

Schwadenfreiheit durch Hybrid-Kühltürme

Hans Ruscheweyh, Reiner Windhövel und Frank Werner

Abstract

Hybrid cooling towers without plume

The public often judges a power plant by the huge plume of the natural draught cooling towers. This plume suggests – conscious or unconscious – environmental impact. In reality the fog is only made up of water droplets, if no flue gas is injected. Environmental impact sometimes only exists by a shadow effect.

A larger influence to the environment comes from the lower cooling towers, i.e. the cell cooling towers which are arranged in expanded units. At cross wind situation, the fog is pressed down to the ground. Fog near the ground, high humidity and ice at winter time are the consequences.

Because of the icing on the nearby highway of the Killingholm power plant in the UK, the government threatened to close the unit, if no remedial measures would be taken. The solution was to change the cell cooling towers into "hybrid cooling towers", also named as "dry-wet-cooling towers".

Hence hybrid cooling towers are the solution for avoiding visible cooling tower plumes, the accompanied problems and to increase the acceptance of power plants.

Aufbau von Hybridkühltürmen

In der Kraftwerkstechnik werden zwei Typen von Hybridkühltürmen verwendet:

- Zellenkühlturm mit einem saugenden Ventilator
- Rundkühlturm mit drückenden Ventilatoren am Kühlturmumfang

Jeder Hybridkühlturm besteht aus einem Nassteil und einem Trockenteil. Im Nassteil wird ein Teil des Kühlwassers durch Nasskühlung gekühlt, d.h. die Kuhlflucht streicht an den herabrieselnden Wassertropfen vorbei, kühlt somit das Wasser entsprechend ab, nimmt aber Feuchtigkeit auf und verlässt den Nassteil hinter dem Tropfenfang mit 100 % Luftfeuchte. Im Trockenteil wird der andere Teil des Kühlwassers über einen Wärmetauscher abgekühlt und die Kuhlflucht verlässt diesen Bereich warm und trocken. Auf dem Weg bis zur Kühlturmöffnung müssen beide Kuhlfluchtströme vermischt werden. Die Luftmengen müssen so bemessen sein, dass im Auslegungs-

fall (tiefe Außentemperatur, hohe Außenluftfeuchte), keine Kondensation auftritt, wenn die Kuhlflucht in die Atmosphäre eintritt. Im Bild 1 ist das Funktionsschema eines Hybrid-Zellenkühlturms dargestellt.

Eine andere Version eines Hybridkühlturms ist der Rundkühlturm mit drückenden Ventilatoren. Er ersetzt die großen Naturzugkühltürme. Während der Basisdurchmesser der Kühlturmschale in etwa dem des großen Naturkühlturms entspricht, ist die Kühlturmhöhe nicht mehr ca. 100 bis 200 m, sondern nur noch etwa 40 bis 65 m. Damit überragt dieser Kühlturmtyp nicht mehr die Kraftwerksgebäude. Da durch die hybride Auslegung der sichtbare Schwaden vermieden wird, wird der Kühlturm aus der Ferne nicht mehr wahrgenommen.

Die Mischungseinrichtung innerhalb dieses Hybrid-Rundkühlturms muss besonders präzise für die Erfordernisse dieses Kühlturmtyps optimiert und angepasst werden.

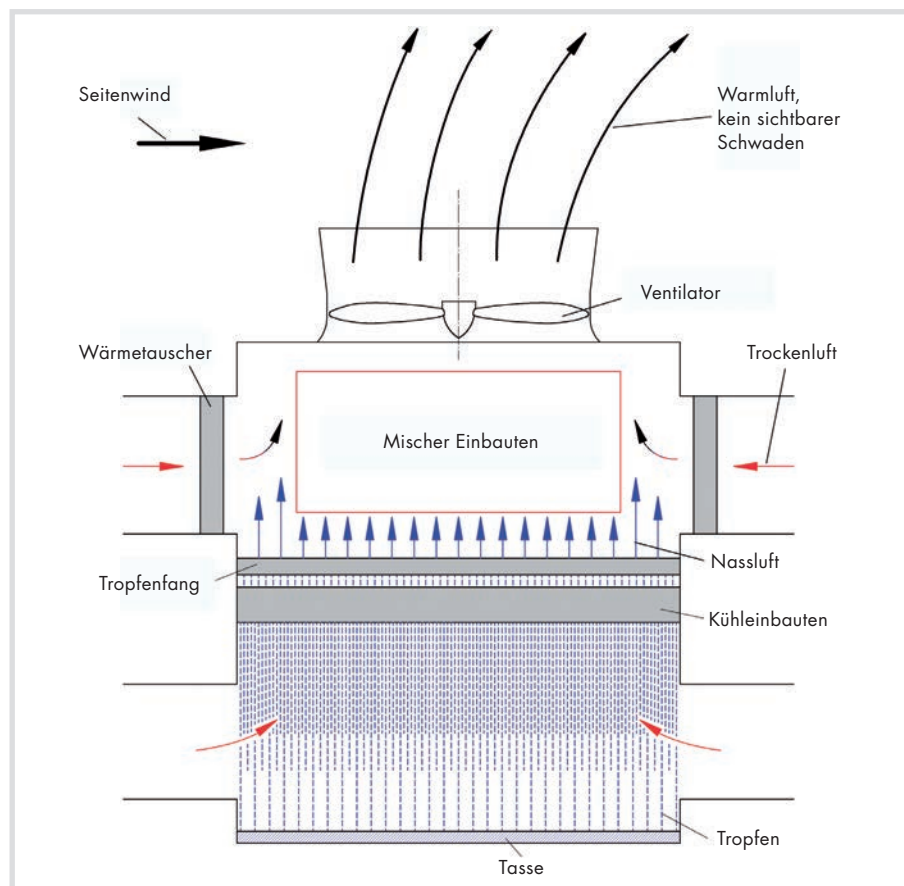


Bild 1. Funktionsschema eines Hybrid-Zellenkühlturms.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Hans Ruscheweyh
Dipl.-Ing. Reiner Windhövel
Dipl.-Ing. Frank Werner
Ruscheweyh Consult GmbH
Aachen/Deutschland

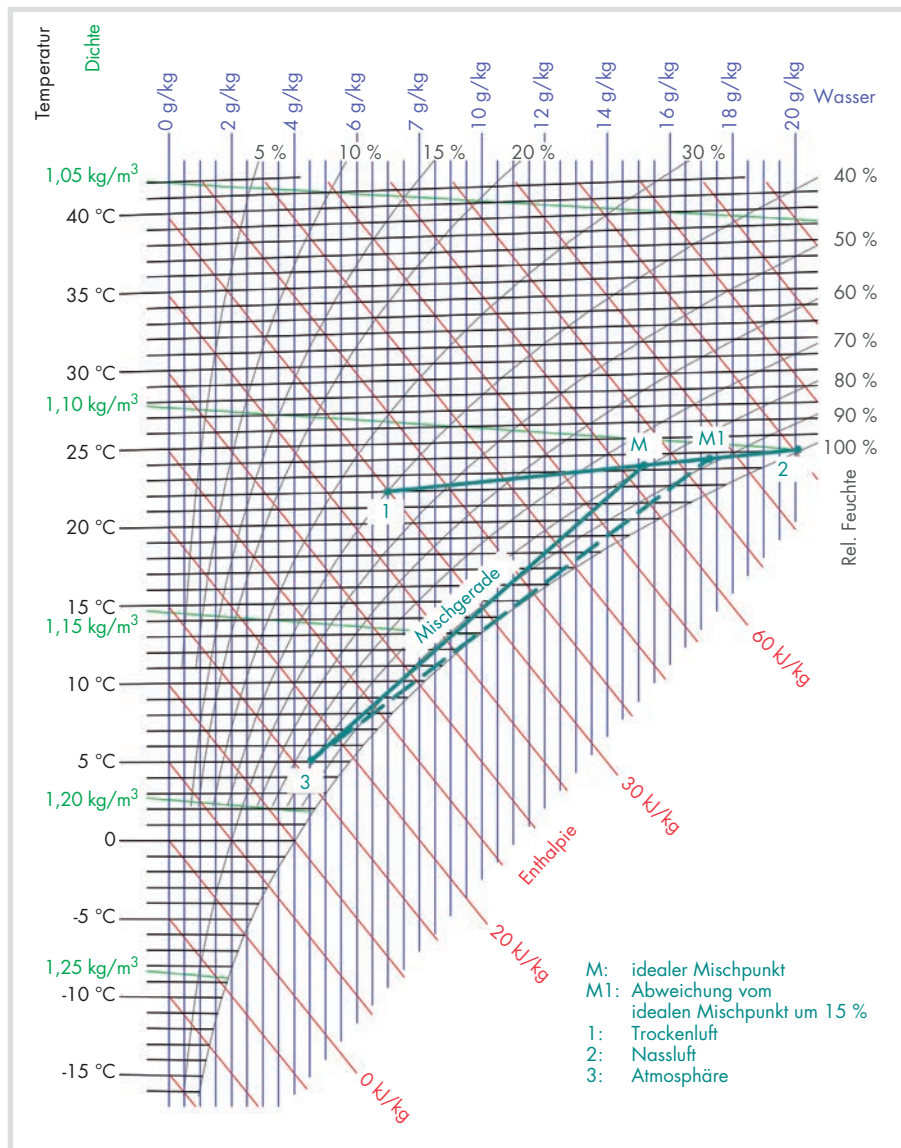


Bild 2. Auslegungsbeispiel eines Hybridkühlturms im h,x -Diagramm (Mollier-Diagramm) für feuchte Luft, Druck: 0,950 bar.

Thermodynamische Auslegung von Hybridkühltürmen

Die thermodynamische Auslegung erfolgt mithilfe des Mollier-Diagramms (h,x -Diagramm). Im Bild 2 ist ein Auslegungsbeispiel eingezeichnet. Die gesättigte Kühlluft des Nassteils (Punkt 2) wird mit der trockenen Kühlluft des Trockenteils (Punkt 1) vermischt. Das Mengenverhältnis Nassluft/Trockenluft bestimmt die Lage des Mischpunktes „M“ der idealen Vermischung. Beim Austritt der gemischten Kühlluft aus dem Kühlturm mischt sich diese mit der atmosphärischen Luft (Zustand gemäß Punkt „3“). Die Mischgerade zwischen den Punkten „M“ und „3“ muss im trockenen Bereich des Diagrammfeldes liegen (relative Feuchtigkeit < 1), damit keine Kondensation eintritt, d.h., dass kein Schwaden sichtbar wird.

Voraussetzung dazu ist, dass eine gute Mischung zwischen der Nassluft und der Trockenluft erreicht wird. Da eine ideale Mischung nicht erreicht werden kann,

muss mit gewissen Abweichungen von der idealen Mischung gerechnet werden. Damit verschiebt sich der lokale Misch-

punkt „M“ entsprechend der prozentualen Abweichung. Setzt man eine zulässige Abweichung von der idealen Mischung von 15 % an, so bedeutet diese Abweichung eine entsprechend höhere Feuchte in einzelnen Strahlen, in denen sich der Mischpunkt „M1“ ergibt. Die Mischgerade mit dem atmosphärischen Punkt „3“ muss dann immer noch im trockenen Bereich des Diagrammfeldes liegen und darf die Sättigungslinie nicht überschreiten. Diese Linie ist gestrichelt im Bild 2 eingezeichnet.

Da die 15%-Abweichung eine strenge Vorgabe und die Mischlänge im Kühlturm auf dem Weg bis zum Austrittsquerschnitt sehr kurz ist, muss an die Mischeinrichtung eine entsprechend hohe Anforderung gestellt werden. Weiterhin muss der Druckverlust der Mischeinrichtung möglichst niedrig gehalten werden.

Mischkonzept

Hybrid-Zellenkühlturm

Jeder Kühlturmhersteller hat sein eigenes Mischkonzept entwickelt. Zwei davon haben sich in der Praxis besonders bewährt. Das erste Mischprinzip basiert auf der Technik der wirbelinduzierten Mischerscheiben. Hier wird der Vorderkantenwirbel, der an deltaförmigen oder runden Scheiben generiert wird, zur Mischung herangezogen. Das zweite Mischprinzip arbeitet mit einer Leitflächenkombination. Wegen der sehr komplexen Mischströmung infolge der gezielten Strömungsablösungen, Wirbelbildungen und Interferenzen führt eine numerische Berechnung nicht zu belastbaren Ergebnissen hinsichtlich der optimalen Gestaltung der Mischer. In beiden Fällen muss die optimale Anordnung der Mischelemente im Modellversuch ermittelt werden. Dazu wird einer der Kühlluftströme mit einem Indikatorgas versetzt. Am Kühl-

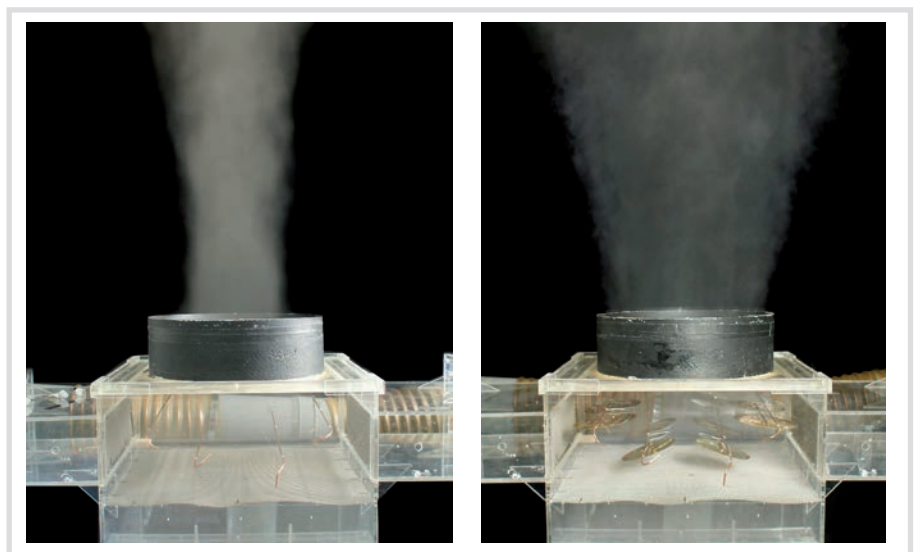


Bild 3. a) Hybrid-Zellenkühlturm
b) Hybrid-Zellenkühlturm mit/ohne Mischer bzw. Wirbelinduktionsmischer.



Bild 4. Modell eines Hybrid-Zellenkühlturms mit Leitflächen als Mischeinrichtung.

turmausgangsquerschnitt wird mittels einer Rastermessung die Konzentration des Indikatorgases bestimmt. Bei idealer Vermischung muss das Indikatorgas im Ausgangsquerschnitt gleichmäßig verteilt sein. Abweichungen von dieser idealen Mischung ergeben ein Maß für die bei der Auslegung einzurechnenden Toleranzen.

Wirbelinduktionsmischer

Das Bild 3b zeigt ein Modell eines Hybrid-Zellenkühlturms mit einem Wirbelinduktionsmischer. Der Mischer besteht aus 2 x 4 kreisförmigen Mischerscheiben. An den Vorderkanten dieser Scheiben wird ein Wirbelsystem erzeugt, das die seitlich einströmende Trockenluft mit der von unten einströmenden Nassluft intensiv vermischt.

Den Mischvorgang kann man im Modell mit Hilfe von Nebel sichtbar machen. Im Bild 3 ist der Nassstrom mit Nebel versetzt. Das Bild 3a zeigt den Fall ohne Mischer. Der Nassstrom ist im Zentrum konzentriert, während sich der Trockenstrom an beiden Rändern befindet. Eine Schwadenfreiheit ist somit nicht gegeben. Im Bild 3b ist der Wirbelinduktionsmischer eingebaut. Der Nassstrom (Nebel) ist jetzt am Kühlturmausgang gleichmäßig verteilt, d.h. die Mischung mit dem Trockenstrom hat auf dem kurzen Weg von der Trockenstromeinleitung bis zum Kühlturmausgang stattgefunden. Ein sichtbarer Schwaden kann nicht mehr entstehen.

Leitflächenmischer

Eine andere Mischeinrichtung im Zellenkühlturm zeigt das Bild 4. Hier wird die Mischung mit Hilfe von Leitflächen erzeugt, die so angeordnet sind, dass einmal ein Teil des Trockenstroms in die Kühlturmmitte geleitet wird und zum anderen ein Teil des Nassstromes in die Nähe der Kühlturm wandung gelenkt wird. Die Turbulenzen, die von den Leitflächen ausgehen, sorgen für die Feinvermischung.

Sonderfall „back to back“-Kühlturm

Bei dem Kühlturmtyp „back to back“ stehen zwei Zellenkühltürme mit dem Rücken („back“) aneinander. Der Trockenstrom

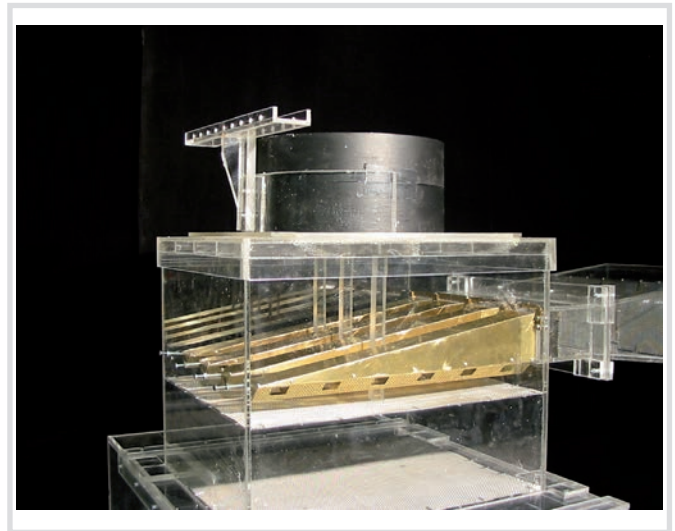


Bild 5. Modell eines „back-to-back“-Hybridzellenkühlturms mit Mischkanälen.

kann nur von einer Seite eingeleitet werden. Das bedeutet für den Mischvorgang eine größere Erschwernis. Die oben genannten Mischer sind hier nicht mehr erfolgreich einsetzbar. Hier muss das Prinzip der „Mischkanäle“ angewendet werden. Der Trockenstrom wird über sich verjüngende Kanäle, die seitliche Öffnungen haben, über den Kühlturmquerschnitt gleichmäßig verteilt. An den Kanälen bildet der aufwärts strömende Nassstrom Karmansche Wirbel, die für die Feinvermischung sorgen. Das Bild 5 zeigt ein Beispiel eines Modells eines „back to back“ Hybridkühlturms.

Hybrid-Rundkühlturm

Wie bereits erläutert, können die Hybrid-Rundkühltürme die großen Naturzugkühltürme ersetzen. Der Kühlluftstrom wird jetzt durch Ventilatoren erzeugt, die sowohl für den Nassteil als auch für den Trockenteil am Umfang des Kühlturms angebracht sind. In den bisher ausgeführten Anlagen sind dies bis zu 2 x 36 Ventilatoren. Der Trockenteil ist direkt über dem Nassteil angeordnet. Das Bild 6 zeigt ein Prinzipbild eines solchen Kühlturms.

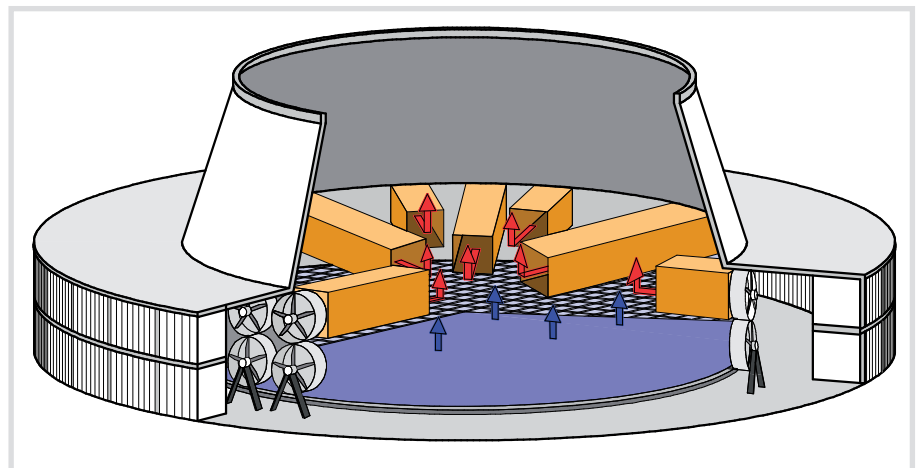


Bild 6. Prinzipbild eines Hybrid-Rundkühlturms.



Bild 7. Blick in den Modellkühlturm mit den Mischungs-einrichtungen.



Bild 8. Hybrid-Rundkühlturm des Kraftwerkes Altbach im Nassbetrieb (rechts) und im Hybridmodus (links).

Das Höhen/Durchmesser-Verhältnis des Kühlturms ist sehr klein, und für die Vermischung steht nur eine sehr kurze Strecke zu Verfügung. Auch hier sind besondere Anforderungen an die Mischeinrichtung zu stellen. Als Lösung werden hinter den Trockenluftventilatoren Mischkanäle verschiedener Länge angebaut, um die Trockenluft über dem Kühlturmquerschnitt gleichmäßig zu verteilen. An den Mischkanälen lösen regelmäßige Wirbel in Form einer Wirbelstraße ab, die im Aufwärtsströmen für die Feinvermischung sorgen. Die gesamte Mischeinrichtung muss im Modellversuch optimiert werden, wobei

seitliche Öffnungen und weitere Leitflächen die Qualität der Mischung noch verbessern. Das Bild 7 zeigt einen Einblick in ein Kühlturmmodell mit der Mischeinrichtung, die bei der Ruscheweyh Consult GmbH entwickelt und optimiert wurde. Im Modellversuch wurde eine Mischgüte mit 8,5 % Standardabweichung erreicht.

Das Bild 8 zeigt einen ausgeführten Hybrid-Rundkühlturm in Nassbetrieb und im Hybridmodus. Das Bild im Hybridmodus wurde kurz nach dem Umschalten vom Nass- in den Hybridbetrieb aufgenommen. Nach kurzer Zeit verschwand auch der zentrale Schwadenzüpfel.

Nachrüstung von bestehenden Nasskühltürmen

Bestehende Nasskühltürme können durch Hinzufügen eines Trockenteils zu Hybridkühltürmen umgewandelt werden. Problematisch dabei ist die sinnvolle bauliche Ein- oder Angliederung des Trockenteils. Ein solcher Umbau konnte in der Vergangenheit mehrfach erfolgreich realisiert werden. Das Bild 9 zeigt ein Beispiel am Kraftwerk Killingholm, UK. Die linke Reihe der Zellenkühltürme ist noch im Nassbetrieb, während die rechte Reihe durch Aufbau eines Trockenteils über dem Nassenteil zu einem Hybridkühlturm umgerüstet wurde. Der Effekt ist offensichtlich: Die rechte Kühlturmreihe zeigt keine Schwadenbildung mehr.

Zusammenfassung

Es wird der Stand der Mischtechnik für die Mischung der Nassluft mit der Trockenluft in Hybrid-Kühltürmen aufgezeigt. Bei Zellenkühltürmen haben sich zwei verschiedene Techniken bewährt, zum einen mit Wirbelinduktionsscheiben und zum anderen mit Leitflächen in spezieller Anordnung. Für Back-to-back-Anordnungen und bei Rundkühltürmen mit drückenden Lüftern werden Mischkanäle eingesetzt. Da die Anforderungen für die Mischqualität sehr hoch sind, um Schwadenfreiheit zu erreichen, sind die Mischeinrichtungen auf den speziellen Anwendungsfall in einem Modellversuch anzupassen und zu optimieren. Dabei ist auf einen geringen Druckverlust der Mischer zu achten. Nachrüstungen von bestehenden Nasskühltürmen sind möglich und wurden bereits erfolgreich ausgeführt.



Bild 9. Zellenkühltürme des Kraftwerkes Killingholm, UK: Linke Kühlturmreihe im Nassbetrieb, rechte Kühlturmreihe im Hybridbetrieb.

VGB | P O W E R T E C H

International Journal for Electricity and Heat Generation



Please copy >>> fill in and return by mail or fax

Yes, I would like order a subscription of VGB PowerTech.

The current price is Euro 275.- plus postage and VAT.

Unless terminated with a notice period of one month to the end of the year, this subscription will be extended for a further year in each case.

Name, First Name

Street

Postal Code City Country

Phone/Fax

Date 1st Signature

Cancellation: This order may be cancelled within 14 days. A notice must be sent to VGB PowerTech Service GmbH within this period. The deadline will be observed by due mailing. I agree to the terms with my 2nd signature.

Date 2nd Signature

Return by fax to

VGB PowerTech Service GmbH
Fax No. +49 201 8128-302

or access our on-line shop at www.vgb.org | MEDIA | SHOP.

**VGB PowerTech DVD 1990 bis 2014:
25 Jahrgänge geballtes Wissen rund um
die Strom- und Wärmeerzeugung
Mehr als 25.000 Seiten
Daten, Fakten und Kompetenz**

Bestellen Sie unter www.vgb.org > shop



**Jetzt auch als
Jahres-CD 2014
mit allen Ausgaben
der VGB PowerTech
des Jahres: nur 98,- €**



PowerTech-CD/DVD!

Kontakt: Gregaro Scharpey
Tel: +49 201 8128-200
mark@vgb.org | www.vgb.org

**Ausgabe 2014: Mehr als 1.100 Seiten Daten, Fakten und Kompetenz
aus der internationalen Fachzeitschrift VGB PowerTech**

(einschließlich Recherchefunktion über alle Dokumente)

Bruttopreis 98,- Euro incl. 19 % MWSt. + 5,90 Euro Versand (Deutschland) / 19,90 Euro (Europa)