



EUROVENT 7/2

**LUFTERHITZER UND LUFTKÜHLER
FÜR ERZWUNGENE STRÖMUNG
Nachweis der Garantieleistung**

**RECHAUFFEURS D'AIR ET REFROIDISSEURS
D'AIR A ECOULEMENT FORCE
Verification des Caracteristiques Garanties**

**FORCED FLOW AIR HEATERS AND
COOLERS
Verification of Performance Requirements**

E U R O V E N T

EUROPÄISCHES KOMITEE DER HERSTELLER VON LUFTECHNISCHEN UND TROCKNUNGS-ANLAGEN

COMITE EUROPEEN DES CONSTRUCTEURS DE MATERIEL AERAUQUE

EUROPEAN COMMITTEE OF AIR HANDLING AND AIR CONDITIONING EQUIPMENT MANUFACTURERS

Liste der Mitgliedsverbände — Liste des Associations Membres — List of the Member Associations

BELGIEN — BELGIQUE — BELGIUM

FABRIMETAL
FEDERATION DES ENTREPRISES DE L'INDUSTRIE DES FABRICATIONS METALLIQUES
21, rue des Drapiers
B-1050 BRUXELLES ☎ 511 23 70

DÄNEMARK — DANEMARK — DENMARK

FORENINGEN AF VENTILATIONSFIRMAER
Nørre Voldgade 34
DK-13 58 KØBENHAVN K ☎ 12 22 78

DEUTSCHLAND — ALLEMAGNE — GERMANY

Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im VDMA
Lyoner Straße 18
D-6000 FRANKFURT/MAIN-NIEDERRAD 71 ☎ 6 60 31

FINNLAND — FINLANDE — FINLAND

FEDERATION OF FINNISH METAL AND ENGINEERING INDUSTRIES
Eteläranta 10
SF-00130 HELSINKI 13 ☎ 66 11 55

FRANKREICH — FRANCE

Syndicat des Constructeurs et Constructeurs-Installateurs
de Matériel Aéraulique (scima)
10, avenue Hoche
F-75 382 PARIS-CEDEX 08 ☎ 622 38 00

GROSSBRITANNIEN — GRANDE BRETAGNE — GREAT BRITAIN

HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONING MANUFACTURERS ASSOCIATION LIMITED
HEVAC ASSOCIATION
64 Sheen Road
GB — RICHMOND/Surrey TW9 1UF ☎ 948 22 66

ITALIEN — ITALIE — ITALY

A. N. I. M. A.
ASSOCIAZIONE NAZIONALE INDUSTRIA MECCANICA VARIA ED AFFINE
Piazza Diaz 2
I-20 123 MILANO ☎ 80 28 41

NIEDERLANDE — PAYS-BAS — NETHERLANDS

VERENIGING FABRIEKEN VAN LUCHTTECHNISCHE APPARATEN (VLA)
Nassaulaan 25
NL — DEN HAAG ☎ 61 48 11

NORWEGEN — NORVEGE — NORWAY

Mekaniske Verksteders Landsforening
Oscarsgt. 20
N — OSLO 3 ☎ 46 58 20

OESTERREICH — AUTRICHE — AUSTRIA

Fachverband der Maschinen- und Stahlbauindustrie Österreichs
Bauernmarkt 13
A-1011 WIEN 1 ☎ 63 57 63

SCHWEDEN — SUEDE — SWEDEN

Gruppen Luftteknik inom Sveriges Mekanförbund
Storgatan 19
S-11485 STOCKHOLM ☎ 63 50 20

SCHWEIZ — SUISSE — SWITZERLAND

VSM
Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller
Kirchenweg 4
CH-8032 ZÜRICH ☎ 47 84 00



EUROVENT 7/2

**LUFTERHITZER UND LUFTKÜHLER
FÜR ERZWUNGENE STRÖMUNG
Nachweis der Garantieleistung**

**RECHAUFFEURS D'AIR ET REFROIDISSEURS
D'AIR A ECOULEMENT FORCE
Verification des Caracteristiques Garanties**

**FORCED FLOW AIR HEATERS AND
COOLERS
Verification of Performance Requirements**

Herausgeber: Editeur: Editor:	Europäisches Komitee der Hersteller von lufttechnischen und Trocknungs-Anlagen Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéronautique European Committee of Air Handling and Air Conditioning Equipment Manufacturers	EUROVENT Bauernmarkt 13 Wien		
Druck: Imprimeur: Printed:	Maschinenbauverlag GmbH., Frankfurt/Main-Niederrad 71 Lyoner Straße 18	Ausgabedatum 77.02.01 Publié 77.02.01 Published 77.02.01	2. Auflage 2 ^e Edition 2 nd Edition	Alle Rechte vorbehalten Tous droits réservés All rights reserved

FOREWORD

The European Committee of the Constructors of Air Handling Equipment (EUROVENT) was created in 1959 and the following countries are members:

AUSTRIA — BELGIUM — DENMARK - FINLAND - FRANCE - the Federal Republic of GERMANY —
GREAT BRITAIN — ITALY — NETHERLANDS — NORWAY — SWEDEN — SWITZERLAND.

EUROVENT has the purpose of improving the technical progress in the manufacture, putting into operation and development of materials relevant to air handling, to improve the professional status of its members and to facilitate commercial exchange between the different countries in the research for better quality in equipment and the adoption of rules, directives, and codes of practice of the different countries in both the technical and economic spheres.

The secretariat of EUROVENT welcomes comments and suggestions of a constructive nature which the study of this text may inspire in its readers.

PREAMBULE

Le Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéronautique (EUROVENT) a été créé en 1959. Les pays suivants y ont adhéré:

ALLEMAGNE (République fédérale) — AUTRICHE — BELGIQUE — DANEMARK — FINLANDE —
FRANCE — GRANDE-BRETAGNE — ITALIE — NORVEGE — PAYS-BAS — SUEDE — SUISSE.

EUROVENT a pour mission de promouvoir le progrès technique dans la fabrication, la mise en œuvre et l'exploitation des matériels relevant de l'aéronautique, d'améliorer le niveau professionnel de ses adhérents et de faciliter les échanges commerciaux entre les différents pays par la recherche d'une meilleure qualité des équipements et l'adoption de règles, de directives, de recommandations communes, tant sur le plan technique que dans le domaine économique.

Le secrétariat d'EUROVENT accueillerait volontiers les remarques et suggestions constructives que l'étude de ce texte pourrait inspirer à ses lecteurs.

VORWORT

Das Europäische Komitee der Hersteller von lufttechnischen und Trocknungs-Anlagen (EUROVENT) wurde im Jahre 1959 gegründet. Es gehören ihm folgende Länder an:

BELGIEN — DÄNEMARK — Bundesrepublik DEUTSCHLAND — FINNLAND — FRANKREICH —
GROSSBRITANNIEN — ITALIEN — NIEDERLANDE — NORWEGEN — ÖSTERREICH —
SCHWEDEN — SCHWEIZ

EUROVENT hat es sich zur Aufgabe gemacht, den technischen Fortschritt im Bau, in der Anwendung und im Betrieb von lufttechnischen und Trocknungs-Anlagen zu fördern, das fachliche Niveau seiner Mitglieder zu heben und den Handelsaustausch zwischen den verschiedenen Ländern durch Entwicklung besserer Qualitäten der Erzeugnisse, Verwendung von einheitlichen Regeln, Richtlinien und Empfehlungen auf dem technischen und auf dem wirtschaftlichen Gebiet zu erleichtern.

Bemerkungen und konstruktive Vorschläge zu dem vorliegenden Text nimmt das Sekretariat des EUROVENT gern entgegen.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Dokument beschreibt eine Methode zur Erstellung eines Garantie-Diagramms für die charakteristischen Werte eines Wärmeaustauschers, dessen Werte für den Massenstrom und die Temperaturen des Heiz- oder Kühlmittels nur wenig von den Auslegungsdaten abweichen.

Die Gleichungen, die zur Erstellung dieses Garantie-Diagramms verwendet werden, sind allgemein gültig, sie wurden aber hier speziell für Rippenrohr-Wärmeaustauscher entwickelt. Die Zahlenangaben des Beispiels sind nur für einen Wasser-Luft-Wärmeaustauscher in Kreuzstrombauweise gültig.

RESUME

Ce document décrit une méthode pour l'établissement d'un diagramme de garantie pour des valeurs caractéristiques d'un échangeur thermique travaillant sous des conditions de débit et de température des fluides différant peu des conditions nominales.

Les relations utilisées pour l'établissement de ce diagramme de garantie ont une validité générale, mais ici elles ont été adaptées particulièrement aux échangeurs thermiques avec tubes à ailettes. Les valeurs numériques de l'exemple donné ne concernent qu'un échangeur thermique eau-air à écoulement croisé.

SUMMARY

This document describes a method of establishing a guarantee diagram for the performance characteristic values of a heat exchanger working under such conditions, that mass-flow and temperature of the media vary little from those at rating conditions.

The equations used for establishing this guarantee diagram are generally valid but here they were obtained particularly for finned heat exchangers. The numerical data used for the given example are only valid for a cross-flow water-air heat exchanger.

I N H A L T

	Seite		Seite
1. Einführung und Ableitung der Beziehungen	2	2. Erstellung des Garantie-Diagramms	18
1.1 Allgemeine Grundlagen	2	3. Beispiel	20
1.2 Wärmeaustauscher-Kennzahl K	8	4. Tabellen	22
1.3 Veränderte Eintrittstemperaturen	10	5. Liste der verwendeten Formel-Zeichen	26
1.4 Kreuzstrom	14	6. Bilder	30
1.5 Druckverlust	14	7. Literatur	53

T A B L E D E S M A T I E R E S

	Page		Page
1. Introduction et développement des équations	2	2. Etablissement du diagramme de la garantie	18
1.1 Relations générales de base	2	3. Exemple	20
1.2 Coefficient caractéristique de l'échangeur K	8	4. Tableaux	22
1.3 Cas des températures différentes à l'entrée	10	5. Liste des symboles utilisés	26
1.4 Ecoulement croisé	14	6. Figures	30
1.5 Perte de charge	14	7. Bibliographie	53

T A B L E O F C O N T E N T S

	Page		Page
1. Introduction and Deduction of Equations	3	2. Establishing a Guarantee Diagram	19
1.1 General Fundamental Relationships	3	3. Example	21
1.2 Heat Exchanger Performance Factor K	9	4. Tables	22
1.3 The Case of different Inlet Temperatures	11	5. List of Symbols used	26
1.4 Cross Flow	15	6. Figures	30
1.5 Pressure Drop	15	7. Bibliography	53

1. EINFÜHRUNG UND ABLEITUNG DER BEZIEHUNGEN

1.1 Allgemeine Grundlagen

Ausgangspunkt für die Erstellung des Garantie-Diagramms sind die Messungen an einem Wärmeübertrager-System. Aufgrund dieser Messungen ergeben sich die folgenden Zusammenhänge:

Für alle diese Beziehungen gilt $T_I = \text{konstant}$ und $T_{II} = \text{konstant}$. Zunächst wird die wärmetechnische Seite betrachtet. Die Druckverluste werden anschließend behandelt.

Es wird die bekannte Gleichung für den Wärmedurchgangskoeffizienten k angewendet:

Hierin lässt sich a_I berechnen zum Beispiel mit [1], ($T_I = \text{konstant}$):

Damit ergibt sich, da $f_{ai} = A_{II}/A_I$ aus den geometrischen Verhältnissen bekannt ist:

Der Rechenwert k_∞ ist der obere Grenzwert von k , der den Wärmedurchgangskoeffizienten bei einem Wert von $a_I = \infty$ angibt und der dazu dient, ein Kennfeld für $k = f(\rho_{II} w_{II})$ mit a_I als Parameter aufzustellen.

Nun sind auch δ_G und λ_G aus dem Bauelement bekannt, und es ergibt sich aus dem Vorhergehenden:

In manchen Fällen kann man $a_{II} \approx k_\infty$ annehmen, wenn nämlich δ_G/λ_G so klein, dass es vernachlässigt werden kann. Dies trifft in der Regel für Kupfer zu, nicht aber für Stahl und Stahl-Legierungen.

Nun enthält aber der Wärmeübergangskoeffizient a_{II} noch den Rippenwirkungsgrad, der folgendermassen berücksichtigt wird:

1. INTRODUCTION ET DEVELOPPEMENT DES EQUATIONS

1.1 Relations Générales de Base

Les relevés sur un type d'échangeur sont le point de départ de l'établissement d'un diagramme de garantie. Sur la base de ces relevés on établit les équations suivantes:

$$k = f(\rho_I w_I, \rho_{II} w_{II}) \quad (1)$$

$$\Delta p_I = f(\rho_I w_I) \quad (2)$$

$$\Delta p_{II} = f(\rho_{II} w_{II}) \quad (3)$$

Pour toutes ces équations, on a $T_I = \text{constante}$ et $T_{II} = \text{constante}$. Nous étudierons d'abord l'aspect thermique. Les pertes de charge seront étudiées ensuite.

Nous faisons appel à l'équation connue pour le coefficient de transmission thermique k :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_{II}} + f_{ai} \left(\frac{1}{a_I} + \frac{\delta_G}{\lambda_G} \right) \quad (4)$$

Pour cette formule, on peut calculer a_I par exemple par [1], ($T_I = \text{konstant}$):

$$a_I = c_I (\rho_I w_I)^n ; \quad (5)$$

$f_{ai} = A_{II}/A_I$ étant connu par construction, on trouve alors:

$$\frac{1}{k_\infty} = \frac{1}{k} - f_{ai} \frac{1}{a_I} = \frac{1}{a_{II}} + f_{ai} \frac{\delta_G}{\lambda_G} \quad (6)$$

La valeur théorique k_∞ est la limite supérieure pour k , représentant le coefficient de transmission thermique avec $a_I = \infty$ qui permet d'établir une famille de courbes $k = f(\rho_{II} w_{II})$ avec a_I comme paramètre.

Etant donné que δ_G et λ_G sont également connus par construction, les relations précédentes donnent:

$$\frac{1}{a_{II}} = \frac{1}{k_\infty} - f_{ai} \frac{\delta_G}{\lambda_G} \quad (7)$$

Dans certains cas, on peut admettre $a_{II} \approx k_\infty$, lorsque δ_G/λ_G est si petit qu'on peut le négliger. Ceci est en général vrai pour le cuivre, mais non pour d'autres matériaux, notamment l'acier et ses alliages.

Or, le coefficient de transmission thermique de surface a_{II} contient encore l'efficacité des ailettes, dont on tient compte de la manière suivante:

1. INTRODUCTION AND DEDUCTION OF EQUATIONS

1.1 General Fundamental Relationships

Measurements made on a heat exchanger system are the basis for establishing a guarantee diagram. From these measurements the following equations result:

For all these equations we have $T_I = \text{constant}$ and $T_{II} = \text{constant}$. The thermal aspect of the problem is considered first. The pressure drops are dealt with subsequently.

The well-known equation for the overall heat transfer coefficient k is used:

where α_I can be calculated from [1], for example, ($T_I = \text{constant}$):

As $f_{ai} = A_{II}/A_I$ is known from the geometrical properties, it can be deduced that:

The calculating value of k_∞ is the upper limiting value of k which indicates the overall heat transfer coefficient at a value of $\alpha_I = \infty$ and which is used to specify a family of curves for $k = f(\rho_{II} w_{II})$ with α_I as a parameter.

As δ_G and λ_G are also known from geometrical and material properties, it can be deduced that:

In some cases α_{II} can be assumed to be $\approx k_\infty$, i.e. if δ_G/λ_G is very small then it can be neglected. This is normally true for copper, but not for other materials, in particular for steel and steel alloys.

On the other hand, however, the heat transfer coefficient α_{II} also contains the fin efficiency which is taken into account in the following manner:

Man setzt

Hierin ist η_a der Wirkungsgrad des Rippenrohres, der dargestellt wird mit:

worin $f_R = A_R/A_{II}$ ist. Es ist üblich, den Rippenwirkungsgrad η_R anzugeben mit der Beziehung (2):

ϵ ist der sogenannte Rippenfaktor. Diese etwas umständliche Gleichung kann in den Grenzen $0 \leq \epsilon \leq 1,5$, wobei der Fehler kleiner als 1% ist, ersetzt werden durch die Beziehung:

Man kann nun nach [2] darstellen:

Hierin ist h_R die gleichwertige Rippenhöhe, die bei geraden Längsrippen gleich der geometrischen Höhe ist; für Kreisrippen, wie auch für andere Rippenformen, siehe [2].

Wählt man als Bezugsgrösse willkürlich $a_{R0} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$, erhält man für das System einen konstanten Wert, die Rippenkonstante Ri , zu

so dass der Rippenfaktor ϵ angegeben werden kann als $f(Ri, a_R/a_{R0})$

Bild 1 zeigt die Abhängigkeit der Rippenkonstanten Ri von h_R , δ_R und λ_R für Kupfer-, Stahl- und Edelstahl-Rippen gemäss Gl. 11a.

In Bild 2 ist der Rippenwirkungsgrad η_R abhängig von Ri und a_R dargestellt.

Zur besseren Übersicht kann man nun den Zusammenhang

in einem Diagramm zusammenstellen, wie es Bild 3 zeigt. Ist a_{II} aus der Bestimmung von k und den vorher gezeigten Berechnungen bekannt

On pose

$$a_{II} = \eta_a a_R \quad (8)$$

avec η_a l'efficacité du tube à ailettes qui s'écrit:

$$\eta_a = 1 - (1 - \eta_R) f_R \quad (9)$$

avec $f_R = A_R/A_{II}$. Habituellement, l'efficacité des ailettes η_R est donnée par l'équation (2):

$$\eta_R = \frac{\tanh \epsilon}{\epsilon} \quad (10)$$

ϵ étant le dit coefficient d'ailette. Cette équation un peu compliquée peut être remplacée dans les limites $0 \leq \epsilon \leq 1,5$ — l'erreur étant inférieure à 1% — par l'équation:

$$\eta_R = \frac{1}{1 + 0,3 \epsilon^2} \quad (10a)$$

Selon [2], on peut écrire:

$$\epsilon = h_R \left(\frac{2a_R}{\delta_G \lambda_G} \right)^{0,5} \quad (11)$$

avec h_R la hauteur équivalente de l'ailette, qui est identique à la hauteur géométrique pour les ailettes longitudinales rectilignes; pour les ailettes circulaires et d'autres formes d'ailettes, voir aussi [2].

Lorsqu'on choisit arbitrairement comme valeur de référence: $a_{R0} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$, on peut définir pour le système une constante Ri qu'on appelle constante d'ailette

$$Ri = h_R \left(\frac{2a_{R0}}{\delta_R \lambda_R} \right)^{0,5} \quad (11a)$$

si bien que le coefficient d'ailette ϵ peut aussi s'exprimer comme $f(Ri, a_R/a_{R0})$

$$\epsilon = Ri \left(\frac{a_R}{a_{R0}} \right)^{0,5} \quad (12)$$

La figure 1 montre la constante d'ailette Ri en fonction de h_R , δ_R et λ_R pour des ailettes en cuivre, en acier et en acier inoxydable selon l'équation 11a.

La figure 2 représente l'efficacité des ailettes η_R en fonction de Ri et a_R .

Pour plus de clarté, il est maintenant possible de représenter l'équation

$$a_{II} = f(a_R, Ri, f_R) \quad (13)$$

sous forme d'un diagramme, ce qui a été fait à la fig. 3. Lorsqu'on connaît a_{II} par la détermination de k et les calculs exposés plus haut, il est

Let us assume that:

where η_a is the finned tube efficiency represented by:

where $f_R = A_R/A_{II}$. Generally, the fin efficiency η_R is characterized by the equation (2):

ϵ is the so-called fin factor. This somewhat inconvenient equation can be replaced – within the limits $0 \leq \epsilon \leq 1.5$, the error being less than 1% – by the equation:

According to [2] it can be written:

where h_R is the equivalent fin height which is equal to the geometric height in the case of straight-lined longitudinal fins; for circular fins as well as different forms of fins c.f. [2].

Arbitrarily choosing $a_{R0} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$ as a reference quantity, a constant value results for the system, i.e. the fin constant Ri :

enabling the fin factor ϵ to be expressed as $f(Ri, a_R/a_{R0})$

Figure 1 shows how the fin constant Ri depends on h_R , δ_R , and λ_R for copper, steel and stainless steel fins according to equation 11a.

Figure 2 gives the fin efficiency η_R as a function of Ri and a_R .

For the sake of clarity, the equation

can be represented graphically as is shown in Figure 3. a_{II} being known from the evaluation of k and the calculations shown above, a_R can

geworden, so lässt sich leicht α_R aus dem Diagramm bestimmen, indem man bei gegebenem R_i und f_R durch Probieren mit einem zunächst geschätzten und anschliessend verbesserten α_R die Lösung findet.

Um die Zusammenhänge deutlich zu machen, sei ein Rippenrohr angenommen, dessen Eigenschaften in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Dabei soll die Beziehung gelten:

Wenn kein anderer Wert für m_o bekannt ist, wird dafür $2/3$ eingesetzt. Damit erhält man für ein Kupfer-, Stahl- und Edelstahl-System unter Benutzung von Bild 3 die Tabellen 2, 3 und 4.

Die Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangskoeffizienten α_{II} und k über dem Luftstrom $\rho_{II} w_{II}$ mit α_I als Parameter für die vorgenannten drei Systeme sind in Bild 4, 5 und 6 aufgezeichnet. Man entnimmt diesen Darstellungen, dass man nicht nur α_R , sondern auch α_{II} , k_∞ und k für verschiedene α_I als Potenzfunktionen in den üblichen Grenzen mit genügender Genauigkeit angeben kann.

In diesen Diagrammen sind die Wärmedurchgangskoeffizienten k auch für kleinere Werte der Wärmeübergangskoeffizienten α_I eingezeichnet, während die Tabellen 2, 3 und 4 nur die Werte k_{6300} für $\alpha_I = 6300 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ enthalten.

Bezieht man die Grössen der Gl. 8 und 14 auf einen Bezugswert (Index Null), so erhält man, ($T_{II} = \text{konstant}$):

und analog nach Gl. 5, ($T_I = \text{konstant}$)

Somit wird unter Berücksichtigung von Gl. 4:

facile de déterminer α_R dans le diagramme, en cherchant la solution par tâtonnement avec un α_R d'abord estimé et puis corrigé, R_i et f_R étant donnés.

Pour faire ressortir les relations, nous admettons à titre d'exemple un tube à ailettes dont les propriétés ont été consignées dans le tableau 1.

Nous considérons alors l'équation:

$$\alpha_R = \alpha_{Ro} \left(\frac{\rho_{II} w_{II}}{\rho_{IIo} w_{IIo}} \right)^{m_o} \quad (14)$$

A défaut d'une autre valeur connue, on prendra pour l'exposant m_o la valeur $2/3$. Pour une construction en cuivre, en acier et en inox, on obtient alors avec l'abaque 3, les tableaux 2, 3 et 4.

Les coefficients de transmission thermique de surface α_{II} et de transmission thermique k en fonction du débit d'air $\rho_{II} w_{II}$ avec α_I comme paramètre, sont indiqués sur les abaques 4, 5 et 6 pour les trois méthodes de construction susmentionnées. De cette représentation il ressort qu'on peut indiquer non seulement α_R , mais aussi α_{II} , k_∞ et k pour plusieurs α_I sous forme de fonctions exponentielles à l'intérieur des limites habituelles et avec une précision suffisante.

Dans ces diagrammes, on a porté les coefficients de transmission thermique k aussi pour des valeurs relativement plus faibles des coefficients de transmission thermique de surface α_I , par contre, les abaques 2, 3 et 4 ne contiennent que les valeurs k_{6300} pour $\alpha_I = 6300 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A partir des équations 8 et 14, en introduisant les valeurs de référence (indice zéro), on peut écrire, ($T_{II} = \text{constante}$):

$$\frac{\alpha_{II}}{\alpha_{IIo}} = \frac{\eta_a}{\eta_{ao}} \frac{\alpha_R}{\alpha_{Ro}} = \left(\frac{\rho_{II} w_{II}}{\rho_{IIo} w_{IIo}} \right)^m; \quad (15)$$

de même à partir de l'équation 5, ($T_I = \text{constant}$):

$$\frac{\alpha_I}{\alpha_{Io}} = \left(\frac{\rho_I w_I}{\rho_{Io} w_{Io}} \right)^n; \quad (16)$$

Ce qui donne avec l'équation 4:

$$\frac{k}{k_o} = \frac{\alpha_{II}}{\alpha_{IIo}} \frac{1 + f_{ai} \left(\frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_{Io}} + \frac{\alpha_{IIo} \delta_G}{\lambda_G} \right)}{1 + f_{ai} \left(\frac{\alpha_I}{\alpha_{Io}} \frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_I} + \frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_{Io}} \frac{\alpha_{IIo} \delta_G}{\lambda_G} \right)} \quad (17)$$

easily be determined from the diagram, if with given R_i and f_R the solution is found by trial with a firstly esteemed and then corrected α_R .

In order to demonstrate how to obtain the relationship, let us assume that a finned tube has the proportion as shown in Table 1.

For this, we apply the equation

In default of another known value for m_o , the exponent will be $2/3$. Using Figure 3, the Tables 2, 3 and 4 are obtained for a copper, steel, or stainless steel system.

Figures 4, 5 and 6 show the heat transfer coefficients α_{II} and the overall heat transfer coefficients k plotted against the air flow $\rho_{II} w_{II}$ with α_I as a parameter for the three systems mentioned above. From the graphs it can be seen that not only α_R but also α_{II} , k_∞ and k may be indicated for different values of α_I as power functions within the usual limits and with sufficient accuracy.

Overall heat transfer coefficients k relating to lower values of the heat transfer coefficients α_I are also included in these diagrams whilst Tables 2, 3 and 4 only comprise the values k_{6300} relating to $\alpha_I = 6300 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Relating the parameters of equations 8 and 14 to the reference values (subscript zero), it follows, ($T_{II} = \text{constant}$):

and similarly according to equation 5, ($T_I = \text{constant}$):

Together with equation 4 it follows:

oder auch:

Bild 7 und 8 zeigen f_k für das Kupfer- und Stahl-System nach Tabelle 2 und 3.

Für das Kupfer-System gilt:

Für das Stahl-System gilt:

Für beide Systeme gilt $f_{ai} = 10$.

Setzt man allgemein:

dann wird:

1.2 Wärmeaustauscher-Kennzahl K

Aus den Gleichungen für die thermische Leistung

wird die Wärmeaustauscher-Kennzahl K gebildet:

Bosnjaković [3] benutzt zwar auch diese Kennzahl, hat ihr aber keine Bezeichnung gegeben.

Für einen gleichen Wärmeaustauscher und gleiche Fluide wird daher, da $A = \text{konstant}$ ist und c_{pII} in dem hier behandelten Bereich als konstant angesehen werden kann:

Aus Gl. 15, 17a und 19 wird also:

*) Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im weiteren Text die Wärmeaustauscher-Kennzahl mit K bezeichnet, obwohl es sich bei der nachfolgenden Betrachtung beispielhaft nur um die Wärmeaustauscher-Kennzahl K_{II} für die Luftseite handelt.

ou encore:

$$\frac{k}{k_o} = \frac{\alpha_{II}}{\alpha_{IIo}} f_k \quad (17a)$$

Les abaques 7 et 8 donnent f_k pour la construction en cuivre et pour la construction en acier d'après les tableaux 2 et 3.

Pour la construction en cuivre, on a:

$$\frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_{Io}} = 14,7 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{\alpha_{IIo} \delta_G}{\lambda_G} = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

Pour la construction en acier, on a:

$$\frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_{Io}} = 11,2 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{\alpha_{IIo} \delta_G}{\lambda_G} = 3,55 \cdot 10^{-3}$$

Pour les deux constructions $f_{ai} = 10$ est applicable.

A partir de:

$$\frac{\rho \cdot w}{\rho_o w_o} = \frac{q_m}{q_{mo}} \quad (18)$$

on a:

$$\frac{\rho_{II} w_{II}}{\rho_{IIo} w_{IIo}} = \frac{q_{mII}}{q_{mIIo}}, \quad \frac{\rho_I w_I}{\rho_{Io} w_{Io}} = \frac{q_{mI}}{q_{mIo}} \quad (19)$$

1.2 Coefficient caractéristique de l'échangeur K

Partant des équations pour la puissance calorifique

$$\left. \begin{aligned} Q &= W_{II} \Delta \vartheta_{II} = c_{pII} q_{mII} \Delta \vartheta_{II} \\ Q &= k A \Delta \vartheta_m \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

on définit le coefficient caractéristique de l'échangeur K:

$$K = \frac{k A}{c_{pII} q_{mII}} = \frac{k A}{W_{II}} \quad *) \quad (20a)$$

Bosnjaković [3] utilise également cette caractéristique, cependant sans lui donner un nom.

Pour un même échangeur et les mêmes fluides on trouve alors, A étant constante et c_{pII} pouvant être admis comme constante dans le domaine considéré:

$$\frac{K}{K_o} = \frac{k}{k_o} \frac{q_{mIIo}}{q_{mII}} \quad (21)$$

A partir des équations 15, 17a et 19 on trouve alors:

$$\frac{K}{K_o} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \right)^{m-1} \cdot f_k; \quad \begin{array}{l} \text{und} \\ \text{and} \end{array} \quad \begin{array}{l} T_I \text{ et } T_{II} = \text{konstant} \\ T_I \text{ et } T_{II} = \text{constant} \end{array} \quad (22)$$

*) Dans l'intérêt de la clarté, nous désignerons dans la suite du texte le coefficient caractéristique de l'échangeur par K , bien qu'il ne s'agisse dans l'exemple qui va suivre que du coefficient caractéristique d'échangeur K_{II} pour le côté d'air.

or:

Figures 7 and 8 show f_k for the copper and steel system, respectively, according to Tables 2 and 3.

For the copper system we have:

For the steel system we have:

For both systems $f_{ai} = 10$ applies.

Assuming that:

therefore:

1.2 Heat Exchanger Performance Factor K

From the equations of thermal capacity

the heat exchanger performance factor K is deduced:

Although Bosnjaković [3] also uses this factor he did not designate it.

As $A = \text{constant}$ and c_{pII} can be assumed to be constant within the range under consideration, for the same heat exchanger and the same fluids it follows that:

From equations 15, 17a and 19:

*) For better legibility, the heat exchanger performance coefficient is designed by K in the following text, despite the fact that the example studied hereafter concerns only the heat exchanger performance coefficient K_{II} for the air side.

Bild 9 und 10 zeigen das Verhältnis K/K_0 für das Kupfer- und Stahl-System nach Tabelle 2 und 3.

Für das Kupfer-System gilt mit $m = 0,63$:

Für das Stahl-System gilt mit $m = 0,5$:

1.3 Veränderte Eintrittstemperaturen

Zur Berücksichtigung anderer Temperaturen (allgemein auch anderer Fluide und Drücke) benutzt man die Colburn-Zahl j [4]:

mit:

Für $Re = \text{konstant}$ ist für den gleichen Wärmeaustauscher ebenfalls $j = \text{konstant}$.

Demnach:

und

Mit Gl. 14, 16 und 18 wird somit

oder auch

Im weiteren Verlauf wird bezeichnet mit:

- q_m = der wirkliche gemessene Strom
- q'_m = der scheinbar wirksame Strom
- q_{m0} = der Strom der Auslegung.

Les abaques 9 et 10 donnent le rapport K/K_0 pour la construction en cuivre et pour la construction en acier d'après les tableaux 2 et 3.

Pour la construction en cuivre, on a avec $m = 0,63$:

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mII0}} \right)^{-0,37} \cdot f_k \quad (22a)$$

Pour la construction en acier, on a avec $m = 0,5$:

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mII0}} \right)^{-0,5} \cdot f_k \quad (22b)$$

1.3 Cas des températures différentes à l'entrée

Pour tenir compte d'autres températures (et d'une manière générale aussi d'autres fluides et pressions) on fait appel au nombre de Colburn j [4]:

$$j = \frac{Nu}{Re Pr^{1/3}} \quad (23)$$

avec:

$$\left. \begin{aligned} Nu &= ad/\lambda \\ Re &= \rho wd/\eta \\ Pr &= c_p \eta/\lambda \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Pour $Re = \text{constante}$ et pour le même échangeur, j est également constante,

d'où:

$$\frac{\rho w}{\rho_0 w_0} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{q_m}{q_{m0}} \quad (25)$$

et

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{\lambda}{\lambda_0} \left(\frac{Pr}{Pr_0} \right)^{1/3} \quad (26)$$

Avec les équations 14, 16 et 18 on obtient alors

$$\frac{q_{mI}}{q_{mI0}} = \left(\frac{\alpha_I}{\alpha_{I0}} \right)^{1/n}; \quad \frac{q_{mII}}{q_{mII0}} = \left(\frac{\alpha_R}{\alpha_{R0}} \right)^{1/m_0} \quad (27)$$

ou encore

$$\frac{q_{mI}}{q_{mI0}} = \left[\frac{\lambda_I}{\lambda_{I0}} \left(\frac{Pr_I}{Pr_{I0}} \right)^{1/3} \right]^{1/n} \quad (28)$$

$$\frac{q_{mII}}{q_{mII0}} = \left[\frac{\lambda_{II}}{\lambda_{II0}} \left(\frac{Pr_{II}}{Pr_{II0}} \right)^{1/3} \right]^{1/m_0}$$

Dans la suite, nous adopterons les annotations:

- q_m = le débit effectif mesuré
- q'_m = le débit efficace
- q_{m0} = le débit du dimensionnement.

Figures 9 and 10 show the ratio K/K_0 for a copper and steel system, respectively, according to Tables 2 and 3.

For the copper system we have with $m = 0,63$:

For the steel system we have with $m = 0,5$:

1.3 The Case of different Inlet Temperatures

To allow for different temperatures (in general also different fluids and pressures) we have the Colburn number j [4]:

where:

When Re is a constant, the heat exchanger being the same, j is also a constant.

It follows:

and

Therefore, using equations 14, 16, and 18, we have

or, alternatively

In the following:

q_m = is the flow actually measured

q'_m is the effective flow

q_{m0} is the rated flow.

Da

wird nun:

Da die Stoffwerte der Fluide η , λ und Pr Funktionen der Temperatur T sind, ergibt sich auch eine Temperaturabhängigkeit des bezogenen Stromes q'_m/q_m von der Temperatur. Im Bereich der absoluten Temperaturen von 223 K bis 423 K für die Luft und 273 K bis 373 K für das Wasser bestehen für die Stoffwerte der Fluide etwa folgende Abhängigkeiten von der Temperatur:

Damit ergibt sich gemäss Gl. 29, für Luft, wobei $m_o = 2/3$;

und für Wasser, wobei $n = 2/3$:

Bild 11 ist eine grafische Wiedergabe der oben genannten Beziehung für Luft, die sich aus der Anwendung der Colburn-Zahl j ergibt.

Das Diagramm Bild 11 gilt für den Fall, dass der gemessene Strom q_{mII} nicht gleich dem Strom der Auslegung q_{mIIo} ist, und/oder andere Stoffwerte des Fluids, z.B. andere Temperaturen, aufweist.

In Bild 12 und 13 sind die Stoffwerte der Fluide: dynamische Zähigkeit η , Wärmeleitkoeffizient λ und die Prandtl-Zahl Pr für Luft und Wasser aufgezeichnet.

Bild 14 zeigt die Auswertung der Gl. 29 ebenfalls für Luft und Wasser, wobei die Bezugs-temperatur der Luft mit 20°C und des Wassers mit 80°C angenommen wurde. In Bild 15 ist

Comme

$$\frac{q'_m}{q_m} = \frac{q'_m}{q_{m_o}} \frac{q_{m_o}}{q_m}$$

on obtient:

$$\frac{q'_{mI}}{q_{mI}} = \frac{\eta_{Io}}{\eta_I} \left(\frac{\lambda_I}{\lambda_{Io}}\right)^{1/n} \left(\frac{Pr_I}{Pr_{Io}}\right)^{1/3 n} = f\left(\frac{T_I}{T_{Io}}\right) \quad (29)$$

$$\frac{q'_{mII}}{q_{mII}} = \frac{\eta_{IIo}}{\eta_{II}} \left(\frac{\lambda_{II}}{\lambda_{IIo}}\right)^{1/m_o} \left(\frac{Pr_{II}}{Pr_{IIo}}\right)^{1/3 m_o} = f\left(\frac{T_{II}}{T_{IIo}}\right)$$

Etant donné que les paramètres du fluide, η , λ et Pr sont fonction de la température T, le débit relatif q'_m/q_m est aussi fonction de la température. Dans la gamme des températures absolues de 223 K à 423 K pour l'air et de 273 K à 373 K pour l'eau, on peut admettre les exposants ci-dessous pour la variation des paramètres des fluides avec la température:

Luft, Air:

$$\eta \sim T^{0,76}; \quad \lambda \sim T^{0,79}; \quad Pr \approx \text{konstant constant}$$

Wasser, Eau, Water:

$$\eta \sim T^{-5,9}; \quad \lambda \sim T^{0,66}; \quad Pr \sim T^{-6,5}$$

Ainsi on trouve avec l'équation 29, pour l'air avec $m_o = 2/3$:

$$q'_{mII}/q_{mII} = (T_{II}/T_{IIo})^{0,42} \quad (29a)$$

et pour l'eau, avec $n = 2/3$:

$$q'_{mI}/q_{mI} = (T_I/T_{Io})^{3,65}; \quad (29b)$$

La figure 11 est la représentation graphique de la relation ci-dessus pour l'air comme elle résulte de l'application du nombre de Colburn j.

Le diagramme de la figure 11 s'applique au cas où le débit mesuré q_{mII} n'est pas identique au débit de dimensionnement q_{mIIo} , et/ou il présente d'autres paramètres du fluide, par exemple autres températures.

Les figs. 12 et 13 donnent les paramètres du fluide, à savoir la viscosité dynamique η , le coefficient de conduction thermique λ et le nombre de Prandtl Pr pour l'air et pour l'eau.

La figure 14 est la représentation graphique de l'équation 29 également pour l'air et pour l'eau, les températures de référence ayant été fixées à 20°C pour l'air et à 80°C pour l'eau. Sur le

Therefore, as

we have:

As the fluid properties η , λ , and Pr are functions of the temperature T, it follows that the flow ratio q'_m/q_m is also a function of temperature. Within the absolute temperature range from 223 K to 423 K for air and from 273 K to 373 K for water the fluid properties depend on the temperature in the following manner:

Substituting into equation 29, we deduce that, for air, with $m_o = 2/3$:

and for air, with $n = 2/3$:

Figure 11 is a graphical representation of the above relationship for air when using the Colburn number j.

The diagram of Figure 11 applies to the case where the measured flow q_{mII} is not equal to the rated flow, and/or exhibits different fluid properties, such as different temperatures.

Figures 12 and 13 indicate the fluid properties, i.e. dynamic viscosity η , thermal conductivity coefficient λ , and the Prandtl number Pr for air and water.

Figure 14 shows – both for air and water – the evaluation of equation 29, related to air and water temperatures at 20°C and 80°C, respectively. In the graph 15 the evaluation has been

die Auswertung in Abhängigkeit von T/T_0 dargestellt, was für die Berechnung bequemer sein kann. Dabei ist zu beachten, dass die Charakteristik in Bild 14 und 15 von den Exponenten m_0 und n abhängig ist; hier wurde $m_0 = n = 2/3$ berücksichtigt.

1.4 Kreuzstrom

Im allgemeinen kann man für Wasser-Luft-Wärmeaustauscher "einseitig gerührten Kreuzstrom" annehmen, der für eine Rohrreihe korrekt gilt und bis etwa 6 Reihen mit genügender Genauigkeit angewendet werden kann, wobei der Wasserstrom als gerührt und der Luftstrom als ungerührt betrachtet wird. *) Die Beziehung hierfür lautet (dargestellt in Bild 16) [6]:

Hierin ist

Bezogen auf den Auslegungswert (Index Null) und mit

$$c_{pI}/c_{pIo} = 1,0 \text{ sowie}$$

$$c_{pII}/c_{pIIo} = 1,0 \text{ ergibt sich:}$$

sowie mit

nach Gl. 22 wird dann [8] [9]

Damit lässt sich dann das Garantie-Diagramm berechnen und aufzeichnen für T_I und $T_{II} = \text{konst.}$ sowie τ_0 und K_0 als Parameter:

1.5 Druckverlust

Der Druckverlust eines strömenden Stoffes ist im allgemeinen durch die Beziehung beschrieben (7):

*) Für andere Stromführungen siehe [3] und [5] und EUROVENT Dokumente 7/1 und 7/3.

graphique 15 on a porté en abscisse le rapport T/T_0 ce qui peut être plus commode pour le calcul. Il faut alors se rappeler que les caractéristiques des figs. 14 et 15 sont fonction des exposants m_0 et n ; dans le cas présent on a retenu $m_0 = n = 2/3$.

1.4 Ecoulement croisé

D'une manière générale, on peut admettre pour un échangeur thermique eau-air un "écoulement croisé brassé sur un côté"; ce qui est correct pour une rangée de tubes et peut encore être admis avec une précision suffisante jusqu'à 6 rangées, où le débit d'eau est considéré comme brassé et le débit d'air comme non-brassé. *) L'équation correspondante s'écrit (fig. 16) [6]:

$$\phi_{II} = \frac{1}{\tau} (1 - e^{-\tau(1 - e^{-K})}) \quad (30)$$

avec

$$\tau = \frac{q_{mII} c_{pII}}{q_{mI} c_{pI}} \quad (31)$$

Ramené à la valeur de dimensionnement (indice zéro) et avec

$$c_{pI}/c_{pIo} = 1,0 \text{ et avec}$$

$$c_{pII}/c_{pIIo} = 1,0 \text{ on trouve:}$$

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \cdot \frac{q_{mIo}}{q_{mI}} \quad (32)$$

et avec

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \right)^{m-1} \cdot f_k \quad (22)$$

et avec l'équation 22 [8] [9] on trouve ensuite:

$$\frac{\phi_{II}}{\phi_{IIo}} = \frac{\tau_0}{\tau} \frac{1 - e^{-\tau_0 \frac{\tau}{\tau_0} \left[1 - e^{-\frac{K_0}{K_0}} \right]}}{1 - e^{-\tau_0 \left[1 - e^{-\frac{K_0}{K_0}} \right]}} \quad (33)$$

Ainsi, on peut calculer et tracer le diagramme de garantie pour T_I et $T_{II} = \text{const.}$, ainsi que τ_0 et K_0 comme paramètres:

$$\frac{\phi_{II}}{\phi_{IIo}} = f \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}}, \frac{q_{mI}}{q_{mIo}} \right) \quad (34)$$

1.5 Perte de charge

La perte de charge d'un fluide en circulation est donnée en général par l'équation (7):

*) Dans le cas d'un autre écoulement relatif, voir [3] et [5] et Documents EUROVENT 7/1 et 7/3.

plotted against the temperature ratio T/T_0 , this is more convenient for calculation purposes. It must be noted that the mass flow ratios shown in Figures 14 and 15 depend on the values of the exponents m_0 and n ; in this case $m_0 = n = 2/3$.

1.4 Cross Flow

In general, a “unilaterally agitated cross flow” can be assumed for water/air heat exchangers which is quite valid for a single row tube configuration and is applicable with sufficient accuracy up to approximately 6 rows, the water flow being considered as agitated and the air flow as non-agitated.*) The equation below corresponds to that shown in Figure 16 [6]:

where

expressing this in terms of the rated value (subscript zero) and with

$$c_{pI}/c_{pIo} = 1,0 \text{ and with}$$

$$c_{pII}/c_{pIIo} = 1,0 \text{ it follows:}$$

and with

and with equation 22 [8] [9]:

Using this expression the guarantee diagram can be calculated and plotted, for T_I and $T_{II} = \text{const.}$ as well as τ_0 and K_0 as fluid properties:

1.5 Pressure Drop

The pressure drop of a fluid flow is generally given by the equation (7):

*) For other flow conditions see [3] and [5] and the EUROVENT Documents 7/1 and 7/3.

Anstelle des Längenverhältnisses l/d wird auf der Luftseite das Flächenverhältnis $f_a = A_{II}/A_s$ eingesetzt. (Für durchströmte Rundrohre ist $l/d = f_a/4$.) Benutzt man ferner die Formel nach BLASIUS:

so erhält man

Man teilt die beiden Seiten durch w und multipliziert die zweite mit

Es ergibt sich dann:

Setzt man nun $c_w = c'_w f_a$ und $p = 1-q$, so entsteht die Beziehung:

Diese Gleichung ist besonders instruktiv, weil sie eine Analogie zu der bekannten Gleichung für den Wärmeübergang aufweist, nämlich:

wenn für den gleichen Wärmeaustauscher $Pr =$ konstant und in c_a enthalten ist.

Ist in Gl. 39 $Re =$ konstant, so gilt für den gleichen Wärmeaustauscher:

Nach Gl. 25 ist aber auch

so dass sich der in Bild 17 dargestellte Zusammenhang zwischen dem "scheinbar wirksamen" und "wirklichen" gemessenen Strom ergibt, für den Fall, dass der Messwert nicht gleich dem Auslegungswert ist. Wenn nicht, gilt analog das zu Bild 11 Gesagte.

Nimmt man den Exponenten p für Luft und Wasser gleich mit $p = 2/3$ an und benutzt wie bei Gl. 29 für Luft $\eta \sim T^{0,76}$ und für Wasser

$$\Delta p = \xi \frac{\rho w^2}{2} \frac{1}{d} \quad (35)$$

A la place du rapport des longueurs l/d nous introduisons côté air le rapport des surfaces $f_a = A_{II}/A_s$. (Pour des tubes circulaires traversés on a $l/d = f_a/4$.) Avec la formule selon BLASIUS:

$$\frac{\xi}{8} = c'_w Re^{-q}, \quad (36)$$

on obtient

$$\Delta p = c'_w Re^{-q} \rho w^2 f_a \quad (37)$$

On divise les deux membres par w et on multiplie le deuxième par

$$1 = \frac{Re}{\frac{w d \rho}{\eta}} \quad (37a)$$

Alors on trouve:

$$\frac{\Delta p}{w} = c'_w Re^{1-q} f_a \eta / d \quad (38)$$

Posant $c_w = c'_w f_a$ et $p = 1-q$, on obtient l'équation:

$$\frac{\Delta p}{w} = c_w Re^p \eta / d \quad (39)$$

Cette équation est particulièrement significative, puisqu'elle présente une analogie par rapport à l'équation connue de la transmission thermique de surface, à savoir

$$\alpha = c_a Re^m \lambda / d \quad (40)$$

à condition que pour un même échangeur $Pr =$ constante et comprise dans c_a .

Si dans l'équation 39 on a $Re =$ constante, on trouve pour un même échangeur:

$$\frac{\Delta p w_o}{w \Delta p_o} = \frac{\eta}{\eta_o} \quad (41)$$

Selon l'équation 25 on a aussi

$$\frac{\eta}{\eta_o} = \frac{\rho w}{\rho_o w_o} = \frac{q_m}{q_{m_o}} \quad (25)$$

si bien qu'on obtient la relation de la figure 17 entre le débit "efficace" et le débit "mesuré" à condition que cette valeur ne soit pas identique à celle du dimensionnement. Sinon, le texte de l'abaque 11 est applicable analogiquement.

$$\frac{q'_m}{q_m} = \left[\frac{\eta}{\eta_o} \right]^{1/p - 1} = f\left(\frac{T}{T_o}\right) \quad (42)$$

Lorsqu'on admet l'exposant p pour l'air et pour l'eau à la même valeur de $p = 2/3$, et utilise comme dans l'équation 29 pour l'air $\eta \sim T^{0,76}$

The length to diameter ratio l/d is substituted for the air side by the face surface area ratio $f_a = A_{II}/A_s$. (We have for a circular tube with an inside flow $l/d = f_a/4$.) Using the BLASIUS equation.

it can be shown that

Both sides of the equation are divided by w and the right hand side multiplied by

Then we have:

when introducing $c_w = c'_w f_a$ and $p = 1-q$, the equation becomes

This equation provides special information as it is analogous to the well-known equation for heat transfer, i.e.

provided that $Pr = \text{constant}$ for the same heat exchanger and is included in c_a .

If $Re = \text{constant}$ in equation 39, for the same heat exchanger the following equation applies:

According to equation 25 also

thus giving the relationship between “apparently effective” and “actually measured” flow shown in Fig. 17, when the measured and rated values are not equal. If not, the text of Fig. 11 applies analogically.

Assuming the same exponent $p = 2/3$ for air and water and using $\eta \sim T^{0.76}$ for air and $\eta \sim T^{-5.9}$ for water as in equation 29, the

$\eta \sim T^{-5,9}$, so erhält man analog Gl. 29a und b für den Druckverlust gemäß Gl. 42:

et pour l'eau $\eta \sim T^{-5,9}$ on obtient pour la perte de charge avec l'équation 42 par analogie à l'équation 29a et b:

$$\text{Luft, Air:} \\ q'_{mII}/q_{mII} = (T_{II}/T_{IIo})^{0,38} \quad (42a)$$

$$\text{Wasser, Eau, Water} \\ q'_{mI}/q_{mI} = (T_I/T_{Io})^{-2,95} \quad (42b)$$

Diese Temperatur-Abhängigkeit T/T_o ist in Bild 18 dargestellt.

La figure 18 représente cette variation en fonction du rapport T/T_o de la température.

2. ERSTELLUNG DES GARANTIE-DIAGRAMMS

Für die Erstellung von Garantie-Diagrammen für einen wasserbeheizten Lufterhitzer werden drei charakteristische Auslegungen betrachtet, erstens eine mit geringer Aufwärmung der Luft, $\phi_o = 0,4$ (I), zweitens eine mit mittlerer Aufwärmung, $\phi_o = 0,6$ (II), und drittens eine mit hoher Aufwärmung, $\phi_o = 0,8$ (III).

Diese drei Auslegungen sind in Bild 19 dargestellt. Das Ergebnis der Berechnungen ist in den Garantie-Diagrammen Bild 20, 21 und 22 für ein Kupfer-Element und in Bild 23 für ein Stahl-Element für die mittlere Aufwärmung, $\phi_o = 0,6$, aufgezeichnet. Man erkennt aus den Diagrammen den Einfluss der Auslegung eines Wärmeaustauschers auf deren Charakteristik. Das bedeutet, dass jede Auslegung ein besonderes Diagramm erfordert. Vergleicht man die mittlere Auslegung für Stahl (Bild 23) mit der für Kupfer (Bild 21), so sieht man einen nur geringen Unterschied, obwohl die Materialeigenschaften doch sehr voneinander abweichen.

Dies bedeutet, dass die Diagramme jeweils für einen gewissen Bereich gelten.

Der Gang der Rechnungen für die Erstellung eines Garantie-Diagramms geht aus den Tabellen 5 und 6 hervor. Hier wurde für die mittlere Aufwärmung der Luft ($\phi_o = 0,6$) die Berechnung für f_k und ϕ_{II}/ϕ_{IIo} schrittweise durchgeführt. Das Ergebnis entspricht dem Diagramm Bild 21.

Zur leichteren Verfolgung des Rechenganges ist f_k aus Formel 17a unter Verwendung der Formeln 15, 16 und 18 sowie Formel 33 für ϕ_{II}/ϕ_{IIo} unter Verwendung der Formeln 22 und 32 noch einmal vollständig ausgeschrieben. (Formel 43 und 44, Seite 24/25)

2. ETABLISSEMENT DU DIAGRAMME DE LA GARANTIE

Pour l'établissement des diagrammes de la garantie d'un réchauffeur d'air alimenté en eau nous allons étudier trois dimensionnements caractéristiques, le premier caractérisé par un faible échauffement de l'air $\phi_o = 0,4$ (I), le deuxième par un échauffement moyen de l'air $\phi_o = 0,6$ (II) et le troisième par un échauffement élevé de l'air $\phi_o = 0,8$ (III).

Ces trois dimensionnements sont représentés à la figure 19. Le résultat des calculs se trouve dans les diagrammes de garantie, figs. 20, 21 et 22 pour un élément en cuivre et figure 23 pour un élément en acier avec un échauffement moyen, $\phi_o = 0,6$. L'influence de dimensionnement d'un échangeur thermique sur la forme du diagramme est mise en évidence. C'est-à-dire qu'à chaque dimensionnement correspond un diagramme particulier. Si l'on compare le dimensionnement pour l'acier (figure 23) à celui du cuivre (figure 21), on constate que les écarts sont faibles, bien que les caractéristiques des matériaux soient très différentes.

Ainsi, ces diagrammes sont applicables dans un certain domaine.

Le cheminement des calculs pour l'établissement d'un diagramme de garantie ressort de tableaux 5 et 6. Dans l'exemple présent, le calcul a été fait pas à pas pour l'échauffement moyen de l'air ($\phi_o = 0,6$) en ce qui concerne f_k et ϕ_{II}/ϕ_{IIo} . Le résultat correspond au diagramme de la figure 21.

Pour faciliter l'étude des opérations de calcul, nous écrivons complètement l'expression de f_k à partir des formules 17a, 15, 16 et 18; de même nous exprimons la formule 33 pour ϕ_{II}/ϕ_{IIo} à partir des formules 22 et 32. (Formules 43 et 44, page 24/25)

pressure drop, equation 42, is obtained -- analogous to equation 29a and b:

The dependency of these ratios on temperature, T/T_o , is shown in Figure 18.

2. ESTABLISHING A GUARANTEE DIAGRAM

To establish guarantee diagrams for a water supplied forced flow air heater three typical ratings were considered: firstly low air heating rate, $\phi_o = 0.4$ (I), secondly medium air heating rate, $\phi_o = 0.6$ (II), and thirdly high air heating rate, $\phi_o = 0.8$ (III).

These three ratings are shown in Figure 19. The calculation results for a copper system are plotted as guarantee curves in Figures 20, 21, and 22. Figure 23 shows the guarantee curves for a steel system at medium heating rate, $\phi_o = 0.6$. It can be seen from these graphs how the heat exchanger rating affects the characteristic curves. This means that each rating requires an individual curve. A comparison of the medium rating for steel (Figure 23) with that for copper (Figure 21) reveals that there is only a small difference between them even though the material properties are very different.

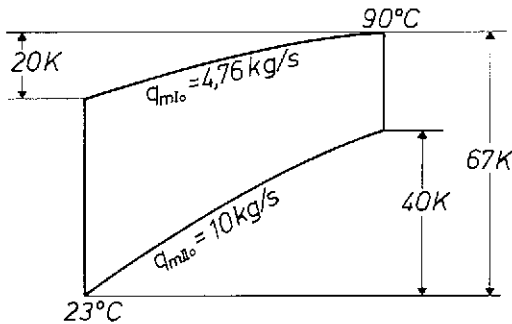
This means that the diagrams are valid for certain ranges.

The calculation procedure for establishing a "guarantee diagram" is demonstrated in Tables 5 and 6. Here the calculation of f_k and ϕ_{II}/ϕ_{IIo} has been carried out step by step for a medium air heating rate ($\phi_o = 0.6$). The result corresponds with the curves in Figure 21.

In order to follow the calculation procedure more easily, f_k from equation 17a has been re-written using equations 15, 16, and 18, and equation 33 for ϕ_{II}/ϕ_{IIo} has been re-written using equations 22 and 32. (Equations 43 and 44, page 24/25)

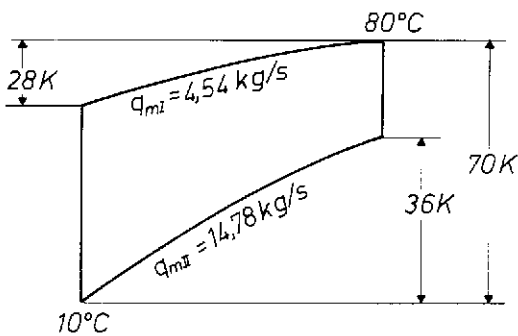
BEISPIEL

Ein wasserbeheizter Lufterhitzer ist ausgelegt für die im Auslegungs-Diagramm angegebenen Daten:



Auslegungs-Diagramm
Diagramme de dimensionnement

Eine Messung ergab die im Mess-Diagramm eingetragenen Daten:



Mess-Diagramm
Diagramme experimental

Aus der Temperaturmessung ist:

3. EXEMPLE

Soit un réchauffeur d'air alimenté en eau qui a été calculé selon les données résultant du diagramme du dimensionnement:

$$Q = 400 \text{ kW}$$

$$T_{Io} = 273 + \frac{160}{2} = 353 \text{ K}$$

$$T_{IIo} = 273 + \frac{86}{2} = 316 \text{ K}$$

$$\phi_{IIo} = \frac{40}{67} = 0,6$$

$$\tau_o = \frac{20}{40} = 0,5$$

(nach Bild 16)

$$K_o = 1,25 \quad (\text{selon fig. 16})$$

(according to Fig. 16)

On a relevé les valeurs expérimentales suivantes indiquées sur le diagramme ci-dessous:

$$T_I = 273 + \frac{132}{2} = 339 \text{ K}$$

$$T_{II} = 273 + \frac{56}{2} = 301 \text{ K}$$

$$\frac{q'_{mI}}{q_{mI}} = \left(\frac{339}{353}\right)^{3,65} = 0,861$$

$$q'_{mI} = 4,535 \cdot 0,861 = 3,905 \text{ kg/s}$$

$$Q_I = 4,535 \cdot 28 \cdot 4,2 = 532 \text{ kW}$$

$$\frac{q'_{mII}}{q_{mII}} = \left(\frac{301}{316}\right)^{0,42} = 0,980$$

$$q'_{mII} = 14,778 \cdot 0,980 = 14,482 \text{ kg/s}$$

$$Q_{II} = 14,778 \cdot 36 = 532 \text{ kW}$$

Du relevé de la température on tire:

$$\phi_{II} = \frac{36}{70} = 0,514$$

$$\frac{\phi_{II}}{\phi_{IIo}} = \frac{0,514}{0,6} = 0,857$$

Aus den wirksamen Strömen ergibt sich:

Des débits efficaces on déduit:

$$\frac{q'_{mII}}{q_{mIIo}} = \frac{14,482}{10} = 1,448$$

$$\frac{q'_{mI}}{q_{mIo}} = \frac{3,905}{4,76} = 0,819$$

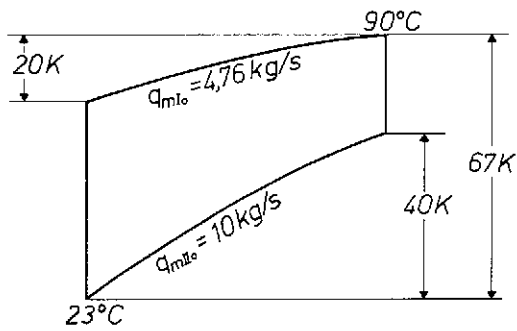
Aus dem Diagramm, Bild 18, ist abzulesen:

Dans le diagramme, figure 18, on peut lire que:

$$\frac{\phi_{II}}{\phi_{IIo}} = 0,82$$

3. EXAMPLE

A water supplied forced flow air heater is rated for data which are specified by the rating diagram:



Rating Diagram

Measurement gave the plotted values as shown in the diagram below:

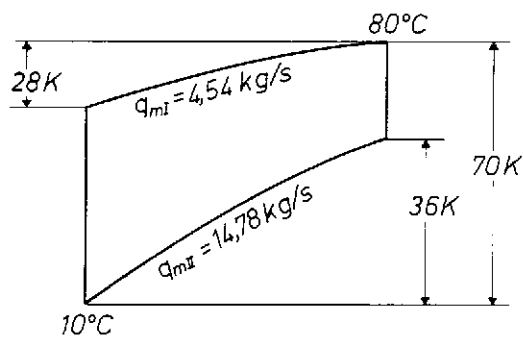


Diagram of measured values

From the temperature measurement we obtain:

From the effective flows we deduce that:

From the diagram Figure 18, we obtain:

$$\frac{(\phi_{II}/\phi_{IIo})_{\text{gemessen}}}{(\phi_{II}/\phi_{IIo})_{\text{Diagramm}}} = \frac{0,857}{0,82} = 1,045$$

Also ist der Lufterhitzer 4,5 % besser als garantiert.

Ainsi, le réchauffeur d'air dépasse la garantie dans la proportion de 4,5 %.

Die Ermittlung der neuen Druckverluste geschieht analog.

La détermination des nouvelles pertes de charge se fait de façon analogue.

Das ϕ -Diagramm (Garantie-Diagramm) gestattet, wie man erkennt, einen einfachen Leistungsnachweis für Wärmeaustauscher bei veränderten Massenströmen und Temperaturen.

Le diagramme de ϕ (diagramme de garantie) permet ainsi, comme on peut s'en rendre compte, une vérification simple des performances d'un échangeur thermique pour des débits masse et des températures différentes.

4. TABELLEN TABLEAUX TABLES

Tabelle 1 – Tableau 1 – Table 1

Werkstoff Matériau Material	$\rho_{IIo} w_{IIo}$ kg/s m ²	a_{Ro} W/m ² K	f_{ai} —	δ_G mm	λ_G W/mK	$\frac{\lambda_G}{f_{ai}\delta_G}$ W/m ² K	Ri —
Kupfer Cuivre Copper					315	12500	0,5
Stahl Acier Steel	4	100	10	2,5	50	2000	1,25
Edelstahl Acier inox Stainless steel					10	400	2,8

Tabelle 2 – Tableau 2 – Table 2 (Kupfer – Cuivre – Copper)

$\rho_{II} w_{II}$ kg/s m ²	a_R W/m ² K	η_R —	η_a —	a_{II} W/m ² K	$\frac{\lambda_G}{f_{ai}\delta_G}$ W/m ² K	k_∞ W/m ² K	$\frac{a_I}{f_{ai}}$ W/m ² K	k_{6300} W/m ² K
2	63	0,950	0,955	60,1		60		54,8
2,8	80	0,935	0,941	75,4		75		67
4	100	0,920	0,928	92,8	12500	92,5	630	80,3
5,6	125	0,905	0,915	114		113		96
8	160	0,880	0,892	143		141		115

Thus, the air heater proves to be better in performance than the guaranteed requirements by 4,5 %.

The pressure drop may be calculated analogically.

It can be seen that the ϕ diagram (guarantee diagram) constitutes a simple method of verifying the heat exchanger performance at different mass flow rates and temperatures.

Tabelle 3 – Tableau 3 – Table 3 (Stahl – Acier – Steel)

2	63	0,76	0,79	50		49		45,3
2,8	80	0,72	0,75	60		58,3		53,5
4	100	0,68	0,71	71	2000	68,6	630	61
5,6	125	0,63	0,67	84		80,5		71,5
8	160	0,58	0,62	100		95		82,5

Tabelle 4 – Tableau 4 – Table 4 (Edelstahl – Inox – Stainless Steel)

2	63	0,435	0,492	31		28,6		27,4
2,8	80	0,395	0,455	36,4		33,4		31,8
4	100	0,355	0,420	42	400	38	630	35,8
5,6	125	0,315	0,383	48		43		40,5
8	160	0,280	0,352	56,3		49,5		46

Tabelle 5: Rechengang zur Erstellung des Garantiediagramms
 Tableau 5: Opération de calcul pour l'établissement du diagramme de la garantie
 Table 5: Calculation Procedure for Establishing the Guarantee Diagram

1	q_{mII}/q_{mIIo}	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
2	q_{mI}/q_{mIo}		0,5			1			2	
3	$(q_{mII}/q_{mIIo})^m$; m = 0,61 nach Bild 4 selong fig. 4 acc. to Fig. 4	0,655	1	1,53	0,655	1	1,53	0,655	1	1,53
4	$(q_{mI}/q_{mIo})^{-n}$ n = 0,67		1,6			1			0,63	
5	$[(q_{mI}/q_{mIo})^{-n} \cdot a_{IIo}/a_{Io} + a_{IIo}\delta_G/\lambda_G] \cdot 10^3$		24,73	∞		15,73			10,18	
6	$(q_{mII}/q_{mIIo})^m \cdot \left[\begin{array}{l} \text{Zeile 5} \\ \text{ligne 5} \\ \text{line 5} \end{array} \right]$	16,2	24,73	37,8	10,3	15,73	24,1	6,65	10,18	15,6
7	$f_{ai} \cdot \left[\begin{array}{l} \text{Zeile 6} \\ \text{ligne 6} \\ \text{line 6} \end{array} \right] \cdot 10^{-3}$	0,162	0,247	0,378	0,103	0,157	0,241	0,067	0,102	0,156
8	$1 + \left[\begin{array}{l} \text{Zeile 7} \\ \text{ligne 7} \\ \text{line 7} \end{array} \right]$	1,162	1,247	1,378	1,103	1,157	1,241	1,067	1,102	1,156
9	f_k nach Gl. 17 selon équation 17 according to eq. 17	0,995	0,930	0,840	1,047	1	0,933	1,085	1,048	1,0

Konstante: $\rho_{IIo} w_{IIo} = 4 \text{ kg/s m}^2$; $a_{IIo}/a_{Io} = 15 \cdot 10^{-3}$; $a_{IIo}\delta_G/\lambda_G = 0,73 \cdot 10^{-3}$

Constante: $f_{ai} = 10$; $\lambda_G = \lambda_R = 315 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\delta_G = 2,5 \text{ mm}$; $\delta_R = 0,25 \text{ mm}$

$$f_k = \frac{1 + f_{ai} \left(\frac{a_{IIo}}{a_{Io}} + \frac{a_{IIo}\delta_G}{\lambda_G} \right)}{1 + f_{ai} \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \right)^m \left[\left(\frac{q_{mIo}}{q_{mI}} \right)^n \cdot \frac{a_{IIo}}{a_{Io}} + \frac{a_{IIo}\delta_G}{\lambda_G} \right]} \quad (43)$$

Tabelle 6: Rechengang zur Erstellung des Garantiediagramms

Tableau 6: Opération de calcul pour l'établissement du diagramme de la garantie

Table 6: Calculation Procedure for Establishing the Guarantee Diagram

1	q_{mI}/q_{mIIo}	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
2	q_{mI}/q_{mIo}		0,5			1			2	
3	$(q_{mII}/q_{mIIo})^{m-1}$; $m-1 = -0,39$	1,31	1	0,763	1,31	1	0,763	1,31	1	0,763
4	$(q_{mII}/q_{mIIo})^{m-1} \cdot f_k$; nach Tab. 5 f_k selon Tabl. 5 acc. to Tab. 5	1,3	0,93	0,64	1,37	1	0,71	1,42	1,05	0,763
5	$K = K_o \cdot \begin{bmatrix} \text{Zeile 4} \\ \text{ligne 4} \\ \text{line 4} \end{bmatrix}$; $K_o = 1,25$	1,62	1,16	0,80	1,71	1,25	0,89	1,77	1,31	0,955
6	$1 - e^{-K}$	0,802	0,686	0,550	0,820	0,714	0,590	0,830	0,743	0,616
7	$q_{mII}/q_{mIIo} \cdot q_{mIo}/q_{mI}$	1	2	4	0,5	1	2	0,25	0,5	1
8	$\tau = \tau_o \cdot \begin{bmatrix} \text{Zeile 7} \\ \text{ligne 7} \\ \text{line 7} \end{bmatrix}$; $\tau_o = 0,5$	0,5	1	2	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5
9	$\tau(1 - e^{-K}) = \tau \cdot \begin{bmatrix} \text{Zeile 6} \\ \text{ligne 6} \\ \text{line 6} \end{bmatrix}$	0,401	0,686	1,10	0,205	0,357	0,590	0,104	0,186	0,308
10	$1 - e^{-\begin{bmatrix} \text{Zeile 9} \\ \text{ligne 9} \\ \text{line 9} \end{bmatrix}}$	0,330	0,497	0,667	0,185	0,300	0,446	0,100	0,170	0,265
11	$\phi_{II} = 1/\tau \cdot \begin{bmatrix} \text{Zeile 10} \\ \text{ligne 10} \\ \text{line 10} \end{bmatrix}$; $\phi_{IIo} = 0,6$	0,66	0,497	0,333	0,74	0,60	0,446	0,80	0,68	0,53
12	nach Gl. 33 ϕ_{II}/ϕ_{IIo} selon équation 33 acc. to eq. 33	1,10	0,83	0,55	1,23	1	0,75	1,33	1,13	0,89

$$\frac{\phi_{II}}{\phi_{IIo}} = \frac{q_{mIIo}}{q_{mII}} \cdot \frac{q_{mI}}{q_{mIo}} \cdot \frac{1 - e^{-\tau_o \frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \frac{q_{mIo}}{q_{mI}}}}{1 - e^{-\tau_o (1 - e^{-K_o})}} \cdot \frac{1 - e^{-K_o} \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}}\right)^{m-1} \cdot f_k}{1 - e^{-K_o}} \quad (44)$$

5. LISTE DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN
 LISTE DES SYMBOLES UTILISES
 LIST OF SYMBOLS USED

Formelzeichen Symbole Symbol	Einheit Unité Unit	Größe Grandeur Quantity	Formel Formule Formula
A	m ²	Wärmeübertragerfläche Surface d'échangeur thermique Heat exchanger surface	
A _s	m ²	Frontfläche des Bündels Surface frontale du faisceau (de l'échangeur) Front area of the coil (front area)	
A _R	m ²	Rippenoberfläche Surface des ailettes Fin surface area	
K (°C)	—	Wärmeaustauscher-Kennzahl Coefficient caractéristique de l'échangeur Heat exchanger performance factor	$K = \frac{(kA)}{W_{II}}$
Q	W	Thermische Leistung Puissance calorifique Thermal capacity	$Q = W\phi\Delta\vartheta_1$
Ri	—	Rippenkonstante Constante d'ailette Fin constant	$Ri = h_R \cdot \left(\frac{2a_R}{\delta_R \lambda_R}\right)^{0,5}$
T	K	Absolute Temperatur Température absolue Absolute temperature	
W	W/K	Wärmekapazitätsstrom Intensité thermique Heat flow rate	$W = c_p \dot{q}_m$
c _p	J/kg K	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck Chaleur massique à pression constante Specific heat at constant pressure	
h _R	m	Gleichwertige Rippenhöhe Hauteur équivalente de l'ailette Equivalent fin height	
f _a	—	Flächenverhältnis A _{II} /A _s Rapport des surfaces extérieure et frontale A _{II} /A _s Face surface area ratio A _{II} /A _s	
f _{ai}	—	Flächenverhältnis A _{II} /A _I Rapport des surfaces extérieure et intérieure A _{II} /A _I Surface area ratio A _{II} /A _I	
f _k	—	Wärmedurchgangsfaktor Facteur de correction du coefficient de transmission thermique Overall heat transfer factor	

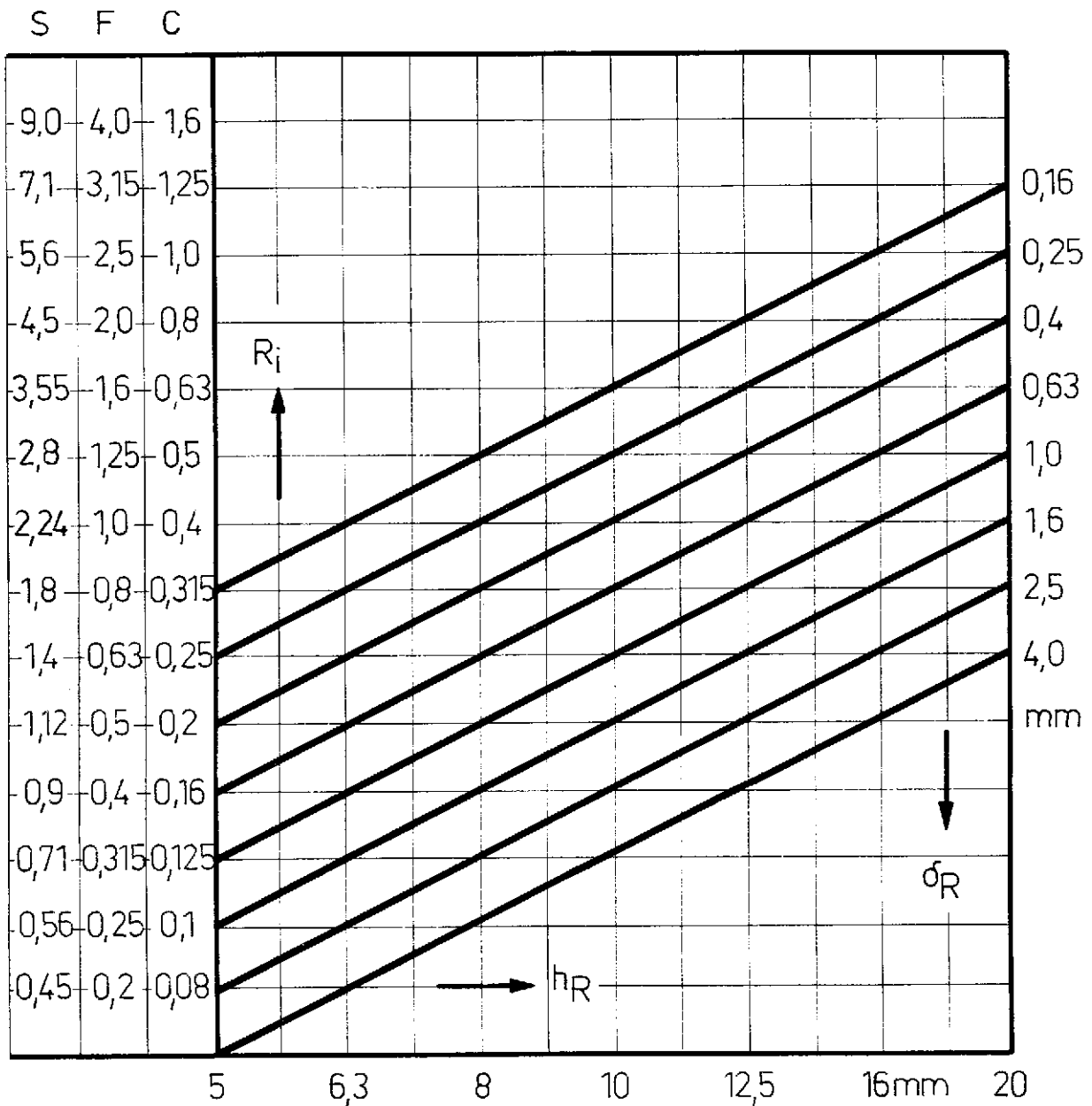
Formelzeichen Symbole Symbol	Einheit Unité Unit	Größe Grandeur Quantity	Formel Formule Formula
f_R	–	Flächenverhältnis A_R/A_{II} Rapport des surfaces A_R/A_{II} Fin surface area ratio A_R/A_{II}	
k	W/m^2K	Wärmedurchgangskoeffizient Coefficient de transmission thermique globale Overall heat transfer coefficient	$k = \frac{\dot{Q}}{A\Delta\vartheta_m}$
Δp	$Pa = N/m^2$	Druckverlust Perte de charge Pressure drop	
$\Delta\vartheta_1$	$K (^{\circ}C)$	Temperaturabstand am Eintritt beider Medien Différence de températures d'entrée des fluides Temperature difference at the inlets of the fluids	
q_m	kg/s	Massenstrom Débit masse Mass flow	$q_m = A_s w \rho$
w	m/s	Strömungsgeschwindigkeit Vitesse du fluide Fluid velocity	$w = \frac{q_m}{\rho \cdot A_s}$
ϕ	–	Temperaturänderungszahl Efficacité thermique Thermal efficiency	$\phi = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_1}$
a	W/m^2K	Wärmeübergangskoeffizient Coefficient de transmission thermique de surface Heat transfer coefficient	
δ	m	Dicke Épaisseur Thickness	
λ	W/mk	Wärmeleitkoeffizient Coefficient de conduction thermique Thermal conductivity coefficient	
ϵ	–	Rippenfaktor Coefficient d'ailette Fin factor	$\epsilon = Ri \left(\frac{a_R}{a_{Ro}}\right)^{0,5}$
ϑ	$K (^{\circ}C)$	Temperatur Température Temperature	
ρ	kg/m^3	Dichte Masse volumique Specific weight	
η	$Pas = kg/ms$	Dynamische Zähigkeit Viscosité dynamique Dynamic viscosity	

Formelzeich. Symbole Symbol	Einheit Unité Unit	Größe Grandeur Quantity	Formel Formule Formula
η_a	—	Wirkungsgrad des Rippenrohres Efficacité du tube à ailettes Finned tube efficiency	$\eta_a = a_{II}/a_R$
η_R	—	Rippenwirkungsgrad Efficacité des ailettes Fin efficiency	$\eta_R = \frac{\tanh \epsilon}{\epsilon}$
τ	—	Wärmekapazitäten-Verhältnis Rapport des intensités thermiques Heat flow rate ratio	$\tau = \frac{\dot{W}_{II}}{\dot{W}_I} = \frac{\Delta\theta_I}{\Delta\theta_{II}}$
Indices			
I		für den Primärstrom (Wasserseite) pour le fluide primaire (côté eau) for the primary flow (water side)	
II		für den Sekundärstrom (Luftseite) pour le fluide secondaire (côté air) for the secondary flow (air side)	
G		für das Kernrohr pour le tube de base for the bare tube	
R		für die Rippe pour l'ailette for the fin	
o		für den Auslegungs- oder Bezugswert pour le dimensionnement ou la valeur de référence for the rating or reference value	
Exponenten — Exposants — Exponents			
m_o		für den Wärmeübergang an der Rippe pour la transmission thermique de surface sur l'ailette for the heat transfer through the fin	
m		für den Wärmeübergang auf der Luftseite pour la transmission thermique de surface côté air for the heat transfer on the air side	
n		für den Wärmeübergang auf der Wasserseite pour la transmission thermique de surface côté eau for the heat transfer on the water side	
p		für den Druckverlust pour la perte de charge for the pressure drop	

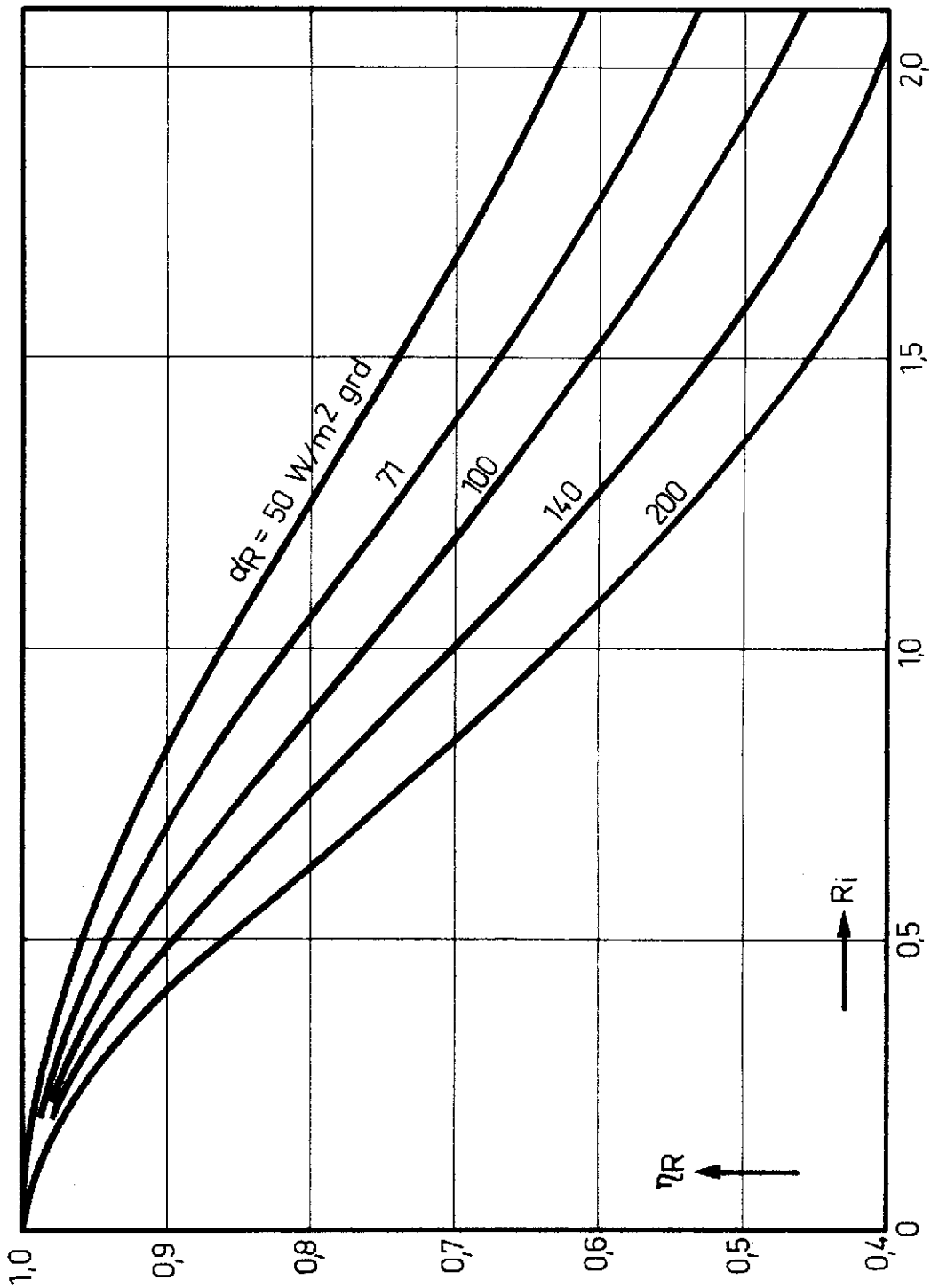
Formelzeichen Symbole Symbol	Einheit Unité Unit	Größe Grandeur Quantity	Formel Formule Formula
		Kennzahlen – Nombres caractéristiques – Characteristic Numbers	
Nu		Nusselt-Zahl Nombre de Nusselt Nusselt number	ad/λ
Re		Reynolds-Zahl Nombre de Reynolds Reynolds number	$w\bar{d}\rho/\eta$
Pr		Prandtl-Zahl Nombre de Prandtl Prandtl number	$c_p\eta/\lambda$
j		Colburn-Zahl Nombre de Colburn Colburn number	$Nu/Re Pr^{1/3}$

6. BILDER – FIGURES

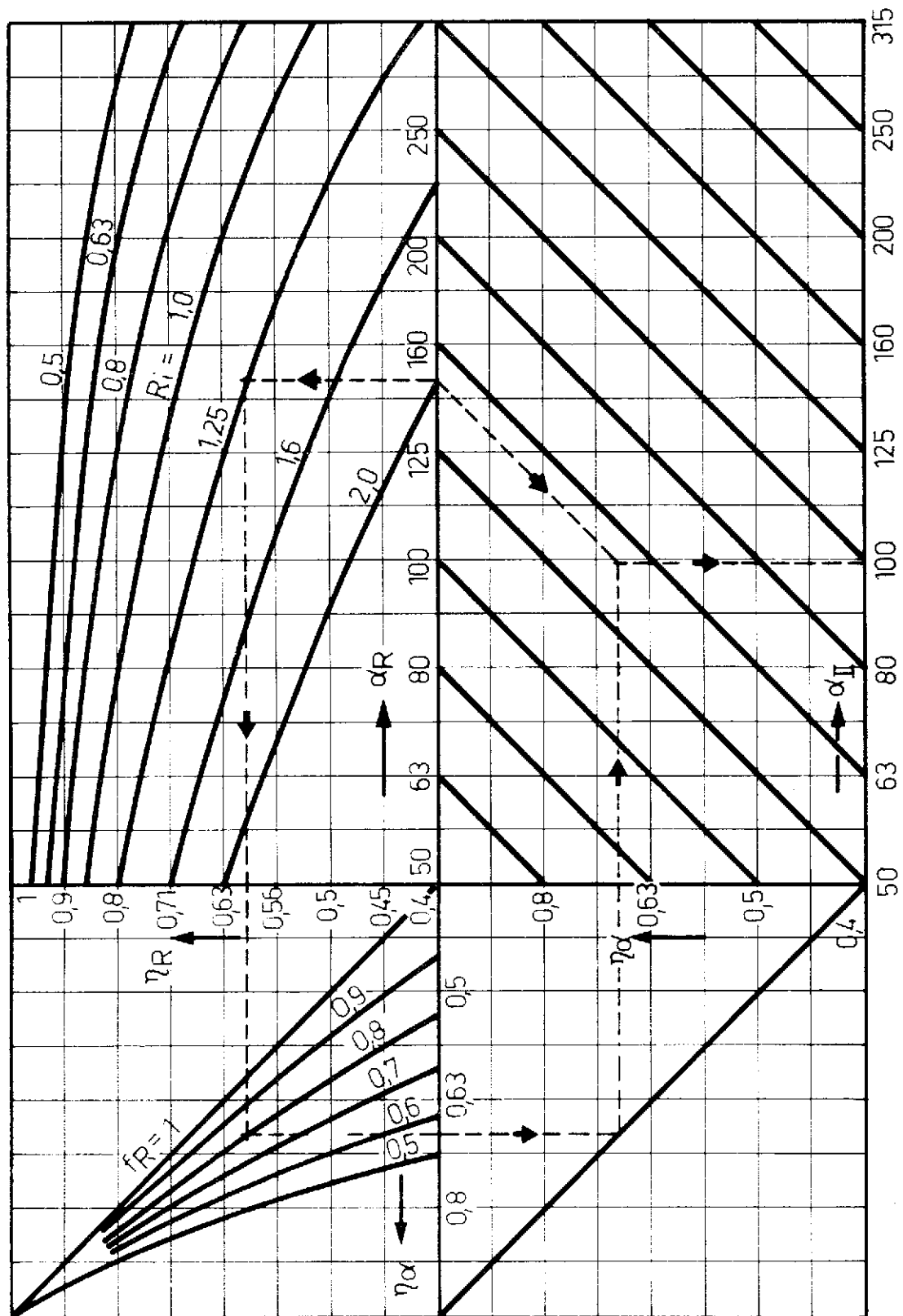
C:	Kupfer Cuivre copper	:	$\lambda_{Rc} = 315 \text{ W/mK}$
F:	Stahl acier steel	:	$\lambda_{Rc} = 50 \text{ W/mK}$
S:	Edelstahl acier inoxydable stainless steel	:	$\lambda_{Rc} = 10 \text{ W/mK}$
			$\alpha_o = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$



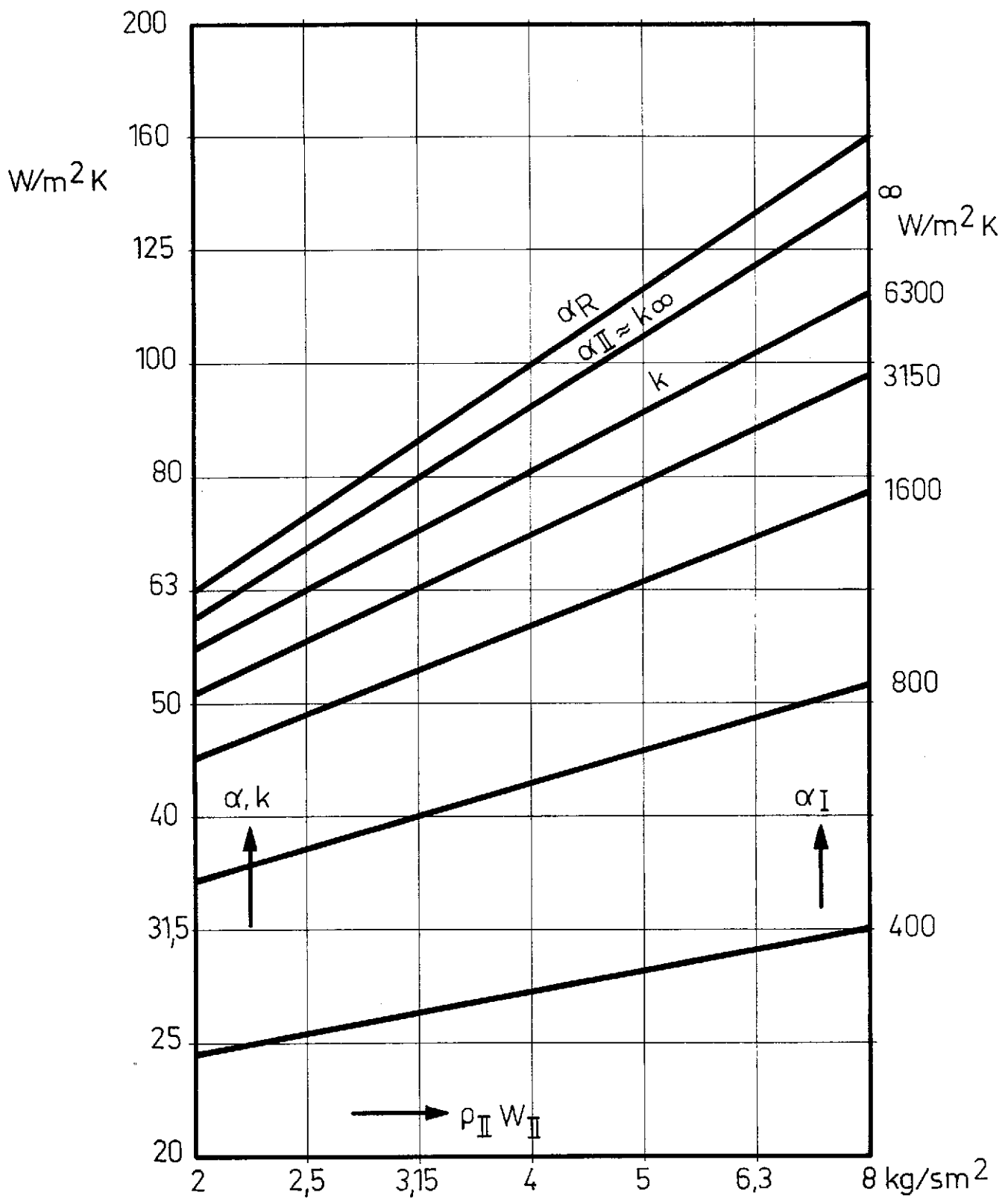
- 1 Rippenkonstante R_i über gleichwertiger Rippenhöhe h_R und Rippendicke δ_R
 Constante d'ailette R_i en fonction de la hauteur équivalente de l'ailette h_R et l'épaisseur de l'ailette δ_R
 Fin constant R_i plotted against equivalent fin height h_R and fin thickness δ_R



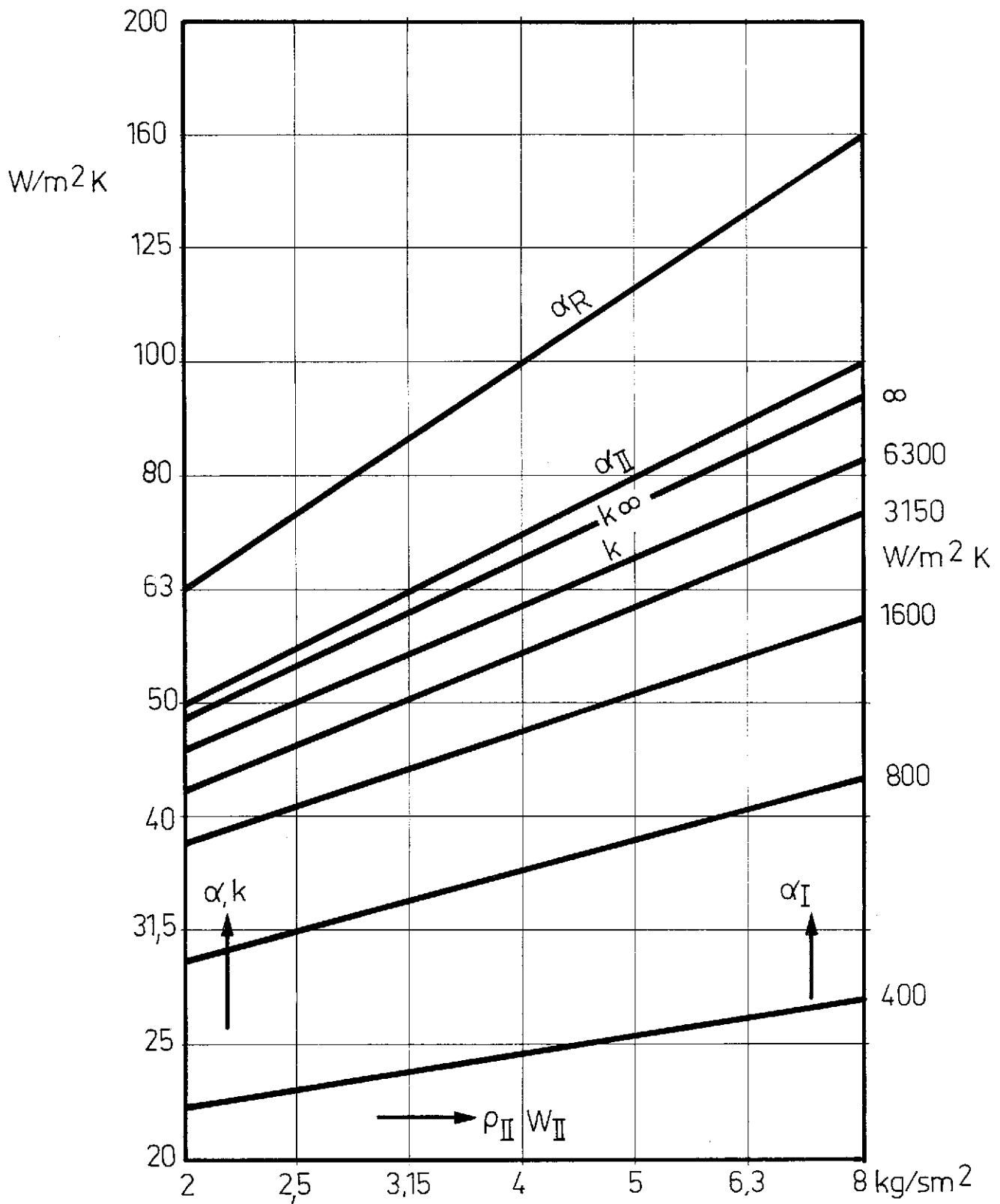
- 2 Rippenwirkungsgrad η_R über Rippenkonstante Ri und Wärmeübergangskoeffizient α_R
 Efficacité des ailettes η_R en fonction de la constante d'ailette Ri et le coefficient de transmission thermique de surface α_R
 Fin efficiency η_R plotted against fin constant Ri and heat transfer coefficient α_R



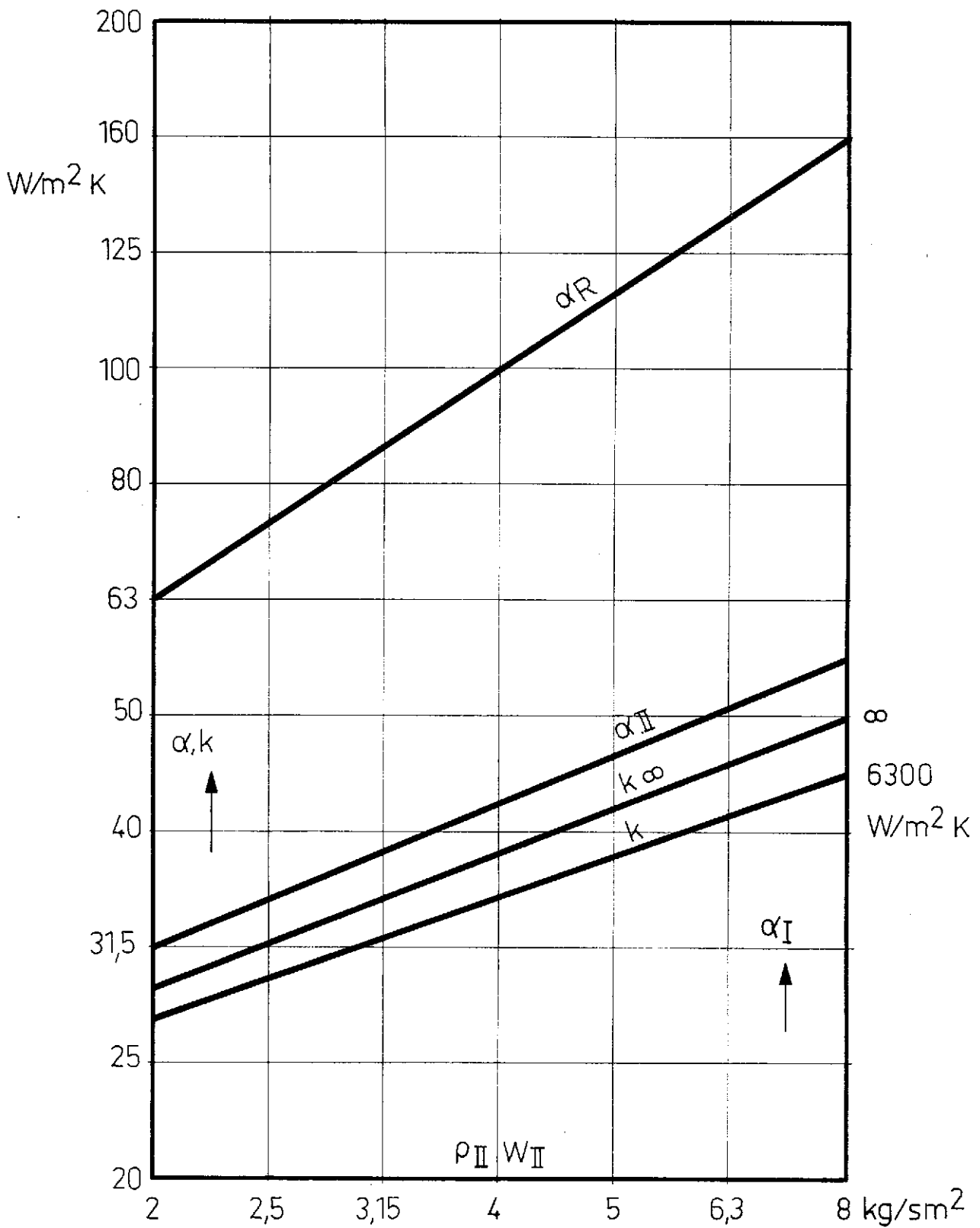
- 3 Wärmeübergangskoeffizient α_{II} über Wärmeübergangskoeffizient α_R , Rippenkonstante Ri , Flächenverhältnis f_R
 Coefficient de transmission thermique de surface α_{II} en fonction du coefficient de transmission thermique de surface α_R , constante d'ailette Ri , rapport des surfaces f_R
 Heat transfer coefficient α_{II} plotted against heat transfer coefficient α_R , fin constant Ri , fin surface area ratio f_R



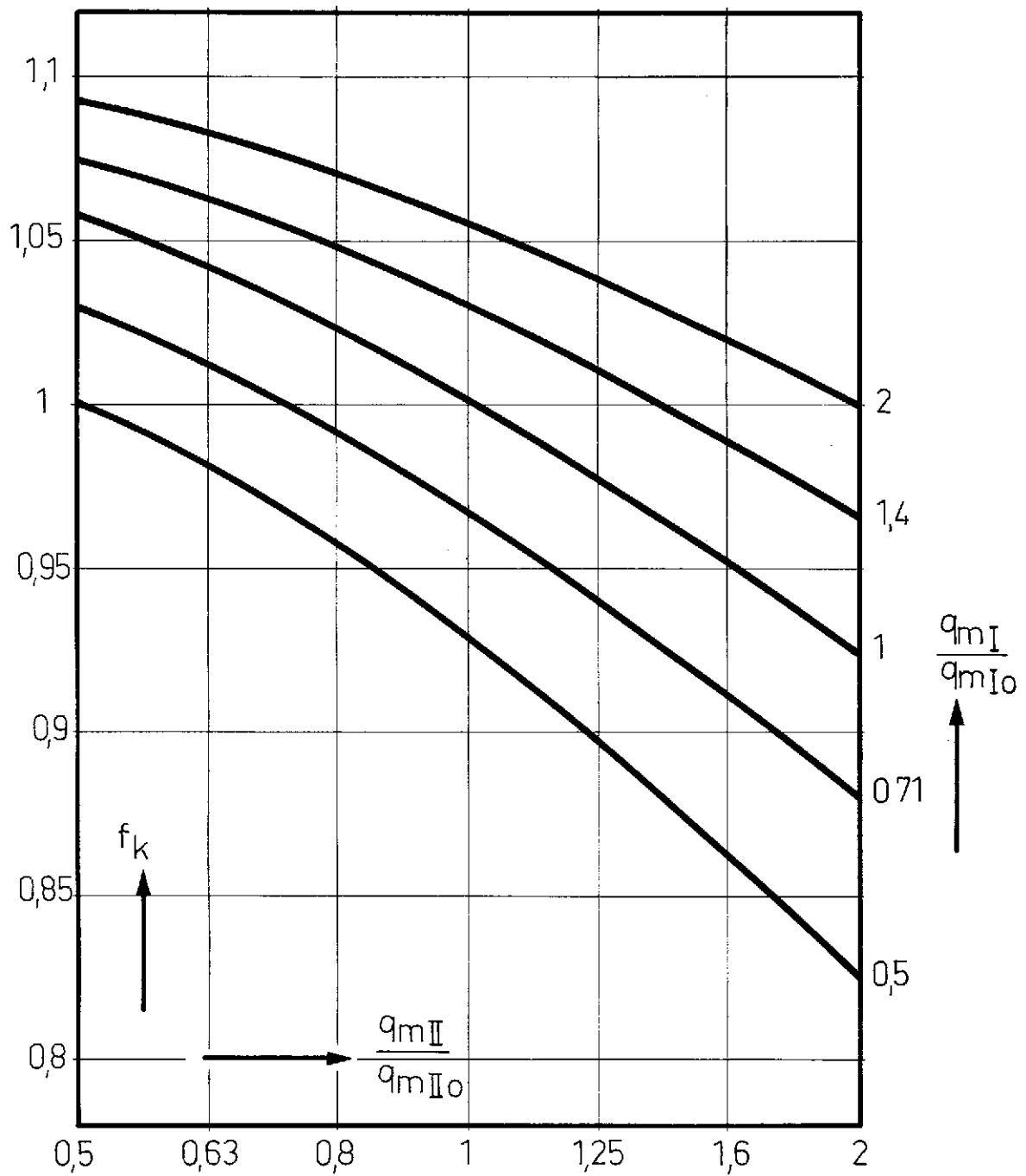
- 4 Wärmeübergangskoeffizient α_R , α_{II} und Wärmedurchgangskoeffizient k über Luftstrom $\rho_{II} w_{II}$, Wärmeübergangskoeffizient α_I für ein Kupfer-System, $f_{ai} = 10$
 Coefficients de transmission thermique de surface α_R , α_{II} et coefficient de transmission thermique globale k en fonction du débit d'air $\rho_{II} w_{II}$, coefficient de transmission thermique de surface α_I pour un système en cuivre, $f_{ai} = 10$
 Heat transfer coefficients α_R , α_{II} and overall heat transfer coefficient k plotted against air flow $\rho_{II} w_{II}$, heat transfer coefficient α_I for a copper system, $f_{ai} = 10$



- 5 Wärmeübergangskoeffizient α_R , α_{II} und Wärmedurchgangskoeffizient k über Luftstrom $\rho_{II} W_{II}$, Wärmeübergangskoeffizient α_I für ein Stahl-System, $f_{ai} = 10$
 Coefficients de transmission thermique de surface α_R , α_{II} et coefficient de transmission thermique globale k en fonction du débit d'air $\rho_{II} W_{II}$, coefficient de transmission thermique de surface α_I pour un système en acier, $f_{ai} = 10$
 Heat transfer coefficients α_R , α_{II} and overall heat transfer coefficient k plotted against air flow $\rho_{II} W_{II}$, heat transfer coefficient α_I for a steel system, $f_{ai} = 10$



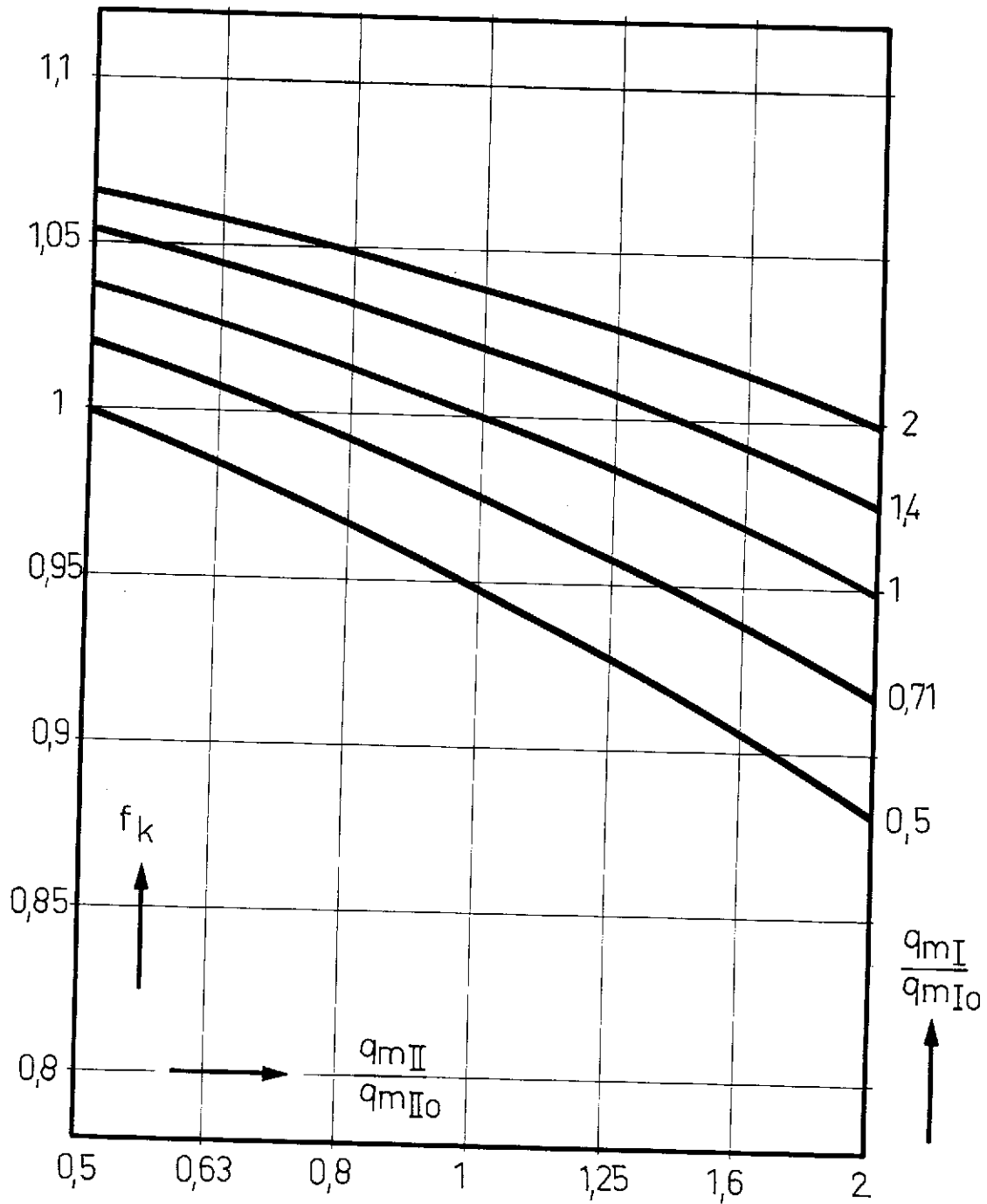
- 6 Wärmeübergangskoeffizient α_R , α_{II} und Wärmedurchgangskoeffizient k über Luftstrom $\rho_{II} w_{II}$, Wärmeübergangskoeffizient α_I für ein Edelstahl-System, $f_{ai} = 10$
 Coefficients de transmission thermique de surface α_R , α_{II} et coefficient de transmission thermique globale k en fonction du débit d'air $\rho_{II} w_{II}$, coefficient de transmission thermique de surface α_I pour un système en acier inoxydable, $f_{ai} = 10$
 Heat transfer coefficients α_R , α_{II} and overall heat transfer coefficient k plotted against air flow $\rho_{II} w_{II}$, heat transfer coefficient α_I for a stainless steel system, $f_{ai} = 10$



- 7 Wärmedurchgangsfaktor f_k über Luftstrom q_{mII}/q_{mIIo} und Wasserstrom q_{mI}/q_{mIo} für ein Kupfer-System
 Facteur de correction du coefficient de transmission thermique f_k en fonction du débit d'air q_{mII}/q_{mIIo} et du débit d'eau q_{mI}/q_{mIo} pour un système en cuivre
 Overall heat transfer factor f_k plotted against air flow q_{mII}/q_{mIIo} and water flow q_{mI}/q_{mIo} for a copper system

$$f_{ai} = 10 \frac{\alpha_{IIo}}{\alpha_{Io}} = 0,016$$

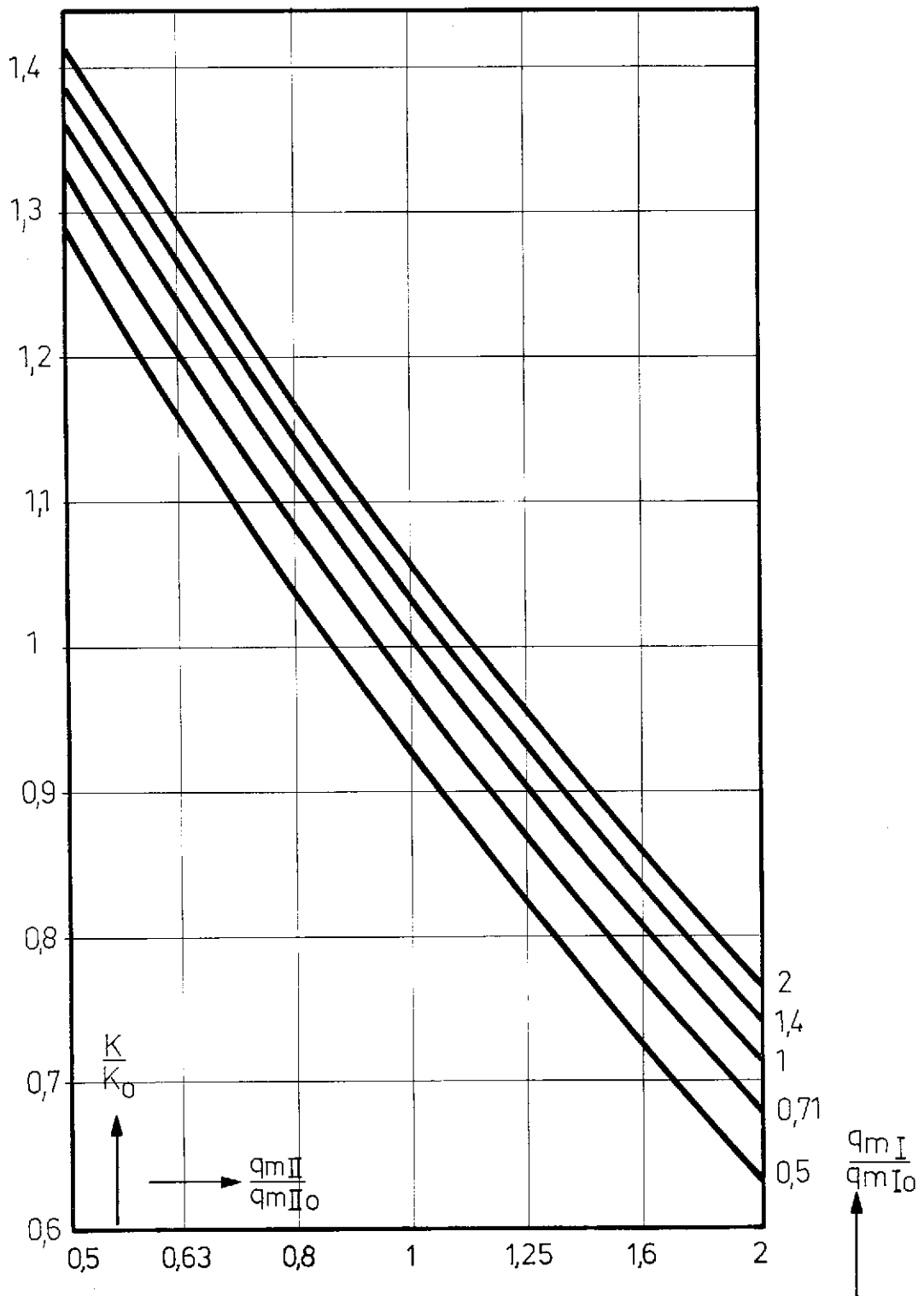
$$\frac{\alpha_{IIo} \cdot \delta_G}{\lambda_G} = 0,8 \cdot 10^{-3}$$



- 8 Wärmedurchgangsfaktor f_k über Luftstrom q_{mII}/q_{mIIo} und Wasserstrom q_{mI}/q_{mIo} für ein Stahl-System
 Facteur de correction du coefficient de transmission thermique f_k en fonction du débit d'air q_{mII}/q_{mIIo}
 et du débit d'eau q_{mI}/q_{mIo} pour un système en acier
 Overall heat transfer factor f_k plotted against air flow q_{mII}/q_{mIIo} and water flow q_{mI}/q_{mIo} for a steel
 system

$$f_{ai} = 10 \frac{a_{I0}}{a_{I0}} = 0,0112$$

$$\frac{a_{II0} \cdot \delta_G}{\lambda_G} = 3,55 \cdot 10^{-3}$$



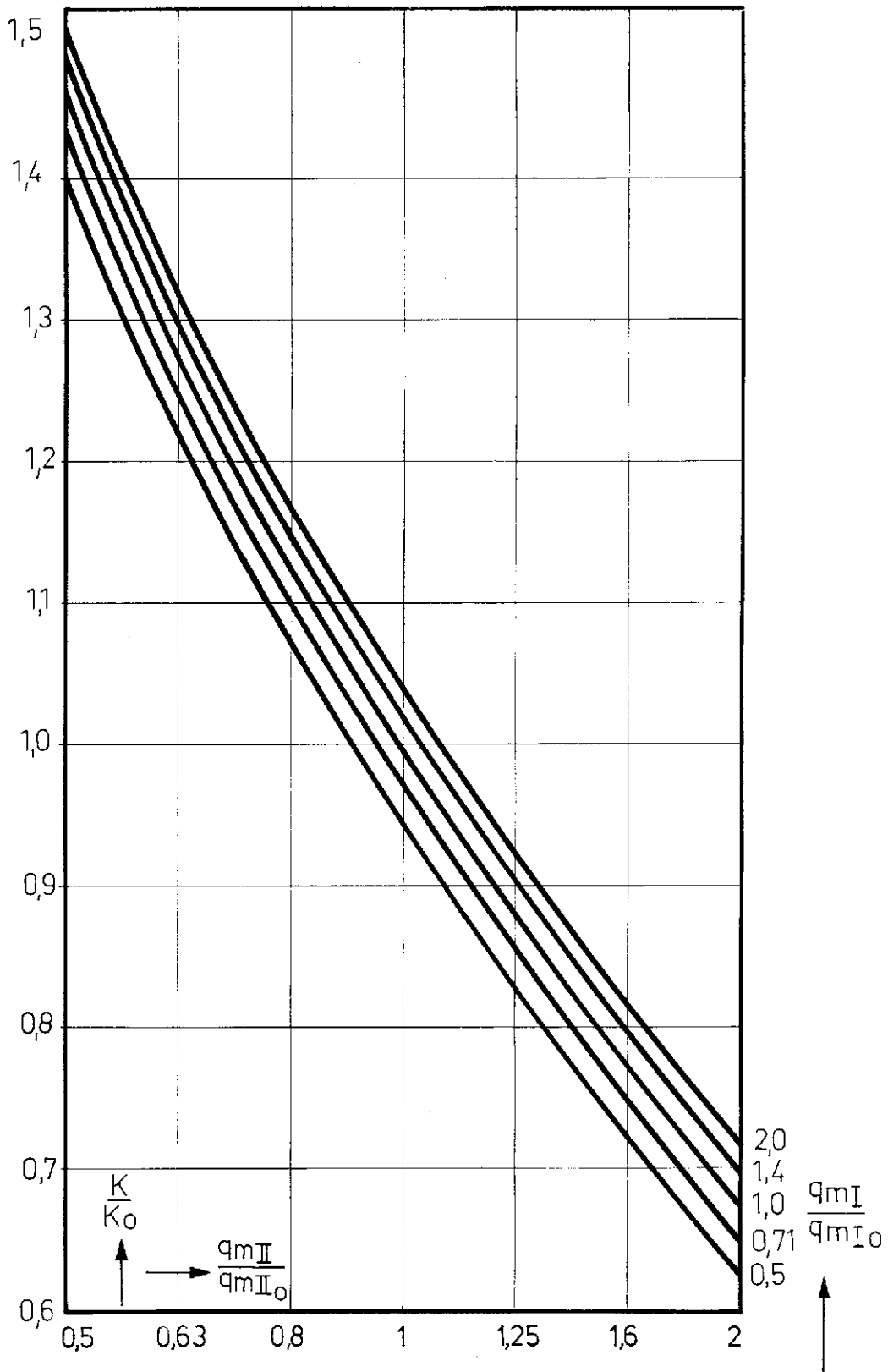
- 9 Leistungskennzahl K/K_0 über Luftstrom q_{mII}/q_{mIIo} und Wasserstrom q_{mI}/q_{mIo} für ein Kupfer-System
 Coefficient caractéristique de puissance K/K_0 en fonction du débit d'air q_{mII}/q_{mIIo} et du débit d'eau q_{mI}/q_{mIo} pour un système en cuivre
 Performance factor ratio K/K_0 plotted against air flow q_{mII}/q_{mIIo} and water flow q_{mI}/q_{mIo} for a copper system

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \right)^{-0,37} \cdot f_k$$

$$\frac{a_{IIo} \cdot \delta_G}{\lambda_G} = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{ai} = 10$$

$$\frac{a_{IIo}}{a_{Io}} = 0,016$$



10 Leistungskennzahl K/K_0 über Luftstrom q_{mII}/q_{mIIo} und Wasserstrom q_{mI}/q_{mIo} für ein Stahl-System

Coefficient caractéristique de puissance K/K_0 en fonction du débit d'air q_{mII}/q_{mIIo} et du débit d'eau q_{mI}/q_{mIo} pour un système en acier

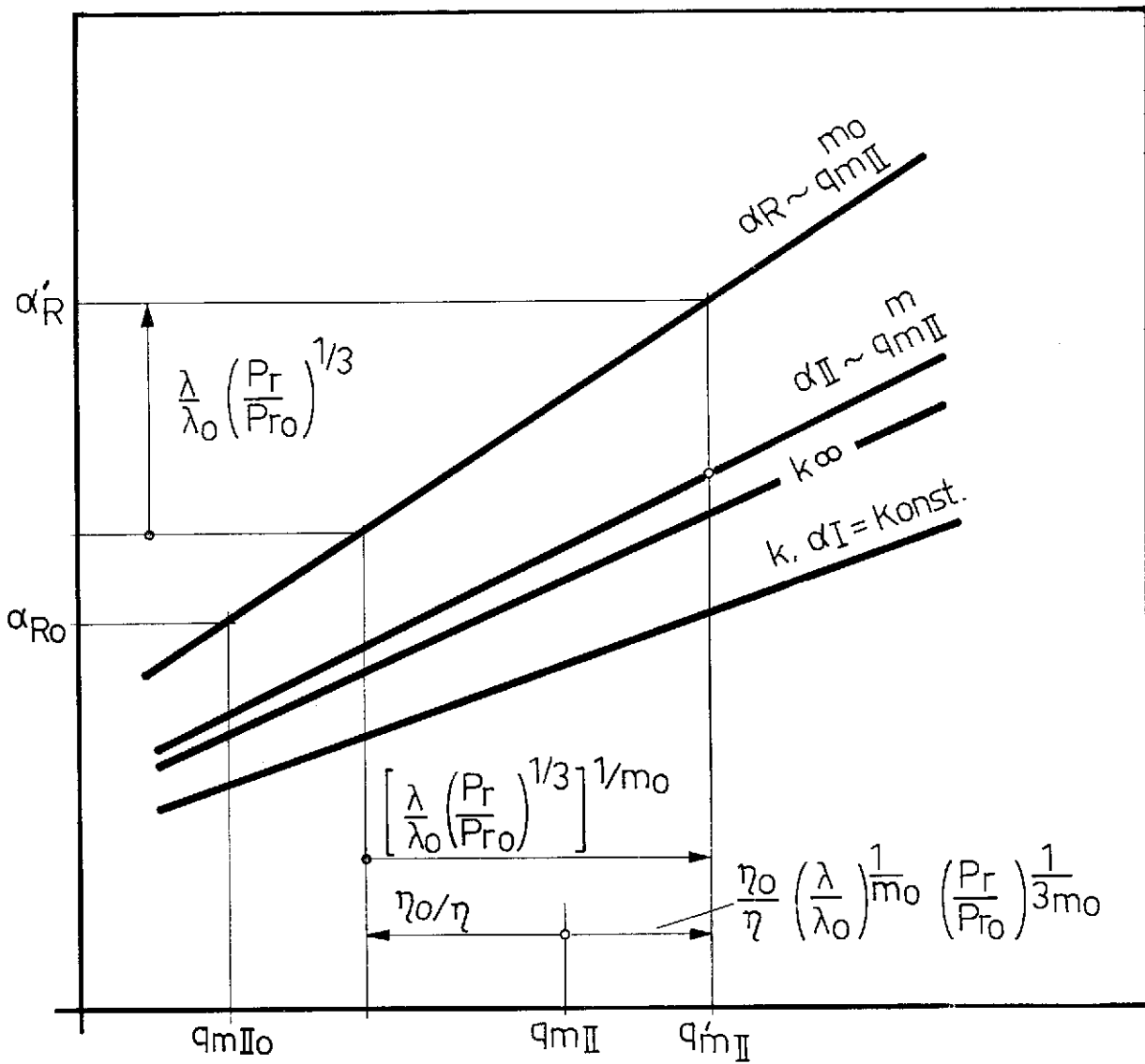
Performance factor ratio K/K_0 plotted against air flow q_{mII}/q_{mIIo} and water flow q_{mI}/q_{mIo} for a steel system

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{q_{mII}}{q_{mIIo}} \right)^{-0.5} \cdot f_k,$$

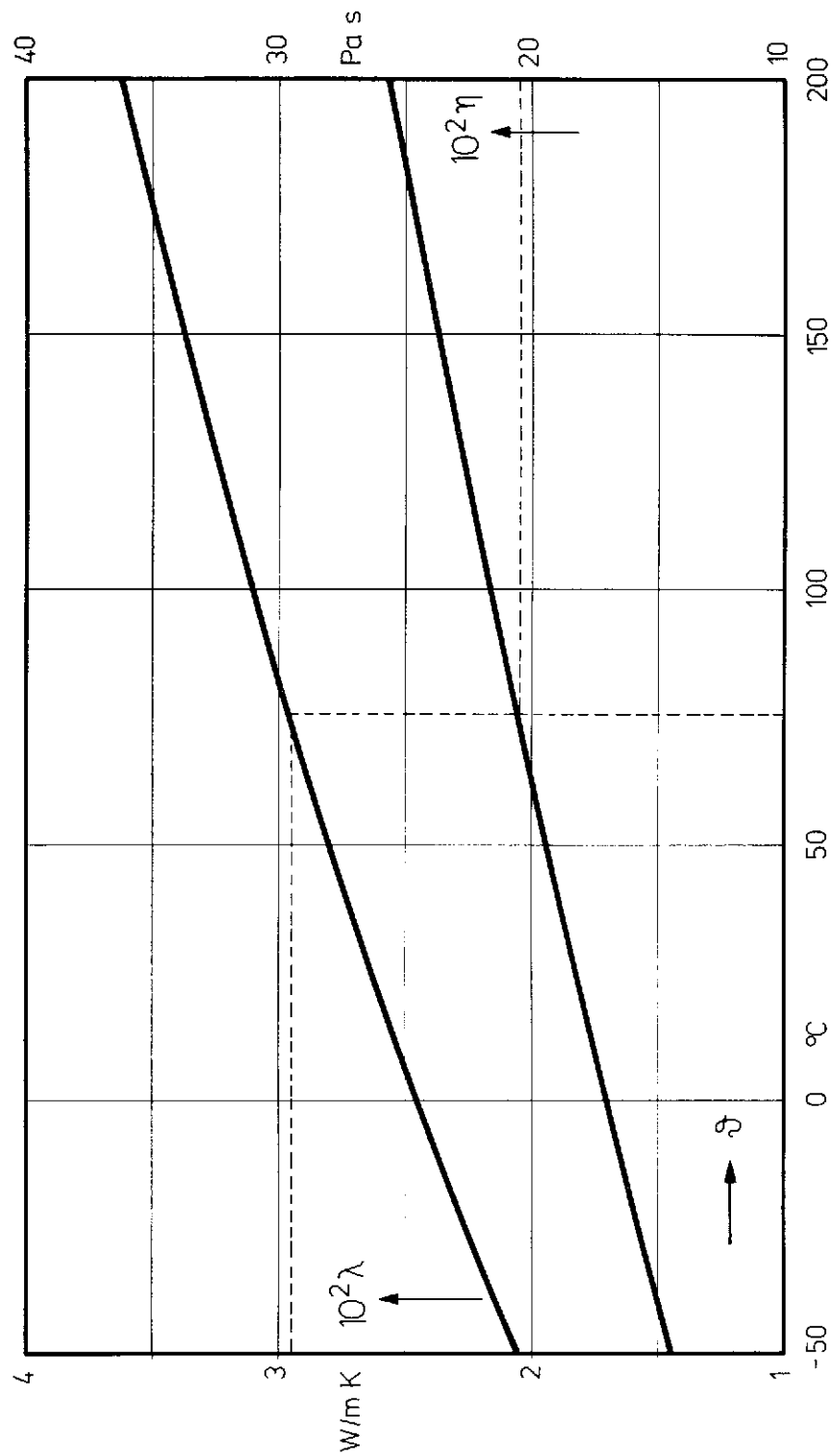
$$\frac{a_{IIo} \cdot \delta_G}{\lambda_G} = 3,55 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{ai} = 10$$

$$\frac{a_{IIo}}{a_{Io}} = 0,0112$$



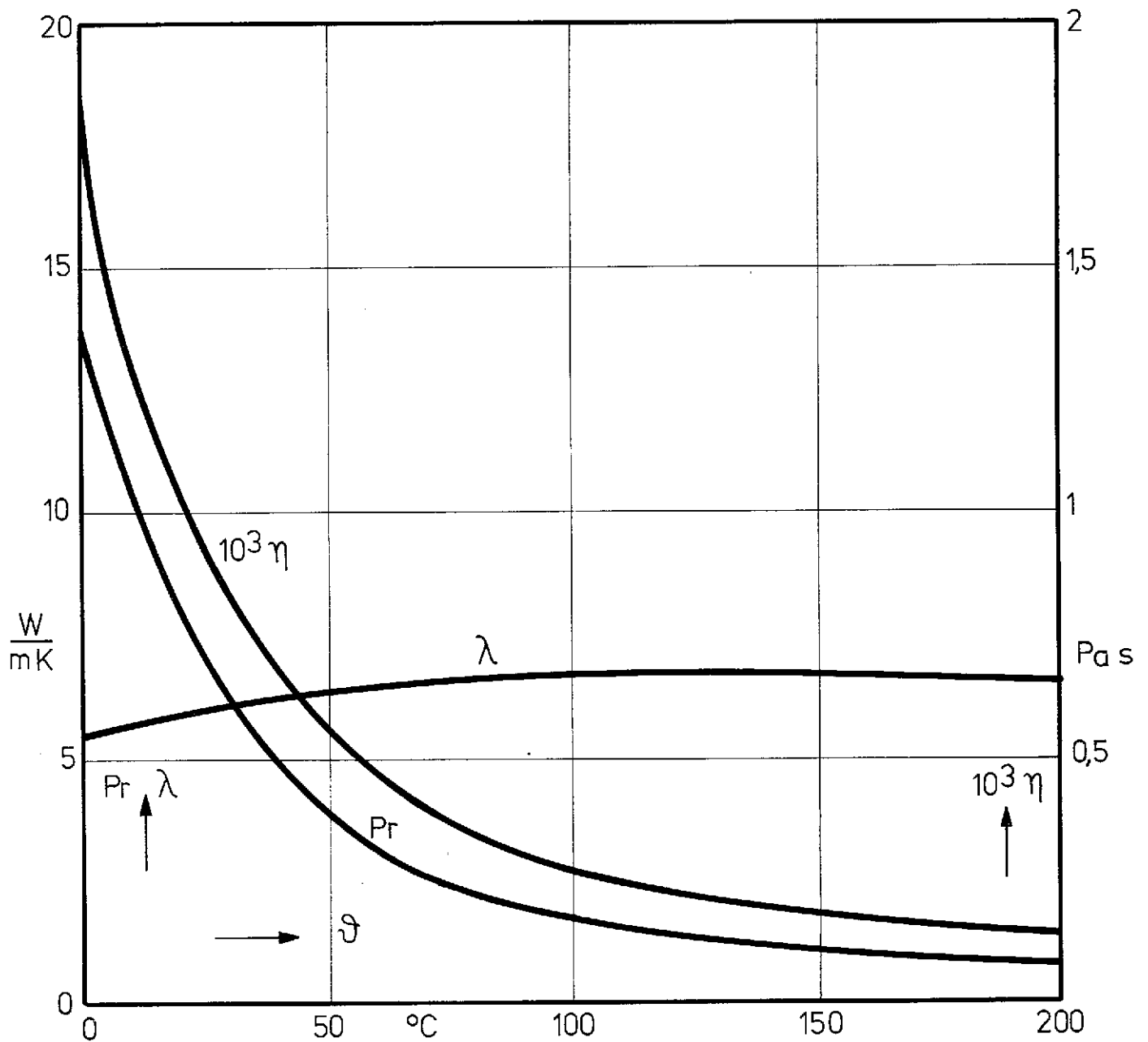
- 11 Zusammenhang zwischen dem scheinbar wirksamen Luftstrom q'_{mII} , dem gemessenen Strom q_{mII} und dem Strom der Auslegung q_{mIIo} wenn der Messwert für den Wärmeübergang von dem Auslegungswert abweicht
 Relation entre le débit d'air efficace q'_{mII} , le débit mesuré q_{mII} et le débit de dimensionnement q_{mIIo} , si la valeur de la transmission thermique de surface mesurée diffère de la valeur calculée
 Relationship between the apparently effective air flow q'_{mII} , the actually measured flow q_{mII} and the rated flow q_{mIIo} if the measured value of the heat transfer differs from the rated value



12 Wärmeleitkoeffizient λ und dynamische Zähigkeit η über Temperatur ϑ für Luft, $Pr \approx 0,71 \div 0,72$

Coefficient de conduction thermique λ et viscosité dynamique η en fonction de la température ϑ pour air, $Pr \approx 0,71 \div 0,72$

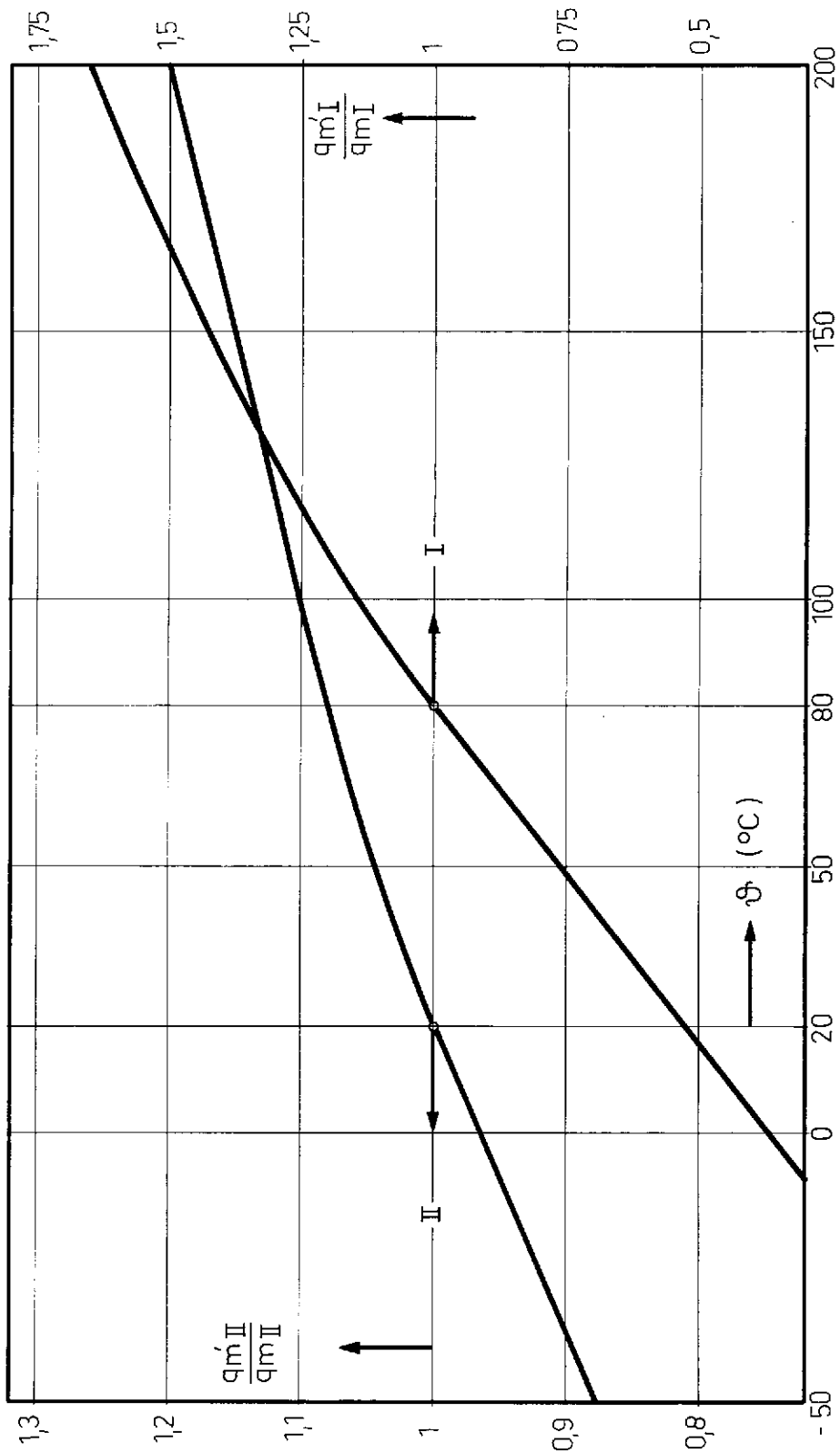
Thermal conductivity coefficient λ and the dynamic viscosity η plotted against temperature ϑ for air, $Pr \approx 0,71 \div 0,72$



13 Dynamische Zähigkeit η , Wärmeleitkoeffizient λ und Prandtl-Zahl Pr über Temperatur ϑ für Wasser

Viscosité dynamique η , coefficient de conduction thermique λ et nombre de Prandtl Pr en fonction de la température ϑ pour eau

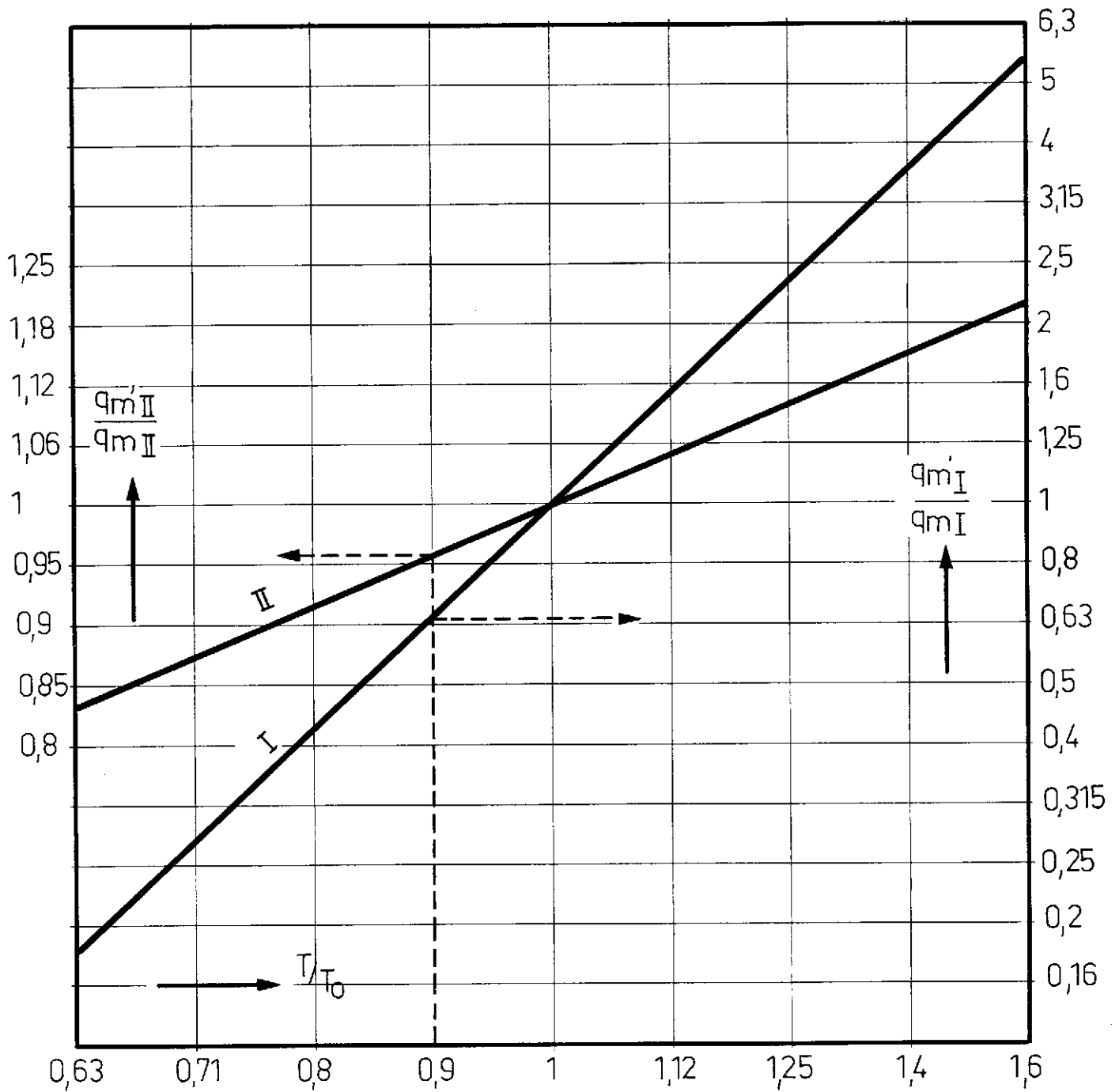
Dynamic viscosity η , thermal conductivity coefficient λ and the Prandtl number Pr plotted against temperature ϑ , for water



- 14 Luftstromverhältnis q'_{mII}/q_{mII} und Wasserstromverhältnis q'_{mI}/q_{mI} über Temperatur ϑ
 Rapport du débit d'air q'_{mII}/q_{mII} et rapport du débit d'eau q'_{mI}/q_{mI} en fonction de la température ϑ
 Air flow ratio q'_{mII}/q_{mII} and water flow ratio q'_{mI}/q_{mI} plotted against temperature ϑ

I Wasser, eau, water

II Luft, air

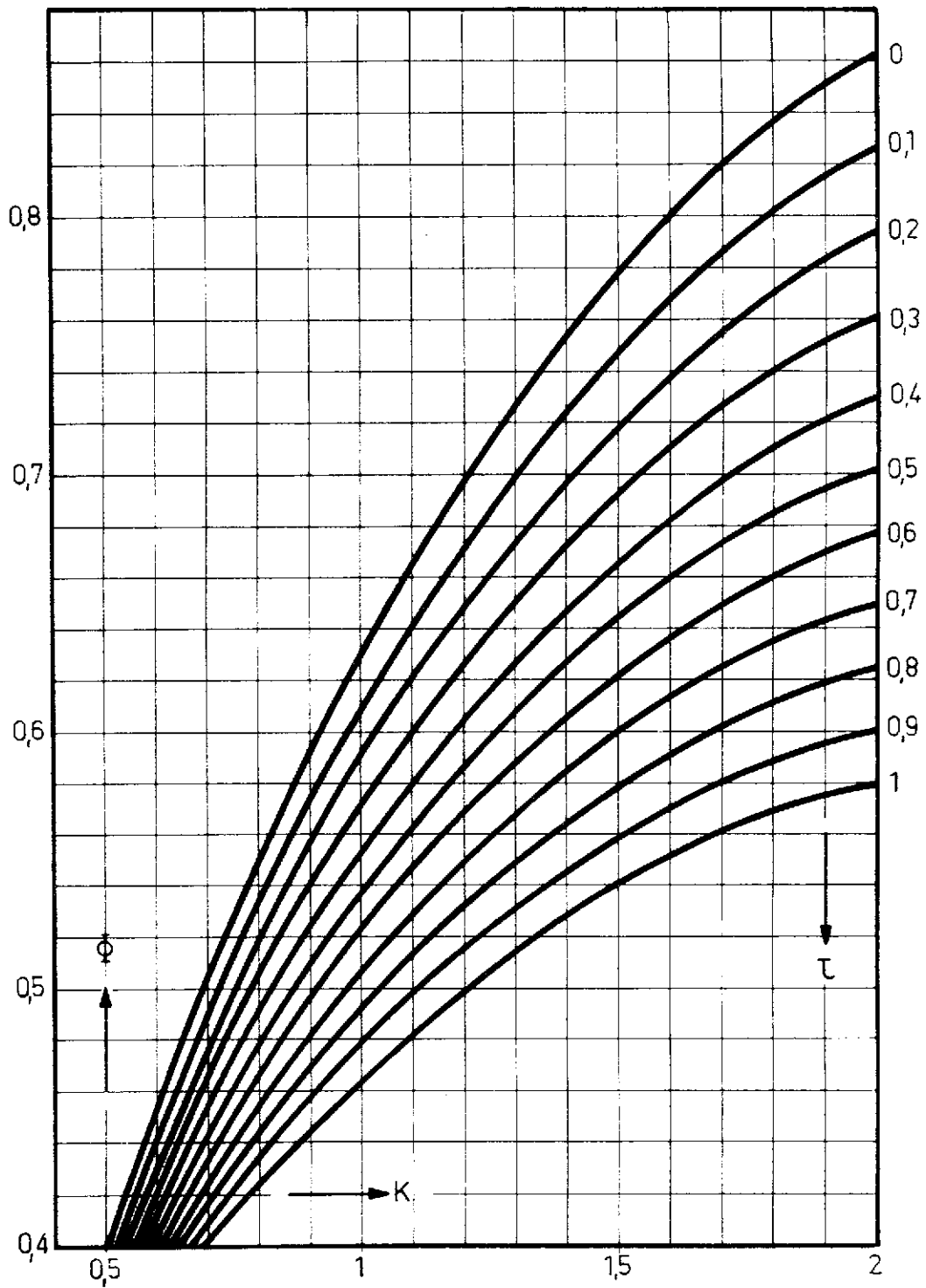


15 Luftstromverhältnis q'_{mII}/q_{mII} und Wasserstromverhältnis q'_{mI}/q_{mI} über Temperatur T/T_0

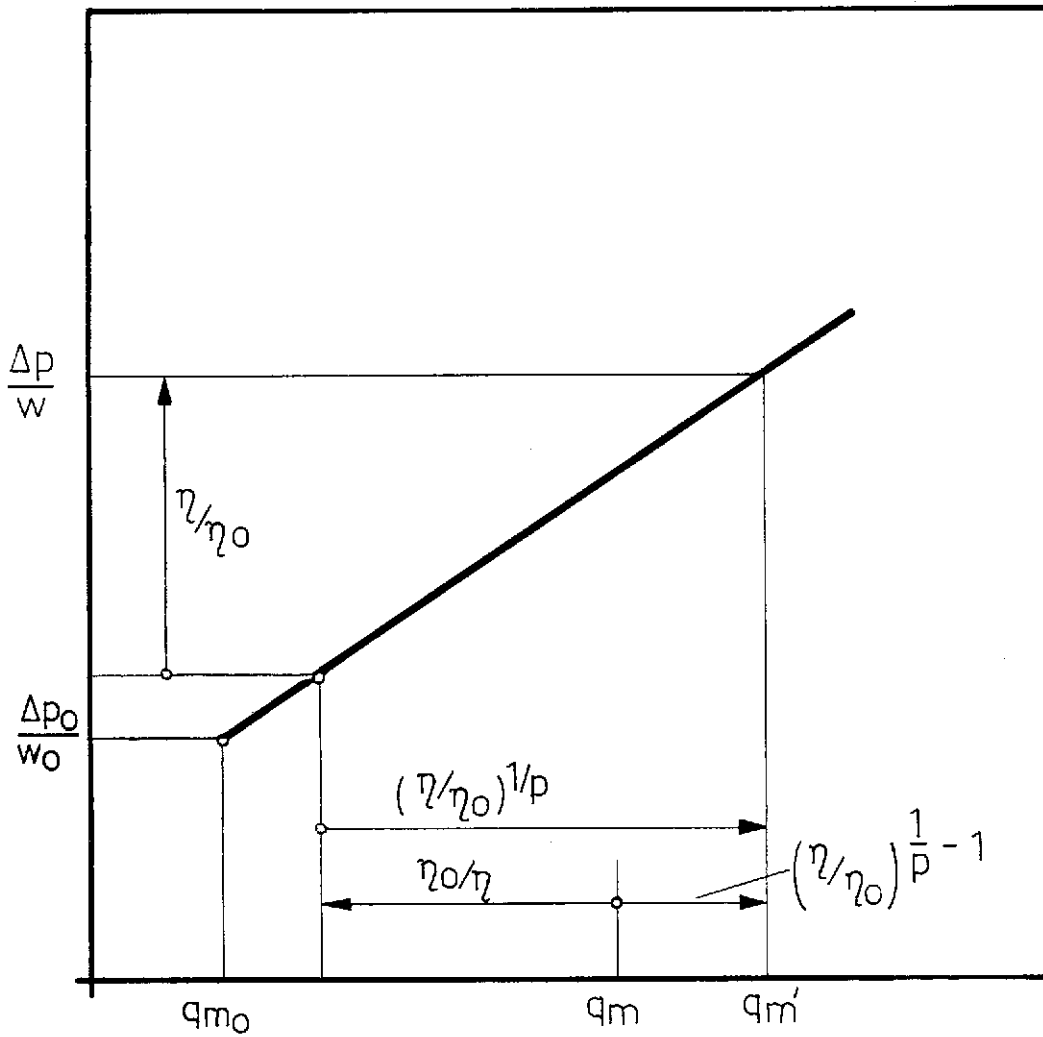
Rapport du débit d'air q'_{mII}/q_{mII} et rapport du débit d'eau q'_{mI}/q_{mI} en fonction de la température T/T_0

Air flow ratio q'_{mII}/q_{mII} and water flow ratio q'_{mI}/q_{mI} plotted against temperature T/T_0

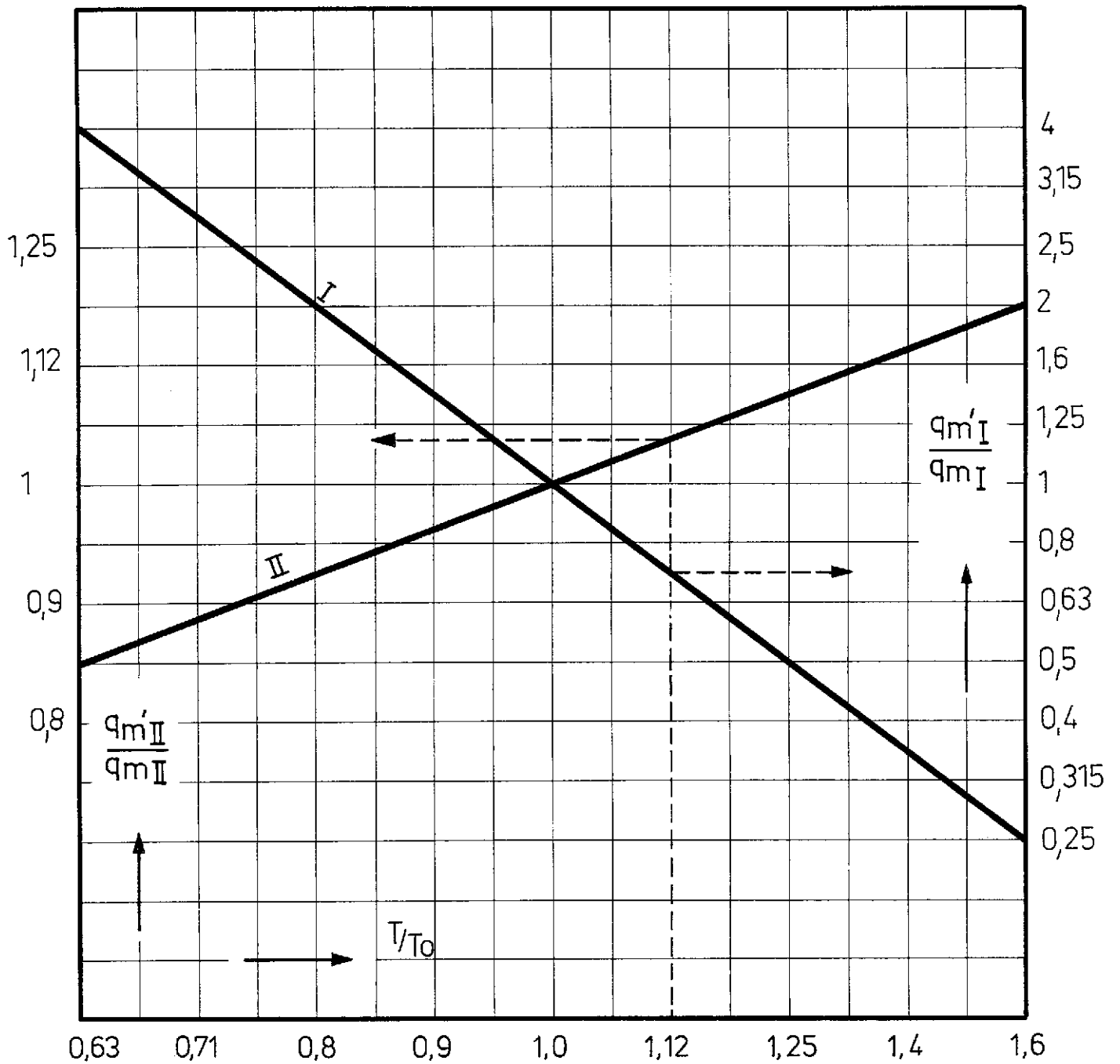
I	Wasser: eau: water:	$\frac{q'_{mI}}{q_{mI}} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-3,65} ; n = 2/3$	II	Luft: air:	$\frac{q'_{mII}}{q_{mII}} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-0,42} ; m_0 = 2/3$
---	---------------------------	---	----	---------------	---



- 16 Temperaturänderungszahl ϕ über Wärmeaustauscher-Kennzahl K und Wärmekapazitätenverhältnis τ für einseitig gerührten Kreuzstrom (Siehe Seite 16)
 Efficacité thermique ϕ en fonction du coefficient caractéristique de l'échangeur K et le rapport des intensités thermiques τ pour écoulement croisé brassé sur un côté (voir page 16)
 Thermal efficiency ϕ plotted against heat exchanger performance factor K and heat flow rate ratio τ for unilaterally agitated cross-flow (see page 16)



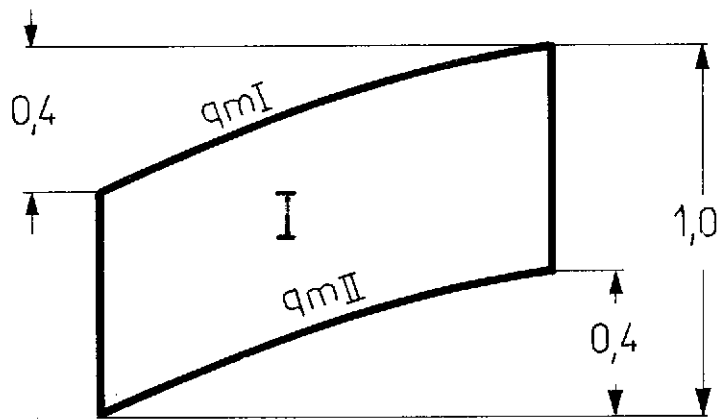
- 17 Zusammenhang zwischen dem scheinbar wirksamen Strom q'_m und dem gemessenen Strom q_m , wenn der Messwert gleich dem Auslegungswert ist
 Relation entre le débit efficace q'_m et le débit mesuré q_m si la valeur mesurée est égale à la valeur calculée
 Relationship between the apparently effective flow q'_m and the actually measured flow q_m if the measured value is equal to the rated value



18 Luftstromverhältnis q'_{mII}/q_{mII} und Wasserstromverhältnis q'_{mI}/q_{mI} über Temperatur T/T_0 für den Druckverlust

Rapport du débit d'air q'_{mII}/q_{mII} et rapport du débit d'eau q'_{mI}/q_{mI} en fonction de la température T/T_0 pour la perte de charge

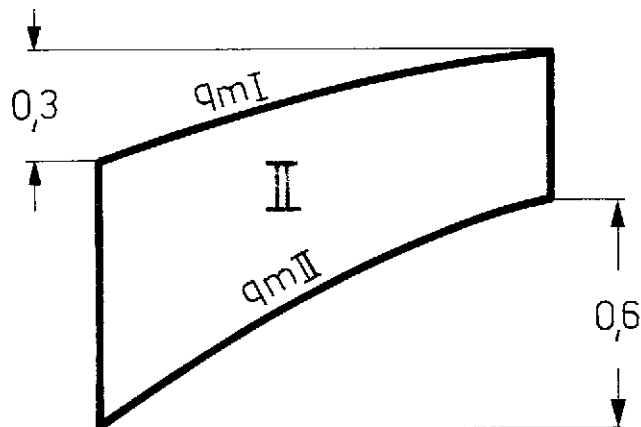
Air flow ratio q'_{mII}/q_{mII} and water flow ratio q'_{mI}/q_{mI} plotted against temperature T/T_0 for the pressure drop



$$\Phi_{II_0} = 0,4$$

$$\tau_0 = 1,0$$

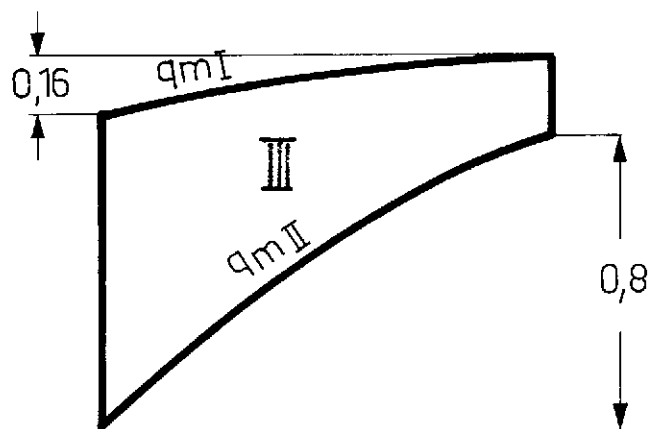
$$K_0 = 0,75$$



$$\Phi_{II_0} = 0,6$$

$$\tau_0 = 0,5$$

$$K_0 = 1,25$$

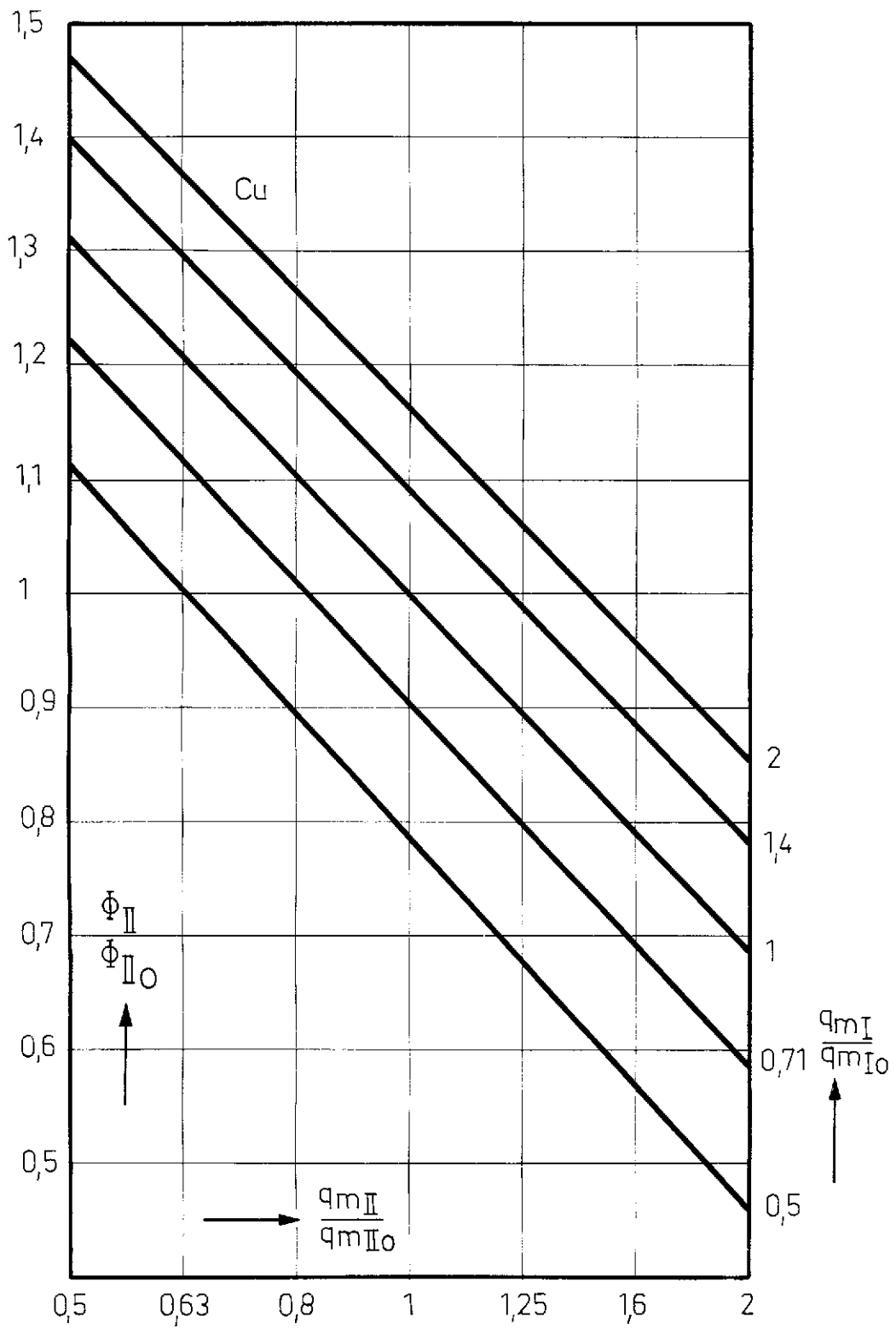


$$\Phi_{II_0} = 0,8$$

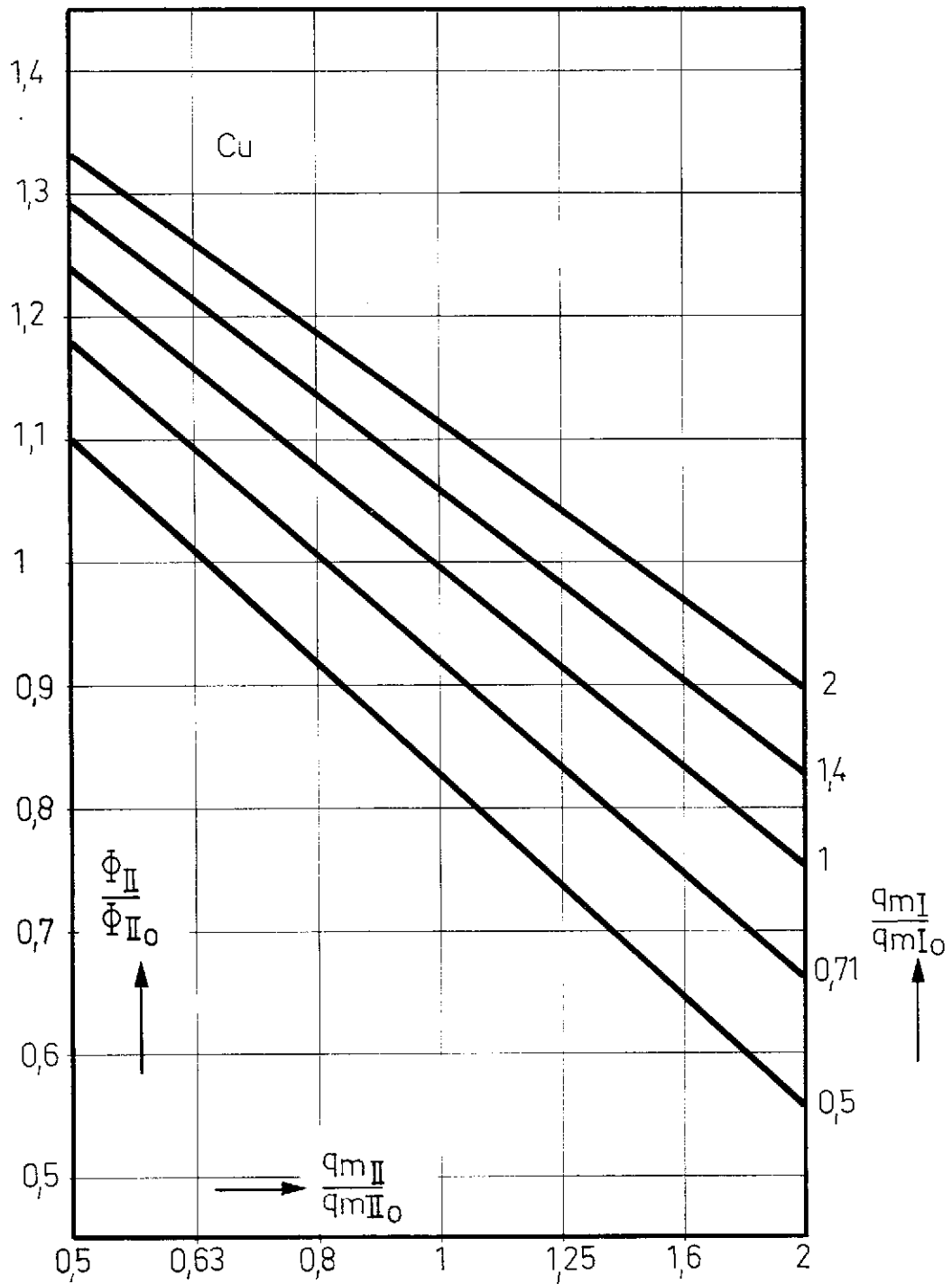
$$\tau_0 = 0,2$$

$$K_0 = 2,0$$

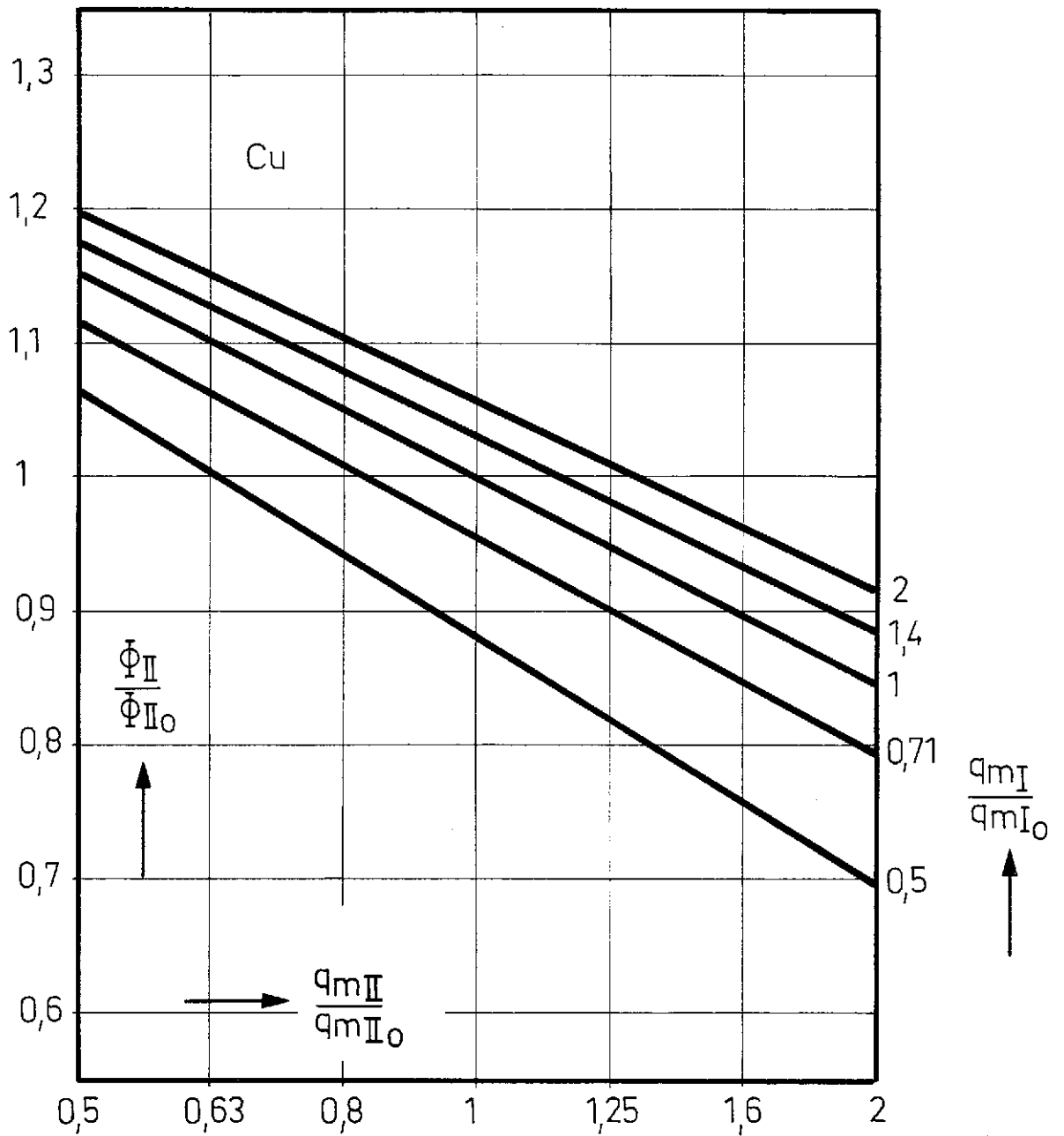
- 19 Auslegungs-Temperatur-Diagramme
 Températures résultant des diagrammes de dimensionnement
 Temperature rating diagrams



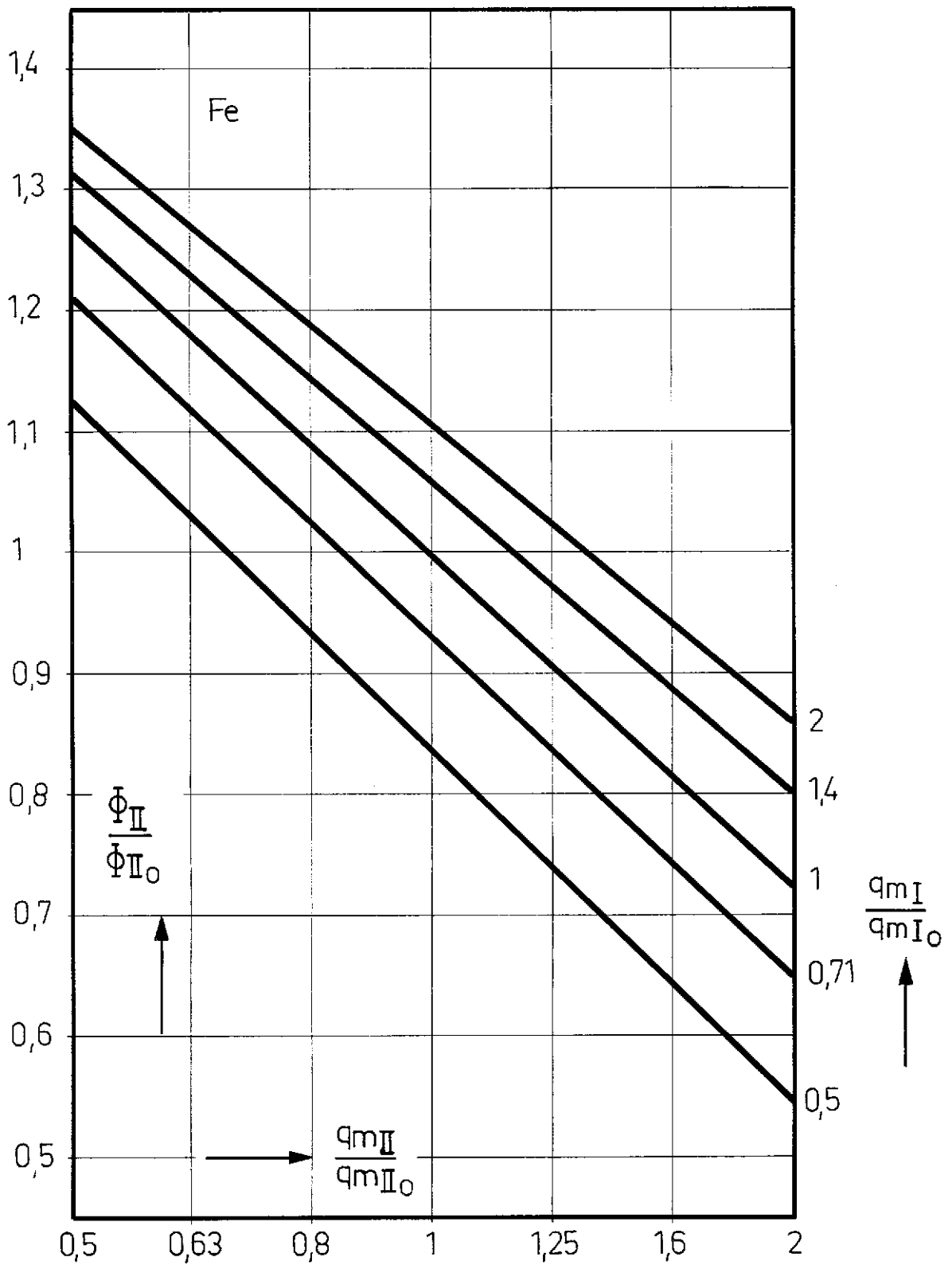
20 Garantie-Diagramm für ein Kupfer-System I (Bild 19)
 Diagramme de garantie pour un système en cuivre I (figure 19)
 Guarantee diagram for a copper system I (Figure 19)



21 Garantie-Diagramm für ein Kupfer-System II (Bild 19)
 Diagramme de garantie pour un système en cuivre II (figure 19)
 Guarantee diagram for a copper system II (Figure 19)



22 Garantie-Diagramm für ein Kupfer-System III (Bild 19)
 Diagramme de garantie pour un système en cuivre III (figure 19)
 Guarantee diagram for a copper system III (Figure 19)



23 Garantie-Diagramm für ein Stahl-System II (Bild 19)
 Diagramme de garantie pour un système en acier II (figure 19)
 Guarantee diagram for a steel system II (Figure 19)

7. LITERATUR – BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAPHY

- [1] VDI-Wärmeatlas, Düsseldorf 1963, Abschnitt GB.
- [2] VDI-Wärmeatlas, Düsseldorf 1964, Abschnitt Mb.
- [3] Bosnjacović, F.,
Villicić, M.,
Slipcević, B. Einheitliche Berechnung von Rekuperatoren
VDI-Forschungsheft 432
- [4] Gröber,
Erk,
Grigull Die Grundlagen der Wärmeübertragung
Dritte Auflage, Seite 346, Springer-Verlag 1963
- [5] Trefny, F. Wärmeaustausch bei beliebiger Stromart
Chemie-Ing.-Techn. 37 (1965) 2, 122/127,
5, 501/508 und 8, 835/842
- [6] Bosnjacović, F. Quersinnig gekoppelte Wärmeaustauscher
Chemie-Ing.-Techn. 25 (1953) 11, 651/664
- [7] VDI-Wärmeatlas, Düsseldorf 1963, Abschnitt L
- [8] Bayer, C. und Koch-Emmery, W. Das stationäre Betriebsverhalten von wasserbeheizten
Lufterhitzern bei verschiedenen Lastzuständen
Gesundheits-Ingenieur 90 (1969) 3, 87/93
- [9] Bayer, C. Das Beharrungsverhalten von Wärmeaustauschern bei
veränderten Betriebsbedingungen
GEA-Forschungsband 1970
- [10] Bayer, C. Ein Diagramm zur Umrechnung von Leistungsdaten
von Wärmeaustauschern auf veränderte Betriebsbedingungen
Gesundheits-Ingenieur 93 (1972) Heft 7, 193/224
- [11] Kern, Donald Q. Process heat transfer
McGraw-Hill, London-New York 1950

VERZEICHNIS DER ERSCHIENENEN DOKUMENTE VON EUROVENT

LISTE DES DOCUMENTS PUBLIES PAR EUROVENT

LIST OF DOCUMENTS PUBLISHED BY EUROVENT

- EUROVENT 0/1** SYMBOLES ET UNITES DES GRANDEURS PHYSIQUES EN AERAUQUE ET THERMIQUE
SYMBOLS AND UNITS OF PHYSICAL QUANTITIES IN THE FIELD OF AIR HANDLING AND HEATING TECHNIQUES
SYMBOLE UND EINHEITEN PHYSIKALISCHER GRÖSSEN DER LUFT- UND WÄRMETECHNIK
- EUROVENT 1/1** FAN TERMINOLOGY
TERMINOLOGIE DES VENTILATEURS
TERMINOLOGIE DER VENTILATOREN
TERMINOLOGIA DEI VENTILATORI
- EUROVENT 1/2** CIRCULAR FLANGE DIMENSIONS FOR FANS
DIMENSIONS DES BRIDES CIRCULAIRES DES VENTILATEURS
ABMESSUNGEN DER RUNDEN FLANSCHEN VON VENTILATOREN
DIMENSIONI DELLE FLANGE CIRCOLARI DEI VENTILATORI
- EUROVENT 2/1** TERMINOLOGIE DER LUFTVERTEILUNG UND LUFTDIFFUSION
VOCABULARY RELATIVE TO AIR DISTRIBUTION AND AIR DIFFUSION
VOCABULAIRE RELATIF A LA DISTRIBUTION ET A LA DIFFUSION DE L'AIR
- EUROVENT 2/2** AIR LEAKAGE RATE IN SHEET METAL AIR DISTRIBUTION SYSTEMS
LUFTLECKVERLUST IN LUFTVERTEILUNGSSYSTEMEN AUS BLECH
DEGRE D'ETANCHEITE A L'AIR DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'AIR EN TOLE
- EUROVENT 2/3** SHEET METAL AIR DUCTS — STANDARD FOR DIMENSIONS
CONDUITS AERAUQUES EN TOLE — DIMENSIONS NORMALISEES
LUFTKANÄLE AUS BLECH — NORM FÜR ABMESSUNGEN
- EUROVENT 3/1** ABNAHMEVERSUCHE AN TROCKNERN
DRYER ACCEPTANCE TESTS
ESSAIS DE RECEPTION SUR SECHOIRS
- EUROVENT 4/1** REGLES D'ESSAI RELATIVES AUX DEPOUSSIEREURS
PRÜFREGELN FÜR ENTSTAUBER
TEST CODE FOR DUST COLLECTORS
- EUROVENT 4/2** CONDITIONS TECHNIQUES DE VENTE ET DE GARANTIE POUR LES DEPOUSSIEREURS INDUSTRIELS ET LES INSTALLATIONS DE DEPOUSSIERAGE
TECHNICAL CONDITIONS GOVERNING THE SALE AND GUARANTEE OF INDUSTRIAL DUST COLLECTORS AND INSTALLATIONS FOR DUST COLLECTION
TECHNISCHE VERKAUFSBEDINGUNGEN UND GARANTIELEISTUNGEN FÜR INDUSTRIELLE ENTSTAUBER UND ENTSTAUBUNGSANLAGEN
- EUROVENT 4/3** REGLES D'ESSAIS RELATIVES AUX DEPOUSSIEREURS — PRELEVEMENTS DE POUSSIERE DANS UNE VEINE GAZEUSE — PROCÉDES ET MESURES
TEST CODE FOR DUST COLLECTORS — SAMPLING OF DUST IN A GASEOUS FLOW — METHODS AND MEASUREMENTS
PRÜFREGELN FÜR ENTSTAUBER — STAUBENTNAHME IN EINEM GASSTROM — VERFAHREN UND MESSUNGEN
- EUROVENT 4/4** SODIUM CHLORIDE AEROSOL TEST FOR FILTERS USING FLAME PHOTOMETRIC TECHNIQUE
METHODE D'ESSAI DES FILTRES A L'AEROSOL DE CHLORURE DE SODIUM PAR PHOTOMETRIE DE FLAMME
FLAMMENPHOTOMETRISCHE PRÜFUNG VON FILTERN MIT EINEM NATRIUMCHLORID-AEROSOL
- EUROVENT 5/1** HEISSLUFTGENERATOREN
GENERATEURS-PULSEURS D'AIR CHAUD
FANNED WARM AIR GENERATORS
- EUROVENT 5/2** LUFTHEIZER
RECHAUFFEURS-PULSEURS D'AIR
FANNED AIR HEATERS
- EUROVENT 5/3** TECHNIQUE DE MESURES AERAUQUES POUR ESSAIS EN PLATE FORME DES GENERATEURS-PULSEURS D'AIR CHAUD POUR CONDUITS
TECHNIK DER LUFTTECHNISCHEN MESSUNGEN FÜR PRÜFSTANDSVERSUCHE AN WARMLUFTERZEUGERN FÜR LEITUNGSANSCHLUSS
TECHNIQUE OF AERAUIC MEASUREMENTS FOR LABORATORY TESTS OF FANNED WARM AIR GENERATORS FOR DUCTS

- EUROVENT 5/4** TECHNIQUE DES MESURES AERAUQUES POUR ESSAIS EN PLATE FORME
DES GENERATEURS PULSEURS D'AIR CHAUD POUR CONDUITS –
METHODE PAR EXPLORATION
TECHNIK DER LUFTTECHNISCHEN MESSUNGEN FÜR PRÜFSTANDSVERSUCHE
AN WARMLUFTERZEUGERN FÜR LEITUNGSANSCHLUSS – NETZMESSUNGSMETHODE
TECHNIQUE OF AERAUIC MEASUREMENTS FOR LABORATORY TESTS
OF FANNED WARM AIR GENERATORS FOR DUCTS – EXPLORATORY METHOD
- EUROVENT 5/5** TECHNIQUE DES MESURES POUR LA DETERMINATION INDIRECTE DE LA PUISSANCE
ET DU RENDEMENT CALORIFIQUES UTILES DES GENERATEURS PULSEURS
D'AIR CHAUD
MEASURING TECHNIQUE FOR INDIRECT DETERMINATION OF THE USEFUL HEAT
OUTPUT AND THE EFFICIENCY OF FANNED WARM AIR GENERATORS
MESSTECHNIK FÜR DIE INDIRECTE BESTIMMUNG DER WÄRMENUTZLEISTUNG UND DES
WÄRMEWIRKUNGSGRADES VON HEISSLUFTGENERATOREN
- EUROVENT 6/1** VENTILATOR-KONVEKTOREN
FAN COIL UNITS
VENTILO-CONVECTEURS
- EUROVENT 6/2** INDUKTIONSGERÄTE
EJECTO-CONVECTEURS
INDUCTION-UNITS
- EUROVENT 6/3** METHODE D'ESSAIS THERMIQUES DES VENTILO-CONVECTEURS
THERMAL TEST METHOD FOR FAN COIL UNITS
THERMISCHES PRÜFVERFAHREN AN VENTILATOR-KONVEKTOREN
- EUROVENT 6/4** METHODE D'ESSAIS THERMIQUES DES EJECTO-CONVECTEURS
THERMAL TEST METHOD FOR INDUCTION UNITS
THERMISCHES PRÜFVERFAHREN AN INDUKTIONSGERÄTEN
- EUROVENT 7/1** LUFTERHITZER UND LUFTKÜHLER FÜR ERZWUNGENE STRÖMUNG –
ALLGEMEINE RICHTLINIEN
RECHAUFFEURS D'AIR ET REFROIDISSEURS D'AIR A ECOULEMENT FORCE –
DIRECTIVE GENERALE
FORCED FLOW AIR HEATERS AND AIR COOLERS –
GENERAL RECOMMENDATION
- EUROVENT 7/2** LUFTERHITZER UND LUFTKÜHLER FÜR ERZWUNGENE STRÖMUNG –
NACHWEIS DER GARANTIELEISTUNG
RECHAUFFEURS D'AIR ET REFROIDISSEURS D'AIR A ECOULEMENT FORCE –
VERIFICATION DES CARACTERISTIQUES GARANTIES
FORCED FLOW AIR HEATERS AND AIR COOLERS –
VERIFICATION OF PERFORMANCE REQUIREMENTS
- EUROVENT 7/3** LEISTUNGSVERSUCHE AN WÄRMEAUSTAUSCHERN OHNE ENTFEUCHTUNG DER LUFT
DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DES ECHANGEURS THERMIQUES SANS
DESHUMIDIFICATION
PERFORMANCE TESTS OF HEAT EXCHANGERS WITHOUT DEHUMIDIFICATION OF
THE AIR