

vgbe-Standard

# Kühlwassersysteme und Kühlwasserbehandlung

VGBE-S-455-00-2022-12-DE  
(vormals VGB-R 455)



# vgbe-Standard

## Kühlwassersysteme und Kühlwasserbehandlung

VGBE-S-455-00-2022-12-DE  
(vormals VGB-R 455)

Herausgeber:  
vgbe energy e.V.

Verlag:  
vgbe energy service GmbH  
Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften  
Deilbachtal 173 | 45257 Essen

Tel.: +49 201 8128-200  
E-Mail: [sales-media@vgbe.energy](mailto:sales-media@vgbe.energy)

ISBN 978-3-96284-296-3 (Print, Deutsch)  
ISBN 978-3-96284-297-0 (eBook, Deutsch)  
ISBN 978-3-96284-298-7 (Print, Englisch)  
ISBN 978-3-96284-299-4 (eBook, Englisch)

Alle Rechte vorbehalten, vgbe energy.

[www.vgbe.energy](http://www.vgbe.energy) | [www.vgbe.services](http://www.vgbe.services)



### **Urheberrechtsvermerk**

*vgbe-Standards, hier im Weiteren als „Werk“ bezeichnet, und sämtliche im Werk enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Es liegt in der alleinigen Zuständigkeit von vgbe energy, die Nutzungsrechte wahrzunehmen.*

*Der Begriff „Werk“ umfasst die vorliegende Publikation sowohl in gedruckter als auch in digitaler Form. Der Urheberrechtsschutz umfasst dieses Werk als Ganzes als auch Teile bzw. Ausschnitte.*

*Jede Nutzung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Genehmigung des vgbe energy unzulässig. Dies gilt für jede Form von Vervielfältigung, Übersetzung, Digitalisierung sowie Veränderung.*

### **Haftungsausschluss**

*vgbe-Standards sind Empfehlungen, deren Anwendung freigestellt ist. Sie berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden bekannten Stand der Technik. Sie erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit.*

*Die Anwendung erfolgt auf eigene Verantwortung und auf eigene Gefahr.*

*vgbe energy e.V. schließt insoweit jegliche Haftung aus.*

*Die deutschsprachige Version dieses vgbe-Standards ist für Übersetzungen die maßgebliche Referenzausgabe.*

### **Hinweis zur Behandlung von Änderungsvorschlägen**

*Änderungsvorschläge können an die E-Mail-Adresse **vgbe-standard@vgbe.energy** gesendet werden. Zur eindeutigen Zuordnung des Inhalts sollte die Betreffzeile die Kurzbezeichnung des betreffenden Dokuments enthalten.*

## Vorwort

Der vorliegende vgbe-Standard „Kühlwassersysteme und Kühlwasserbehandlung“, VGBE-S-455-00-2022-12-DE, ersetzt die bisherige VGB-Kühlwasserrichtlinie VGB-R 455, die in der zweiten Ausgabe im Januar 2000 erschienen war.

Dieser Standard wurde sehr detailliert umgearbeitet und somit auf den aktuellen Stand der Technik und der gesetzlichen Anforderungen gebracht. Berücksichtigt werden dabei nicht nur die Kühlsysteme klassischer Wärmekraftwerke, sondern auch Kühlsysteme in industriellen Anwendungen, wie z.B. Raffinerien und chemische Industrie. Dabei wurden auch, so weit möglich, europäische und internationale Standards berücksichtigt.

Der Umfang ist gegenüber der Vorgängerversion deutlich vergrößert. Neu hinzugekommen ist z.B. die Betrachtung hygienischer Aspekte für offene Rückkühlanlagen. Einerseits werden die wesentlichen Teilaspekte der Chemie des Kühlwassers und der Kühlwasseraufbereitung besser und genauer erläutert, um allen Beteiligten die wichtigsten Details darzulegen. Andererseits soll der Standard zumindest ansatzweise einen Wissensverlust kompensieren, ohne dabei den Anspruch eines Lehrbuchs zu erheben. Entsprechend sind viele weiterführende Literaturhinweise enthalten.

Essen, im Oktober 2022

vgbe energy e.V.

## Autoren

Dieser Standard wurde in Verantwortung der vgbe-Gremien TG Kühltechnik in Kraftwerken und TG Chemische Verfahrenstechnik erstellt. Die Bearbeitung erfolgte durch:

Andreas Auge, Siemens Energy

Jürgen Brinkmann, vormals RWE Technology GmbH

Martin Grenzer, Stadtwerke Düsseldorf AG

Christiane Holl, Hydro-Engineering GmbH

Dr. Rudolf Kohler, Ingenieurbüro

Lothar Lefort, MAN Energy Solutions SE

Dr. Frank-Udo Leidich, vormals GE Power GmbH

Dr. Herbert Lindner, Lindner AUDi

Dr. Gerd Pohnsner, vormals Alstom Power Systems GmbH

Jürgen Rudolf, vormals RheinEnergie AG

Michael Rziha, PPCHEM AG

Dirk Schneidereit, vormals E.ON New Build & Technology GmbH

Winfried Schulz, Balcke-Dürr GmbH

Hans-Günter Seipp†, vormals Alstom Power Systems GmbH

Bernd Senger, Siemens Energy

Ulrike Stein, Vattenfall Wärme Berlin AG

Matthias Weber, Calyptics

Knut Vicktor, MAN Energy Solutions SE

Rudolf Wieland, EnBW Kraftwerke AG

Heiko Woizick, RheinEnergie AG

Wolfgang Czolkoss, vgbe energy e.V.

Dr. Dittmar Rutschow, vormals VGB PowerTech e.V.

Dr. Andreas Wecker, vgbe energy e.V.

Der vgbe energy e.V. bedankt sich bei Ihnen sowie allen anderen, die an der Revision dieser Richtlinie aktiv mitgearbeitet haben, und den beteiligten Unternehmen.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Kühlverfahren .....</b>	<b>10</b>
2.1	Durchlaufkühlung ohne und mit Ablaufkühlung .....	10
2.2	Kreislaufkühlung mit offenem Kreislauf.....	11
2.3	Verfahrenskombination (Kreislauf- und Durchlaufkühlung).....	15
2.4	Kreislaufkühlung mit geschlossenem Kreislauf.....	16
2.4.1	Kreislaufkühlung mit Oberflächenkondensator .....	17
2.4.2	Zwischenkühlkreisläufe.....	18
<b>3</b>	<b>Kühlwasserseitige Betriebsprobleme.....</b>	<b>19</b>
3.1	Wasserbeschaffenheit .....	19
3.2	Eintrag von festen Verunreinigungen.....	21
3.3	Ablagerungen in Kühlsystemen .....	22
3.3.1	Scaling.....	24
3.3.2	Fouling.....	25
3.3.3	Biofouling .....	25
3.4	Biologisches Wachstum in Kühlsystemen .....	25
3.5	Korrosion .....	27
3.6	Stillstände .....	27
3.7	Umwelt- und Sicherheitsaspekte .....	27
<b>4</b>	<b>Werkstoffeinsatz und Wechselwirkungen mit dem Kühlwasser bei Durchlaufkühlung und offener Umlaufkühlung .....</b>	<b>29</b>
4.1	Einführung .....	29
4.2	Werkstoffe und Korrosionsschutz in Wärmetauschern .....	29
4.2.1	Werkstoffe für Rohre in Wärmetauschern.....	29
4.2.1.1	Werkstoffempfehlung aufgrund der Kühlwasserbeschaffenheit.....	30
4.2.1.2	Einfluss der Kühlwassergeschwindigkeit auf die Werkstoffauswahl .....	35
4.2.1.3	Einfluss der Temperatur auf die Werkstoffauswahl.....	36
4.2.1.4	Werkstoffabhängige Stillstands- und Revisionsmaßnahmen für Wärmetauscher .....	36
4.2.2	Sonstige Werkstoffe in Wärmetauschern (außer Rohren) .....	37
4.2.3	Überwachung, Wartung und Instandsetzung von Wärmetauschern .....	38
4.3	Werkstoffe und Korrosionsschutz in Verdunstungskühlanlagen .....	41
4.4	Werkstoffe und Korrosionsschutz für sonstige kühlwasserberührte Komponenten bei offenen Kühlwassersystemen .....	41
4.4.1	Passiver Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe .....	42
4.4.2	Wasserseitiger Oberflächenschutz von Betonbauteilen.....	42
4.4.3	Kühlwasserleitungen.....	42
4.4.3.1	Überblick.....	42

4.4.3.2	Kühlwasser-Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK).....	43
4.4.3.3	Beschichtung von begehbaren Kühlwasserrohrleitungen und Armaturen aus unlegiertem Stahl.....	44
4.4.3.4	Mörtelauskleidung von Kühlwasserleitungen.....	44
4.4.3.5	Aktiver kathodischer Korrosionsschutz von Kühlwasserleitungen .....	44
4.4.4	Kühlwasserpumpen .....	45
<b>5</b>	<b>Kühlwasserbehandlung in Systemen mit Durchlaufkühlung .....</b>	<b>46</b>
5.1	Einführung .....	46
5.2	Mechanische Wasserreinigung.....	46
5.3	Kühlwasserkonditionierung.....	48
5.3.1	Behandlung mit Bioziden.....	49
5.3.1.1	Natriumhypochlorit (NaOCl).....	49
5.3.1.2	Chlordioxid (ClO <sub>2</sub> ).....	50
5.3.2	Thermoschockverfahren .....	50
5.4	Hinweise für den Betrieb.....	50
5.4.1	Rechen und Filter .....	51
5.4.2	Wärmetauscher .....	51
5.4.3	Inbetriebnahme.....	51
5.4.4	Inspektion .....	51
5.4.5	Reinigung .....	52
5.4.6	Konservierung .....	52
5.4.7	Betriebsüberwachung .....	53
5.4.8	Ablaufkühlung .....	53
<b>6</b>	<b>Kühlwasserbehandlung in Systemen mit offener Umlaufkühlung.....</b>	<b>54</b>
6.1	Einführung .....	54
6.2	Zusatzwasseraufbereitung und Teilstromfiltration .....	54
6.2.1	Aufbereitung von Rohwasser zu Kühlturmzusatzwasser .....	54
6.2.2	Kreislaufwasser-Aufbereitung (Teilstromfiltration) .....	56
6.3	Chemische Konditionierung des Kreislaufwassers .....	56
6.3.1	Antiscalants .....	57
6.3.2	Dispergiermittel.....	57
6.3.3	Korrosionsinhibitoren .....	57
6.3.4	Biozide.....	58
6.4	Hinweise zum Betrieb .....	62
6.4.1	Mechanische Kühlwasserbehandlung .....	62
6.4.2	Chemische Aspekte.....	63
6.5	Hinweise zum Betrieb .....	63
6.5.1	Inbetriebnahme.....	64
6.5.2	Inspektion .....	65
6.5.3	Reinigung .....	66

6.5.4	Konservierung .....	67
6.5.5	Betriebsüberwachung .....	67
6.5.5.1	Überwachung der Eindickung.....	67
6.5.5.2	Probenahme .....	68
6.5.5.3	Überwachungsparameter und Analysehäufigkeit .....	68
<b>7</b>	<b>Hygienische Aspekte bei Systemen mit offener Umlaufkühlung .....</b>	<b>70</b>
7.1	Hygienische Risiken .....	70
7.2	Hygienegerechte Konstruktion und Auslegung.....	71
7.3	Hygienegerechter Betrieb .....	71
<b>8</b>	<b>Geschlossene Kühlsysteme – Werkstoffeinsatz und Kühlwasserkonditionierung .....</b>	<b>73</b>
8.1	Einführung .....	73
8.2	Wasserbeschaffenheit und werkstoffabhängige Konditionierung .....	73
8.3	Verfahrenstechnische Hinweise.....	77
8.4	Betrieb .....	77
8.4.1	Reinigung und Inbetriebnahme.....	77
8.4.2	Konservierung .....	78
8.5	Anforderungen an die Betriebsüberwachung.....	78
8.5.1	Überwachungsparameter und -häufigkeiten .....	78
8.5.2	Probenahmestellen und -ausführung.....	79
<b>9</b>	<b>Analytische Überwachung von offenen Umlaufkühlsystemen.....</b>	<b>80</b>
9.1	Chemisch-analytische Überwachung.....	80
9.1.1	Physiko-chemische Kühlwasserparameter .....	84
9.1.2	Analysenverfahren.....	87
9.2	Mikrobiologische Überwachung.....	89
9.2.1	Mikrobiologische Kühlwasserparameter .....	89
9.2.2	Analysenverfahren.....	90
9.3	Überwachung von Korrosion und Belagsbildung (Scaling) .....	90
9.3.1	Untersuchungsmethoden/Monitoring .....	91
9.3.2	Abschätzung von Korrosionswahrscheinlichkeiten .....	92
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>93</b>