

EIN BEITRAG ZUM WÄRME- UND STOFFÜBERGANG
IM MASSKÜHLTURM BEI GEGENSTROM

Von der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Abdul Nafa K a s s i m
geboren in Mosul/Irak

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. Th.E.Schmidt
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. E. Hahne
Tag der Einreichung:	7.2.1979
Tag der mündlichen Prüfung:	30.7.1979

Ein Beitrag zum Wärme- und Stoffübergang
im Naßkühlturm bei Gegenstrom

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Formelzeichen, Indices, Kennzahlen	4
1. Einleitung	8
2. Allgemeiner Überblick	11
2.1 Die Zahl der Übergangseinheiten und die Merkelzahl	11
2.2 Die Hauptgleichung der Verdunstungskühlung und die Merkelgleichung	13
2.3 Die Merkelzahl als charakteristische Größe	22
2.4 Experimentelle Untersuchungen an Riesel- einbauten	26
3. Theoretische Grundlagen	29
3.1 Die Stoffübergangskoeffizienten β_x und β	29
3.2 Die Gleichungen für den Zustandsverlauf der Luft im Kühlturm	32
3.2.1 Die Modellvorstellung	32
3.2.2 Herleitung des Gleichungssystems für den Luftzustandsverlauf	33
3.2.2.1 Verhältnis von Wärme- zu Stoffübergangs- koeffizienten $\alpha/\beta_x c_{pm}$	42
3.2.2.2 Der Verhältniswert $\alpha_w/\beta_x c_w$	45
3.2.2.3 Das örtliche Mengenstromverhältnis	49
3.3 Integrationsverfahren zur Lösung der Gleichungen für den Luftzustandsverlauf	50
3.4 Dimensionslose Darstellung des Stoffübergangs	51
3.4.1 Potenzbeziehungen	51
3.4.2 Ermittlung der Kennzahlen für die Potenz- beziehungen	55
4. Experimentelle Untersuchung	61
4.1 Versuchsanlage	61
4.2 Meßmethoden	63
4.3 Versuchsdurchführung	72

5.	Auswertung der Versuche	79
5.1	Bestimmung der Kaltwassertemperatur t_{WU}	79
5.2	Zustandsverlauf der Luft im Kühlturm und die Ermittlung der Me-Zahl	81
5.3	Prüfen von Energie- und Massenbilanzen	86
5.4	Ermittlung der Me-Zahl für die Tropfenzonen und den Platten-Einbau ohne Berücksichtigung des "Wandeffekts"	87
5.5	Ermittlung der "effektiven" Zahl der Übergangseinheiten und der "effektiven" Sh-Zahl für den Platten-Einbau	93
5.6	Fehlerbetrachtung	99
6.	Versuchsergebnisse	101
6.1	Leistungsverhalten des Kühlturms	101
6.2	Leistungsverhalten der Platten-Einbauten ohne Berücksichtigung des "Wandeffekts"	106
6.3	Leistungsverhalten der ebenen Rieselplatten bei den Modellversuchen	108
6.4	Vergleich zwischen Modell- und Kühlturmuntersuchungen - ohne Berücksichtigung des "Wandeffekts"	112
6.5	Vergleich mit anderen anwendungsorientierten Untersuchungen	115
6.6	Leistungsverhalten der Platten-Einbauten unter Berücksichtigung des "Wandeffekts" und Vergleich mit Modellversuchen	120
6.7	Leistungsverhalten des Kühlturms bei Anordnung der Einbau-Platten übereinander in mehreren Lagen	132
6.8	Leistungsverhalten der Einbauten bei verschiedener Wasserverteilung	134
7.	Zusammenfassung	137
8.	Literaturverzeichnis	
9.	Anhang	
9.1	Tabellen	
9.2	Stoffwerte	
9.3	Runge-Kutta-Verfahren mit Gill-Koeffizienten	
9.4	Programm-Ausdruck für die Ermittlung der Me- bzw. NTU*-Zahl	

1. EINLEITUNG

In einer Reihe von technischen Prozessen - insbesondere bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Energie oder bei der Kälterzeugung - sind große Wärmemengen bei möglichst kleiner Temperaturdifferenzen an die Umgebung abzuführen. In erster Linie kommt hier die Abwärme von Dampfkraftanlagen mit Kondensation in Betracht, deren thermischer Wirkungsgrad um so höher wird, je niedriger die Temperatur im Kondensator ist. Als Wärmeträger der Umgebung wird Wasser verwendet, das aus Flüssen oder Seen ständig erneuert wird. In allen Industrieländern stoßen aber Neuansiedlungen von Kraftwerken und Industrieanlagen an Flüssen und Seen auf Schwierigkeiten, weil der vorhandene natürliche Wasserstrom in vielen Fällen schon bis zur Grenze des Erträglichen erwärmt wird, um die Abwärme aus verschiedenen Prozessen an die Umgebung zu übertragen /66/* . In anderen Gebieten, z.B. in den tropischen Ländern, steht wegen Wasserknappheit das Frischwasser für Abkühlungszwecke nicht in der erforderlichen großen Menge zur Verfügung. Man verwendet daher, trotz höherer Kosten, zur Wärmeabfuhr immer häufiger geschlossene Kühlwasserkreisläufe. Der Kühlwasserkreislauf wird so zwischen die Abwärmequelle (Kondensator bei Dampfturbinen) und die Umgebung geschaltet, daß nach der Wärmeaufnahme (im Kondensator) das umlaufende Kühlwasser in einem Kühlwerk von der umgebenden Luft wieder rückgekühlt wird.

Die Übertragung der Abwärme an die Luft in sogenannten Trockenkühltürmen erfordert wegen der relativ geringen Temperaturdifferenzen und des schlechten Wärmeüberganges große Wärmeaustauschflächen und wegen der geringen spezifischen Wärme der Luft große Luftmengen.

Bei sogenannten Naßkühltürmen wird durch Verdunstung eines Teils des Kühlwassers, ca. 1 %, die Kühlwirkung verbessert. Dabei kann die Luft verhältnismäßig viel Wärme ohne oder mit nur geringer Temperaturerhöhung aufnehmen. Je tiefer die Wassertemperatur

* Siehe alphabetisches Literaturverzeichnis Abschnitt 8

gegenüber der Lufttemperatur ist, desto höher steigt der Anteil der Verdunstung. Man rechnet im Durchschnitt mit einem Verhältnis der Wärmeabgabe durch Verdunstung zu der durch Konvektion wie 80 zu 20.

Die wesentlichen Teile eines Naßkühlturms üblicher Bauart sind nach Bild 1.1: die aus offenen Rinnen oder Rohrleitungen bestehende Verteilungsanlage (a) mit einer Versprüheinrichtung für das in den Kühlturm eintretende Warmwasser; der aus Tropflatten, Rieselkörpern oder dgl. bestehende Kühleinbau (b); das Becken (c) unterhalb des Kühleinbaus, zur Aufnahme des gekühlten Wassers; der Kamin (d), bei Kühltürmen mit sog. Naturzug, bzw. der Ventilator (e) bei künstlicher Belüftung. Auf den Rieselkörpern bildet das herabrieselnde Wasser einen Film, dem entgegen Luft in direkter Berührung mit der Wasseroberfläche strömt. Die Wärmeabgabe des Wassers an die Luft erfolgt durch Wärmeleitung, Konvektion und Verdunstung, wobei die Verdampfungswärme dem Wasser entzogen wird. Die Luft verläßt das Kühlwerk erwärmt und mit Wasserdampf angereichert.

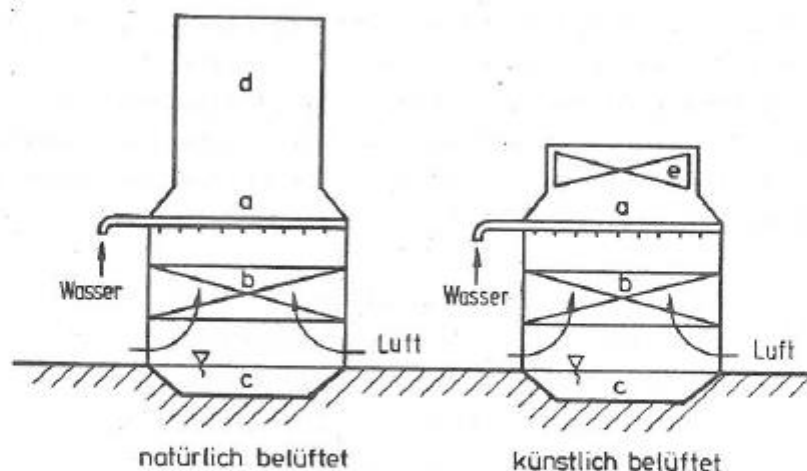


Bild 1.1: Grundformen von Gegenstrom-Naßkühltürmen

Die Verdunstungskühlung - wie sie kurz genannt wird, da der weitaus größte Teil der entzogenen Wärmemenge auf die Verdunstung fällt - ist wegen ihrer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit großer Wärmekraftanlagen bereits in den Zwanziger Jahren Gegenstand experimenteller Forschung geworden. Es wurden umfangreiche Untersuchungen an Kühlwerken der angedeuteten Bauart durchgeführt und die Ergebnisse meist in empirischen Gleichungen zusammengefaßt. Sie sind jedoch nicht allgemein anwendbar, sondern gelten nur für den speziellen jeweils verwendeten Rieselbau.

Die Grundlage zur Berechnung der Verdunstungskühlung bildet die vor etwa fünfzig Jahren veröffentlichte Arbeit von Merkel /75/. Dessen Theorie der Verdunstungskühlung war lange Zeit umstritten, weil seine eigenen Messungen die Theorie nur unzureichend bestätigen konnten und auch später in manchen Fällen größere Abweichungen festgestellt wurden. Durch die Fortschritte der Meßtechnik und der Rechenautomaten ist es heute möglich, genauere Messungen und Rechnungen durchzuführen ohne die Vernachlässigungen, die damals notwendig waren, um zu einer Lösung zu gelangen.

Über die Anwendung der Ergebnisse von Modelluntersuchungen für die Berechnung von Wärme- und Stoffübergang beim Entwurf von Rückkühlwerken bestehen in der Literatur teilweise widersprüchliche Auffassungen /89/, /134/. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist es, durch systematische Messungen an einem kleintechnischen Ventilator-Kühlturm, zur Klärung der bestehenden Widersprüche beizutragen.