



MIKROVERUNREINIGUNGEN IN ABWÄSSERN VON KÜHL- UND HEIZPROZESSEN

DIE GÄNGIGSTEN SYSTEME UND KONDITIONIERMITTEL

Kühl- und Heizprozesse sind in der Schweiz weit verbreitet. Sie benötigen verschiedene Zusatzstoffe – sogenannte Konditioniermittel – damit sie reibungslos und effizient funktionieren. Diese Stoffe wurden theoretisch in Hinblick auf ihre Gewässerrelevanz eingestuft.

Fabienne Eugster, VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

Pascal Wunderlin, VSA «Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

Rebekka Gulde, VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

RÉSUMÉ

MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DE REFRIGÉRISSMENT ET DE CHAUFFAGE – SYSTÈMES ET AGENTS DE CONDITIONNEMENT

Les processus de refroidissement et de chauffage sont largement répandus en Suisse. Ils constituent une source de micropolluants qui arrivent dans les eaux avec les eaux usées épurées [1, 2]. Il s'agit d'additifs appelés agents de conditionnement. L'OEau fixe pour les systèmes de refroidissement en circuit ouvert et fermé des exigences pour certains paramètres. L'autorité d'exécution responsable peut définir des exigences de rejet au cas par cas pour les agents de conditionnement, en s'appuyant entre autres sur l'état de la technique actuel.

Le présent article offre un aperçu des systèmes et agents de conditionnement fréquemment utilisés en Suisse. Ces derniers ont fait l'objet d'une évaluation théorique de leur pertinence pour les milieux aquatiques. Les circuits de refroidissement semblent plus problématiques pour les eaux que les circuits de chauffage, car ils déversent davantage d'eau et les agents de conditionnement ont tendance à y être plus concentrés. En principe, l'ensemble des rejets de polluants dans les eaux à partir de ces systèmes doivent être minimisés. En outre, des substances pouvant avoir des effets négatifs sur les eaux en raison de leur classification théorique sont utilisées pour le conditionnement. Dans les circuits de refroidissement, il s'agit de biocides et d'inhibiteurs de corrosion. Dans les circuits de chauffage, il s'agit principalement de pièges à oxygène résiduel.

KONDITIONIERMITTEL IN KÜHL-/HEIZPROZESSEN

Mikroverunreinigungen sind organisch-synthetische Stoffe und belasten unsere Gewässer. Sie gelangen entweder diffus, beispielsweise aus landwirtschaftlichen Aktivitäten, oder punktuell über die Infrastruktur der Siedlungsentswässerung (z. B. aus Abwasserreinigungsanlagen, ARA) in die Gewässer. Dort liegen sie in geringen Konzentrationen im Bereich von ng/l oder µg/l vor und können Wasserlebewesen schädigen.

Eine schweizweite Situationsanalyse [1] ergab, dass auch aus Kühl- und Heizprozessen Mikroverunreinigungen in die Gewässer gelangen. *Masch und Schmitt* (2020; [2]) erarbeiteten darauf folgend eine Übersichtsstudie über die gängigsten Kühl- und Heizsysteme in der Schweiz und über die in diesen Systemen eingesetzten Stoffe. Es handelt sich dabei um chemische Zusatzstoffe, die sogenannten Konditioniermittel. Diese Stoffe sind notwendig, damit die Systeme reibungslos und effizient funktionieren. Kühl- und Heizprozesse nutzen Wasser als Trägermedium und sind weit verbreitet. Sie kommen auch in Branchen zum Einsatz, die nicht in erster Linie mit Abwasser in Verbindung gebracht werden, beispielsweise in der IT-Branche zur Kühlung von Serverräumen [1].

Die zentralen Grundsätze des Gewässerschutzgesetzes wie die Sorgfaltspflicht, das Verursacherprinzip und das Verschmutzungsverbot gelten auch für Kühl- und Heizprozesse.

Kontakt: fabienne.eugster@vsa.ch

Ausserdem müssen Stoffeinträge in die Gewässer nach dem Stand der Technik minimiert werden. Für Durchfluss- und Kreislaufkühlsysteme gibt die Gewässerschutzverordnung (GSchV) zusätzlich besondere Anforderungen vor, beispielsweise für den gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) und die Temperatur. Für weitere Zusatzstoffe wie Konditioniermittel kann die zuständige Vollzugsbehörde basierend auf dem aktuellen Stand der Technik und dem Zustand des Gewässers konkrete Einleitungsanforderungen festlegen. Der vorliegende Artikel gibt eine beschreibende Übersicht über die gängigsten Systemtypen in der Schweiz sowie über die in diesen Systemen eingesetzten Konditioniermittel. Als Grundlage diente die Studie von *Masch und Schmitt* (2020) [2]. Als nächster Schritt muss der Stand der Technik dieser Systeme dokumentiert werden. Zudem muss erhoben werden, wie gut dieser Stand der Technik die Stoffe zurückhält oder ob – insbesondere für die als problematisch eingestufteten Stoffe – zusätzliche Anforderungen notwendig sind.

ZUSATZSTOFFE BEURTEILEN

Grundsätzlich müssen sämtliche Stoffeinträge in die Gewässer nach dem aktuellen Stand der Technik minimiert werden. Die nachfolgende theoretische Stoffbeurteilung hilft, auf pragmatische Art und Weise für das Gewässer problematische Stoffe zu identifizieren. Anforderungen an die Einleitung solcher Stoffe werden je nach Situation benötigt.

STOFFLISTE

Die Liste der in Kühl- und Heizprozessen eingesetzten Konditioniermittel inklusive deren Einstufung bezüglich ihrer Problematik für das Gewässer ist via QR-Code oder unter folgendem Link verfügbar:

<https://micropoll.ch/Mediathek/heizkuehlprozesse-stoffliste/>



Box 1

Die organischen Stoffe wurden anhand ihrer biologischen Abbaubarkeit sowie anhand ihrer Human- und aquatischen Toxizität eingestuft. Die Stoffdaten stammen von der Website der ECHA (*European Chemicals Agency*) [3]. Zudem wurden auch Listen mit besonders besorgniserregenden Stoffen berücksichtigt, wie z. B. die SVHC-Liste¹. Basierend auf diesen Informationen sind die Stoffe in die Kategorien «grün», «gelb» oder «rot» eingeteilt worden (s. *Box 1*). Organische Stoffe mit fehlenden oder zu wenigen belastbaren Daten wurden einer zusätzlichen Kategorie «grau» zugeordnet.

Auch anorganische Stoffe kommen als Konditioniermittel zum Einsatz. Diese wurden in eine «blaue» Kategorie eingeteilt und im Einzelfall auf ihre Gewässerrelevanz beurteilt.

Die Stoffe wurden den vier Kategorien folgendermassen zugeteilt:

- «Grün» eingestufte organische Stoffe sind eher unkritisch, weil sie nicht human- oder aquatisch toxisch und leicht biologisch abbaubar sind. Bei diesen Stoffen gilt aber auch der Grundsatz, dass ihre Einträge in die Gewässer nach dem Stand der Technik möglichst minimiert werden müssen.
- «Gelb» eingestufte organische Stoffe sollten möglichst nicht ins Abwasser gelangen, weil sie toxisch oder nicht leicht biologisch abbaubar sind. Diese Stoffe sind gewässerrelevant.
- «Rot» eingestufte organische Stoffe sollten möglichst nicht ins Abwasser gelangen. Denn sie sind sowohl schlecht abbaubar als auch toxisch oder haben besonders besorgniserregende Eigenschaften. Wenn möglich sollten sie durch weniger problematische Stoffe ersetzt werden.
- «Blau» eingestufte Stoffe sind anorganische Stoffe. Sie sind im Einzelfall auf ihre Gewässerrelevanz und auf die Bildung von allfälligen Nebenprodukten zu prüfen.

¹ SVHC bedeutet «substances of very high concern». Es handelt sich dabei um Stoffe, die ernste Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben können. Folgende Eigenschaften können zu einer SVHC-Klassierung führen [6]:

- Karzinogene, mutagene, reproduktionstoxische Stoffe Kat. 1A/1B (CMR-Stoffe)
- PBT-Stoffe oder vPvB-Stoffe
- Ähnlich besorgniserregende Chemikalien (z. B. endokrinschädigende Eigenschaften)

Wir berücksichtigten hier weder die Mengen der eingesetzten Stoffe noch die Abwasserbehandlung, die möglicherweise einen Teil der Stoffe eliminiert. Es handelt sich somit um eine theoretische stoffliche Beurteilung. Diese gibt Hinweise, welche Stoffe besonders problematisch für die Gewässer sind und allenfalls Anforderungen an ihre Einleitung brauchen. Dazu ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig, da neben den Stoffeigenschaften insbesondere auch die Stoffmenge im Abwasser und der Ort der Einleitung zentral sind.

KÜHLSYSTEME

Die Kühlsysteme unterteilen sich in Nass- und Trockenkühlsysteme. Bei Letzteren fällt kein Abwasser an. Der Artikel fokussiert daher auf die Nasskühlsysteme. Diese untergliedern sich in Durchflusskühlsysteme, in offene und in geschlossene Kreislaufkühlsysteme [4]. Die

HYBRIDKÜHLSYSTEME

Hybride Kühlsysteme verfügen sowohl über einen Trocken- als auch über einen Nassbetrieb. Im Trockenbetrieb führt ein Ventilator kühle Umgebungsluft über die Wärmetauscher. Die Prozesswärme geht an die Umgebungsluft über. Ist der Kühleffekt zu gering – beispielsweise wenn die Umgebungsluft zu warm ist – schaltet sich der Nassbetrieb zu. Das heisst: Zusätzlich wird der Wärmetauscher befeuchtet. Ein Teil dieses Wassers verdunstet und führt zu einem zusätzlichen Kühleffekt. Gemäss Herstellerangaben benötigen solche Hybridkühlsysteme deutlich weniger Wasser und Energie als die «klassischen» offenen Kühlsysteme. Zudem sind für den Betrieb keine Biozide erforderlich, weil die Schwadenbildung entfällt. Auch bei der manuellen Reinigung mit Hochdruckreiniger werden normalerweise keine Chemikalien eingesetzt.

Das Abschlammwasser sollte aus zwei Gründen in die Schmutzwasserkanalisation eingeleitet werden: Erstens, weil es möglicherweise trotzdem zum Einsatz von Konditioniermitteln kommen kann. Zweitens, damit die Kühlflüssigkeit bei Havarien oder Leckagen nicht direkt ins Gewässer gelangt. Hybridanlagen werden hauptsächlich neu installiert, können aber nicht jedes Nasskühlsystem ersetzen. Dies hängt von verschiedenen Faktoren wie Platzbedarf oder Rückkühllleistung ab.

Box 2

Funktionsweise dieser Systeme wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Zunehmend kommen auch sogenannte hybride Kühlsysteme zum Einsatz (s. Box 2). Diese verfügen sowohl über einen Trocken- als auch über einen Nassbetrieb und weisen einen geringeren Wasser- und Energieverbrauch auf als die anderen gängigen Systeme.

KONDITIONIERUNG VON KÜHLKREISLÄUFEN

Nasskühlsysteme nutzen Wasser als Trägermedium. Dieses sogenannte Kreislaufwasser verschmutzt mit der Zeit – es wachsen beispielsweise Bakterien ein. Damit das Kühlsystem keinen Schaden nimmt, muss das Kreislaufwasser konditioniert werden. Abhängig vom Verschmutzungsgrad und dem Kühlstyp sind unterschiedliche Konditioniermittel notwendig. Sie lassen sich in folgende Klassen unterteilen:

- Biozide inaktivieren Mikroorganismen. Dabei kommen oxidierende und organische Biozide zum Einsatz.
- Biodispersatoren lösen und vermeiden biologische Ablagerungen im Kühlsystem. Es existieren anionische, kationische und nichtionische Tenside.
- Inhibitoren schützen metallische Oberflächen vor Korrosion. Es existieren kathodische und anodische Membraninhibitoren und Filminhibitoren.
- Härtestabilisatoren vermindern Härteausfällungen.
- Säuren dienen der Entkarbonisierung.

Die Einzelstoffe der oben genannten Klassen sind in den meisten Fällen als «gelb» oder «rot» eingestuft (Fig. 1). Einzig unter den Säuren gibt es einen «grünen» Stoff, die Zitronensäure.

Einige der in Kühlprozessen eingesetzten Biozide sind biologisch schlecht abbaubar und für den Klärschlamm toxisch. Ein Beispiel ist Methylisothiazolinon. Es gibt aber auch gut abbaubare Biozide. Dazu gehören: Glutardialdehyd, Bronopol sowie die quartäre Ammoniumverbindung Didecyldimethylammoniumchlorid (DDAC-C10). Bronopol kann allerdings wegen des Bromgehalts zur Bildung von Bromat auf ARA mit einer Ozonung führen. Bei gewissen anorganischen Bioziden ist Vorsicht geboten: Chlordioxid bildet beispielsweise mit organischem Material Chlorit und bei Natriumhypochlorit kann es zur AOX-Bildung kommen.

Bei den Korrosionsinhibitoren sind insbesondere die Triazole problematisch. Sie sind schlecht abbaubar und toxisch für Wasserlebewesen. Weniger problematisch wären Phosphonate, sie lassen sich aber schlecht aus dem Abwasser entfernen.

Phosphonsäuren, die als Härtestabilisatoren eingesetzt werden, sind zwar schlecht biologisch abbaubar, werden allerdings mittels Phosphorfällung auf ARA entfernt.

Zitronen- und Schwefelsäure sind für die Gewässer unproblematisch. Die Anforderungen bezüglich pH-Wert müssen

bei einer Einleitung eingehalten werden. Schwefelsäure kann sich unter reduzierenden Bedingungen zu Schwefelwasserstoff umwandeln, der stark korrosiv ist und die Kanalisation beschädigen kann.

DURCHFLUSSKÜHLSYSTEME

Funktionsweise

Die Durchflusskühlsysteme führen das Kühlwasser über einen Wärmetauscher. Das sogenannte Prozesswasser kühlt dadurch ab, während sich das Kühlwasser erwärmt. Das erwärmte Kühlwasser gelangt danach ins Oberflächengewässer zurück, aus dem es entnommen wurde (Fig. 2, links). Das Kühlwasser stammt aus Oberflächengewässern oder teils aus dem Grundwasser. Trinkwasser wird in der Regel nicht mehr verwendet.

Konditioniermittel

Bei Durchflusskühlsystemen ist normalerweise keine Kühlwasserkonditionierung notwendig (Scharf et al., 2016 in [2]).

Abwasseranfall und Gewässerrelevanz

Bei den Durchflusskühlsystemen fallen von allen betrachteten Kühlsystemen die grössten Abwassermengen an, da das Kühlwasser nur einmal genutzt wird. Schweizweit sind das schätzungsweise rund 1,6 Mrd. m³ Kühlwasser pro Jahr (Freiburghaus, 2020 in [2]). Das erwärmte Kühlwasser gelangt in der Regel ohne Vorbehandlung direkt in das Gewässer.

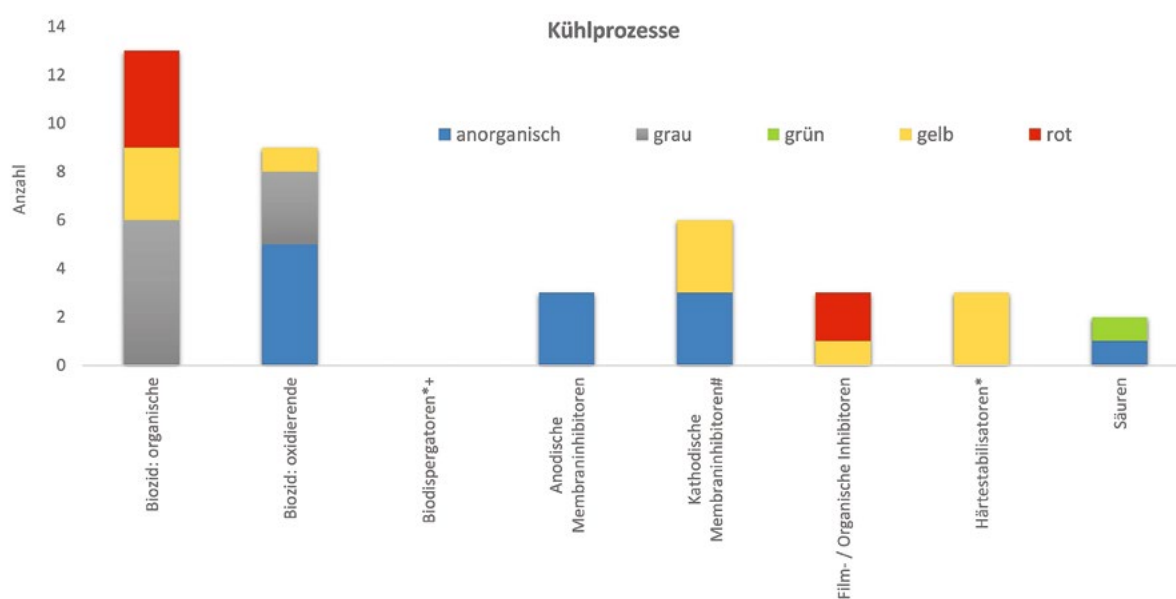


Fig. 1 Farbliche Einstufung der einzelnen Konditioniermittel, die in Kühlprozessen zum Einsatz kommen. Die Stoffklassen *Polycarboxylate, +Succinate und #PSO (Phosphino-Succinic-Oligomer) können keiner definierten Verbindungen mit CAS-Nummer zugeordnet und daher nicht beurteilt werden.

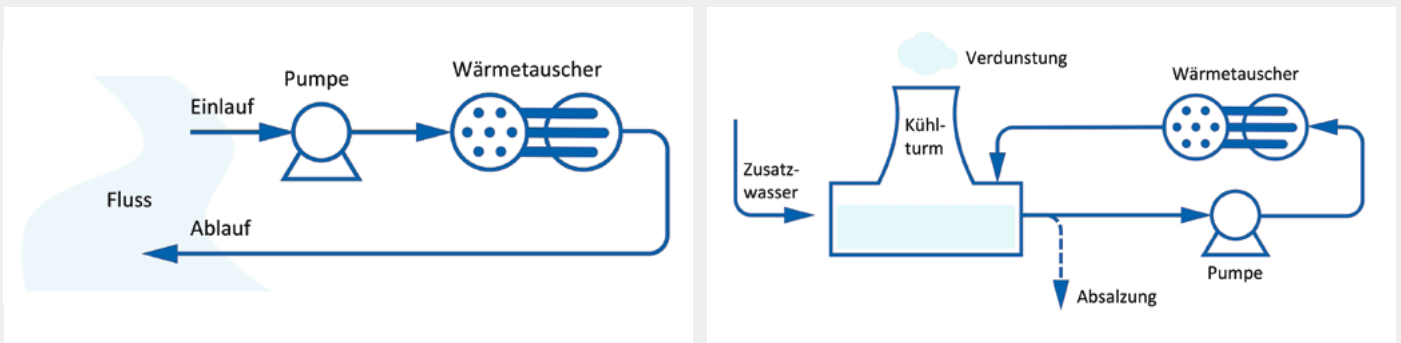


Fig. 2 Typisches Verfahrensschema eines Durchflusssystemes (links) und eines offenen Kühlkreislaufs (rechts). (Schemen basierend auf [2])

Anforderungen für die Einleitung von Durchlaufkühlungen sind im Anhang 3.3 Ziffer 21 GSchV beschrieben.

Die Gewässerrelevanz solcher Systeme ist im Normalbetrieb als gering einzustufen, denn Biozide kommen nur in Einzelfällen zum Einsatz. Das Kühlwasser kann jedoch im Falle von Leckagen oder Havarien mit Stoffen aus der industriellen Produktion verunreinigt sein. Es empfiehlt sich daher, das Kühlwasser auf solche möglichen Verunreinigungen mit geeigneten Analysemethoden zu überwachen. Alternativ kann ein Zwischenkreislauf zur Sicherheit eingebaut werden.

OFFENE KREISLAUFKÜHLSYSTEME

Funktionsweise

Offene Kreislaufkühlsysteme verdunsten einen Teil des Kreislaufwassers und kühlen dadurch das im System verbleibende Wasser ab. Das verdunstete Wasser wird mit Frischwasser ersetzt (Fig. 2, rechts). Offene Kühlkreisläufe kommen vor allem im Bereich der Kernkraftwerkstechnik zur Anwendung, aber auch in der Industrie (z. B. chemische Industrie, Lebensmittelindustrie), im Gesundheitswesen (z. B. in Spitälern) oder im Bereich der Gebäudetechnik [4]. Diese Art von Systemen haben den Nachteil, dass sie relativ viel Kühlwasser benötigen. Zudem können sie bei Direkteinleitungen im Havariefall das Gewässer verschmutzen. Die sogenannten Hybridkühlssysteme ersetzen zunehmend diese offenen Kreislaufkühl-systeme (siehe Box 2).

Konditioniermittel

In offenen Kreislaufkühlsystemen herrschen aufgrund der erhöhten Temperatur und des erhöhten Salzgehaltes ideale Bedingungen für die Vermehrung von Mikroorganismen – dazu gehören beispielsweise auch die Legionellen. Aus technischen sowie aus infektionsschutz-

rechtlichen Gründen kommen daher häufig Biozide sowie Biodispersatoren zum Einsatz, um Biofilme zu entfernen. Organische Biozide werden in der Regel in Konzentrationen von 50 bis 100 mg/l bezogen auf das gesamte Kreislaufwasser eingesetzt. Sie werden stossweise zugegeben und periodisch gewechselt, um zu verhindern, dass die Mikroorganismen gegen die Biozide resistent werden. Die notwendige Konzentration an oxidierenden Bioziden ist rund 50-mal geringer im Vergleich zu den organischen Bioziden. Oxidierende Biozide können auch kontinuierlich zugegeben werden, denn Mikroorganismen können gegen diese keine Resistenzen entwickeln.

Wenn die Wirkung der Biozide abgeklungen ist, erfolgt die sogenannte Absalzung. Das bedeutet, dass ein Teil des Kühlwassers ausgeschleust und eingeleitet wird. Ob die Biozide ausreichend abreagiert haben, kann folgendermassen beurteilt werden (es wurde für diesen Artikel nicht erhoben, ob dies in allen Kantonen so umgesetzt wird):

- Organische Biozide: Die Einschätzung erfolgt basierend auf dem GL-Wert² des Leuchtbakterientests der deutschen Abwasserverordnung. Der GL-Wert sollte kleiner sein als 12.
- Oxidierende Biozide: Die Einschätzung erfolgt anhand eines Halogenprofils, das aus den Halogen- oder Chlordioxidmessungen resultiert.

Die Biozide und die erhöhten Salzkonzentrationen wirken korrosiv auf das Kühlsystem. Deshalb sind sogenannte Inhibitoren notwendig. Härtestabilisatoren verhindern zudem Ausfällungen.

Für den Einsatz von Bioziden ist eine Bewilligung der zuständigen Behörde notwendig. Darin legt diese die Anforderung an die Einleitung des Abwassers fest. Für die Überprüfung von bakteriologischen Parametern wie der Legionellen-Belas-

tung wird in der Schweiz mangels eigener Richtlinien die deutsche Verordnung 42. BImSchV³ angewendet. Die VDI-Regelung 2047 Blatt 2⁴ gehört ebenso dazu. Sie regelt den hygienegerechten Betrieb von Verdunstungskühlanlagen.

Zu den eingesetzten Stoffmengen liegen keine öffentlichen, schweizweiten Daten vor. Eine grobe Abschätzung für ein mittelgrosses Kühlsystem, mit einem Volumen von rund 500 m³, ergibt eine jährliche Menge von rund 8 Tonnen Biozid und rund 6 Tonnen Inhibitoren. Es ist zu beachten: Diese Mengenangaben beziehen sich auf das gesamte Produkt und nicht nur auf den Wirkstoff.

Abwasseranfall und Gewässerrelevanz

Bei den offenen Kreislaufkühlsystemen bleiben die im Kühlwasser gelösten Salze zurück. Die Aufkonzentrierung dieser Salze wird durch die vorgängig bereits erwähnte Absalzung begrenzt. Dabei öffnet sich das Absalzventil periodisch, sodass ein Teil des Kühlwassers abgeleitet wird. Gleichzeitig gelangt Frischwasser ins Kühlsystem und verdünnt die verbleibenden Salze. Wieviel Abwasser in der Schweiz aus offenen Kreislaufkühl-systemen anfällt ist unklar.

Besonders relevant für Gewässer können Biozide und Korrosionsinhibitoren sein. Das Abwasser von offenen Kühlkreisläufen kann im Falle einer Havarie oder Leckagen Prozesschemikalien enthalten (Umweltbundesamt, 2001 in [2]).

² Der GL-Wert ist ein Mass für die Toxizität im Leucht-bakterientest. Ermittelt wird die Hemmung der Bio-lumineszenz der Leucht-bakterien.

³ 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Im-missionsschutzgesetzes – 42. BImSchV, verfüg-bar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_42/BjNR237900017.html

⁴ VDI 2047 Blatt 2, «Rückkühlwerke - Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühl-anlagen (VDI-Kühlturmregelung)»

GESCHLOSSENE KREISLAUFKÜHLSYSTEME

Funktionsweise

Bei den geschlossenen Kreislaufkühlsystemen verbleibt das Wasser, das der Wärmeübertragung dient, im System. Unter die geschlossenen Kühlsysteme fallen auch die sogenannten Kaltwasser- und Zwischenkühlsysteme [4].

Konditioniermittel

Geschlossene Kreislaufkühlsysteme nutzen vielfach Molybdän als Korrosionsschutz. Typischerweise liegen die Molybdän-Konzentrationen im Bereich zwischen 70 und 180 mg/l, abhängig von der Temperatur im Kühlsystem. Härtestabilisatoren können auch zum Einsatz kommen, Biozide sind in der Regel nicht notwendig.

Abwasseranfall und Gewässerrelevanz

Bei geschlossenen Kühlkreisläufen verbleibt das Wasser im System. Abwasser fällt nur bei einem Wasserwechsel an, der beispielsweise bei betrieblichen Problemen erforderlich ist. Aus Deutschland ist bekannt, dass rund zwei Drittel der Betriebe diese Abwässer in die öffentliche Kanalisation einleiten. Im Einzelfall kommt es auch vor, dass die Abwässer direkt ins Gewässer gelangen [5]. Geschlossene Kühlkreisläufe sind demnach kaum abwasserrelevant, weil praktisch kein Abwasser anfällt. Wird aber beim Wasserwechsel der Gesamthalt des

Kühlsystems ausgetauscht, stellt dies aufgrund der grossen Wassermengen meist eine Herausforderung dar. Die Einleitung von solchen Abwässern ist bewilligungspflichtig, daher ist die rechtskonforme Entsorgung in jedem Fall mit der zuständigen Vollzugsbehörde abzusprechen.

HEIZKREISLÄUFE

Bei Heizkreisläufen wird die Wärmeenergie auf Wasser beziehungsweise auf Wasserdampf übertragen. Die Wärme wird in den sogenannten (Dampf-)Kesseln aus verschiedenen Ressourcen (z. B. Erdgas) erzeugt. In über 90% der industriellen Heizkreisläufe handelt es sich entweder um Grosswasserraumkessel oder Wasserrohrkessel.

FUNKTIONSWEISE DAMPFKESSEL

Grosswasserraumkessel

Beim Grosswasserraumkessel – auch als Flammrohrkessel oder Rauchrohrkessel bezeichnet – ist das sogenannte Flammrohr direkt auf den Brenner aufgesetzt (Fig. 3, links). Am Ende des Flammrohrs werden die heissen Verbrennungsgase umgelenkt und strömen durch die Rauchrohre zurück. Die Rohre befinden sich in einer teilweise mit Wasser gefüllten Trommel unterhalb der Wasserlinie. Diese kompakte Bauform ist am weitesten verbreitet. Die Anforderungen an Druck und Dampfmenge der meisten industri-

len Produktionsprozesse können damit erfüllt werden. Die Kessel werden meist mit Drücken bis zu 28 bar und Dampferzeugungskapazitäten bis zu 40 Tonnen pro Stunde gebaut, können aber auch für die Erzeugung von Niederdruckdampf (bis 1 bar) zum Einsatz kommen. Dennoch ist ihre Kapazität begrenzt, weshalb sie vor allem bei kleinen und mittleren Anlagen zu finden sind (Effenberger, 1999; Konstantin, 2009; Scholz, 2013; alle in [2]).

Wasserrohrkessel

Wasserrohrkessel erreichen höhere Drücke und Leistungen als Grosswasserraumkessel. Daher kommen sie bei grösseren Industrieheizwerken zum Einsatz. Beim Wasserrohrkessel strömt das Kesselwasser beziehungsweise der entstehende Wasserdampf durch die Rohre (Fig. 3, rechts). Der Verbrennungsprozess findet im Verbrennungsraum des Kessels statt. Das System aus wasserführenden Rohren verbindet die teilweise mit Wasser und Wasserdampf gefüllte Dampftrommel, die sich an der höchsten Stelle des Systems befindet. In den Rohren zirkulieren das Wasser und der Wasserdampf. Partikuläre Bestandteile setzen sich in der Schlammtrommel ab, während der Wasserdampf nach oben steigt und sich in der Dampftrommel sammelt. Von dort gelangt der Wasserdampf in die Dampfleitung (Effenberger, 1999; Konstantin, 2009; Scholz, 2013; alle in [2]). Die Anforderungen an die Wasserquali-

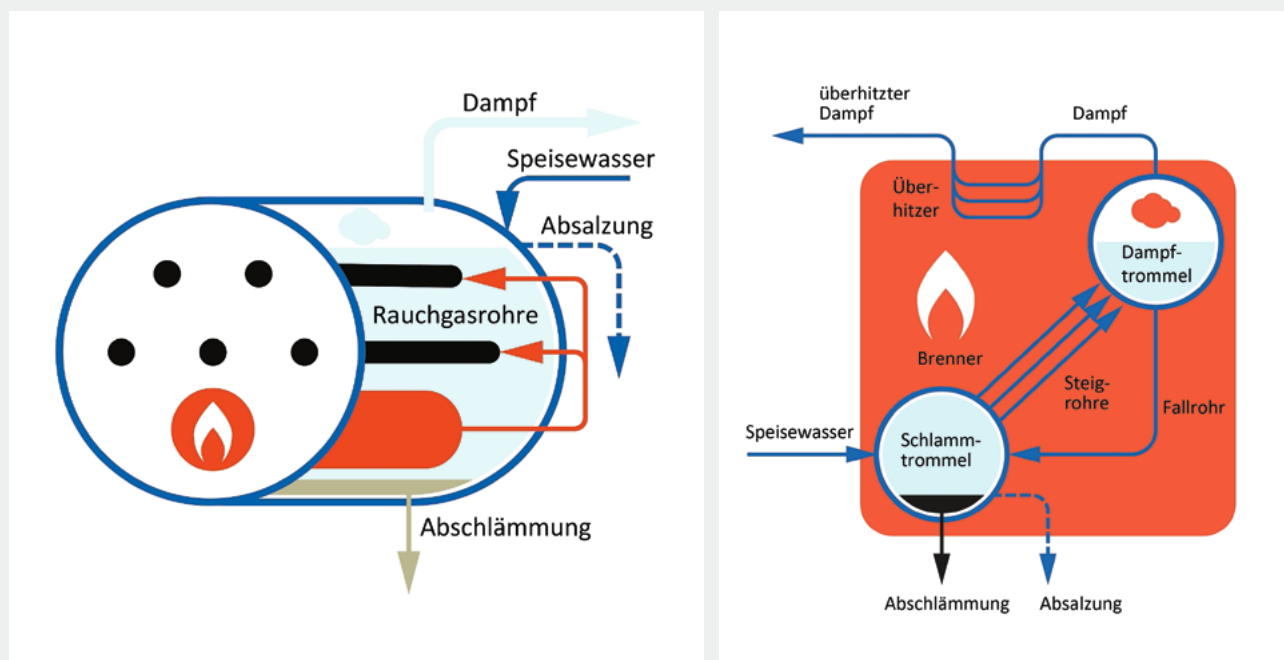


Fig. 3 Typisches Verfahrensschema eines Grosswasserraumkessels (links; Schema basierend auf [2]) und eines Wasserrohrkessels (rechts; Schema basierend auf Emoscopes, 2006 in [2]).

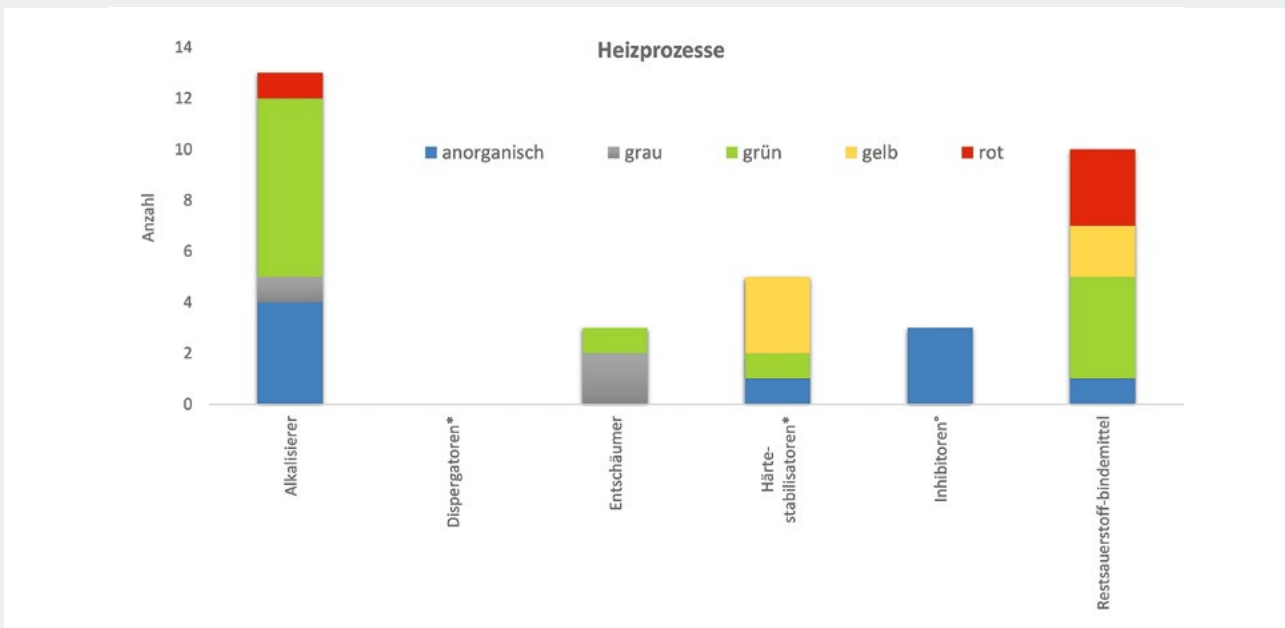


Fig. 4 Farbliche Einstufung der einzelnen Konditioniermittel, die in Heizprozessen zum Einsatz kommen. Die Stoffklassen *Polycarboxylate und °Phosphonate können keiner definierten Verbindungen mit CAS-Nummer zugeordnet und daher nicht beurteilt werden.

tät sind beim Wasserrohrkessel um einiges höher als beim Grosswasserraumkessel. Deshalb benötigt dieses System mehr und höher dosierte Konditioniermittel.

KONDITIONIERUNG VON HEIZKREISLÄUFEN

In Heizkreisläufen herrschen deutlich höhere Drücke und Temperaturen als in Kühlkreisläufen. Das Wasser, das als Wärmeträger fungiert, muss aufbereitet werden, beispielsweise mit Filtrations-, Ionenaustausch- oder Membranverfahren. Ansonsten sind Schäden am Heizsystem wahrscheinlich. Welche Qualität notwendig ist, hängt vom Kesseltyp ab. Spezifische Anforderungen an das Kesselspeisewasser für Wasserrohrkessel und für Grossraumkessel enthalten die Normen EN 12952-12 respektive EN 12953-10. Die Schweiz ist als CEN-Mitglied verpflichtet, die Vorgaben dieser europäischen Normen einzuhalten. Das sogenannte Kessel- und Speisewasser muss wie das Kühlwasser für Kühlprozesse gezielt aufbereitet und mit spezifischen Chemikalien konditioniert werden. Die angewandten Konditioniermittel lassen sich in folgende Klassen unterteilen:

- Alkalisierer stabilisieren den pH-Wert sowohl im Kesselwasser als auch im Dampf- und Kondensatsystem.
- Restsauerstoffbinder binden den gelösten Sauerstoff, weil dieser im Heizsystem zu Korrosion führt. In gewissen Betrieben der Lebensmittelverarbeitung dürfen dampfflüchtige Stoffe nicht oder

nur eingeschränkt verwendet werden.

- Inhibitoren schützen metallische Oberflächen vor Korrosion, indem sie die Bildung von Magnetit- oder anderen Oxidschutzschichten unterstützen.
- Härtestabilisatoren binden die Resthärte im Wasser. Anstelle der Bildung einer Kruste im System entsteht eine nichtkristalline Trübung. Diese lässt sich mit der Abschlammung gut aus dem Heizkreislauf entfernen.
- Entschäumer verhindern, dass sich im Kesselwasser Schaum bildet. Dieser würde zu unerwünschten Ablagerungen in den sogenannten Überhitzern führen.
- Dispergatoren lagern sich an Trübstoffen an und verhindern, dass sich diese im Heizsystem absetzen. Die Trübstoffe lassen sich gut über die Absalzung aus dem System entfernen.

Einige Einzelstoffe der oben genannten Klassen sind als «gelb» oder «rot» einzustufen (Fig. 4). Besonders gewässerrelevant sind die Restsauerstoffbindemittel. Dazu gehören Hydrazin, Hydroxylamin-derivate und Oxime. Der Alkalisierer Ethylendiamin ist wegen seinen sensibilisierenden Eigenschaften für die Atemwege ein SVHC-Stoff¹. Er ist allerdings biologisch gut abbaubar. Für einige der erwähnten Stoffe gibt es weniger bedenkliche Alternativen. Bei den Restsauerstoffbindemitteln sind dies Hydrogensulfite, Ascorbate, Amine oder Carbonsäuren, bei den Entschäumern zählen Glykole dazu. Ersatzstoffe müssten im Einzelfall

evaluiert werden unter Berücksichtigung individueller Vorgaben. Beispielsweise sind in Betrieben der Lebensmittelverarbeitung nicht alle Stoffe erlaubt.

ABWASSERANFALL UND GEWÄSSERRELEVANZ

Sowohl beim Grosswasserraumkessel wie auch beim Wasserrohrkessel fällt Abwasser bei der Absalzung und der Abschlammung an. Die Absalzung erfolgt kontinuierlich. Die Abschlammung erfolgt periodisch und meist manuell. Bei beiden Heizsystemen fallen – im Vergleich zu den Kühlprozessen – geringe Abwassermengen an. Das Abwasser aus Absalzung und Abschlammung gelangt in die Kanalisation und in die ARA.

Die wasserlöslichen Konditioniermittel reichern sich im Heizkessel an. Die dampfflüchtigen Konditioniermittel verbleiben grösstenteils in der Dampf-

DANKSAGUNG

Wir danken allen herzlichst, die zu diesem Artikel beigetragen haben. Insbesondere bedanken wir uns bei M. Masch (EnviroChemie AG), A. Jenny (Basler & Hofmann AG, vorher VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»), A. Langbein (AUE Basel-Stadt), N. Siegenthaler (EnviroChemie AG), P. Dell'Ava (ehemals AWEL Zürich), L. Grauwiler (uwe Luzern) und S. Zimmermann-Steffens (BAFU) für die wertvollen Diskussionen und Rückmeldungen zu diesem Artikel.

phase. Sie können aber über unbeabsichtigte Kondensat- und Dampfverluste ins Abwasser gelangen. Der Grossteil der Konditioniermittel liegt im unteren mg/l-Bereich im Kessel. Das heisst: Die Konzentrationen sind geringer als in den Kreislaufkühlsystemen. Einige der verwendeten Konditioniermittel sind problematisch für die Gewässer (s. Fig. 4). Inwieweit sich die Stoffe unter den Druck- und Temperaturbedingungen der Heizkessel verändern und in welcher Form sie letztendlich im Abwasser vorkommen, ist unbekannt.

Heizsysteme werden je nach Anlagentyp alle paar Jahre für eine sicherheitstechnische Überprüfung durch den SVTI (Schweizerischer Verein für technische Inspektionen) geöffnet und gereinigt. Bei Betriebsproblemen erfolgt das entsprechend früher, beispielsweise im Falle einer schlechten Wärmeübertragung infolge Ablagerung von Korrosionsprodukten oder Schwebstoffen. Gereinigt wird der Heizkreislauf mittels Salzsäure, Schwefelsäure oder Phosphorsäure.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der vorliegende Artikel gibt eine beschreibende Übersicht über die gängigsten Kühl- und Heizsystemtypen in der Schweiz sowie über die in diesen Systeme-

eingesetzten Konditioniermittel. Es lässt sich daraus Folgendes lernen:

- Durchflusskühlsysteme sowie offene und geschlossene Kreislaufkühlsysteme gehören zu den Nasskühlsystemen, die in der Schweiz verbreitet sind: In den Kreislaufkühlsystemen sind insbesondere einige Biozide (z. B. Methylisothiazolinon) und einige Korrosionsinhibitoren (z. B. Triazole) als problematisch für das Gewässer einzustufen.
- Bei den industriellen Heizprozessen sind vor allem Grosswasserraumkessel oder Wasserrohrkessel weit verbreitet: In diesen Systemen sind insbesondere Stoffe aus der Kategorie der Restsauerstoffbinder (z. B. Hydrazin) als problematisch für das Gewässer einzustufen.
- Kühlkreisläufe scheinen tendenziell gewässerrelevanter als Heizkreisläufe. Denn bei ersteren fällt mehr Abwasser an und die Konditioniermittel sind tendenziell höher konzentriert als bei Heizkreisläufen. Von besonderer Bedeutung sind die offenen Kreislaufkühlsysteme, bei denen vergleichsweise grosse Abwassermengen anfallen, die Konditioniermittel enthalten. Eine Alternative stellen die sogenannten Hybridkühlsysteme dar, die weniger Wasser verbrauchen und ohne Konditioniermittel auskommen.

- In einem nächsten Schritt muss der Stand der Technik der Kühl- und Heizprozesse systematisch erhoben und die theoretische stoffliche Betrachtung mittels Messkampagnen ergänzt werden. Daraus lässt sich ableiten, wie gut die Stoffe durch diesen Stand der Technik zurückgehalten werden und ob – insbesondere für die als relevant eingestufteten Stoffe – zusätzliche Anforderungen notwendig sind.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wunderlin, P.; Gulde, R. (2022): Situationsanalyse «Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässern». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg
- [2] Masch, M.; Schmitt, J. (2020): Abwasserrelevanz von Kreisläufen zu Kühl- und Heizzwecken in der Schweiz: Übersicht über Systeme und Stoffe. EnviroChemie AG, Eschenbach
- [3] ECHA (2022): ECHA – European chemical agency. <https://echa.europa.eu/de/home>
- [4] Aquaprox (2007): Kühlwasserbehandlung. Berlin, Heidelberg: Springer
- [5] Gartiser, S.; Ulrich, E. (2002): Einsatz umweltverträglicher Chemikalien in der Kühlwasserkonditionierung. Hydrotex GmbH, Freiburg
- [6] ECHA (2017): Chemikalien im Alltag – Besorgniserregende Stoffe – SVHC. <https://echa.europa.eu/de/-/chemicals-in-our-life-chemicals-of-concern-svhc>

Beschriftung von Einlaufschächten

Rondelles « Ne polluez pas nos eaux »

Effektiver Schutz und Sensibilisierung durch Rondellen zur Beschriftung von Einlaufschächten, die direkt in einen Bach oder einen See fliessen bzw. im Grundwasser versickern.



Une protection et une sensibilisation efficaces grâce à des rondelles pour l'étiquetage des grilles qui rejettent les eaux directement dans un cours d'eau ou un lac ou qui les infiltrent dans les eaux souterraines.

