

Instandhaltungsstrategien für Regelkraftwerke

Längere Lebensdauer, optimierter Betrieb

Franz Binder

Mit flexiblem Betrieb auf die Anforderungen eines dynamischen Strommarktes zu reagieren, gehört für die Betreiber thermischer Kraftwerke inzwischen zum Alltag. Einerseits entstehen durch die Herausforderungen in der Fahrweise höhere Belastungen für drucktragende Bauteile, die sich signifikant auf die Lebensdauer auswirken. Andererseits ist das Geschäft, Residuallasten zu decken, lukrativ. Mit Schnellstartfähigkeit und noch höheren geforderten Leistungsänderungsgeschwindigkeiten wird insbesondere der Betrieb neuer Gaskraftwerke noch anspruchsvoller. Es gilt, eine möglichst optimale Balance zu finden zwischen vorausschauend-sicherem Betrieb und der Erfüllung dieser Zielsetzungen im Sinne der Gesamtwirtschaftlichkeit. Dafür hat TÜV SÜD in Zusammenarbeit mit einem

kommunalen Energieversorger das auf Außentemperaturmessungen basierende Erschöpfungsmonitoring von Bauteilen gezielt weiterentwickelt.

Die Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energiequellen nimmt stetig zu. Wird die benötigte Energiemenge aufgrund von Flaute oder wenigen Sonnenstunden allerdings nicht erreicht, sorgen unter anderem Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD) für die benötigte Regelleistung. Das erfordert flexible Betriebszyklen mit teilweise extremen An- und Abfahrvorgängen und mehr Wechselbeanspruchung in den hochbeanspruchten druckführenden Bauteilen.

Für druckführende Bauteile des Wasser-Dampf-Kreislaufs wie z.B. Überhitzer und Kühler, Ein- und Austrittsammler sowie verbindende Rohrleitungen, haben diese Betriebsmodi zur Folge, dass es schneller zu fortgeschrittener Materialerschöpfung und letztendlich auch zu Schädigungen kommen kann. Dabei geht es vor allem um Materialermüdung, die sich aus den häufigeren Beanspruchungswechseln ergibt und die Bauteillebensdauer schneller als vorgesehen verringert. Materialermüdung führt zunächst zu Veränderungen im Materialgefüge, die mit den Mitteln der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung nicht erkennbar sind. Erst im späteren Verlauf des Schädigungsgeschehens kommt es zu feststellbaren Rissbildungen. Diese treten insbesondere an den schwerer überprüfbaren Innenoberflächen der Bauteile auf.

Permanente Bauteilüberwachung als solide Entscheidungsgrundlage

Auf der Seite der Kraftwerksbetreiber steigt der Bedarf an angepassten und bedarfsgerechten Instandhaltungslösungen. Im Fokus steht ein kontinuierliches Monitoring, um frühzeitig präzise Aussagen über die verbrauchte und die noch zur Verfügung stehende Restlebensdauer der Bauteile verfügbar zu haben. Um sich auf dem wettbe-

werbsintensiven Energiemarkt zu behaupten, ist eine Bauteilüberwachung mit einer realistischen Aussage zum jeweiligen Lebensdauerverbrauch alternativlos. Die zentralen Elemente dabei sind die lückenlose Messung und Aufzeichnung der Belastungsdaten aus dem Anlagenbetrieb und die Auswertung dieser Daten in festen Zeitintervallen. Am Ende der Auswertung werden konkrete Erschöpfungsfortschritte in den Bauteilen ausgewiesen. Nur Kontrollen auf schon vorhandene Anrisse zu den festgelegten Prüfterminen durchzuführen, reicht im Sinne einer vorausschauenden und optimierten Instandhaltungsstrategie nicht aus. Entscheidend ist dabei, dass die tatsächlichen Betriebsbedingungen lückenlos Eingang finden und die jeweilige Gesamterschöpfung der Bauteile möglichst genau ermittelt wird. Damit steht zu jedem Zeitpunkt eine solide Entscheidungsgrundlage für die Optimierung von Betrieb und Instandhaltung zur Verfügung.

Ein wichtiges Instrument sind dabei Bauteil-Steckbriefe, in denen relevante Informationen über die Geometrie- und Werkstoffdaten und Erkenntnisse zu den wirkenden Schädigungsmechanismen enthalten sind. Über die statischen Basisdaten hinaus, werden darin alle neu hinzukommenden Erkenntnisse, z.B. aus durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen und insbesondere auch die Ergebnisse von durchgeführten Erschöpfungsberechnungen, dokumentiert.

Basis für angepasste Prüffristen

Betreiber sind verpflichtet, die Schädigung eines Bauteils zu verfolgen. Unter Umständen sind häufigere Prüfungen notwendig, um den sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten. In der Umkehr bedeutet dies auch, dass Prüffristen vielleicht sogar verlängert werden können, wenn sich aus dem kontinuierlichen Monitoring nachweislich ergibt, dass ein Bauteil doch eine längere

Autor

Dipl.-Ing. Franz Binder
Kraftwerks- und Komponententechnik
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
München, Deutschland



Bild 1. Drucktragende Bauteile werden im dynamischen Kraftwerksbetrieb durch schnelle Temperaturwechsel herausgefordert.

Lebenserwartung hat als ursprünglich angenommen.

An diesem Punkt setzt das TÜV SÜD-Leistungspaket „Temperature Stress Exhaustion“ (TSE) an. Mit TSE werden regelwerks- und rechtskonform präzise Prognosen zur Lebensdauer von Bauteilen gemacht. Die Instandhaltung wird damit zustandsorientierter und Prüffristen können begründet festgelegt – im Optimalfall verlängert werden. Doch was sind weitere wichtige Aspekte in der Bauteil-Lebensdauerüberwachung?

Temperaturmessung an Bauteilen

Sowohl beim Bauteilschädigungsmechanismus Ermüdung als auch bei der Zeitstandschädigung durch Kriechen ist neben dem Innendruck die Bauteiltemperatur die entscheidende Belastungsgröße. Bei allen realisierten Bauteilüberwachungskonzepten steht die sensorbasierte Temperaturerfassung daher im Mittelpunkt. Dabei gibt es unterschiedliche praktizierte Varianten:

- Temperaturmessung an der Bauteil-Innenoberfläche
- Wandmitten-Temperaturmessung
- Temperaturmessung des Strömungsmediums im Bauteilinneren
- Temperaturmessung an der Bauteil-Außenoberfläche

Für die ersten drei genannten Methoden sind Bohrungen an den zu überwachenden hochbeanspruchten Bauteilen notwendig. Diese sind bereits beim Bau der Anlage umzusetzen und in die Genehmigungsunterlagen einzupflegen. Neben dem damit verbundenen technischen und planerischen Aufwand ist die mangelnde Flexibilität dieser Messvarianten ein gravierender Nachteil. Zudem ist aber auch die erzielbare Auswertegenauigkeit ein Problem, da die exakte

Positionierung des Temperaturfühlers innerhalb der Wand einen großen Einfluss auf das Auswertergebnis hat. Der Sensor befindet sich bei Innenwandmessungen nämlich nicht direkt an der Innenoberfläche. Bei der Bohrung des Sacklochs bleibt immer eine gewisse „Restwand“ erhalten. Ein erheblicher rechnerischer Aufwand besteht beim Messen der Mediumtemperatur. Das hängt mit der Schwierigkeit zusammen, über die Modellierung der thermohydraulischen Wärmeübergangsverhältnisse von der Fühleroberfläche auf die Temperatur der Bauteilwand schließen zu müssen.

Vorteile der Außenwandmessung

Bei der Außenwandmessung findet quasi eine Rückwärts-Berechnung der Wärmeleitung statt – von der Außenwand bis zur Innenoberfläche des Bauteils. Diese Berechnung war in der Vergangenheit aufwändig und trotzdem mit großen rechnerischen Unsicherheiten verbunden. TÜV SÜD hat die Auswertesystematik zu diesem Messverfahren weiterentwickelt, um die Problem-

stellungen aus der Vergangenheit auszuräumen und die Flexibilität der äußeren Sensoranbringung nutzbar zu machen. Im Ergebnis führt dieses Verfahren zu hohen Genauigkeiten und soliden Aussagen bei reduziertem Aufwand und der erwünschten Flexibilität in der Überwachung. Das Auswerteverfahren ist in einem effizienten Rechenalgorithmus abgebildet, der in der TSE-Software zum Einsatz kommt. Der Algorithmus ist so qualifiziert, dass seine Ergebnisse eine etwaige Verlängerung der Prüffristen offiziell zulassen. Mit der Außenwandmessung steht damit eine nicht-invasive, also keine Bohrungen benötigende Messmethode zur Verfügung, die sich sowohl für dauerhafte als auch für temporäre Messungen eignet. Über temporäre Messungen kann die Beanspruchungssituation eines Bauteils abgeklärt werden. Bei ausgedehnten Systemen kann darüber hinaus mit temporären Überblicksmessungen ein Bauteil belegbar als das erschöpfungsführende ausgewählt werden.

Diese Vorteile ergeben sich aus dem einfacheren und vor allem flexibleren Messaufbau. Sollte an der Sensoranbringung eine Korrektur notwendig sein, ist dies leicht möglich. Auch bei Fehlfunktionen in einzelnen Komponenten der Messkette, kann ein schneller Austausch erfolgen. Betreiber von Bestandskraftwerken können die Messmethode ohne Weiteres anwenden – bereits existierende Temperatursensoren lassen sich in neue Überwachungskonzepte integrieren.

Neubauten – Gaskraftwerke im Fokus

Gerade beim Neubau von Gaskraftwerken bietet die Messvariante ein Plus an Flexibilität und Kosteneinsparung. Gaskraftwerke punkten mit hoher Betriebsflexibilität. Damit sind sie prädestinierte Residuallastdecker. Für Gaskraftwerke ist eine Ausbaufensive in Deutschland geplant. Im Kontext der Klimaziele und der angestrebten Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen haben sie zudem das Potenzial, in H2-Ready-Kraftwerke umgerüstet zu werden.

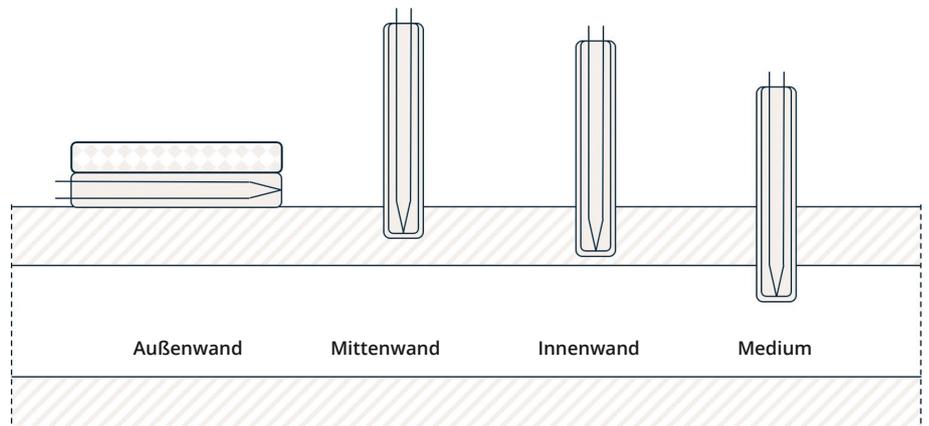


Bild 2. Die Temperatur wird mit Sensoren invasiv oder an der Außenwand der Komponente gemessen.

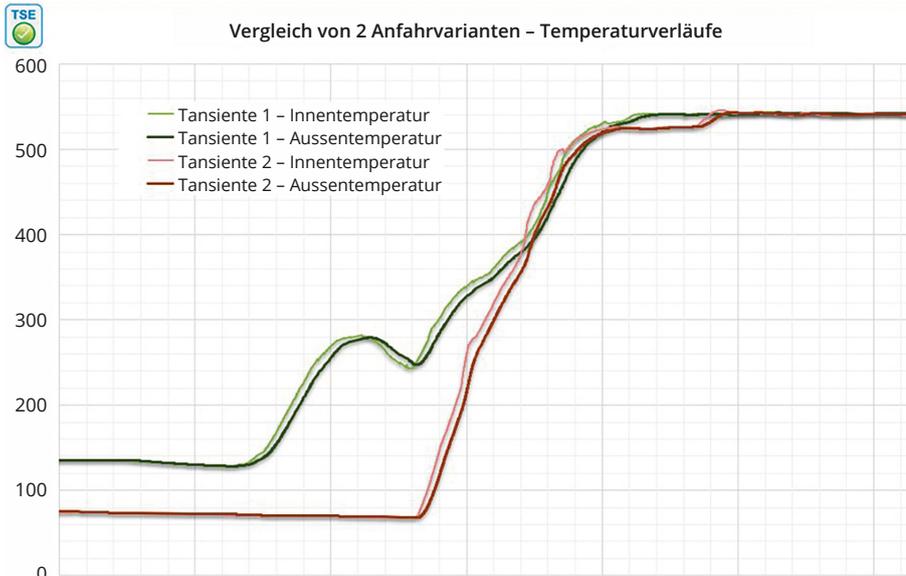


Bild 3. Darstellung der Temperaturverläufe zweier Anfahrvorgänge im Vergleich. Mit Transiente 2 wurde ein schnelleres Anfahren realisiert. Im Gegensatz zu Transiente 1 wird die Temperatur stetig gesteigert.

Die über Außenwandmessungen mit einer hohen Auswertegenauigkeit gewonnene Restlebensdauer kann bei der Optimierung von Instandhaltung und Betrieb Eingang finden.

Wie wichtig es ist, Daten richtig auszuwerten

Um zuverlässige Aussagen über Schädigungsfortschritte und die verbleibende Lebensdauer von Bauteilen zu machen, müssen die durch Temperaturmessungen gesammelten Daten möglichst präzise ausgewertet werden. Nur wer seine Anlage und die besonders erschöpfenden Betriebszustände versteht, kann diese mit gezielten Anpassungen der Fahrweise vermeiden oder aber bewusst in Kauf nehmen. Der klare Vorteil einer Online-Auswertung ist dabei der stets aktuelle Status der Bauteilerschöpfung. Vermehrt werden in Bestandskraftwerken aber auch wieder Offline-Verfahren eingesetzt. Bei Kraftwerksneubauten sind diese in vielen Fällen ebenfalls das Werkzeug der Wahl. Warum ist das so?

Offline-Auswertung als Basis der Optimierung

In Offline-Auswertungen werden längere Zeiträume in einem Vorgang analysiert. Dies eröffnet die Möglichkeit, das zusammenhängende Belastungsgeschehen grundlegend „zu verstehen“. In Verbindung mit Offline-Auswertungen lassen sich außerdem gut sogenannte „Was-wäre-wenn-Analysen“ umsetzen. Dabei spielen die Prüffexperten Varianten der Anlagentransienten in einer Simulation durch. Gerade bei Regelkraftwerken, die sich durch ihre ständigen Lastwechsel mit schnellen Leistungs transienten auszeichnen, kann dies die Optimierung der Fahrweise erleichtern. Ein typisches Ziel der Optimierung ist es, ein größt-

mögliches Dynamikpotenzial der Anlage zu realisieren. In der Regel werden hierbei Daten aus dem früheren Betrieb zugrunde gelegt, für die gezielte Variationen getestet werden. Neben neuen Fahrweisen hat das auch Einfluss auf die künftige Gestaltung von Bauteilen bei eventuell geplanten Anlagenanpassungen.

Da bei Offline-Systemen nicht die Echtzeitbereitstellung der Ergebnisse im Fokus steht, lassen sich vertiefte rechen-technische Ansätze und Algorithmen für die Auswertung nutzen. Die Feinheit des lokalen Rechengitters, mit dem die Bauteilwand in Abschnitte unterteilt wird, wirkt sich beispielsweise bei der Genauigkeit des berechneten Temperaturfeldes und letztlich des Erschöpfungsfortschrittes aus. Vergleichbar ist das mit einem Mosaik – je kleiner die Steinchen sind, desto detaillierter wird das

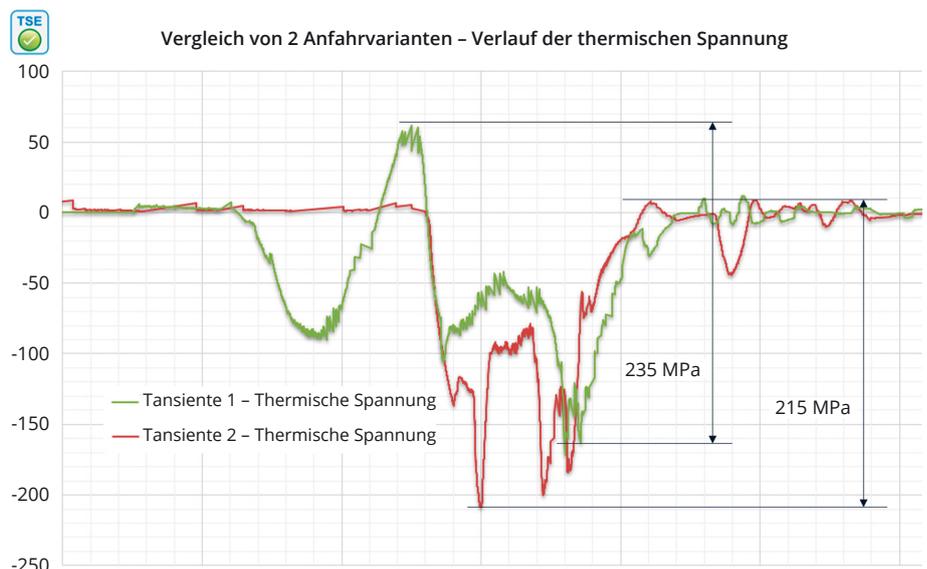


Bild 4. Mit dem schnelleren Anfahren (Transiente 2) geht eine niedrigere Bandbreite der Spannungen einher – das Material ermüdet langsamer als bei Transiente 1. Das schnellere Anfahren ist daher zu empfehlen.

Gesamtbild. Auf der Basis des Gesamtbilds wird dann ein anforderungsgerechtes Prüfkonzept erstellt.

Zudem zeichnen sich Offline-Systeme dadurch aus, dass Sensorfehler oder Kommunikationsprobleme in der Messkette im Vorfeld der eigentlichen Auswertung der Bauteilerschöpfung systematisch bereinigt werden können. Das Ergebnis steht damit von vornherein auf einer abgesicherten Basis ohne Fragezeichen bzgl. der ausgewerteten Daten. Auch die Betrachtung anderer Bauteile – auch nur temporär – ist unkomplizierter. Mit Ausnahme von kritischen Bauteilen, die besonders fordernden Betriebsbelastungen ausgesetzt sind, empfiehlt der VGB-Standard S-506-00-2019-02-DE eine jährliche Auswertung zum Lebensdauerverbrauch und zur Restlebensdauer.

Fazit

Regelkraftwerksbetreiber, die auf dem Energiemarkt wettbewerbsfähig bleiben wollen, sollten ihre Instandhaltungsstrategien im Blick haben. Die Maßnahmen zur kontinuierlichen Ermittlung der Restlebensdauer hochbeanspruchter Bauteile spielt in diesem Kontext eine wichtige Rolle. Neue Entwicklungen bei der dauerhaften nicht-invasiven Außenwand-Temperaturerfassung dieser Bauteile und der anschließenden periodischen Datenauswertung stellen eine solide und pragmatische Basis dar, die Schädigungen von Bauteilen mit hoher Genauigkeit zu verfolgen. Damit vermeiden Betreiber überhöhte Schädigungszustände bereits weit im Vorfeld. Zudem vermindert sich über angepasste Prüfzyklen der Aufwand für zerstörungsfreie Prüfungen. Darüber hinaus sind auf den Auswertungen aufbauende Betriebsoptimierungen eine wesentliche Stell-schraube, wenn es darum geht, das Potenzial der Anlage auf dem Energiemarkt auszu-schöpfen.

Regulatorische und normative Vorgaben im Überblick

Nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) sind wiederkehrende Prüfungen an druckführenden Bauteilen in thermischen Kraftwerken zu planen und durchzuführen. Vorgaben aus der BetrSichV werden mit den Anforderungen aus den TRBS konkretisiert. Die Prüfung selbst muss von einer zugelassenen Überwachungsstelle (ZÜS) wie bspw. TÜV SÜD vorgenommen werden. Nach §3 der BetrSichV und den TRBS 1111 und 1201 sind Arbeitgeber verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung und eine damit verbundene Festlegung von Art, Umfang und Häufigkeit der Prüfungen zu erstellen. Gemäß TRBS 2141 müssen Betreiber außerdem Schädigungsfortschritte an Bauteilen verfolgen, um die Betriebssicherheit im Gefahrenbereich zu gewährleisten.

Zu ermitteln sind dabei die betroffenen Bauteile, die Schädigungsarten (z.B. Kriechen, Ermüden, Korrosion, Erosion), die betrieblichen Vorgänge sowie damit verbundene Belastungen, die die Schädigungen verursachen. Außerdem wird in der TRBS 1201 zwischen zeitstandbedingter Erschöpfung und Materialermüdung infolge von Wechselbeanspruchung unterschieden. Sicherheitsrisiken, die durch Wechselbeanspruchungen entstehen, ziehen unter Umständen verkürzte Prüffristen nach sich. Dann können innere Prüfungen erforderlich sein, die aufwändig und eventuell mit Betriebsstillständen verbunden sind. Vorgaben für die rechnerische Bewertung von Temperaturwechselbelastungen enthält außerdem die DIN EN 12952-3.

Im VGB-Standard VGB-S-506-00-2019-02-DE, Abschnitt 4.6.3, „Regelwerksbasierte periodische Lebensdauerüberwachung“ ist überdies beschrieben, wie besonders schädliche Belastungen im Kraftwerksbetrieb zu erkennen und anzupassen sind. Derselbe VGB-Standard führt auch die Temperaturüberwachung als geeignetes Verfahren an. |

Abstract

Maintenance strategies for conventional power plants - longer life, optimised operation

Responding to the demands of a dynamic electricity market with flexible operation has become part of everyday life for thermal power plant operators. On the one hand, the challenges of the operating mode result in higher loads on the pressure components, which have a significant impact on the service life. On the other hand, the business of covering residual loads is lucrative. New gas-fired power plants, in particular, are even more challenging to operate because of the need for rapid start-up and even higher power change rates. It is important to find the best possible balance between safe, future-oriented operation and meeting these objectives in terms of overall economic efficiency. To this end, TÜV SÜD has worked with a municipal utility to further develop a component fatigue monitoring system based on ambient temperature measurements. |

vgbe energy - All rights reserved / Alle Rechte vorbehalten - ©



vgbe-Standard VGBE-S-135-00-2024-05-DE

Planung und Betrieb von Kühltürmen ersetzt VGB-R 135 und VGB-R 129

112 S., 41 Abb. (2024), DIN A4, Print/E-Book
ISBN 978-3-96284-352-6 (Print, Deutsch), ISBN 978-3-96284-353-3 (E-Book, Deutsch)
Englische Übersetzung in Vorbereitung
Preis für vgbe-Mitglieder* 200,- €, Nichtmitglieder 300,- €, + Versand und USt.

Der vorliegende neue vgbe-Standard „Planung und Betrieb von Kühltürmen“ soll die alten Richtlinien VGB-R 135 „Planung von Kühltürmen“ und VGB-R 129 „Empfehlungen über den Winterbetrieb von Kraftwerks-Naßkühltürmen“ ersetzen. Er bezweckt die Zusammenfassung vorhandener Informationen über wesentliche Gesichtspunkte dieses Sachgebietes für Planer und Betreiber. Dabei stehen nicht mehr allein Naturzugkühltürme im Fokus, vielmehr behandelt der neue Standard auch Kühltürme und Zellenkühlanlagen mit saugenden oder drückenden Ventilatoren in allen Bau- und Betriebsweisen der Energieanlagentechnik. Diese werden im erweiterten einleitenden Kapitel „Kühlbetriebsarten und Kühlverfahren“ beschrieben.

Vollständig überarbeitet und erweitert wurden die Kapitel zu Aufstellung, Berechnungsverfahren, Komponenten und Schutzmaßnahmen von Kühltürmen, in denen auch Sonderfälle wie z.B. Hybridkühltürme und Abgaseinleitung berücksichtigt werden.

Neu erarbeitet wurden die Kapitel „Energieeffizienz bei Auslegung und Betrieb von Rückkühlanlagen“ und „Hygienische Aspekte“, denen vor dem Hintergrund der notwendigen Energieeinsparung und der Legionellenproblematik besondere Bedeutung zukommen.

Das Kapitel zu Empfehlungen über den Winterbetrieb berücksichtigt nun auch die Besonderheiten von Kühltürmen mit Ventilator und von Zellenkühlern.

Im Zusammenhang mit den VGB/VGBE-Standards VGB-S-610 „BTR Bautechnik bei Kühltürmen“ und VGBE-S-455 „Kühlwassersysteme und Kühlwasserbehandlung“ stellt der vorliegende Standard einen Beitrag zum erweiterten Verständnis von Planung, Auslegung und Betrieb von Verdunstungskühlanlagen dar. Spezifische Betriebszustände und -anforderungen sowie technische Fakten werden – im Einvernehmen von Herstellern und Betreibern – in abgestimmter Form beschrieben, um einheitliche technische, wirtschaftliche, wettbewerbsneutrale und wettbewerbsfördernde Voraussetzungen für vergleichbare Angebote zu erreichen und um die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten bei der Planung von Kühlturmanlagen zu erleichtern.

Die vollständige oder auszugsweise Anwendung der Richtlinie muss zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden. Ein Zwang zur Anwendung besteht nicht. Eine Haftung, auch für die sachliche Richtigkeit der Darstellung, ist ausgeschlossen. Patentrechtliche und andere Schutzrechte sind vom Anwender eigenverantwortlich zu klären.

