

# Kühl- und Kältetechnik – investieren um zu sparen

Verbesserte Energieeffizienz und präzise Gefahrenanalyse reduzieren juristische Risiken – – und sparen Geld

Dipl.-Ing. Willibald Schodorf, DFLW Fachausschussvorsitzender  
Dipl.-Ing. Karlheinz Geiger, Geschäftsführer KTK Kühlturm, Karlsruhe

Typische Verdunstungsfahne eines Rückkühlers in einem Industriebetrieb

Neue Anlagen der industriellen Kältetechnik werden in aller Regel unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz und einer Gefährdungsanalyse ausgelegt und betrieben. Jedem Betreiber ist anzuraten, auch ältere Installationen auf mögliche Einsparpotentiale und hygienische Risiken zu überprüfen. Eine Studie des VDMA-Arbeitskreises ‚Energieeffizienz Kältetechnik‘ vom März 2011 zeigt, dass ca. 14 % des gesamten deutschen Stromverbrauchs zur

Bereitstellung von Kälte benötigt wird, s. Abb.1. Der Stromverbrauch zur Klimatisierung ist annähernd so hoch wie für die rund 64 Millionen Kühl- und Gefriergeräte in deutschen Haushalten. Während allerdings der Energieverbrauch von Haushaltsgeräten durch Angabe von Energieeffizienzklassen (z.B. A, A+++ usw.) für den Betreiber schnell sichtbar und berechenbar wird, gilt dies für viele technische Altanlagen nicht.

Im Haushalt zieht die ‚Smart-Technologie‘ bei intelligenten Wäschetrocknern bzw. Wasch- und Spülmaschinen schnell ein, da Umweltbewusstsein und Energieeinsparung hoch sensible Themen sind. Hier wird intensiv ‚investiert, um zu sparen‘. In der Kältetechnik wird das Potential an Einsparmöglichkeiten erst langsam, aber sicher erkannt. Dies darf nicht nur für neu installierte Kältetechnik gelten, sondern muss vor allem für die in Betrieb befindlichen älteren Anlagen konsequent realisiert und umgesetzt werden.

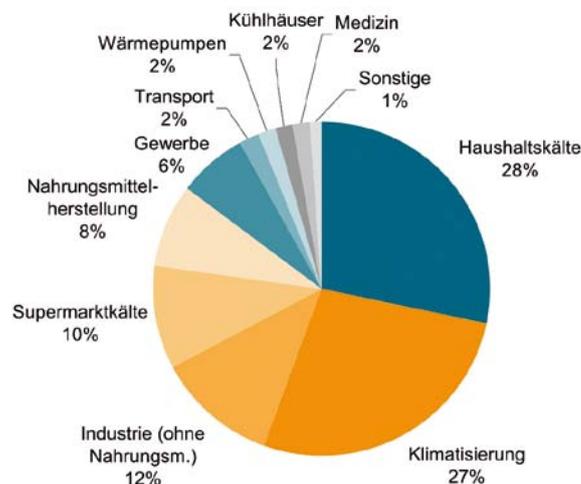


Abb.1: Gesamter Endenergiebedarf für Kältetechnik; Anteile nach Einsatzgebieten im Jahr 2009 (Quelle: VDMA 2011)

## KÄLTETECHNIK IST FÜR DEN SPITZENLASTFALL AUSGELEGT

Die entscheidende Größe einer Kälteanlage ist die benötigte Kälteleistung – also die Wärmemenge, die als Kühllast einer Klimaanlage bzw. als Kältebedarf in Produktionsstätten im jeweiligen Augenblick abgeführt werden muss. Diese Wärmemenge wird in der Kältetechnik zumeist über mehrere Verfahrensschritte abtransportiert (Kühlstellen – Kältemaschinen – Kühlturm). Die jeweiligen Kreisläufe müssen für den Spitzenlastfall (z.B. hohe Au-

# GLYKOSOL N

## DIE **ENERGIE** FÜR EIN PROFESSIONELLES KLIMA

Kälte- und Wärmeträgerflüssigkeit auf Basis  
Monoethylenglykol für technische Anwendungen



*Damit sie  
flüssig bleiben!*

www.schlumberger.de | Foto: Fotolia

pro  
KÜH  
SOLE

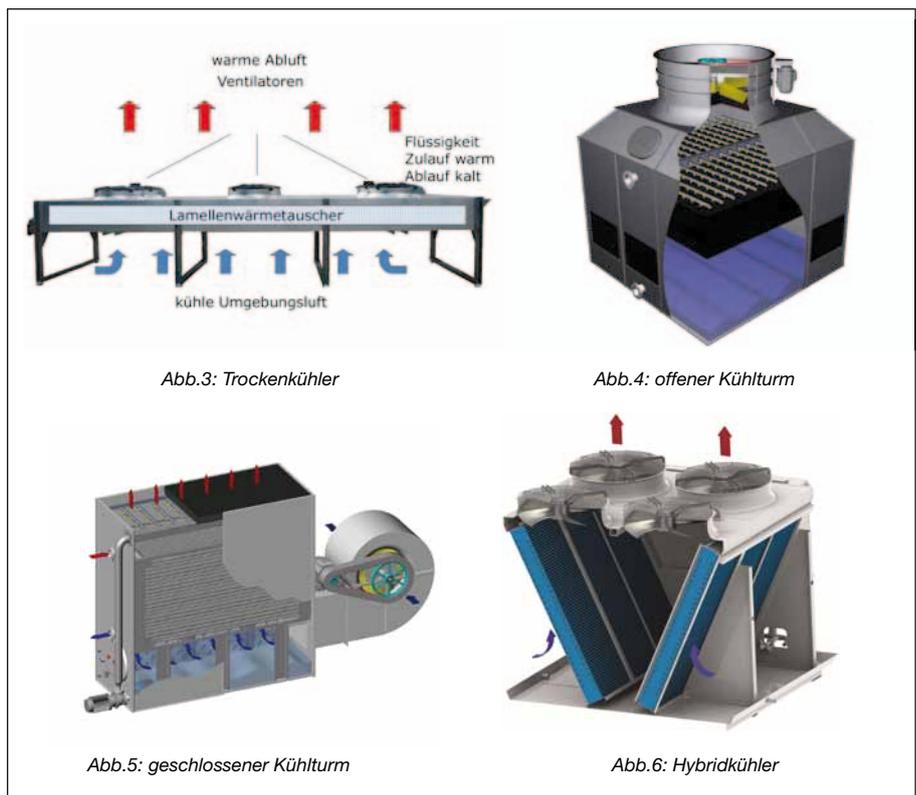


Mehr Informationen gibt es unter: [www.glykol.info](http://www.glykol.info)

pro KÜHLSOLE GmbH · Am Langen Graben 37 · D-52353 Düren  
Telefon: +49 2421 59196-0 · [info@prokuehlsole.de](mailto:info@prokuehlsole.de)

Bentemperaturen im Sommer, s.Abb.2) ausgelegt sein. Im Idealfall (z.B. bei Außentemperaturen zwischen 32 und 35°C) stimmen dann die für den Spitzenlastfall errechneten Parameter für Kühllast, Verdampferkälteleistung, Verdichterleistung, Wärmeabgabe am Verflüssiger, Rückkühlung des Verflüssigers, Kühlwasserstrom, Kühlturmleistung usw. überein. Doch die Spitzenlast ist im Normalfall eher die Ausnahme. Andere Außentemperaturen bzw. Kälteverbrauchswerte bedingen Feinjustierungen der Gesamtanlage - eine große Herausforderung für die Regler und deren Software.

Um die Vorgaben der EPBD 2010 (Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden) einzuhalten, müssen Anlagenkomponenten mit hohem Energieverbrauch auf die unterschiedlichen Temperaturanforderungen zugeschnitten und regelbar sein. Nur so kann Strom und Wasser gespart werden. Moderne Kältemaschinen überzeugen mit hervorragenden Leistungskennzahlen (COP), stufenlosen Leistungsregelungen und sanftem Startverhalten (ohne große elektrische Anlaufspitzen). Entscheidend für die Betriebskosten und mögliche Einsparungen ist, dass man über das ganze Jahr den Verbund Kältemaschine – Rückkühlung gesamtheitlich betrachtet und optimiert. Ein wichtiger Aspekt ist, dass die Kältemaschine auf einem niedrigen Temperaturniveau kondensieren kann und damit im Teillastbereich eine noch



höhere Energieeffizienz erreicht. Je nach Kühlsystem sind bei unterschiedlichen Außentemperaturen und Witterungsverhältnissen unterschiedliche Kondensationstemperaturen möglich.

**(A) Kondensation mit Trockenkühlern**

Diese Art der Kondensation wird für viele kleinere Kühlanlagen in so genannten Splitgeräten eingesetzt. Die Kondensationstemperatur liegt in der Regel ca. 15°C höher als die Umgebungstemperatur

im Sommer bei etwa 50°C. Das führt zu relativ kleinen Kühlern, aber auch zu einer im Jahresmittel hohen Kondensationstemperatur der Kältemaschine. Ähnlich sind die Verhältnisse bei Kühlkreisläufen, die mit trocken betriebenen Glykol-Rückkühlwerken ausgestattet sind. Die Kondensationstemperatur der Kältemaschine bleibt weiterhin hoch, es werden lediglich lange Kältemittelleitungen vermieden, s.Abb.3.

**(B) Kondensation mit Nasskühlern**

Nasskühler erzeugen einen großen Teil der Kälteleistung durch das Verdunsten eines Teils des im Kühler versprühten Wassers. Das entzieht dem Kreislauf die dafür nötige Verdampfungsenthalpie.

Die Kühleffizienz ist somit deutlich erhöht, das Wasser kann in Deutschland auch im Hochsommer auf eine Temperatur von 24 bis 26°C abgekühlt werden. Die niedrigeren Wassertemperaturen führen zu Kondensationstemperaturen der Kältemaschine von ca. 35°C und damit zu einem COP Wert, der deutlich höher liegt als bei Systemen ohne Wasserverdunstung. Es sind viele unterschiedliche Konstruktionen für Nasskühler auf dem Markt vertreten.

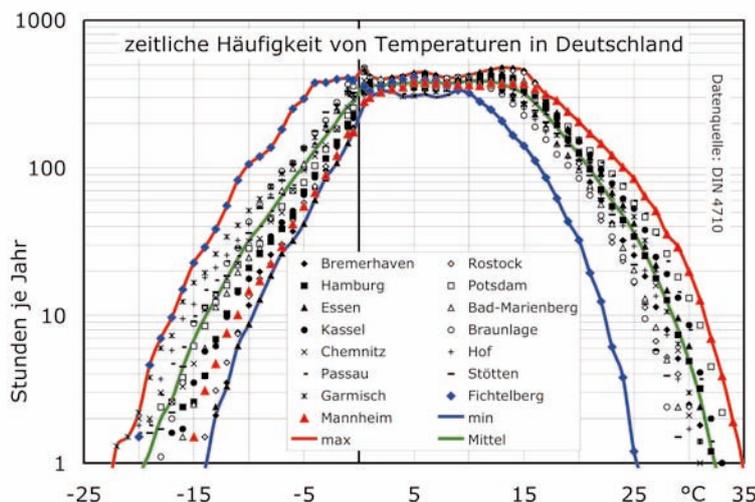


Abb.2: Temperaturen in Deutschland

Die nachfolgende Betrachtung geht auf die drei am meisten verbreiteten Bauformen ein. **Offene Nasskühler** (Abb.4): Hier steht

temperatur 2 bis 4°C höher als bei offenen Kühltürmen. Da sich die Wärmeübertrager auch dann im Luftstrom befinden, wenn

**SIMULATIONSPROGRAMM DER KTK**

Die Überprüfung eines alten Systems oder die Planung eines neuen Systems beginnt

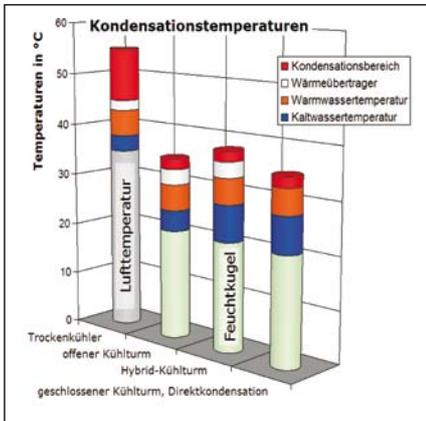


Abb.7: Kaltwasser- und Kondensationstemperaturen verschiedener Rückkühler

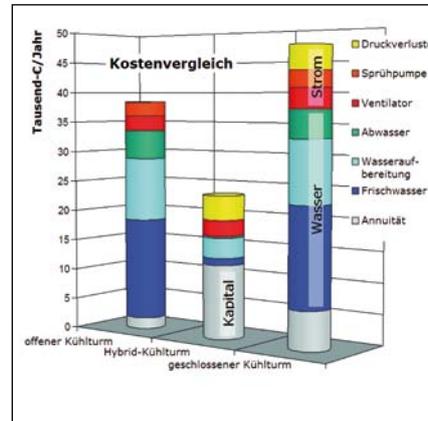


Abb.8a: Simulation von drei unterschiedlichen Rückkühlwerken bei gleicher Anwendung (Kostenvergleich)

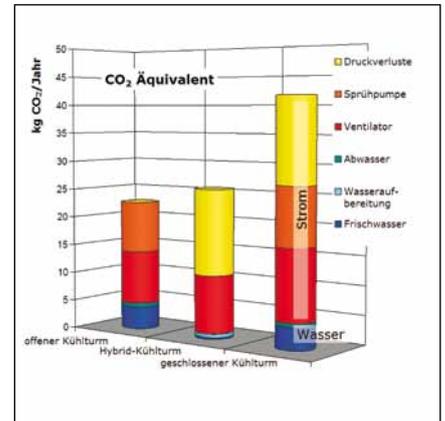


Abb.8b: Simulation von drei unterschiedlichen Rückkühlwerken bei gleicher Anwendung (Vergleich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente).

das zu kühlende Wasser in direktem Kontakt zur Umgebungsluft. Das führt zu einem direkten Wärme- und Stoffaustausch zwischen Wasser und Luft, der üblicherweise durch geeignete Einbauten in den Kühlern weiter optimiert wird. Mit offenen Nasskühlern erreicht man einerseits die beste Energieübertragung, andererseits erfolgt durch den ‚Luftwäscher-Effekt‘ der Geräte ein Eintrag von Schmutz aus der Umgebungsluft in den Kühlwasserkreislauf. Je nach angeschlossenem Prozess kann dies eine Systemtrennung über Wärmeübertrager notwendig machen, was sich negativ auf die Gesamteffizienz des Systems auswirkt.

**Geschlossene Kühltürme** (Abb.5): Bei dieser Konstruktion wird im Kühlturm direkt ein Wärmeübertrager eingebaut, in dem das zu kühlende Medium (meist eine Wasser/Glykol-Mischung) abgekühlt wird. Zusätzlich gibt es einen kleinen Sprühkreislauf, in dem Wasser im Kreislauf fährt und durch Verdunstung abkühlt. Diese Verdunstung findet in der Regel auf der Außenseite dieser Übertrager statt, in deren Inneren sich das zu kühlende Medium befindet. Ein Kennzeichen der Systeme ist, dass wesentlich mehr Sprühwasser auf die Übertrager aufgebracht wird, als verdunstet, und dass das Sprühwasser im Kreislauf gepumpt wird.

Durch den zusätzlichen Wärmeübergang im Gerät liegt die erreichbare Kaltwasser-

temperatur 2 bis 4°C höher als bei offenen Kühltürmen. Da sich die Wärmeübertrager auch dann im Luftstrom befinden, wenn der Sprühkreislauf abgeschaltet ist, haben diese Geräte eine vom Luftvolumenstrom und von der Konstruktion der Übertrager abhängige Trockenkühlleistung. Bei den als geschlossene Kühltürme gehandelten Geräten wird die volle Kühlkapazität im Trockenbetrieb üblicherweise erst bei deutlichen Minusgraden erreicht. Der Effekt kann jedoch bei einem entsprechenden Lastprofil der Anwendung in manchen Fällen genutzt werden.

**(C) Hybridkühler (Nass-Trocken-Systeme)**

Bei Hybridkühlern (Abb.6) werden die Unterschiede im Umgebungsluftzustand über das Jahr folgendermaßen genutzt: Ist die Umgebungsluft ausreichend kalt, erfolgt die Wärmeabfuhr ohne Wasserverdunstung über Lamellenwärmeübertrager in die trockene Luft. Bei höheren Umgebungslufttemperaturen werden die Geräte benetzt und es kommt zur Wasserverdunstung. Dadurch können mit diesen Geräten ganzjährig niedrige Kaltwasser- und Kondensationstemperaturen erreicht werden, die auf dem gleichen Temperaturniveau liegen wie bei geschlossenen Kühltürmen, s.Abb.7. Die Investitionskosten für einen Hybridkühler sind deutlich höher als für einen klassischen Nasskühlturm und müssen sich durch die Wasserersparnis rechtfertigen.

immer mit der detaillierten Bedarfsanalyse. In einem neuen Simulationsprogramm von KTK können, z.B. in Abhängigkeit des Standortes, der Feuchtkugeltemperatur, der Umschaltpunkte für Nassbetrieb u.v.a.m., Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Carbon Footprint (Nachhaltigkeit/CO<sub>2</sub>-Belastung) ermittelt werden. Regelgrößen wie Volumenströme, Außentemperatur, Ventilatorleistung bzw. Kühlturmrückkühltemperatur können so im Vorfeld verändert werden, um die Auswirkungen zu simulieren.

Bei der Simulation werden, abhängig vom Standort des Rückkühlwerkes, dem Lastprofil der Anwendung und den vor Ort auftretenden Kosten für Wasser und Strom, die Finanzierungs- und Verbrauchskosten und das aus dem Betrieb resultierende ‚CO<sub>2</sub>-Äquivalent‘ ermittelt. Im Programm können verschiedene Typen von Rückkühlwerken miteinander verglichen werden, s.Abb.8a+b.

Aus den bisher durchgeführten Simulationen ergeben sich erste allgemein interessante Ergebnisse: Kühlanlagen, die auf die beste Wirtschaftlichkeit hin ausgelegt sind, arbeiten im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß oft nicht optimal. Gründe dafür sind, dass die aktuellen Strom- und Wasserpreise, bezogen auf das CO<sub>2</sub>-Äquivalent, falsch bewertet werden. Außerdem führt die Berücksichtigung der Investitionskosten in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu Ent-

scheidungen, die die Nachhaltigkeit nicht ausreichend berücksichtigen, s. Abb. 8b. Der Energieverbrauch der Ventilator-motoren wird bisher tendenziell zu hoch bewertet. Der Verbrauch wird oft zu einfach mit einer Rechnung ‚Leistung mal Jahresstunden‘ abgeschätzt. Bei konstanter Last, konstanter Kaltwassertemperatur und ganzjährigem Betrieb benötigt ein offener Kühlturm, der im Auslegungspunkt 17,6 kW absorbiert, im Jahresdurchschnitt nur 3,8 kW elektrische Leistung. Die immer noch übliche zweistufige Schaltung der Ventilator-motoren führt dazu, dass

liche Risikoanalysen gemeinsam mit dem DFLW (Deutscher Fachverband für Luft- und Wasserhygiene e.V., Berlin) an.

**JURISTISCHE RISIKEN MINIMIEREN**

Nach den Vorgaben der neuen VDI 3803 und dem Legionellenausbruch in Ulm im Jahr 2010 (64 Infizierte / 5 Tote) muss der Rückkühlung mit Nasskühltürmen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Auch wenn, wie in anderen europäischen Ländern schon lange festgeschrieben (z.B. Frankreich, England, Spanien usw.), eine Erfassung der Kühltürme noch nicht gere-

sachgemäßer Entkeimung und regelmäßiger Überwachung aufgetreten sind“. Der VDMA fordert deshalb eine Risikoanalyse und einen Betriebsplan (auch für die Wasseraufbereitung / Wasserbehandlung), s. Abb. 9. Eine derartige Systemanalyse, verbunden mit einer Risikobewertung, kann nicht nur für rechtliche Sicherheit sorgen, sondern zudem zu Einsparungen bei Strom und Wasser und den Behandlungskosten führen. Die betrieblichen Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen sollten in Managementplänen neben der Risikobewertung festgehalten und dokumentiert werden. Eine unabhängige Überwachung (Verifikation, dass das System korrekt funktioniert) durch ein akkreditiertes Labor (für mikrobiologische Beprobung ein Muss, da sonst nicht anerkannt) kann auch dokumentieren, ob die wasserchemischen Vorgaben der VDI 3803 zum Schutz vor Korrosion und Steinbildung eingehalten werden.

**Chemikalienverbrauch zum Wasserverbrauch:**

In Abhängigkeit des Zuspisewassers sollte nach klaren Vorgaben und festgelegten Eindickungen die Absalzwassermenge, der jährliche Chemikalienverbrauch und das erzielte Ergebnis (Kalk-/Korrosionsschutz) bewertet werden, s. Abb. 10.



Abb. 9: Fragen, die der Betreiber für jedes Wassersystem stellen muss

die Ventilatoren im Mittel zu schnell drehen. Hier sind Einsparungen durch drehzahl-geregelte Antriebe möglich. Die Umwälzleistung im Kühlkreislauf wird als Konstante angesehen und der dafür nötige Energiebedarf wird unterbewertet, wobei sehr viele Kühltürme bei 70 % der Umwälzleistung genauso gut kühlen. Bei einem 1000-kW-Kühlturm (z.B. 140 m³/h Umwälzleistung) kann also sehr oft (wenn die Spitzenlast nicht benötigt wird) auch mit 100 m³/h Umwälzleistung die Kühlung erbracht werden. Bei der reduzierten Umwälzleistung werden nur noch ca. 36 % der ursprünglichen Pumpenergie benötigt. In vielen Fällen kann man die Kühlung des Prozesses oder des Gebäudes in der kalten Jahreszeit mit ‚freier Kühlung‘ realisieren. Dabei werden die dafür nötigen Temperaturen direkt vom Rückkühler erzeugt; die Kältemaschine steht still. Abhängig von der Anwendung können dadurch große Energieeinsparungen realisiert werden. Der Kühlturm-Service bei KTK hat sich auf die Energieoptimierung spezialisiert und bietet hier eine energetische Beratung mit kostenlosem Erstbesuch sowie ganzheit-

gelt ist, hat der Betreiber unter Berücksichtigung seiner Organisationshaftung und der Verkehrssicherungspflicht Maßnahmen zu ergreifen, die geeignet sind, Gefährdungen von Personen auszuschließen. Kühltürme werden üblicherweise mit Temperaturen zwischen 25 und 35°C betrieben (hier ist mit einem Kleinwachstum von Legionellen zu rechnen) und sind deshalb aus hygienischer Sicht eine besondere Gefahr – Abluft kann in den Aufenthaltsbereich von Menschen gelangen. Der VDMA hat in seinem Merkblatt „Hinweis und Empfehlungen zum Betrieb und zur Wartung von Verdunstungskühlanlagen“ (Ausgabe 2008) eine Ereigniskette sehr anschaulich beschrieben:

- ▶ Verunreinigung mit virulenten Legionellen,
- ▶ unkontrollierte Bedingungen,
- ▶ Tropfenauswurf gelangt in die Atmosphäre,
- ▶ gefährdete Personen werden mit einer Mindestmenge kontaminiert

Das Merkblatt stellt fest: „Es sind keine derartigen Ereignisse bekannt, die bei

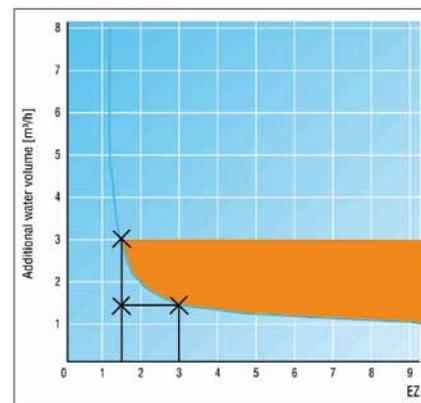


Abb. 10: Wasserverbrauch in Abhängigkeit der Eindickung bei  $Q_{verd} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$

**Stromverbrauch in Abhängigkeit der benötigten Kühlleistung**

Aus solch einer Dokumentation können Risiko-, Öko- und gehaltvolle Wirtschaftlichkeitsbewertungen abgeleitet werden. Analysen und Kontrollen von zugelassenen Laboratorien sorgen so für Rechtssicherheit und durch das 4-Augen-Prinzip für

eine wirtschaftliche Fahrweise. Vor allem der Einsatz von Chemikalien hat in den letzten Jahren einige Änderungen erfahren. Vorgaben der Arbeitsmedizin und hygienische Anforderungen sind zu beachten. Sehr viele dieser Chemikalien unterliegen der am 1. Juni 2007 in Kraft getretenen EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals) und sollten auch nach dem CLP (Classification and Labelling of Products) gekennzeichnet sein. Durch die Diskussion der Legionellen-Epidemie von Anfang 2010 in Ulm, der noch offenen Schuldfrage, der Notwendigkeit der rationellen Verwendung von Energie und der Verantwortung für die Umwelt (Carbon Footprint), werden auch an die Kältetechnik neue Qualitätsstandards gestellt. Energieberatung und Risikobewertung sind für den Betreiber sehr oft Maßnahmen, die durch geringe Investitionen zum Sparen führen. Nicht nur bei neuen Investitionen dürfen die Lebenszykluskosten eine Rolle spielen – vor allem in Altanlagen steckt viel Potential, um Energie, Wasser, Chemikalien und somit Kosten einzusparen. Klug handelt, wer sich eventuelle Risiken bewusst macht und weiß, wie er ihnen begegnen kann.

#### FAZIT

Das Know-how und die Qualitätsstandards für Lösungen rund um eine effiziente Kühl- und Klimatechnik sind vorhanden. Ziel muss es sein, alle Möglichkeiten für Einsparpotentiale und alle Risiken zu identifizieren und zu bewerten. Dann lässt sich investieren, um zu sparen. Nicht zuletzt führt diese Vorgehensweise zu einer signifikanten Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen

Autoren: Dipl.-Ing. Willibald Schodorf,  
DFLW Fachausschussvorsitzender Wasser,  
Verkaufsleiter BWT Wassertechnik  
BWT Wassertechnik, Schriesheim,  
[www.bwt.de](http://www.bwt.de)

Dipl.-Ing. Karlheinz Geiger, Geschäftsführer  
KTK Kühlturm Karlsruhe, Durmersheim  
[www.kuehlturm.de](http://www.kuehlturm.de)  
Fotos/Grafiken: BWT/KTK u. Direktnachweise

## KÜHLTURM KARLSRUHE

FAST 50 JAHRE ERFAHRUNG IN VERTRIEB UND PRODUKTION VON RÜCKKÜHLWERKEN

KÜHLTÜRME NUR AUS EDELSTAHL



Ihr erfahrener Partner für alle Fragen der Kühlturmtechnik

- Offene und geschlossene Verdunstungskühltürme
- Druck- und saugbelüftete Rückkühlwerke
- Hybridkühltürme / Duale Rückkühlwerke
- Sonderkonstruktionen / Spezialanfertigungen
- Wartung und Service aller Kühlturmfabrikate
- Ersatzteilservice



KTK KÜHLTURM KARLSRUHE GMBH  
SCHLOSSERSTR. 5 . 76448 DURMERSHEIM . DEUTSCHLAND  
TELEFON 07245 / 91 91 6-0 . FAX 07245 / 91 91 6-11  
KUEHLTURM@KUEHLTURM.DE . WWW.KUEHLTURM.DE