

Liebe Leserinnen und Leser,

wir freuen uns, dass Sie sich zum Kauf **unseres eBooks** entschieden haben.

An dieser Stelle möchten wir Sie darauf hinweisen, dass Sie mit dem Kauf eine **Einzellizenz** erworben haben. Die Weitergabe an Dritte ist somit **nicht gestattet**.

Ebenfalls nicht zulässig sind:

- Kopien / Ausdrucke auf Papier
- Digitalisierte Kopien
- Speicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen
- Ablegen im (firmeneigenen) Intranet
- andere für mehrere Personen zugängliche Datenbanken
- Versand per eMail

Die Möglichkeit, mehrere Personen zugreifen zu lassen, bieten bei Bedarf unsere **Mehrplatzlizenz-Lösungen**. Gerne beraten die Mitarbeiter unserer Verlage Sie bei Fragen zu unserer Mehrplatzlizenz-Plattform **www.scifo.de**.

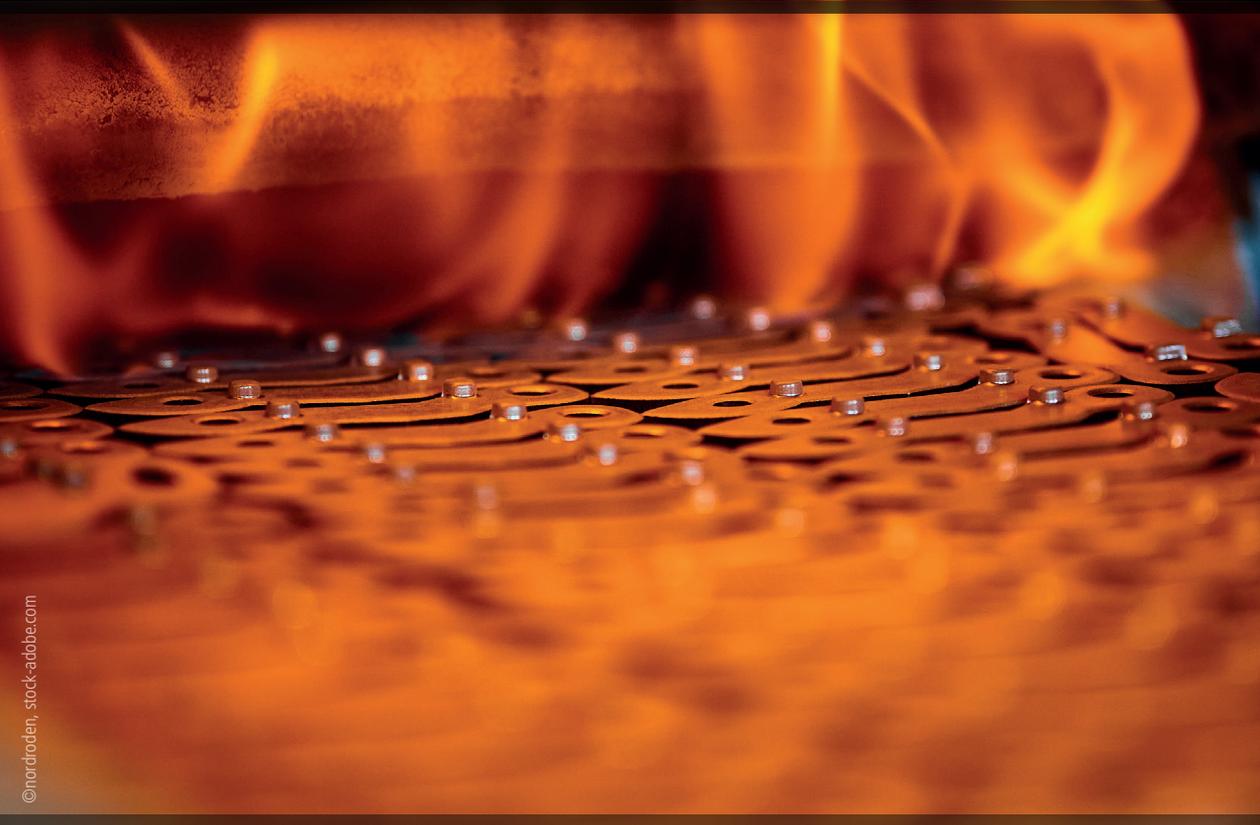
Wir danken Ihnen für Ihr Verständnis und wünschen nun viel Freude mit Ihrem eBook.

Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)

Handbuch HärtereiPraxis

Verfahren | Anwendungen | Innovationen

4. Ausgabe

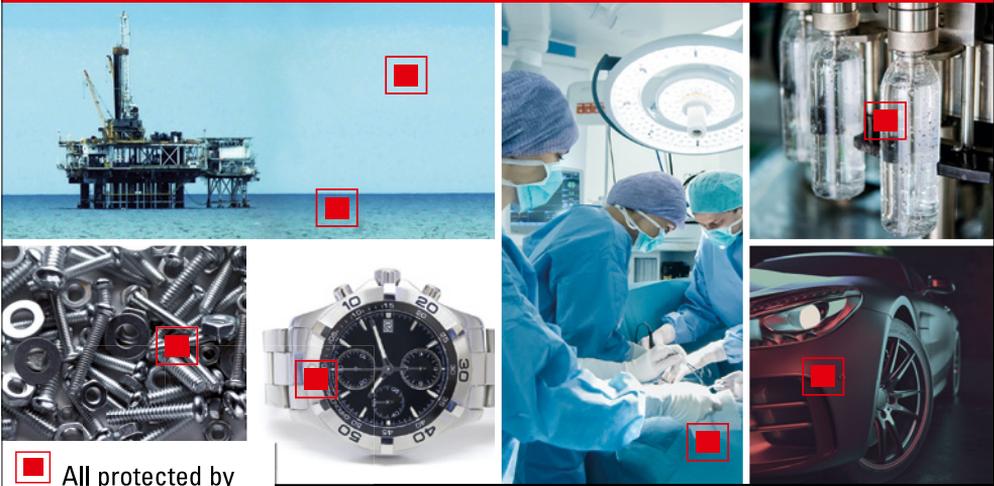


©nordrioden, stock-adobe.com



Handbuch Härtereipraxis

Verfahren – Anwendungen – Innovationen



 All protected by
Bodycote.

Keine Fehler. **Keine Kompromisse.**

Überall – und ganz gleich in welcher Branche – erfüllen kleine wie große Komponenten eine teilweise lebenswichtige Funktion. Wir machen Ihre Komponenten stärker und damit unsere Welt sicherer.

Exakt das Richtige. Und nichts anderes.

Bodycote ist Ihr Partner für **Wärmebehandlung, Oberflächentechnik und Heiß-Isostatisches Pressen (HIP)**. Als Weltmarktführer in der Wärmebehandlung bieten wir auch **spezielle Edelstahlprozesse (S[®]P)** für eine einzigartige Oberflächenhärtung von rostfreien Stählen, Nickel-Basis- und Kobalt-Chrom-Legierungen. Ziel ist die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften und des Verschleißwiderstands. Die Korrosionsbeständigkeit Ihrer Produkte bleibt dabei unverändert. Exakt das Richtige. Insbesondere für **rostfreie Stähle**.

Ihr Anspruch. Unsere **Qualität.**

Wir arbeiten nach den höchsten Standards in Qualität, Sicherheit und Effizienz. Unsere Zertifizierungen nach ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, TS 16949, OHSAS 18001, Nadcap und AS 9100 belegen das.

Wir bieten auch für Ihre Anwendung das richtige Verfahren.

www.bodycote.com

 **Bodycote**

Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)

Handbuch Härtereipraxis

Verfahren – Anwendungen – Innovationen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

*Handbuch Härtereipraxis
Verfahren – Anwendungen – Innovationen
Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)
4. Ausgabe 2024*

ISBN: 978-3-8027-3185-3 (Print)

ISBN: 978-3-8027-3186-0 (eBook)

© 2024 Vulkan Verlag GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland
Telefon: +49 201 820 02-0, Internet: www.vulkan-verlag.de

Projektmanagement: Marie-Therese Hanschmann, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Lektorat: Marie-Therese Hanschmann, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Herstellung: Melanie Zöllner, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Umschlaggestaltung: Melanie Zöllner, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Titelbild: © nordroden, stock-adobe.com

Satz: Brigitte Schmidt, Schmidt Media Design, München

Druckerei: mediaprint solutions GmbH, Eggertstraße 28, 33100 Paderborn

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Der Erwerb berechtigt nicht zur Weitergabe des eBooks an Dritte.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Herausgeber, Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Vorwort:

Ist in der Wärmebehandlung und der Härtereipraxis die Zukunft bereits Gegenwart?

Diese Frage mag sich so manch ein Betreiber entsprechender Ofen- und Härteprozess-technik aktuell stellen. Gab es in früheren Jahren und Jahrzehnten ausreichend Zeit, um sich auf die Zukunft und die damit verbundenen Veränderungen und korrespondierenden Anpassungen einzustellen, so gibt es diese Zeit aktuell in unserer sich schnell verändernden Gesellschaft und Wirtschaft nicht mehr.

Wir sind in der Zukunft mit all ihren Herausforderungen bereits angekommen!

Die Fragen und Konsequenzen, die sich aus dieser Feststellung ergeben, sind diejenigen, ob wir bereits „unsere Hausaufgaben gemacht haben“ und ausreichend neue Technologien besitzen, die dazu beitragen können, Prozesse effizienter und klimaneutraler zu gestalten und Produkte von höherer Qualität und verbesserter Wirtschaftlichkeit herzustellen.

Alle reden „im Allgemeinen“ von Transformation, wobei viele vermeintliche Experten gar nicht wissen, was sie unter Transformation „im Speziellen“ verstehen wollen. Dies schafft in unserer Gesellschaft derzeit einen vor allem von der Politik getriebenen Disput. Die Transformation der Härtereipraxis „im Speziellen“ mit den Mega-Trends Klimawandel, Nachhaltigkeit und Energie erfordert eine neue Generation von Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die sich diesen Herausforderungen stellen. Vielleicht sollte man in Anlehnung an eine derzeit sehr populäre Umweltkampagne für unsere Branche zur „Härtereipraxis for Future“ aufrufen, um auch hier Bewusstsein für Klima „mit und nur durch“ eine funktionierende Industrie zu schaffen?

Die Härtereipraxis ist seit Jahren einem extremen Wandel unterworfen. Trends – reden wir aktuell bitte noch nicht von „Mega-Trends“ – machen es für Härtereien immer wichtiger, sich dem Thema Klimawandel anzunehmen und Maßnahmen zur CO₂-Reduktion zu ergreifen. Hierzu gehört vor allem eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes durch effizienteren Einsatz von Energie oder auch eine Nutzung erneuerbarer Energien. Die Fachtagung Härtereipraxis nimmt sich seit Jahren diesen Themen an und publiziert entsprechende praxisbezogene Fachartikel über den Vulkan-Verlag im Kompendium wie im vorliegenden Fachbuch Härtereipraxis.

Die Härtereipraxis steht vor gewaltigen Umwälzungen. Im Rahmen der Fachtagung und des Fachbuches werden Vorschläge und Maßnahmen vorgestellt, die im Zuge des globalen Klimawandels und der steigenden Nachfrage nach nachhaltigen Produkten in den Unternehmen dieser Branche in der Umsetzung sind. Vor allem die Verfahren der Vakuumtechnik, wie das Niederdruckaufkohlen, das Plasmanitrieren oder das Lösungsnitrieren bzw. ferritisches Nitrocarburieren (FNC), werden in Fachbeiträgen in diesem Buch behandelt und diskutiert. Die modernen Maßnahmen zur Dekarbonisierung in der Wärmebehandlung und zur Wärmerückgewinnung sind weitere Schwerpunkte. Insgesamt zeigen diese neueren Technologien zur klimaneutralen Härtereipraxis großes Potenzial in Bezug auf Effizienzgewinne – sowohl im Hinblick auf Zeit- als auch Kosteneinsparungen im Bereich der Wärmebehandlung und Härtereipraxis. Sie bieten innovative Lösungen für Anwendungsfälle jeder Größe – vom Kleinstbetrieb bis hin zum Großkonzern – und stellen einen bedeutenden Schritt in

Richtung Zukunft dar – insofern ist die jährliche Fachtagung Härtereipraxis auch ein wesentlicher Schritt, um die Zukunft verbessert zu gestalten!

Einige Betriebe der Härtereibranche haben bereits mit ersten Maßnahmen begonnen, um klimaneutral zu produzieren, doch die meisten sind noch weit davon entfernt. Erste klimaneutrale und bislang einzige Lohnhärtereipraxis (Stand Januar 2023) ist die Löwenhärtereipraxis in Salzgitter. Der Inhaber der Härtereipraxis, Marcus Knieza, hatte erstmalig im Januar auf dem Härtereikreis Hannover über „den Weg zur klimaneutralen Härtereipraxis“ berichtet.

Mit den „zwingend“ zu ergreifenden Maßnahmen zur klimaneutralen Härtereipraxis steht nicht selten die Wettbewerbsfähigkeit infrage, da immer mehr auf erneuerbare Energien gesetzt wird und die Härtereipraxis so weiter unter Druck gerät. Eine nachhaltige Transformation der Härtereipraxisindustrie kann daher nur dann für die Unternehmen zum Erfolg führen, wenn Politik und Gesetzgebung die Voraussetzung für ein wirtschaftliches und unternehmerisch erfolgreiches Handeln schaffen. In dieser Buchausgabe werden wieder eine Vielzahl an „Zukunftsthemen der Härtereipraxis“ behandelt und hoffentlich eine „new generation“ in deren Entscheidungen inspirieren – die alles andere im Sinn hat als die „last generation“ –, um diesen neuen und zukunftsorientierten Weg zu gehen.



Julian Irretier, IBW Dr. Irretier GmbH

flox.com

Amortisation des Mehrpreises
durch Gaseinsparung
typischerweise in 1,5 bis 2,5 Jahren

Geringste NO_x-Emissionen

Spaltstrom-Technologie
bis zu 1.250°C

Großes Einsatzspektrum

**GREEN
GAS
READY**®

Deutscher
Umweltpreis 2011

WS REKUMAT® CS

Keramik-Brenner mit Spaltstrom-Modul

FLOX®



INNOVATIVE BRENNER-TECHNOLOGIE

WS Wärmeprozess-technik GmbH · Dornierstrasse 14 · D-71272 Renningen · Germany
Fon: +49 (71 59) 16 32-0 · Fax: +49 (71 59) 27 38 · E-Mail: ws@flox.com

WS Thermal Process Technology Inc. · 8301 West Erie Avenue · Lorain, OH 44053 · USA
Fon +1 (440) 385 6829 · Fax +1 (440) 960 5454 · E-Mail: wsinc@flox.com



Inhaltsverzeichnis

1. Härtereipraxis	1
1.1 Rückkühlungsanlagen im Wärmebehandlungs- und Härtereibetrieb	2
1.1.1 Kurzfassung	2
1.1.2 Einführung	2
1.1.3 Planung und Ausführung von Rückkühlanlagen	3
1.1.4 Die 42. Bundesimmissionsschutzverordnung (42. BImSchV)	7
1.1.5 Praktische Umsetzung der 42. BImSchV	9
1.1.6 Bedarfsgerechte Bioziddosierung	11
1.1.7 Wasserdatenmanagement und Industrie 4.0	12
1.1.8 Weitere Möglichkeiten der praktischen Umsetzung der 42. BImSchV	17
1.1.9 Zusammenfassung	18
1.2 Induktionshärten und Anlassen von Sinterstählen – Einfluss von Werkstoff, Dichte und Prozesshistorie	20
1.2.1 Einführung	20
1.2.2 Einfluss von Stickstoff auf das Alterungsverhalten von Sintereisen und Sinterstählen	25
1.2.3 Blausprödigkeit	29
1.2.4 Besonderheiten bei der induktiven Austenitisierung von Sinterstählen	35
1.2.5 Besonderheiten bei der induktiven Anlassbehandlung von Sinterstählen	40
1.2.6 Induktionshärten von Distaloy AB + 0,5 % C + 0,5 % MnS	43
1.3 Optimierte Produkte für die Wärmebehandlung aus hitzebeständigen Stählen	56
1.3.1 Einführung – Hitzebeständiger Edelstahl – Herstellung und Historie	56
1.3.2 Herstellungsverfahren für Gusskomponenten	56
1.3.3 Auswahl und Dimensionierung von Gussbauteilen	57
1.3.4 Zusammenfassung	61
1.4 Optimierte Abkühlgeschwindigkeiten in Wirbelbett-Wärmebehandlungssystemen	62
1.4.1 Ausgezeichnete Alternative zum Salzbad und zu weiteren Wärmebehandlungssystemen	62
1.4.2 Funktionsprinzip der Wirbelbettssysteme	62
1.4.3 Vorteile der Wirbelbetttechnologie	63
1.4.4 Optimierung des Abkühlereffekts im Wirbelbett	63
1.4.5 F-&E-Projekt	63
1.4.6 Fazit	67
1.5 Endogas-Erzeugung aus Erdgas mit zunehmend volatiler Gasbeschaffenheit	68

1.5.1	Erdgas mit zunehmend volatiler Konsistenz	68
1.5.2	Hintergrund geplanter H ₂ -Beimengung in größeren Mengen	71
1.5.3	Neues Berechnungstool zur Bestimmung der Einstellwerte und Berechnung der Endogas-Zusammensetzung	72
1.5.4	Ausführungsvarianten von Endogas-Generatoren	75
1.5.5	Fazit	78
1.6	Level-2-Optimierung: neue Wege in der Wärmebehandlung	79
1.6.1	Status quo	79
1.6.2	Die Herausforderung – exponentielles Wachstum	79
1.6.3	Die Lösung – Prozessoptimierung auf Level 2	81
1.6.4	Der Nutzen	84
1.7	Smarte Stickstoff-Methanol-Eindüslungslanze für Aufkohlungs- und Härteatmosphären – eine Fallstudie	85
1.7.1	Das Stickstoff-Methanol-Verfahren	86
1.7.2	Air Products innovative Stickstoff-/Methanol-Smart-Lanze und Air Products Smart-Technology-System	87
1.7.3	Die Smart-Lanze im Vergleich zu einer herkömmlichen Stickstoff-Methanol-Tropflanze	88
1.7.4	Installation der Stickstoff-/Methanol-Smart-Lanze	89
1.7.5	Realisierte Vorteile mit der Smart-Lanze	91
1.7.6	Air Products Smart-Technology	92
1.7.7	Zusammenfassung	94
2.	Nachhaltigkeit und Ressourcen- und Energieeffizienz	95
2.1	Nachhaltigkeit und Dekarbonisierung – Maßnahmen zur Zukunftsfähigkeit in Wärmebehandlung und Härterei	96
2.1.1	Einführung	96
2.1.2	Grundlegende Aspekte zur Dekarbonisierung	97
2.1.3	Aspekte und Beispiele zur verbesserten Effizienz und Klimaneutralität durch das Nitrocarburieren und Niederdruck- aufkohlen in modularen Anlagenkonzepten	98
2.1.4	Zusammenfassung	102
2.2	Maßnahmen zur energieeffizienten Wärmebehandlung in der Industrie- ofentechnik – Aspekte und Hinweise zur Förderung	104
2.2.1	Allgemeines	104
2.2.2	Grundlegende Betrachtungen zum energieeffizienten Industrie- ofenbau und der Wärmebehandlung	104
2.2.3	Energieeffizienzmaßnahmen, Wärmerückgewinnung und Fördermöglichkeiten	107
2.2.4	Leitfaden Energieeffizienz	109
2.2.5	Fazit und Empfehlungen	110
2.3	Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung in Wärmebehandlung und Härereibetrieb	112
2.3.1	Energieeffizienz im Ofenbau – Allgemeine Aspekte	112
2.3.2	Umweltschutz und Fördermöglichkeiten	118

2.3.3	Leitfaden Energieeffizienz	119
2.3.4	Fazit	121
2.4	Lohnwärmebehandlung in Deutschland – Eine Branche im Wandel der Zeit mit den Mega-Themen Transformation, Energiewende und Nachhaltigkeit	122
2.4.1	Einführung	122
2.4.2	Die Geschichte der Wärmebehandlung	122
2.4.3	Der Industrieverband Härtetechnik (IHT)	123
2.4.4	Transformation in der deutschen Automobilindustrie	125
2.4.5	Energiewende und Energiekosten	128
2.4.6	Nachhaltigkeit – das Handlungsprinzip unserer Zeit	131
2.4.7	Zusammenfassung und Fazit	136
2.5	Industrielle Brenntechnik und nachhaltige Wärmeerzeugung in Zeiten des Wandels	138
2.5.1	Einführung	138
2.5.2	Energiewende	139
2.5.3	Fluktuierende Erzeugung	140
2.5.4	Zukünftige Entwicklung der Energiepreise	142
2.5.5	Thermoprozesstechnik	142
2.5.6	Direkte Elektrifizierung	142
2.5.7	Hybride Systeme	142
2.5.8	Brennstoffflexible Brenner	143
2.5.9	Indirekte Elektrifizierung durch Nutzung von Elektrolysewasserstoff	143
2.5.10	Ausblick	144
2.6	Förderprogramme für die Umstellung auf eine emissionsfreie Produktion	146
2.6.1	Beratungsförderung	147
2.6.2	Investitionsförderung	147
2.6.3	Fazit	149
2.7	Dekarbonisierung von Schutzgasatmosphären	150
2.7.1	Einführende Anmerkungen: Gegenwärtig gebräuchliche Schutz- und Reaktionsgasatmosphären	150
2.7.2	Ausblick auf künftig verfügbare, alternative Optionen	150
2.7.3	Umweltfreundliche Schutzgas-Atmosphärenalternativen	150
2.7.4	Umweltfreundliche reaktive Atmosphäre für die Gasaufkohlung	152
2.7.5	Einführende Anmerkungen	152
2.7.6	Neue „Low-Emission“-Gasaufkohlungsatmosphäre	154
2.7.7	Fazit	161
2.8	Ein Programmwerkzeug zur Effizienzsteigerung des Einsatzhärtens	162
2.8.1	Einführung	162
2.8.2	Beanspruchungskontrollierte Zielgrößen und Prozessparameter	163
2.8.3	Programmwerkzeug BeKoEH-Postprozessor	164
2.8.4	Anwendungsbeispiel	165
2.8.5	Zusammenfassung und Ausblick	170

2.9	Optimierungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Energieeffizienz bei Thermoprozessanlagen.....	172
2.9.1	Einleitung.....	172
2.9.2	Verbrauchsdatenerfassung.....	172
2.9.3	Energieverbraucher nach Prozessabschnitt.....	173
2.9.4	Prozessabschnitte: Halten, Heizen, Kühlen.....	173
2.9.5	Energieeinsparpotenzial.....	175
2.9.6	Zusammenfassung.....	177
3.	Reinigen vor und nach der Wärmebehandlung.....	179
3.1	Moderne Lösemittelreinigung von Großserienbauteilen unter Vakuum in Durchlauföfenanlagen.....	180
3.1.1	Einleitung.....	180
3.1.2	Überblick Verunreinigungen.....	180
3.1.3	Bisherige Art der Reinigung.....	182
3.1.4	Praxisbeispiel Lösemittelreinigung mit und ohne Beyond-Reinigung.....	183
3.1.5	Durchstoßvariante Rollenherdöfen.....	189
3.1.6	Fazit.....	189
3.2	Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen durch hochmoderne Metallreinigungsmöglichkeiten.....	190
3.2.1	Abstract.....	190
3.2.2	Einführung.....	190
3.2.3	Grundlegendes zur Reinigung.....	192
3.2.4	Überblick über Reinigungsmittel.....	194
3.2.5	Gesetzgebung.....	195
3.2.6	Reinigungstechnologien.....	197
3.2.7	Reinigungsversuche (Studie).....	199
3.2.8	Schlussfolgerungen.....	205
4.	Qualitätsmanagement.....	209
4.1	Reproduzierbarkeit der Härtetiefenbestimmung CHD.....	210
4.1.1	Einleitung.....	210
4.1.2	Normung.....	210
4.1.3	Einflüsse auf das Prüfergebnis.....	211
4.1.4	Ringversuch.....	215
4.1.5	Prüfergebnisse des Ringversuches.....	216
4.1.6	Ergebnisse aus früheren Ringversuchen.....	218
4.1.7	Fazit.....	220
4.2	CQI-9 – der Gold-Standard in der Wärmebehandlung.....	222
4.2.1	4. Auflage der CQI-9.....	222
4.2.2	Akkreditiert für die Instrumentierungsprüfung und SAT-Messung.....	225
4.2.3	Kompaktlösung zur Kalibrierung.....	225
4.2.4	Vor-Ort-Kalibrierung.....	226

5. Modernisierung und Instandhaltung	227
5.1 Vorausschauende Instandhaltung für Thermoprozessanlagen	228
5.1.1 Anomalieerkennung	228
5.1.2 Restlebensdauerprognose	240
6. Digitalisierung	257
6.1 Digitalisierung und Datenanalyse in der Wärmebehandlungsindustrie	258
6.1.1 Herausforderungen der Wärmebehandlungsindustrie	258
6.1.2 Herausforderung: IT-Infrastruktur	259
6.1.3 Ein ganzheitlicher Ansatz	260
6.1.4 Zusammenfassung	272
6.2 Digitalisierung im Bereich der Wärmebehandlung von Antriebskomponenten	274
6.2.1 Vom One-Piece-Flow zur Small-Batch-Production	275
6.2.2 Digitalisierung	278
6.2.3 Prozessroutings	280
6.2.4 Bauteilkennzeichnung	281
6.2.5 Qualitätssicherung	284
6.2.6 Digitalisierung im Bereich After Sales	284
6.2.7 Digitales Wartungshandbuch	285
6.2.8 Digitaler Webshop	285
6.2.9 Fazit	286
7. Induktionshärten	287
7.1 Einfluss der Frequenz und Erwärmungszeit auf die Härtetiefe von großen Werkstücken	288
7.1.1 Frequenz	289
7.1.2 Erwärmungszeit	290
7.1.3 Modell	291
7.1.4 Ergebnisse	293
7.1.5 Fazit	295
7.2 Induktives Härten von Rotorwellen für die E-Mobilität	296
7.2.1 Der Elektromotor	296
7.2.2 Verfahrenskonzepte zur induktiven Härtung	297
7.2.3 Effiziente Auslegung der Induktoren	300
7.2.4 Richtige Konzeptwahl	302
7.3 Direktumrichter-Technologie für induktive Erwärmungsaufgaben	304
7.3.1 Vorteile auf der Prozess- und Umrichterseite	304
7.3.2 Induktive Blockerwärmung	305
7.3.3 Induktive Schmelztiegelöfen	307
7.3.4 Wirtschaftliche Vorteile	309
7.3.5 Betriebsverhalten	310
7.3.6 Schallemission	311

7.3.7 Weitere Betriebsmerkmale 312

7.3.8 Fazit 313

Autorenverzeichnis 314

Inserentenverzeichnis 318



ENERGIE-EFFIZIENT MIT STANGE

- » Chargenbezogene Energieerfassung
- » Energiemanagement nach ISO 50001
- » Spitzenlastoptimierung



Standardwerk zur FEUERUNGSTECHNIK

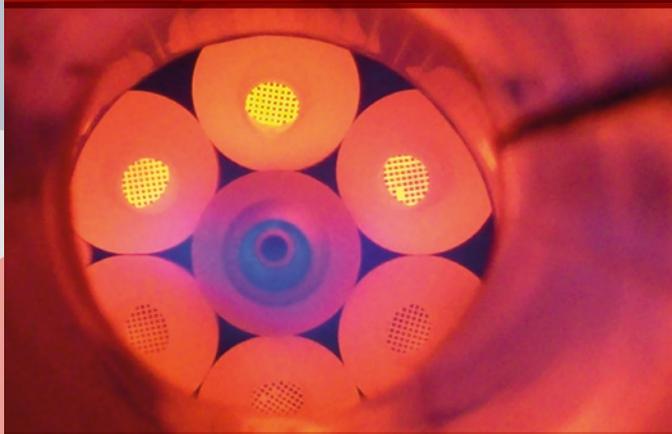
**BUCH
TIPP**

Joachim G. Wüning (Hrsg.)

Handbuch der Brennertechnik für Industrieöfen

Grundlagen | Brenntechniken | Anwendungen

4. Auflage



 Vulkan Verlag

PROZESSWÄRME  EDITION

Ihr Mehrwert:

- Effiziente und saubere Verbrennung bei Industriefeuerungen
- Fachbuch über Brenntechnik und deren Anwendung für Industrieöfen
- Wertvolles Nachschlagewerk für Planer, Betreiber und Anlagenbauer

Hrsg.: Joachim G. Wüning

Angaben: 4. Auflage 2023 | Umfang: 336 Seiten

Broschur: ISBN: 978-3-8027-3181-5 | Artikel-Nr.: 31815

eBook: ISBN: 978-3-8027-3182-2 | Artikel-Nr.: 31822

Preis: 100,00 €

Hier direkt bestellen:
www.vulkan-shop.de

 Vulkan Verlag

1. HärtereiPraxis

1.1 Rückkühlungsanlagen im Wärmebehandlungs- und Härtereibetrieb

Hartwig Gohr, Olaf Irretier, Marco Jost, Julian Irretier

1.1.1 Kurzfassung

Die Kühlung von Prozessen und Einrichtungen in Wärmebehandlungs- und Härtereibetrieben sind ein wesentlicher Bestandteil bei der Planung, die es in der Auswahl und Auslegung auf die Erfordernisse der Härtereie anzupassen gilt. Nicht nur die verfahrenstechnische Dimensionierung dieser Rückkühltechnik ist als anspruchsvoll zu bezeichnen. Den mit dem Betrieb dieser Anlagen in Zusammenhang stehenden rechtlichen und umweltrelevanten Vorgaben ist eine besondere Aufmerksamkeit geschuldet. Der vorliegende Fachbeitrag beschäftigt sich praxisgerecht mit den verfahrens- und anlagentechnischen Bedürfnissen und Anforderungen bei der Planung von Wärmebehandlungs- und Härtereibetrieben an Rückkühlssysteme und im Besonderen mit der in diesem Bereich am weitesten verbreiteten Technologie der Verdunstungskühlung über einen Kühlturm. Zudem zeigt dieser Beitrag die wesentlichen gesetzlichen Grundlagen, u. a. zur 42. BImSchV und VDI 2047-2, sowie Möglichkeiten zur Wasseraufbereitung, Wasserbehandlung und Steuerung auf. Im ersten Teil werden Aspekte und Ausführungen von Rückkühlanlagen aufgezeigt, die dem Praktiker u. a. auch aus Härtebetrieben Möglichkeiten der „eigenen Planung als Leitfaden“ aufzeigen. Im zweiten Teil dieses Beitrags werden gesetzliche Grundlagen zum Betrieb dieser Anlagen und Möglichkeiten der Pflege und Aufbereitung dieser Anlagen dargestellt.

1.1.2 Einführung

Vor der Auslegung einer Verdunstungskühlanlage steht grundsätzlich die Frage, welche Wärmemengen es in der Härtereie abzuführen gilt. Diese sind im Rahmen einer Energiebilanz vor allem auch hinsichtlich ihrer Energieeffizienz festzulegen und genau zu prüfen. Neben der Wirtschaftlichkeit (steigende Energiepreise), dem Umweltschutz und der Ressourcenschonung und der Klimaschutzpolitik sind auch gesetzliche Anforderungen sowie generelles Wirtschaftswachstum, Beschäftigung und Zukunftssicherung zu berücksichtigen. Die Energieeffizienz ist für die Wirtschaftlichkeit von Wärmebehandlungsprozessen daher von wachsender Bedeutung.

Vor allem Härtereien und Wärmebehandlungsbetriebe haben aufgrund des enormen Energiebedarfs einen hohen Anspruch an die Energieeffizienz und an ein optimiertes Energiemanagement. Aspekte bei der Bewertung sind:

- Steigende Energiepreise
- Zukunftssicherung
- Reduzierung der EEG-Umlage
- Isolation und Wärmedämmung im Ofenbau
- Kältemaschinen vers. Verdunstungskühler
- Überprüfung der notwendigen Aufheiz- und Kühlzyklen.

Die daraus resultierenden Maßschwergpunkte im modernen Industrieofenbau sind vor allem die Entwicklung neuer Anlagenkonzepte, die Analyse und Optimierung des

Anlagenkonzepts, optimierte Ofenschleusentechnik, Wärmedämmung, optimierte Brenner-technologie, Antriebstechnik, effiziente Abwärmenutzung (Ölbad, Abgas, Schutzgas), Anlagenenergiemanagement und die generelle Optimierung der Prozessparameter.

1.1.3 Planung und Ausführung von Rückkühlanlagen

Jede Auswahl und Auslegung von Anlagen und Prozessen unterliegt zunächst einmal einer genauen Bestandsaufnahme (Status Quo) und einer Spezifikation der Zielgröße über eine Leistungsbeschreibung, im Idealfall als „Lastenheft“. Die „Wege, die schlussendlich nach Rom führen“ oder zur optimalen Verfahrens- und Anlagentechnik, können dabei vielschichtig und komplex sein. Dies gilt auch für die Auswahl und Auslegung der Rückkühlleistung und somit der Kühlturmdimensionierung.

Als Ablauf und Maßnahmen zur Auslegung der Rückkühlleistung und somit der Kühlturmdimensionierung gilt:

- Bestandsaufnahme in der Härtereipraxis – Anlagen- und Verfahrenstechnik
- Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche
- Ermittlung von Schwachpunkten und Potenzialen
- Konzepte und potenzielle Energieeinsparung und -effizienz, Rückkühlung
- Maßnahmen und wirtschaftliche Betrachtung.

Die Bestimmung eines theoretischen Energiebedarfs für Erwärmung und Abkühlprozesse unterliegt folgendem Zusammenhang, der als grobe Abschätzung dienen kann: Wärme- oder Kühlmenge $E = m \text{ [kg]} \times 0,54 \text{ kJ/kg K} \times T \text{ [K]}$. Verbrauchsmengen von mehreren GWh in modernen Härtereibetrieben im Jahr sind dabei keine Seltenheit – demnach gibt es hier ein enormes Potenzial zur Wärmerückgewinnung oder, mit anderer Sichtweise, einen hohen Aufwand und hohe Kosten zur „Vernichtung“ im Verdunstungskühler. Somit steht vor der „Energievernichtung durch Rückkühlung“ in der Härtereipraxis die genaue Bilanzierung der im Härteprozess auftretenden Energiemengen.

Bei der Auswahl der geeigneten Verdunstungs- oder Nasskühlung gilt es daher zu bemerken, dass Verdunstungskühltürme die am häufigsten und mit höchstem Wirkungsgrad eingesetzten Anlagen sind. Dementsprechend liegen hier technische Standards vor, die vergleichsweise „einfach zu planen“ und kostengünstig zu beschaffen sind. Trockenkühlung nutzt demgegenüber Luft als Kühlmedium und sollte in Härtereipraxis i. d. R. nur unter speziellen Umgebungsbedingungen (niedrige/mittlere Temperatur oder Wassermangel) zum Einsatz kommen, da bei diesen Systemen der niedrigste Wirkungsgrad von allen Kühlarten vorliegt. Bei sog. Hybridkühlung tritt im Vergleich zu Nasskühltürmen verfahrensbedingt weniger Wasserverdunstung auf; zudem liegt der Wirkungsgrad zwischen Nass- und Trockenkühlung.

Bei der verfahrenstechnischen Betrachtung und Auslegung einer Verdunstungskühlung (**Bild 1**) sind folgende physikalische Größen zu berücksichtigen:

- Warmwassertemperatur $t_E W$: Eingangstemperatur des Wassers in den Kühlturm
- Kaltwassertemperatur $t_A W$: Ausgangstemperatur des Wassers aus dem Kühlturm
- Kühlzonenbreite z (Temperaturdifferenz, um die sich das Wasser abkühlt):
 $z = \Delta T W = t_E W - t_A W$
- Regendichte r : Verhältnis Wassermenge zur Kühlturmfläche und Zeit (in $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)
- Feuchtkugeltemperatur t_F : tiefste Temperatur, die sich mit Verdunstungskühlung erreichen lässt

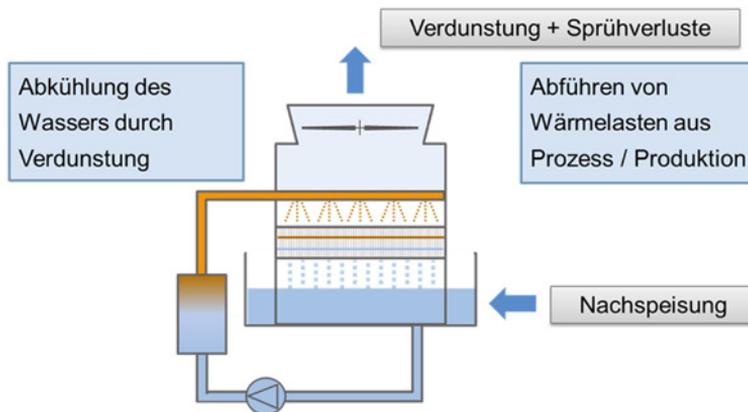


Bild 1: Prinzip der Verdunstungskühlung (Quelle: Schweitzer-Chemie GmbH)

- Kühlgrenzabstand a : Temperaturdifferenz zwischen Feuchtkugeltemperatur und real möglicher Kaltwassertemperatur aufgrund wirtschaftlicher Kriterien (ca. 3 °K); Zustandsverlauf von Luft und Wasser lässt sich im Mollier-h,t-Diagramm darstellen
- Kühlgrenztemperatur $T_a = t_F + 3 \text{ K}$.

Da das Ziel der Rückkühlung (im Kühlturm) in der Absenkung der Wassertemperatur liegt, entsteht physikalisch betrachtet dabei die Verdunstungskälte im Kühlturm durch intensivere Durchmischung des warmen (oder durch den Härtereibetrieb erwärmten) Wassers mit der im Kühlturm i. d. R. im Gegenstrom wirkenden Luft. Durch dieses bekannte Prinzip lassen sich im Kühlturm niedrigere Temperaturen als die Außenlufttemperatur erreichen, die für die rechnerische Auslegung eines Kühlturmes mit 3 °C oberhalb der sog. Feuchtkugeltemperatur angenommen wird. Die Feuchtkugeltemperatur ist ein klimazonenabhängiger Wert und kann für Deutschland mit ca. 21 °C angegeben werden, sodass sich in diesem Fall eine minimale Vorlauftemperatur von 24 °C ergibt.

In Verdunstungskühltürmen wird dementsprechend das zu kühlende Wasser in die umgebende Luft versprüht und über die im Kühlturm befindlichen Füllkörper verrieselt. Dabei wird Verdunstungswärme dem Wasser entzogen, das Wasser somit gekühlt und die umgebende Luft entsprechend befeuchtet. Es gilt dabei zu berücksichtigen, dass bei einer Verdunstung von 1 % Wasser die Wassertemperatur um 6 K absinkt. Zusätzlich wird das Wasser durch feinverteilten Kontakt mit der Luft durch Konvektion gekühlt und die Luft erwärmt.

Wie bereits angemerkt, liegt die Kühlgrenztemperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur. Die Temperaturabsenkung ist dabei umso größer, je trockener die umgebende Luft ist. So kann aus der Temperaturdifferenz „rückwärts gerechnet“ die Luftfeuchte bestimmt werden. Relevant ist die Kühlgrenztemperatur vor allem überall dort, wo in großen Mengen Flüssigkeit verdunstet wird.

Rückkühlungen und Kühlwasserkreisläufe können grundsätzlich in offene und geschlossene Kühlkreisläufe unterteilt werden. Beim offenen Kühlkreislauf wird im Kühlturm das Wasser durch direkten Kontakt mit der Luft gekühlt. Die Wärmeübertragung erfolgt dabei über den Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser. Der Kühleffekt ist durch Verdunstung eines geringen Anteils des zu kühlenden Wassers vergleichsweise sehr hoch, wobei zusätzlich zu bedenken ist, dass hierbei die Gefahr von Verschmutzung des Kühlwassers vermehrt besteht.

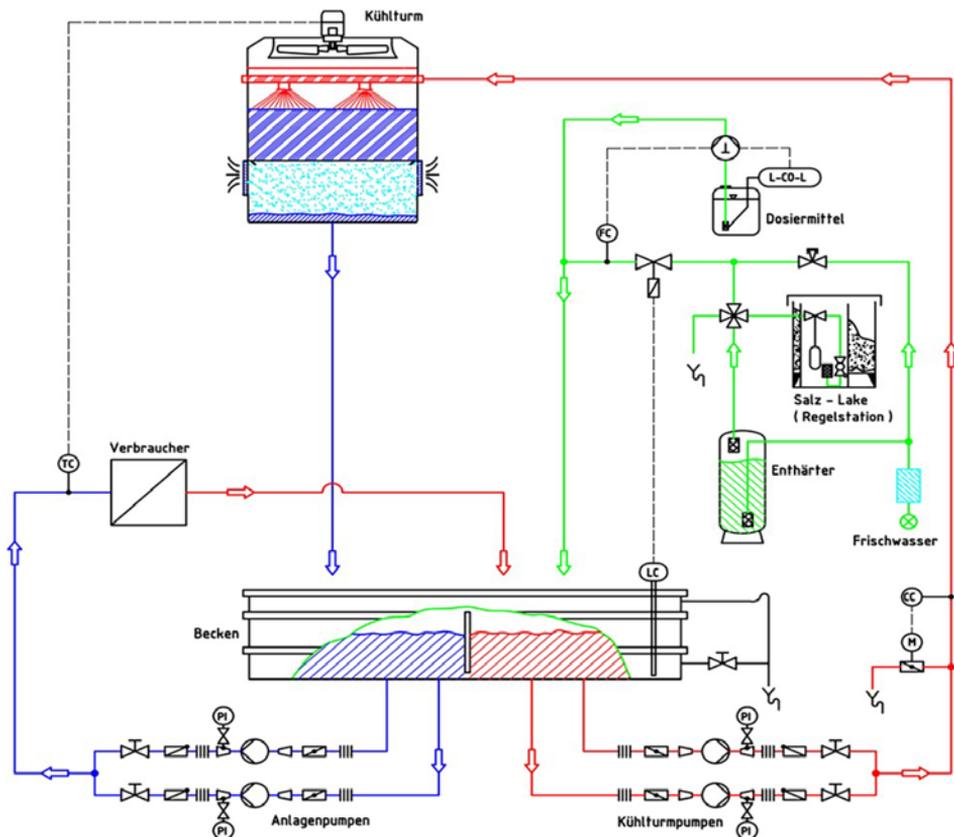


Bild 2: Geschlossener Kühlkreislauf (Quelle: Annen)

Demgegenüber tritt beim geschlossenen Kühlkreislauf (**Bild 2**) das kühlende Prozesswasser nicht in Kontakt mit der umgebenden Luft. Dieses wird dadurch realisiert, dass ein zweiter Kühlkreislauf abgetrennt über Wärmetauscher verwendet wird. Der Wärmetauscher trennt somit das zu kühlende Prozesswasser von dem „Verdunstungswasser“ des Kühlturms. Auf diese Weise könne auch andere Medien als Wasser gekühlt werden und unterschiedliche Kreislauftemperaturen gefahren werden. Für Härtereibetriebe empfehlen sich somit grundsätzlich geschlossene Kühlkreisläufe.

Die Auslegung von Verdunstungskühlanlagen wird im vorliegenden Beitrag „praxisgerecht“ an einem Fallbeispiel aus einer Härtereie dargestellt, welches im Folgenden erläutert ist.

Annahmen:

- Erforderliche Kühlleistung in der Härtereie: 4 MW
- Warmwassertemperatur t_E W, Eingangstemperatur in den Kühlturm: 32 °C
- Kaltwassertemperatur t_A W, Ausgangstemperatur aus dem Kühlturm: 25°C
- Kühlzonenbreite z : 7 °C

- Feuchtkugeltemperatur T_f (damit Kühlgrenztemperatur $T_f + 3 \text{ K} = 23 \text{ °C}$): 20 °C
- Füllkörperhöhe im Kühlturm h : 600 mm
- Maximale Luftgeschwindigkeit CA (für Tropfenabscheider): $4,2 \text{ m/s}$.

Mit diesen Daten kann über ein geeignetes Mollier-Diagramm die sog. Regendichte ermittelt werden.

Die Umlaufmenge des Kühlwassers V , mit einer Kühlleistung $P = \text{Massen-/Volumenstrom } V \times \text{Kühlzonenbreite } z \times \text{spez. Wärmekapazität } c_p$, ergibt sich folgendermaßen:

$$V = 4.000 \text{ kW} / 7 \text{ K} \times 1,16 \text{ [h} \times \text{kw/m}^3 \times \text{h]} = 493 \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

Unter Berücksichtigung der Regendichte $r = 18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times h$ ergibt sich die Kühlturmfäche $A = V/r = 27,4 \text{ m}^2$. Demnach ist für diesen exemplarischen Härtereibetrieb ein Verdunstungskühlturm mit einer Fläche von $27,4 \text{ m}^2$ ausulegen.

Wie bereits ausgeführt, können bei der Auswahl von Verdunstungskühlanlagen für Härtereibetriebe kompakte Bauweisen mit hohem Wirkungsgrad ausgewählt werden, die Kühlwassertemperaturen von bis zu 23 °C und verhältnismäßig große Leistungsbreiten von $25\text{-}15.000 \text{ kW}$ bei relativ geringen Investitionskosten aufweisen. Bei der Auswahl sollte dabei auf einige besondere Merkmale geachtet werden (s. **Bild 3**).



Bild 3: Merkmale und Spezifikationen für den Aufbau eines Verdunstungskühlturms (Quelle: Annen)

Dabei „muss“ der Umwälzer nicht immer „auf“ dem Kühlturm platziert sein. Kühltürme mit axialdrückenden Ventilatoren ermöglichen beispielsweise niedrige Bauformen bei verhältnismäßig geringem Schallpegel und einer etwa 2,5-fach niedrigeren Antriebsleistung als Radialventilatoren. Bei dieser Bauform gilt es aber zu berücksichtigen, dass stärkere Spritzverluste auftreten. Auch gilt es bei der Auswahl der Bauform zu berücksichtigen, ob eine im geschlossenen Kreislauf betriebene Hybridkühlung für den Anwendungsfall die optimale Lösung bietet. Diese Technologie vereint die getrennte Wasserverdunstung und die Vorteile der Trockenkühlung und Nasskühlung in einem geschlossenen System bei hoher Kühlleistung und verbessertem Wirkungsgrad gegenüber der Trockenkühlung (schlechterer Wirkungsgrad als bei der Nasskühlung aufgrund der hohen Ventilatorleistung) mit einem deutlich geringeren Wasserverbrauch im Vergleich zur Nasskühlung.

Das Anlagenlayout einer Kombination Kühlturm und Luftkühlung nach dem Prinzip Hybridkühlung mit geschlossenem Kühlwasserkreislauf hat den Vorteil, dass der Luftkühler nur bei Bedarf zusätzlich kühlt. Die Vorteile sind: geringer Wasserverbrauch, etwa 85 % des Jahres kann die störende Nebelentwicklung vermieden werden und hohe Effizienz bei schwankender Kühlleistung. Die Nachteile sind: hohe Investitionskosten, hoher Energieverbrauch durch „doppelte Lüfter“, komplexe Regelungstechnik über SPS-Steuerung ist erforderlich und Verschmutzungsrisiko des Wärmetauschers.

1.1.4 Die 42. Bundesimmissionsschutzverordnung (42. BImSchV)

Durch die 42. BImSchV und VDI 2047-2 sind viele Empfehlungen aus dem Bereich Arbeit, Gesundheit und Technik zusammengefasst worden. Es gibt Vorgaben über die Planung, Errichtung und den Betrieb von Verdunstungskühlanlagen, besonders aus Sicht der Hygienebedingungen. Diese Pflichten und Notwendigkeiten sind komplex, aber mit entsprechender Unterstützung zu händeln und umsetzbar. Man muss sich mit diesem Thema aber auseinandersetzen. Der folgende Teil dieses Beitrag liefert hierzu Information und praktische Anweisungen.

1.1.4.1 Allgemeine Anforderungen (§ 3)

Verdunstungskühlanlagen müssen so ausgelegt, errichtet und betrieben werden, dass Verunreinigungen des Kühlwassers durch Mikroorganismen, insbesondere Legionellen, vermieden werden. Dazu zählen:

- Effektive, wirksame Tropfenabscheider
- Vermeidung von Stagnationszonen
- Vollständige Entleerbarkeit wasserführender Bauteile
- Voraussetzung zum dosierten Zusatz von Bioziden
- Vorkehrungen für die regelmäßige Überprüfung relevanter chemischer, physikalischer oder mikrobiologischer Parameter sowie für die regelmäßige Probenahme für mikrobiologische Untersuchungen
- Vorkehrungen für die Durchführung regelmäßiger Instandhaltungen.

1.1.4.2 Pflichten des Betreibers

Vor Wieder-/Inbetriebnahme (§ 3):

Tabelle 1: Regelmäßige Laboruntersuchung

Art der Anlage	Legionellen (KBE/100 ml)		
	Prüfwert 1	Prüfwert 2	Maßnahmenwert
Verdunstungskühlanlagen	100	1.000	10.000
Nassabscheider	100	1.000	10.000
Kühltürme	500	5.000	50.000

- Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung unter Beteiligung einer hygienisch fachkundigen Person (z. B. qualifiziert nach VDI 2047-2); sinnvoll: externe Fachleute
- Prüfschritte nach Checkliste unter Beteiligung einer hygienisch fachkundigen Person (z. B. qualifiziert nach VDI 2047-2); u. a. das Entfernen von Verunreinigungen und Ablagerungen
- Bestimmung der mikrobiologischen und chemischen Beschaffenheit des Zusatzwassers
- Ggf. Inbetriebnahme der Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung
- Einweisung des Bedienpersonals.

In einem Betrieb mit Verdunstungskühlanlagen sollte mindestens eine Person in Verantwortung sein, die erfolgreich an einer Schulung nach VDI 2047-2 teilgenommen hat.

Regelmäßige Laboruntersuchung (§ 3) (**Tabelle 1**):

- Erstuntersuchung: innerhalb von vier Wochen nach Wieder-/Inbetriebnahme (zwei Wochen für Anlagen, die an ≤ 90 aufeinanderfolgenden Tagen im Jahr in Betrieb sind), für bestehende Anlagen vier Wochen nach Inkrafttreten der Verordnung, falls bis dahin noch keine Laboruntersuchung durchgeführt wurde
- Mindestens alle drei Monate: allgemeine Koloniezahl und Legionellen
- Probenahme durch akkreditierten Probenehmer
- Untersuchung durch akkreditiertes Prüflabor nach ISO 11731 und UBA-Empfehlung.

Betriebsinterne Überprüfungen (§ 4):

- Mindestens zweiwöchentliche Überprüfungen chemischer, physikalischer oder mikrobiologischer Kenngrößen des Nutzwassers (z. B. pH-Wert, Leitfähigkeit, Gesamthärte, Chlorid, ggf. Produktgehalte, allgemeine Koloniezahl).

Bild 4 zeigt die Maßnahmen bei Überschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte für Verdunstungskühlanlagen.

Führen eines Betriebstagebuchs (§ 12):

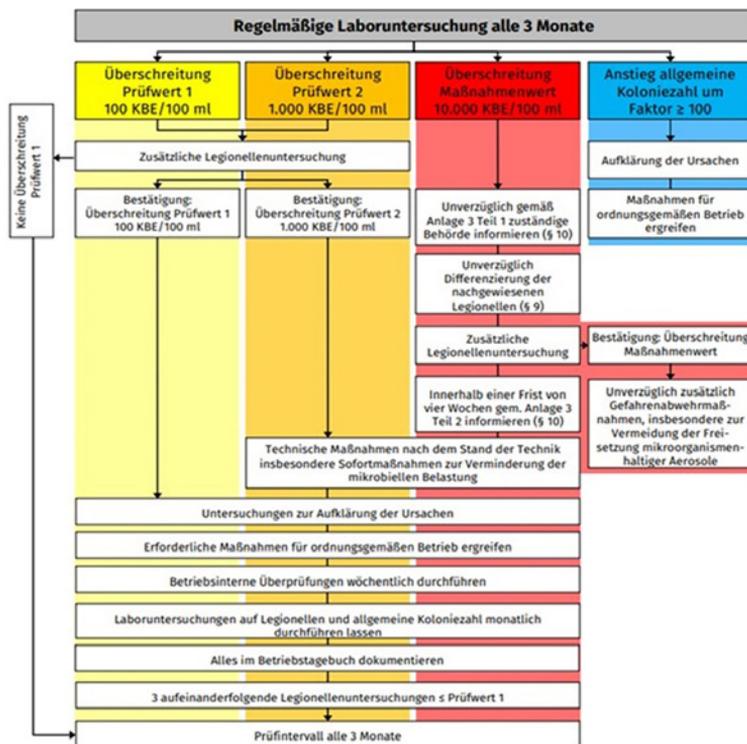
- Angaben u. a. zu Standort, Betreiber, Inbetriebnahme, Betriebszustand und Prüfergebnissen.

Anzeigepflichten (§ 13):

- Anzeige von Anlagen über das Webportal Kavka
- Anzeige von Änderungen und Stilllegungen von Anlagen.

Überprüfung der Anlagen (§ 14):

Bild 4: Maßnahmen bei Überschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte für Verdunstungskühlanlagen



- Überprüfung des ordnungsgemäßen Anlagenbetriebs nach Inbetriebnahme regelmäßig alle fünf Jahre durch unabhängige, geprüfte Sachverständige.

1.1.5 Praktische Umsetzung der 42. BImSchV

Sind die gesetzlichen Vorgaben (Kontrollen, Wartungen, Beurteilungen, Laboranalysen und Dokumentationen, ...) umgesetzt, ist der Betrieb einer Verdunstungskühlanlage relativ unkompliziert und ähnlich wie Inspektion und TÜV beim Auto. Gibt es aber Prüfwert- oder Maßnahmenwert-Überschreitungen, ist der Betreiber in der Verantwortung. Nachkontrollen werden notwendig sowie Ursachenforschung und Maßnahmen zur Legionellen-Bekämpfung. Oft ist der Aufwand, wieder einen guten Istzustand herzustellen, größer, als die vorbeugenden Maßnahmen regelmäßig umzusetzen.

Praktische Hinweise, zur Minimierung des Legionellenwachstums:

- **Komplette Erfassung des Kühlsystems (Bild 5):** Besonders in gewachsenen Betrieben gibt es verzweigte Kühlsysteme mit verschiedenen Verbrauchern. Grundsätzlich ist es daher wichtig, Kreisläufe fachgerecht zu erfassen und auf hygienerelevante und hydraulische Schwachpunkte zu untersuchen. Die Erfahrung zeigt, dass bei einer guten Systemaufnahme alle möglichen Fragen auftreten: Warum ist etwas so, wie es aktuell ist? Wie könnte es alternativ besser aussehen? Betrachten Sie diese Notwendigkeit



Bild 5: Fließbild von einer Verdunstungskühlanlage in einem Härtereibetrieb

auch als Chance, um energetische Verbesserungen umzusetzen. In vielen Fällen reicht es aus, wenn sich ein oder zwei Fachunternehmen die Systeme anschauen.

- **Filtertechnik:** Filtertechnologien sind eine einfache Möglichkeit, um das Futter für Mikroorganismen (z. B. Legionellen) zu reduzieren. Klassische Verdunstungskühlanlagen sind nicht nur Kühlanlagen, sondern auch große Luftwäscheranlagen. Durch die Feststoffe, die aus der Umgebungsluft ausgewaschen werden, erhöht sich auch das Potenzial, Legionellen und andere Mikroorganismen zu füttern und zu versorgen. Der Einsatz von Bioziden und Desinfektionsmitteln kann hier das Problem minimieren, aber es ist deutlich einfacher für den Betreiber und den Wasserbehandler, wenn das Nahrungsangebot reduziert wird. Daher empfiehlt sich der Einsatz von passender Filtertechnik (z. B. Mehrschicht-Filter mit speziellem Filtermaterial AFM (**Bild 6**)), die den Anteil an Feststoffen und damit an Nahrungsangebot reduziert. Diese Filter müssen regelmäßig rückgespült werden, um die Feststoffe aus dem System zu entfernen. Dies führt nicht zu einem Mehrverbrauch an Wasser, da ansonsten die Absalzregelung den Wasserverlust verursachen würde. Damit diese Filtereinheiten nicht zur Verkeimung beitragen, sind diese regelmäßig bei Biozidstößen und Desinfektionsmaßnahmen miteinzubeziehen. Besonders im Frühling (Pollen und andere organische Belastungen) sowie im Sommer, wenn das Korn geerntet wird (Mähdrescher, Staub), und im Herbst (Laub) sind passende Filter eine große Unterstützung.
- **Bedarfsgerechte Bioziddosierung:** Allein durch Filtertechnik kann das Legionellenproblem nicht gelöst werden. Bei unproblematischen Verdunstungskühlanlagen wird in den meisten Fällen ein Standard-Breitband-Biozid ausreichen. Voraussetzungen dafür sind ausreichende Verweilzeiten (kein hoher Wasseraustausch des Kühlwassers, Halbwertszeit von mehr als einem Tag) und kein Eintrag von organischen Bestandteilen (Futter für Mikroorganismen). Systeme, die hygienisch anspruchsvoller sind und schwankende Bedingungen haben (unterschiedliches Nahrungsangebot, unterschiedliche Verweilzeiten, kritische Verbraucher, Stagnations-Zonen, ...), müssen deutlich enger kontrolliert

Bild 6: Filtertechnik, AFM

1

werden. Um hier eine höhere hygienische Sicherheit zu erzielen, gibt es die Möglichkeit der bedarfsgerechten Bioziddosierung (z. B. durch die Schweizer-Chemie GmbH). Sie ist eine gute Basis, um das Risikopotenzial von Problemen mit erhöhtem Legionellenbefall zu minimieren.

1.1.6 Bedarfsgerechte Bioziddosierung

Aus umweltschutzrechtlichen Gründen gilt für Biozide ein Minimierungsgebot. Biozide sollten nie zu hoch oder gar unnötig dosiert werden. Ein zu geringer Biozideinsatz (Unterdosierung) kann jedoch eine erhöhte Vermehrung der Mikrobiologie bzw. eine vermehrte Biofilmbildung zur Folge haben. Je nach Kühllast und zur Verfügung stehender Luftqualität ergibt sich im zeitlichen Verlauf eine schwankende Belastung des Systemwassers. Auf diese Schwankungen sind die Einsatzmenge und Einsatzhäufigkeit grundsätzlich anzupassen, um Über- und Unterdosierungen zu vermeiden.

Durch eine optimale Auslegung und Anpassung der Bioziddosierung an das System und die Betriebsbedingungen ist auch bei Spitzenbelastungen eine hygienisch einwandfreie Fahrweise möglich. Zur Schonung der Umwelt ist in Zeiten geringerer Belastung auch die Bioziddosierung an den reduzierten Bedarf anzupassen. Die 42. BImSchV und die VDI 2047-2 enthalten betreiberseitige Pflichten, wie z. B. regelmäßige Hygienekontrollen, die sich in betriebsinterne Kontrollen und regelmäßige Laboruntersuchungen unterteilen. Es ist zielführend, durch eine bedarfsgerechte Bioziddosierung die mikrobiologische Vermehrung zu reduzieren und den Biozideinsatz dadurch möglichst gering zu halten. Beim Einsatz von oxidativen Bioziden hat sich eine Onlineüberwachung bewährt.

ST-TEC Krypton DES Touch im Bypassbetrieb mit amperometrisch-potentiostatischer Messung von freiem Chlor bietet eine steuerungstechnische Unterstützung für zeitlich ausgelöste Stoßdosierungen.

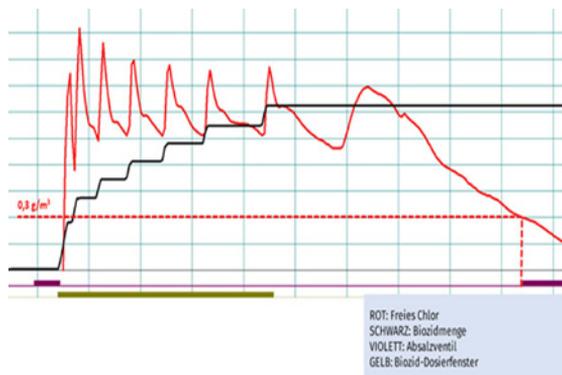


Bild 7: Verlauf der Konzentration des freien Chlors (Chlordioxid) nach einem Biozidstoß



Bild 8: ST-TEC Krypton DES Touch

Bei Stoßdosierungen (**Bild 7**) kann eine Wirkstoff-Mindestkonzentration im Systemwasser vorgesehen werden. Überdosierungen werden schnell erkannt und können so minimiert werden. In Kombination von optimierter Absalzverriegelung und wirkstoffbasierter Steuerung der Bioziddosierung wird u. a. auch die Einhaltung von Grenzwerten für freies Chlor nach Abwasserverordnung (AbwV) Anhang 31 wesentlich erleichtert und dokumentiert. Die Anlage bietet variable interne Speichermöglichkeiten zur Messdatendokumentation.

Nach den Erfahrungen der letzten Jahre hat sich der Einsatz der bedarfsgerechten Bioziddosierung bei allen Betreibern positiv ausgewirkt. Legionellenprobleme wurden deutlich reduziert, ohne dass dabei die Kosten angestiegen sind. In einigen Fällen konnte der Einsatz des Biozids sogar reduziert werden, da gezielter dosiert wurde, ohne Grenzwerte zu überschreiten. Die bedarfsgerechte Bioziddosierung hat sich als klare Unterstützung zur Einhaltung der Vorgaben der 42. BImSchV erwiesen.

Wie schon angesprochen, muss der Betreiber einer Verdunstungskühlanlage viele Dinge dokumentieren. Die Datenerfassung durch die ST-TEC Krypton DES Touch (**Bild 8**) ist hierbei schon eine kleine Hilfe. Aber es gibt noch weitere Möglichkeiten, um Daten, die in einem Kühlsystem anfallen, zu sammeln und zu speichern, um sie im Betriebstagebuch einzufügen.

1.1.7 Wasserdatenmanagement und Industrie 4.0

Bei der digitalen Vernetzung können auch betriebsbegleitende Prozesse, wie beispielsweise die Wasserbehandlung von Kühlsystemen, berücksichtigt werden. Die Umstellung von handgeschriebenen Betriebsprotokollen, die bei einem Anlagenrundgang erstellt werden, zu einer Digitalisierung von Betriebsdaten, kann über intelligente Systeme realisiert werden. Mit dem intelligenten Wasserdatenmanagement ST-TEC Aquis Touch der Schweitzer-Chemie GmbH können bestimmte Parameter eines Kühlsystems über eine Online-Messung automatisch registriert und anschaulich visualisiert werden. Zusätzlich können wichtige Kernprozesse der Kühlwasserbehandlung, wie die Absalzung und ein Biozidtimer, über die Anlage gesteuert werden. Die gesammelten Daten können dann über diverse Schnittstellen an andere Systeme (GLT, ZLT) weitergeleitet werden.

Mit den erfassten Daten wird das Kühlsystem transparenter, sodass besser auf Veränderungen reagiert werden kann. Dadurch können neue Möglichkeiten zur Optimierung der Wasseraufbereitung und -behandlung aufgezeigt werden, welche wiederum zu Kosteneinsparungen in vielen Bereichen führen können.

1.1.7.1 Welche Technik steht dahinter?

Das Wasserdatenmanagement vom Typ ST-TEC Aquis Touch ist ein Mehrkanalmessgerät, das auf einer Platte aufgebaut ist; die Messwerterfassung erfolgt im Bypass. Je nach Ausführung sind Sensoren zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit, des pH-Wertes oder der Trübung integriert.

1.1.7.2 Die Verknüpfung mit zusätzlicher Anlagentechnik

Neben den direkt gemessenen Parametern können über mehrere analoge und digitale Eingänge an der Steuerung zusätzliche Messwerte und Signale verarbeitet werden. In Kombination mit entsprechender Anlagentechnik ist das Wasserdatenmanagement zur Erfassung von Mengen wie Zusatzwasser, Abwasser und Wasserbehandlungsprodukten geeignet. Separate Onlinemessgeräte, wie beispielsweise die Desinfektionsmittelüberwachung vom Typ ST-TEC Krypton DES Touch zur Messung von freiem Chlor, können angeschlossen werden. Über eine logische Verknüpfung kann das Wasserdatenmanagement zur Steuerung und Kontrolle der bedarfsgerechten Bioziddosierung verwendet werden.

1.1.7.3 Datenauswertung

Aus den am Wasserdatenmanagement erfassten Messdaten können mit einer separat erhältlichen, speziellen Software die Daten visualisiert und aussagefähige Diagramme über das überwachte Kühlsystem erstellt werden.

Bild 9 zeigt die Auswertung der Messdaten eines offenen Kühlsystems, bei dem folgende Parameter über das Wasserdatenmanagement erfasst wurden:

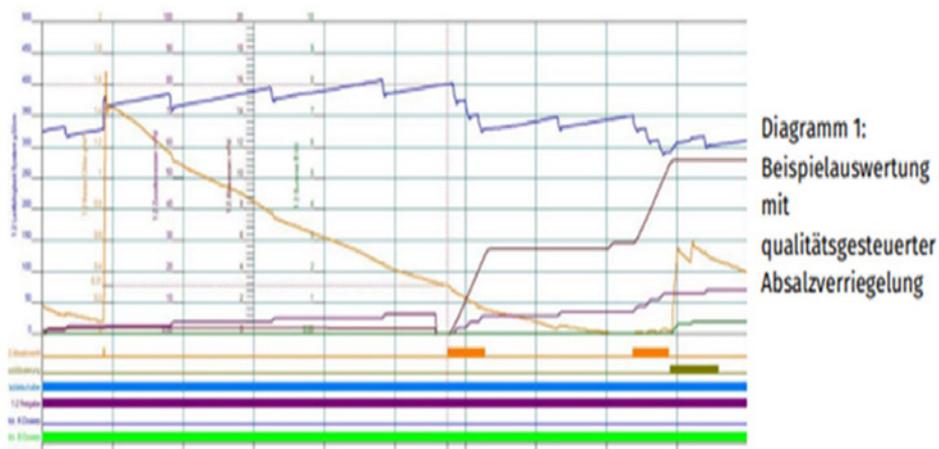


Bild 9: Beispielauswertung mit qualitätsgesteuerter Absalzverriegelung

- Elektrische Leitfähigkeit
- Bioziddosierung aktiv
- Durchfluss aktiv
- Biozidmenge
- Zusatzwassermenge
- Desinfektionsmittelüberwachung
- Abwassermenge (freies Chlor)
- Korrosionsschutzmitteldosiermenge
- Alarmmeldungen.

1.1.7.4 Mehrwert des Wasserdatenmanagements ST-TEC AQUIS TOUCH

Mit einer maximal ausgestatteten Anlage und einer vollständigen Datenregistrierung können mit dem Wasserdatenmanagement (**Bild 10**) viele neue Erkenntnisse für den optimalen Betrieb eines Kühlsystems generiert werden:

- Online-Messung relevanter wasserchemischer Parameter, wie elektrische Leitfähigkeit von System- und Zusatzwasser, pH-Wert und Trübung
- Erfassung von Zusatz- und Abwassermengen sowie Verbrauchsmengen des Biozids und Korrosionsschutzmittels



Bild 10: Wasserdatenmanagementsystem WDM inklusive bedarfsgerechter Bioziddosierung und weiteren Messperipherien (z. B. pH-Wert, Leitfähigkeit, Zusatzwasser, Abwasser) als Indoor-Lösung (links) und in einem wetterfesten Schrank mit Sandfilter (rechts)

- Überwachung abwasserrelevanter Parameter, wie z. B. freies Chlor (optional über andere Messgeräte), zur Erfüllung der Nachweispflicht gegenüber Behörden
- Einhaltung der Anforderungen der 42. BImSchV und der VDI-2047-2 im Rahmen der Dokumentation sowie der Aufzeichnungspflicht im Hinblick auf die Betreiberverantwortung
- Manipulationssichere Speicherung der Messdaten über einen Zeitraum von bis zu drei Jahren (je nach Ausführung)
- Optimierung der Wasserbehandlung zur Betriebskosteneinsparung durch eine wirtschaftlichere Fahrweise -> optimierter Energie- und Wasserverbrauch
- Bedarfsgerechte Bioziddosierung -> optimierter, hygienischer Betrieb von Verdunstungskühlanlagen
- Verminderter Betreuungsaufwand = verminderte Personalkosten
- Erhöhte Betriebssicherheit durch Prozessvisualisierung und Analysemöglichkeiten; mögliche Anbindung des ST-TEC Aquis Touch an bauseitige GLT-Systeme.

Natürlich gibt es diese Technologie auch in einer Online-Version. Alle Daten können von den freigeschalteten Personen jederzeit am Computer, Laptop oder Smartphone eingesehen werden. Dadurch sind die Reaktionsgeschwindigkeiten nochmals schneller geworden. Auch zu dieser Technologie gibt es schon sehr viele Erfahrungen, auf denen man weitere Entwicklungen aufbauen wird.

1.1.7.5 Übertragung der Daten auf die Wasserdatenmanagement-Online-Plattform

Wer Daten erhebt, will diese auch weiterverarbeiten. Diese Lücke schließt das neue Upgrade für das WDM: die Online-Plattform (OP) (**Bild 11**). Sie bietet eine übersichtliche Darstellung der aktuellen und historischen Betriebsdaten mit Analysefunktion, Alarmmanagement und regelmäßigen Berichten.

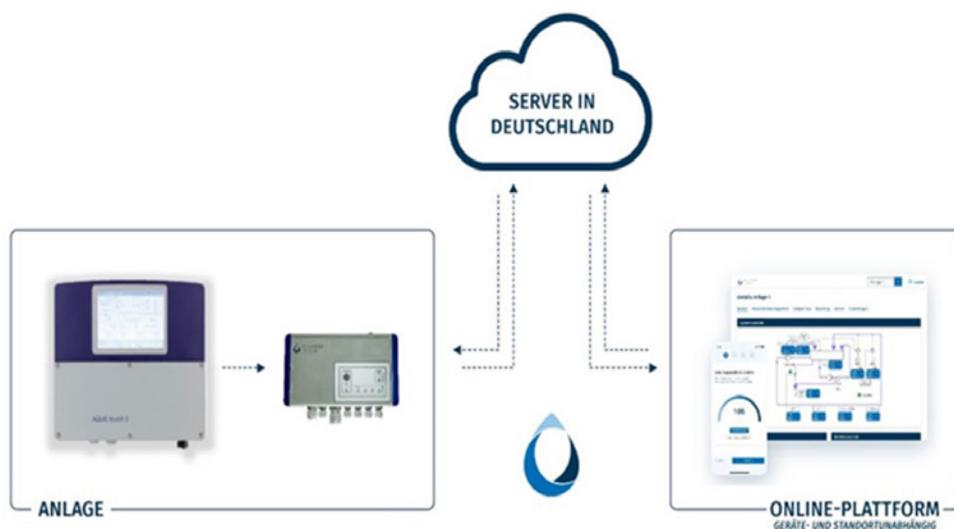


Bild 11: Schaubild der Online-Plattform

Das WDM sendet die Daten an das Gateway, welches wiederum über das Mobilfunknetz (LTE mit UMTS-Fallback) mit den Servern der OP verbunden ist. Die Server stehen in Deutschland und unterliegen modernsten Sicherheitsstandards. Dort werden die Daten gespeichert, verarbeitet und an den Browser des Nutzers gesendet (**Bild 12**). Die Nutzung der OP findet geräte- und standortunabhängig über einen Browser statt. Die Kommunikation zwischen Gateway und Wasserdatenmanagement erfolgt dabei nur in eine Richtung, sodass eine Manipulation der Steuerung des WDMs über das Gateway ausgeschlossen ist.

In einem übersichtlichen Anlagenschema mit den wichtigsten Live-Daten und Störmeldungen sieht man den Status des Systems auf einen Blick in Echtzeit (**Bild 13**).

Ein Alarm-Management leitet individuell konfigurierbare Alarmer per E-Mail oder SMS an Empfänger weiter. Außerdem erlaubt die Alarmer- und Ereignisliste der letzten Woche eine regelmäßige und einfache Beurteilung des Systems. Über 40 verschiedene Parameter sind mithilfe eines integrierten Analyse-Tools für einen beliebigen Zeitraum darstellbar. Das erleichtert die Fehleranalyse und die genaue Beurteilung des Systems.

Die OP erstellt automatisch einen wöchentlichen Bericht über die wesentlichen Betriebsparameter und kann diesen automatisch per E-Mail versenden. Das Erstellen eines Verbrauchsberichts über Chemikalienverbrauch, Zusatzwasser- und Abwassermenge für einen beliebigen Zeitraum ist ebenfalls integriert. Die OP sorgt somit für eine höhere

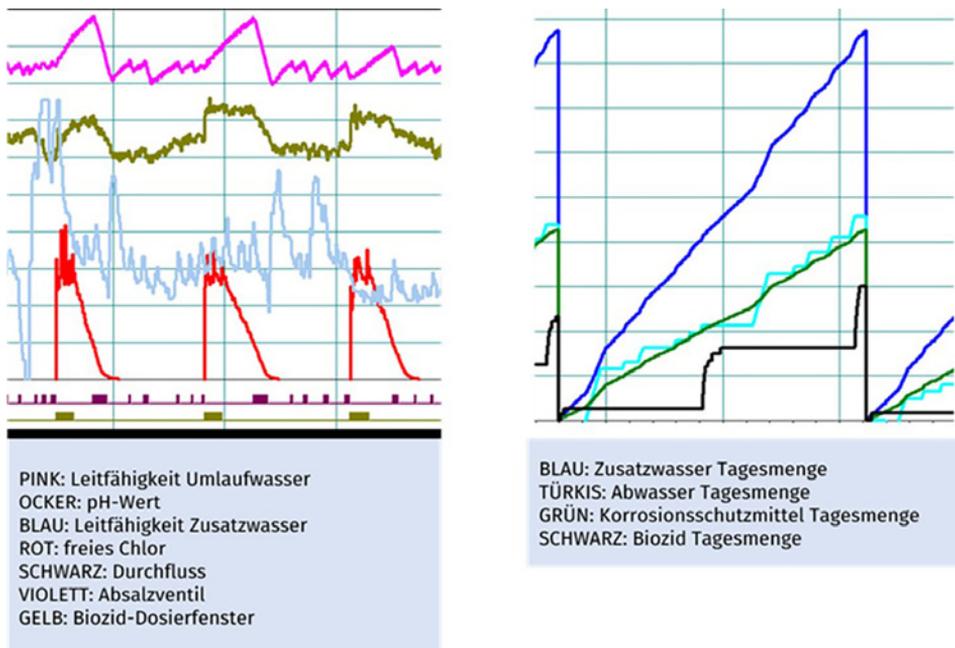


Bild 12: Darstellung verschiedener Messparameter, Zustände und Verbrauchsmengen; Daten des WDM werden per Gateway über ein Mobilfunknetz mit schnellem LTE an einen Cloud-Server in Deutschland übermittelt

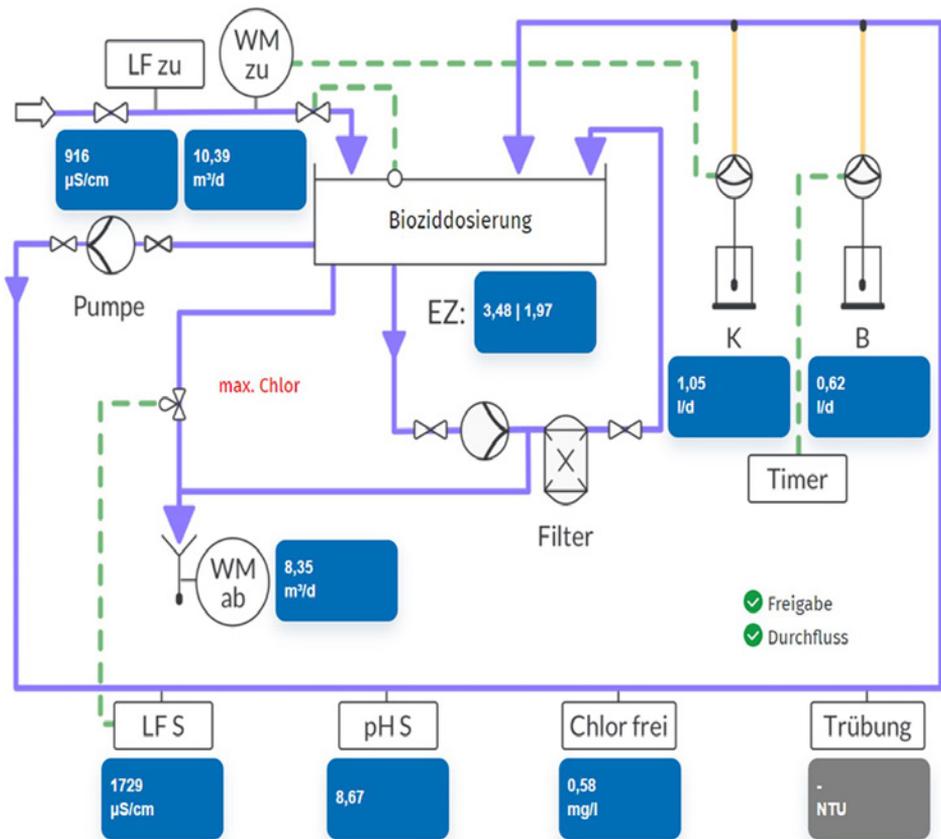


Bild 13: Betriebsübersicht mit Echtzeitdarstellung der wichtigsten Daten und Fehlermeldungen auf einen Blick („max. Chlor“ markiert die Verriegelung aufgrund eines zu hohen Wertes von freiem Chlor)

Betriebssicherheit, unterstützt den Nutzer beim Erfüllen der 42. BImSchV und bei der Ursachenforschung bei Störungen.

1.1.8 Weitere Möglichkeiten der praktischen Umsetzung der 42. BImSchV

1.1.8.1 Betriebstagebuch

Jeder Betreiber einer Verdunstungskühlanlage ist verpflichtet, alle wichtigen Informationen zu seiner Anlage zu dokumentieren und digital an die zuständige Behörde weiterzuleiten. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Dokumentationsvorlagen am Markt.

1.1.8.2 Harzkonservierung bei Enthärtungsanlagen

In vielen wasserführenden Systemen gibt es häufig einen saisonalen Betrieb der Anlagen. Die Enthärtungsanlage darf wegen der bestehenden Gefahr einer Verkeimung nicht abgeschaltet werden. Bei einer Verdunstungskühlanlage muss z. B. nach der VDI 2047-2 alle drei Tage eine Zwangsregeneration durchgeführt werden.

Durch die Konservierung des Harzes der Enthärtungsanlage mit Sole wird eine mögliche Verkeimung des Austauscherharzes während der längeren Stillstandzeiten minimiert. Gleichzeitig können durch die nicht notwendigen Zwangsregenerationen erheblich Regenerationsalz und Wasser eingespart werden, was die Betriebskosten senkt und die Umwelt schont.

Die Auslösung der Harzkonservierung kann manuell oder durch ein externes Signal gestartet werden und läuft dann vollautomatisch ab. Durch einen automatischen Ausspülvorgang wird die Harzkonservierung durch den Betreiber wieder beendet.

1.1.8.3 Beispielrechnung für Ressourceneinsparungen

Ein Kühlturm ist im Winter vier Monate lang außer Betrieb und müsste somit bei durchschnittlich 30 Tagen pro Monat bei einer Zwangsregeneration alle drei Tage und somit vierzigmal in dieser Zeit regenerieren. Eine Enthärtungsanlage (**Bild 14**) mit 150 l Harz pro Flasche benötigt bei jeder Regeneration 30 kg Regenerationssalz und ca. 1 m³ Wasser. Somit können durch die Harzkonservierung in der Stillstandzeit 1.200 kg Regenerationssalz und ca. 40 m³ Roh- und Abwasser eingespart werden. Zusätzlich werden während dieser Zeit keine Personen zur Nachfüllung des Regenerationssalzes benötigt.

1.1.9 Zusammenfassung

Der vorliegende Fachbeitrag zeigt als „Leitfaden“ die wesentlichen Aspekte bei der Planung, der Auswahl und Auslegung sowie die verfahrenstechnische Dimensionierung von Rückkühlanlagen/Verdunstungskühlern auf, die für den Härtereibetrieb relevant sind. Zudem zeigt dieser Beitrag die wesentlichen gesetzlichen Grundlagen, u. a. zur 42. BImSchV und VDI 2047-2, sowie Möglichkeiten zur Wasseraufbereitung, Wasserbehandlung und Steuerung auf. Außerdem werden alle wesentlichen Punkte dargestellt, um



Bild 14: Enthärtungspendelanlage vom Typ ST-TEC VADHK-CS mit integrierter Harzkonservierung