

Wirtschaftliche Betriebsweise offener Kühlkreisläufe

EINSPARPOTENTIALE NUTZEN | Durch eine möglichst hohe Eindickung des Kühlwassers kann der Wasserbedarf in offenen Kühlkreisläufen deutlich minimiert werden. Hierzu sind individuell auf die Kreislaufwasserbeschaffenheit abgestimmte Konzepte erforderlich. Durch solche Optimierungsmaßnahmen sind Einsparpotenziale, sowohl bei der Energie als auch bei der benötigten Wassermenge, zumeist ohne hohen Aufwand möglich. Ein belag- und störungsfreies System ist gleichzeitig Voraussetzung für einen hygienisch einwandfreien Betrieb der Anlage.

INDIVIDUELLE Wasserbehandlungsverfahren mit chemischen Konditionierungsmitteln können Belagsbildungen, Korrosionen und somit auch die Grundlage für mikrobiologisches Wachstum minimieren.

› Wertvolle Ressource Wasser

Aufgrund seiner hohen Wärmekapazität und der daraus resultierenden Fähigkeit, große Energiemengen aufzunehmen und abzuführen, ist Wasser aus vielen Produktionsprozessen nicht wegzudenken. Der vorsorgende Schutz dieser natürlichen Ressource sowie der verantwortungsvolle und sparsame Umgang mit Prozesswä-

ssern, insbesondere in offenen Kühlkreisläufen, sind sowohl von ökonomischem als auch von ökologischem Interesse [1]. Eine wirksame und in der Regel leicht umsetzbare Optimierungsmaßnahme kann hier die Minimierung der nachzuspeisenden Zusatzwassermenge sein.

Die Herausforderung ist, dass Kühlsersysteme je nach Anlagentyp, eingebauten Komponenten und Betriebsweise der Anlagen unterschiedliche Anforderungen an die chemisch-physikalische Zusammensetzung des Kühlwassers stellen. Grundlage hierfür sind die vorgegebenen gesetzlichen Normen und Richtlinien, insbesondere hinsichtlich des hygienegerechten Betriebes gemäß 42. BImSchV und VDI 2047-2, sowie die Richtwerte der Anlagenhersteller.

Aufgrund dieser Anforderungen ist häufig eine entsprechende verfahrenstechnische Aufbereitung des verwendeten Rohwassers (z. B. Brunnen- oder Trinkwasser) erforderlich.

Die technische Wasseraufbereitung allein reicht jedoch in der Regel nicht aus, um die geforderten Parameter in den jeweiligen Prozesswässern richtwertgemäß so einzustellen, dass eine höchstmögliche An-



Autoren: Dr. Robert Höckendorf (Foto li.), Vertriebsleiter Gebiet Nord, Steffen Rudolph, Prokurist/Betriebsleiter, beide Dipolique GmbH, Stuhr

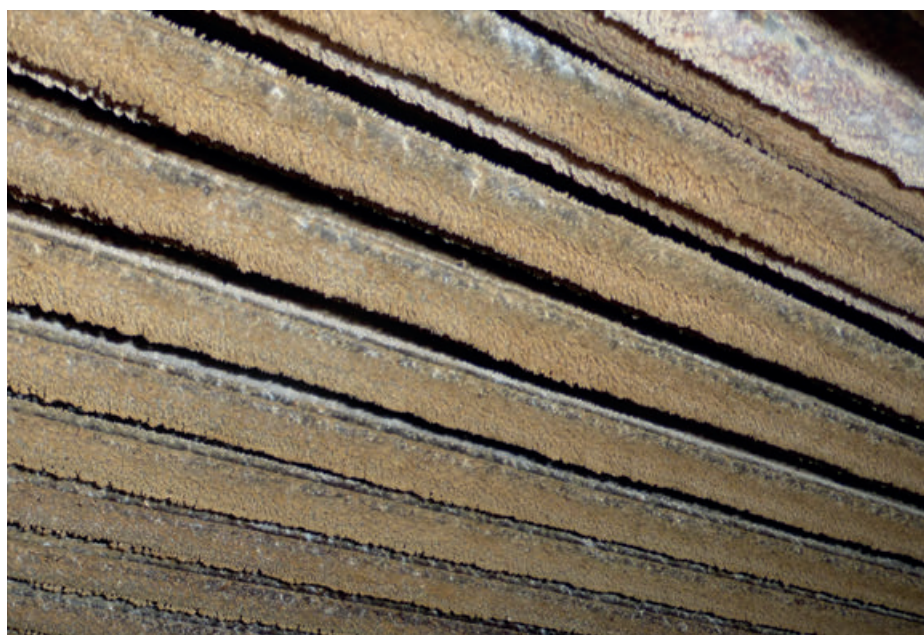


Abb. 1 Ablagerungen an Rohrbündeln (Foto: Dipolique)

lagensicherheit bei gleichzeitig optimaler wirtschaftlicher Betriebsweise und maximaler Werterhaltung der Anlagen gewährleistet ist. Daher ist in der Regel zusätzlich eine individuell angepasste chemische Behandlung erforderlich.

Das Ziel einer chemischen Nachbehandlung von Prozesswässern ist stets

- der Werterhalt der Prozessanlagen;
- ein sicherer und kosteneffizienter Betrieb;
- die Vermeidung anlagenbedingter Produktionsstillstände sowie
- die Schonung der Umwelt durch optimiertes Wasser-, Energie- und Chemikalienmanagement.

Ein wesentlicher Beitrag hierzu ist das Vermeiden von anorganischen Belägen, da diese den Wärmeübergang und damit die Energieeffizienz je nach Zusammensetzung bereits bei geringen Belägen deutlich verschlechtern können [2].

Neben isolierungsbedingten Energieverlusten an Wärmetauschern (z. B. Rohrbündel- und Plattenwärmetauscher) können Ablagerungen zusätzlich zu einer schlechten Kreislaufwasserverteilung im Kühlturm durch Verblockung von Füllkörpern und Sprühdüsen führen (Abb. 1 und 2).

Da offene Kühlsysteme insbesondere unter hygienerelevanten Gesichtspunkten betrachtet werden, ist die kontinuierliche Vermeidung von Ablagerungen äußerst wichtig. Durch geeignete Konzepte können eine hohe Anlagensicherheit gewährleistet und Folgekosten aufgrund der Überschreitung von Maßnahmenwerten gemäß 42. BImSchV und VDI 2047-2 vermieden werden.

➤ Kühlwasserbilanz

Die für die Verdunstung von Wasser erforderliche Wärmeenergie wird dem System entzogen. Diese Energieabgabe führt zur Abkühlung des Systems. Gleichzeitig kommt es durch die Verdunstung von Wasser zu einer Anreicherung der Wasserinhaltsstoffe im Kühlkreislauf.

Ein Maß für die durch die Verdunstung erhöhte Salzfracht, das heißt die im Kühlwasser verbleibenden gelösten Salze, ist die elektrische Leitfähigkeit beziehungsweise die daraus resultierende Eindickungszahl. Die Eindickungszahl EZ ergibt sich aus dem Quotienten der Konzentration eines Parameters im Kühlwas-

Abb. 2
Verblockte Sprühdüse
(Foto: Dipolique)



ser und seiner Ausgangskonzentration im Zusatzwasser.

Zur Bestimmung der Eindickung des Kühlwassers wird in der Praxis oft der Chloridgehalt herangezogen. Die Höhe der Eindickung ist durch Löslichkeitsgrenzen und Richtlinien begrenzt. Daher muss das Kühlwasser in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit abgesalzen werden, um die Salzfracht im System in einem definierten Bereich zu begrenzen.

Durch die nachgespeiste Zusatzwassermenge Q_{Zusatz} werden Wasserverluste durch Verdunstung Q_{Verd} und Absalzung Q_{Absalz} ausgeglichen, siehe Gleichung 1 [3]. Sprühverluste werden im Folgenden vernachlässigt.

$$Q_{\text{Zusatz}} = Q_{\text{Verd}} + Q_{\text{Absalz}} \quad \text{Gleichung 1}$$

Die Reduzierung der Absalzmenge Q_{Absalz} kann mitunter, ohne großen Aufwand, zu einer erheblichen Einsparung der Ressource Wasser führen.

Die maximale Eindickungszahl EZ_{max} des Kühlwassers ergibt sich in der Regel aus einem limitierenden Richtwertparameter c_{Richt} und dem Eintrag des Parameters über das Zusatzwasser c_{Zusatz} (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Chlorid-, Phosphat-, Sulfatgehalt), siehe Gleichung 2.

$$EZ_{\text{max}} = c_{\text{Richt}} / c_{\text{Zusatz}} \quad \text{Gleichung 2}$$

Für eine nachhaltige chemische Konditionierung und eine wirtschaftliche Wasserbilanz des Kühlwassers sind daher bei der Konzepterstellung alle wesentlichen Stoffeinträge zu berücksichtigen, um die maximal mögliche Eindickung des Systems zu ermitteln. Die Abwassermenge und die daraus resultierende Zusatzwassermenge werden durch eine möglichst hohe Eindickung des Kühlwassers minimiert, siehe Gleichung 3 [3].

$$Q_{\text{Absalz}} = Q_{\text{Verd}} / (EZ - 1) \quad \text{Gleichung 3}$$

Aus Gleichung 3 ergibt sich unter Annahme einer konstanten Verdunstungsmenge die zur Zusatzwassermenge relative Absalzmenge (Abb. 3).

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, sind die Wasserverluste durch die Absalzmenge bei Eindickungen $EZ < 2$ höher als die zur Kühlung benötigte Verdunstungsmenge. Durch eine Erhöhung der Eindickung von 1,5 auf 3,0 kann die Absalzmenge zusätzlich auf ca. dreiunddreißig Prozent, anteilig an der Zusatzwassermenge, reduziert werden.

Aufgrund dieses deutlichen Einsparpotenzials sollte die Eindickung von Kühlwasser in offenen Kreisläufen daher optimalerweise $EZ \geq 2$ betragen. Durch den Einsatz von Stabilisatoren können die Abscheidungs-tendenzen von Härtebildnern (überwiegend Calcium- und Magnesiumionen) verschoben werden, sodass auch

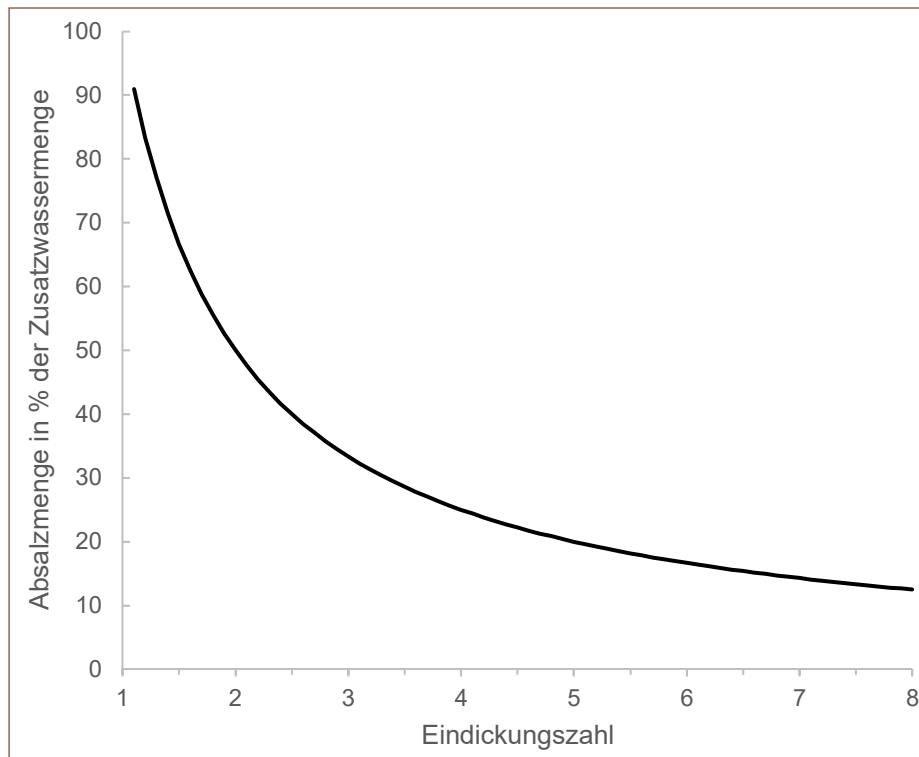


Abb. 3 Relative Absatzmenge bei unterschiedlichen Eindickungszahlen (Abbildung: Dipolique)

bei höheren Temperaturen eine entsprechende Eindickung ohne Belagbildung gefahren werden kann. Wie hoch man mit der Eindickung letztlich gehen kann, hängt von der Beschaffenheit des Zusatzwassers, der Härtestabilisierung, den Einträgen aus der Umwelt, den gesetzlichen Anforderungen und anlagenspezifischen Richtwerten ab.

Des Weiteren sind die mit steigender Eindickung auch längeren Verweilzeiten des Kühlwassers im System nicht zu vernachlässigen, da diese mitunter zu mikrobiologischen Problemen führen können.

➤ Chemische Konditionierung für einen reibungslosen Betrieb

Als Zusatzwässer werden in der Regel aufbereitete Brunnen-, Brau-, Stadt- oder Weichwässer sowie teil- und vollentsalzte Wässer und deren Verschnitte eingesetzt. Auch rückgeführte Brüdenkondensate können zur Nachspeisung verwendet werden. Je besser die vorgeschaltete Wasseraufbereitung für das jeweilige Zusatzwasser ist, desto weniger Konditionierungschemikalien werden zur Härtestabilisierung benötigt. Der Schwerpunkt der eingesetzten Konditionierungschemikalien kann sich dann in Richtung Korrosionsschutz verschieben. Bereits der Verschnitt auf ei-

ne geeignete Karbonathärte kann hierbei der maßgebliche Faktor zum Schutz vor Ablagerungen und Korrosionsreaktionen sein und damit auch die Abhängigkeit von Korrosionsinhibitoren und Härtestabilisatoren reduzieren. Aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht sollte die Zielsetzung grundsätzlich sein, so viel wie nötig und so wenig wie möglich an Korrekturchemikalien zu dosieren.

Für die chemische Konditionierung von Kühlwasser hat sich in der Praxis der Einsatz von organischen Phosphonsäuren sowie Konditionierungsmitteln auf Basis organischer Polymere bewährt. Diese

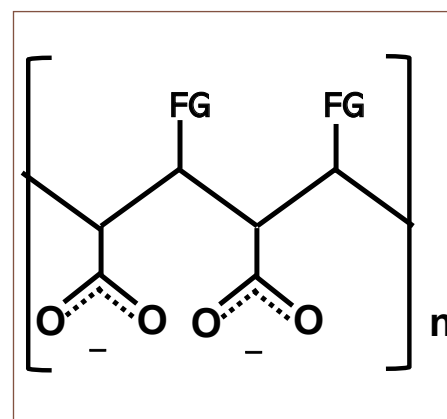


Abb. 4 Schematische Darstellung eines organischen Polymers mit negativ geladenen funktionellen Gruppen (FG)

Polymere sind chemische Verbindungen, die durch Wiederholung von funktionellen Gruppen langkettige, teils verzweigte Strukturen bilden und somit in Abhängigkeit von deren Aufbau unterschiedliche dispergierende, stabilisierende und korrosionsinhibierende Eigenschaften haben. In der Kühlwasserbehandlung können diese Struktureinheiten z. B. aus Acrylaten und anderen Carboxylaten unterschiedlicher Kettenlängen und Verzweigungen bestehen. Welche Polymere letztendlich zum Einsatz kommen, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. der Beschaffenheit des Zusatzwassers, dem Temperaturbereich, den eingesetzten Werkstoffen, den gesetzlichen Anforderungen etc.

Konzeptionell handelt es sich bei härtestabilisierenden Polymeren um höherkettige Moleküle mit sich wiederholenden Einheiten und aktiven, negativ geladenen funktionellen Gruppen (siehe Abb. 4).

Bereits die Zugabe einer sehr geringen Menge eines solchen Polymers bewirkt, dass eine übersättigte Lösung eines Härtebildners wie z. B. Calciumcarbonat lange Zeit ohne sichtbare Ausfällungen stabil bleibt. Dieser Effekt wird als Schwelleneffekt (Threshold-Effekt) bezeichnet. Das Polymer adsorbiert an einzelnen Härtebildnern oder an der Oberfläche der sich bildenden Mikrokristalle und verhindert so die Bildung größerer Kristalle. Es bilden sich nicht steinbildende Agglomerate, die gut dispergierbar sind und mit der Abflut aus den wasserführenden Systemen ausgetragen werden können. Durch die dispergierenden Eigenschaften der Polymere werden so zusätzlich Verunreinigungen aus dem System ausgetragen. Über die spezifische Polymerauswahl und den prozentualen Anteil der Inhaltsstoffe, können die stabilisierenden bzw. dispergierenden Eigenschaften des Konditionierungsmittels gesteuert werden.

Eine weitere Möglichkeit, Kalkablagerungen, auch in sehr karbonatreichem Kühlwasser bei hoher thermischer Belastung im Bereich der Wärmetauscher, entgegenzuwirken, ist die innere Entkarbonisierung des Kühlwassers. Dies ermöglicht eine höhere Eindickung des Gesamtsalzgehaltes im Kreislaufwasser, was zu einer Reduzierung der Absatz- und Zusatzwassermengen führt und mittels pH-Wert-geregelter Konditionierung einer Mineralsäure gesteuert wird. Aus Korrosionsgründen ist ein Absinken des pH-Wertes < 7 im Kühl-

Kreislaufwasser zu vermeiden bzw. es darf die Säurekapazität bis pH 4,3 (m-Wert) einen Wert von 1 mmol/l im Kreislaufwasser nicht unterschreiten. Zur Einstellung eines möglichst hohen Eindickungsfaktors hat sich in Härtefällen die gleichzeitige, aber reduzierte Dosierung von Härtestabilisatoren bewährt.

Insgesamt ist der Einsatz von biologisch abbaubaren Substanzen so weit wie möglich zu minimieren [3], um mikrobiologisches Wachstum nicht zusätzlich zu fördern. Darüber hinaus sind die geltenden Umweltschutzaufgaben, Verordnungen über die Anforderungen an die Einleitung von Abwasser sowie alle gesetzlichen Regelungen und Vorschriften zu beachten.

Regelmäßige Inspektionen und dezidierte analytische Untersuchungen der chemisch-physikalischen Parameter sind unerlässlich, um die Effektivität der Härtestabilisierung zu bewerten und somit mögliche Probleme frühzeitig identifizieren zu können.

➤ Bewertung der chemischen Konditionierung

Zur Beurteilung der möglichen Eindickung des Kühlwassers und der eingesetzten chemischen Konditionierungsmittel müssen die aufkonzentrierten Parameter, z. B. Gesamthärte, Silikat- oder Sulfatgehalt, im Kühlwasser bilanziert werden.

Die theoretischen Sollwerte im Kühlwasser c_{Soll} ergeben sich, soweit diese nicht aus anderen Quellen eingetragen werden, aus den Stoffmengenkonzentrationen c_{Zusatz} im Zusatzwasser und der Multiplikation mit der Eindickungszahl EZ (siehe Gleichung 4).

$$c_{\text{Soll}} = \text{EZ} * c_{\text{Zusatz}}$$

Gleichung 4

Durch die regelmäßige Bilanzierung von Zusatz- und Kühlwasser wird das angewandte Konzept kontinuierlich betrachtet, Veränderungen der wasserführenden System können so erfasst werden und ggf. notwendige Korrekturmaßnahmen können zeitnah eingeleitet werden. Eine negative Bilanz der Summe Erdalkalien kann ein Hinweis auf eine unzureichende Stabilisierung sein. Eine ausgeglichene Bilanz der Summe Erdalkalien weist auf eine funkti-

AUSGEGLICHENE BILANZIERUNG MIT HÄRTESTABILISIERUNG – SOLLWERT GEMÄSS EZ_{CL} IN KLAMMERN

Probenbezeichnung	Zusatzwasser	Kühlwasser	Richtwerte Kühlwasser
Geruch	1	1	
Färbung	1	1	
Trübung	1	1	
Bodensatz	1	1	
pH-Wert	7,8	8,8	7,5 – 9,0
elektr. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	415	905 (913)	< 1000
Säurekapazität			
bis pH 8,2 (p-Wert) [mmol/l]	n.n.	0,7	
bis pH 4,3 (m-Wert) [mmol/l]	2,7	5,8	
($\text{Ks } 4,3 \times 2,8 = \text{Karbonathärte}$) [$^{\circ}\text{dKH}$]	7,6	16,2	< 20
Summe Erdalkalien (Härte) [mmol/l]	1,9	4,0	
($\times 5,6 = \text{Gesamthärte}$) [$^{\circ}\text{dH}$]	10,6	22,4 (23,3)	
Eisen, gesamt (Fe) [mg/l]		< 0,20	
Kupfer, gesamt (Cu) [mg/l]		< 0,10	
Chlorid (Cl) [mg/l]	30	67	< 150
Sulfat (SO_4) [mg/l]	33	74 (73)	
Silikat (SiO_2) [mg/l]	16	35 (35)	
Eindickungszahl (Cl) [mg/l]		ca. 2,2	$\leq 2,4$
Produkt: Dipolique 125 [mg/l]		120	100 – 150

Tab. 1

onierende Härtestabilisierung hin (siehe Tab. 1). Eine positive Bilanz kann hingegen Hinweis auf den Abtrag bestehender Beläge z. B. durch eine polymerinduzierte Inbetriebreinigung sein [4].

Voraussetzung für eine zuverlässige und aussagekräftige Bilanzierung ist hier eine relativ stabile Zusatzwasserzusammensetzung und der Ausschluss bzw. die Berücksichtigung von Fremdsalzeintrag, wie z. B. von Chloriden über chlorhaltige Biozide.

➤ Zusammenfassung

Durch eine geeignete Wasseraufbereitung und ein passendes Konzept zur chemischen Konditionierung in Verbindung mit aussagekräftigen Wasseruntersuchungen ist es möglich, die benötigten Wassermengen und den Einsatz von Korrekturchemikalien auf ein (notwendiges) Minimum begrenzen zu können. Gleichzeitig bildet eine gut funktionierende Stabilisierung

und Dispergierung die Grundlage für einen hygienegerechten Betrieb des offenen Kühlkreislaufes, da in einem von anorganischen Belägen freiem System auch Korrosionsreaktionen und mikrobiologische Aktivitäten minimiert werden. ■

➤ Literatur

1. Umweltbundesamt: Wasserwirtschaft in Deutschland – Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen, 2017.
2. Schult, S.; Sternberg, J.; Nee, H.; Meyer, J.: Energie einfach besser nutzen – ein Handbuch für Praktiker in der Feuerungstechnik, 2013.
3. Sinder, C.; Gringel, M.; Hardt, H.; Langerbein, H.: Legionellenrisiken in Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen, 2020.
4. Höckendorf, R.; Buhani, P.: „Inbetriebreinigung von Dampfkesseln“, BRAUWELT, Nr. 12, 2024.