	Sprühdüsen			✓	
	Tropfenabscheider			✓	
	Rohrleistungen			✓	
	Kühlturmtassen			✓	
Beschädigung / Korrosion	alle Komponenten	Instandsetzen			✓

Empfehlung Kühlwassercontrolling aqua-Technik Beratungs GmbH (orientierend):

Parameter:	14 Tage	1 Monat	3 Monate
Legionella spp.			✓[2]
Allgemeine Koloniezahl	✓[1]		✓[2]
Pseudomonas aeruginosa			✓[3]
Elektrische Leitfähigkeit		✓	
pH-Wert		✓	
Gesamthärte			✓
Chlorid			✓
Sulfat			✓
Säurekapazität (Ks4,3)			✓

[1] Betriebsintern, [2] Pflicht (42. BImSchV), [3] Dringend Empfohlen (Arbeitsschutzgesetz)
Hinweis: Je nach Anlage können weitere Parameter empfohlen sein!

aqua-Technik
Beratungs
GmbH

Betriebstagebuch

(Vorlage zur Einhaltung der 42. BImSchV - 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)

Datum	**Art des Eintrags** z. B. Laborwerte, Wartung	**Beschreibung / Erläuterung**	**Ergebnis / Folgen** z. B. Ok, Defekt, Wartung	**Unterschrift**	**Name leserlich**

13. Die spannende Frage zum Schluss oder das Fazit

Bei rund 90 % aller Kühltürme, Verdunstungskühlanlagen oder jeglichen Brauch-, Prozess- und Kühlwasserbehandlungen gibt es Optimierungsbedarf und Verbesserungspotenzial.
Ja, wissen wir. Sie vermuten dies vielleicht auch.

Und jetzt die spannenden Fragen:

- Gehört Ihre Anlage vielleicht auch dazu?
- Möchten Sie prüfen lassen, ob Optimierungen möglich sind?
- Von uns?

Wir helfen. Gerne.

Ihre aqua-Technik Beratungs GmbH

aqua-Technik Beratungs GmbH
- Wasseraufbereitung für Unternehmen –

Ansbacher Str. 8
D-91126 Schwabach

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

E-Mail: service@aquabest.de

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