16 | Juli 1955

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

G. Hughes, K. Wieghardt

Über den Reibungswiderstand von Platten

Technische Universität Hamburg-Harburg

Über den Reibungswiderstand von Platten

G. Hughes, K .Wieghardt , Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1955

Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

http://www.tuhh.de/vss

Über den Reibungswiderstand von Platten

Diskussion zwischen Dr. G. Hughes, National Physical Laboratory
und Dr. K. Wieghardt, Institut für Schiffbau

Sonderdruck aus der Fachzeitschrift „Schiff und Hafen"
Jahrgang 7 · Heft 7 · Juli 1955
Druck und Verlag: C. D. C. Heydorns Buchdruckerei, Uetersen bei Hamburg

Über den Reibungswiderstand von Platten *)

Diskussion zwischen Dr. G. Hughes, National Physical Laboratory, und Dr. K. Wieghardt, Institut für Schiffbau

Einige Bemerkungen zu den neuen Schlußfolgerungen des Herrn Dr. Wieghardt (Lit. 1) aus meinen Versuchsergebnissen.

Von G. Hughes.

(Einsendung des National Physical Laboratory)

Bei meinem Vortrag von 1954 (Literaturverzeichnis 4) kam ich zu dem Ergebnis, daß die von mir vorgeschlagene Formel für den Reibungswiderstand von Platten als brauchbar anzusehen ist, da sie alle neuen Versuchsergebnisse mit beträchtlicher Genauigkeit erfaßt. Am Ende meines Schlußwortes zu der Diskussion wies ich darauf hin, daß anscheinend die Neigung bestünde, die Grundlinien für die zweidimensionale Strömung (Widerstandsbeiwerte bei unendlich breiter Platte, also bei verschwindendem Kanteneffekt) allzu genau zu definieren, daß man aber, wenn man einen anderen Grenzwert annimmt, auch zu einem anderen Gesetz für die damit verknüpfte Abhängigkeit von l/b (l = Länge der Platte, b = Breite der Platte) kommen würde, das wahrscheinlich von der Reynolds'schen Zahl abhängig würde.

Herr Dr. Wieghardt hat eine neue Grundlinie und eine neue l/b-Abhängigkeit abgeleitet. Grundsätzlich habe ich dagegen nichts einzuwenden, vorausgesetzt, daß der neue Vorschlag genügend genaue Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen liefert. Die Nachprüfung der Vorschläge von Dr. Wieghardt zeigt indessen, daß an vielen Stellen beträchtliche Abweichungen entstehen.

Mein wichtigster Einwand gegen die neue Deutung des Herrn Dr. Wieghardt begründet sich auf die Art, wie er das Gebiet der Re-Zahlen zwischen 10^6 und 5×10^6 behandelt. Die Festlegung der Grundlinie in diesem Bereich hängt fast völlig von der Extrapolation der Ergebnisse an 42″ und 57″ langen, getauchten Platten ab. Diese Versuchsergebnisse sind als sehr zuverlässig anzusehen, wie aus Abbildung 7 der Lit. 4 klar hervorgeht, und es müssen daher diese Ergebnisse bei einer Extrapolation auf $l/b = 0$ besonders berücksichtigt werden. Fernerhin muß der Verlauf nach $l/b = 0$ hin in erster Linie von den bei kleinen l/b-Werten — etwa unterhalb 10 — erzielten Versuchsergebnissen bestimmt werden. Schon bei $l/b = 10$ hat man aber eine sehr lange, schmale Platte, bei der der Kanteneinfluß beträchtlich sein muß, und es ist offensichtlich ziemlich ungenau, die Extrapolation auf $l/b = 0$ von einer gestrakten Linie aus Werten von $l/b = 0$ bis 40 festzulegen, wie sie Dr. Wieghardt in Abbildung 1 für log Re = 6,4 benutzte. Der Charakter dieser Linie weicht offensichtlich von dem Charakter der für andere Re-Werte in der genannten Abbildung gestrakten Linien völlig ab. Dieses rührt daher, daß den 3 Punkten von l/b = 26,7, 32,0 und 43,4 soviel Bedeutung beigemessen wurde, die sich alle auf Versuche mit Patten von 1,31″ Breite beziehen, die wegen der Kleinheit der Kräfte und wegen der Interferenz-Einflüsse ungenau sind (hierauf habe ich in meinem Vortrag hingewiesen).

Die genaue Interpolation für diesen Bereich ist von mir in den nebenstehenden Abbildungen 1, 2 und 3 durchgeführt worden. In den Abbildung 1 und 2 sind die Widerstandsbeiwerte für die 57″ und die 42″ Platte aufgetragen, und in Abbildung 3 sind diese Ergebnisse als Verhältniswerte r zu den von mir gewählten Punkten der Grundlinie zusammengefaßt. Aus Abbildung 3 geht klar hervor, daß diese beiden Versuchsreihen vollkommen miteinander übereinstimmen, wenn man sie auf einen Grenzwert bei $l/b = 0$ bezieht, der beträchtlich niedriger liegt, als der von Dr. Wieghardt vorgeschlagene, und daß die von mir durchge-

*) vgl. „Schiff und Hafen" 1955, Heft 2, Seite 72.

Comments by Dr. Hughes on the Re-Analysis of his own results made by Dr. Wieghardt.

(Communication from the National Physical Laboratory.)

In the 1954 paper it was stated that the plane friction formulation proposed was essentially a practical one which fitted all the new experiment data to a considerable degree of accuracy. At the end of the reply to the discussion it was pointed out that there was a tendency for too much significance to be attached to the exact definition of the basic line for two-dimensional flow, but that if a different basic line were deduced it would be necessary to have a different law for the l/b effect associated with it and possibly one dependent on Reynolds number.

Dr. Wieghardt has deduced a different basic line and a different l/b effect. In principle I have no objection to this, provided the proposal agrees with the data with reasonable accuracy. Examination of Dr. Wieghardt's proposals shows, however, that there is serious disagreement with the data at many points.

My principal objection to Dr. Wieghardt's analysis is in his treatment of the region of R_n = 1 to 5 million. The determination of the basic line in this region depends almost entirely on the extrapolation of the results for the 42″ and 57″ submerged planes. These results were obtained with a high degree of accurancy as is evident from Fig. 7 of the 1954 paper, and full weight must be given to these results for the purpose of extrapolation to $l/b = 0$. Moreover, the trend to $l/b = 0$ must be determined mainly from the results at small values of l/b, say not greater than 10. Even the latter value represents a very long narrow plane for which the edge effect must be important, and it is clearly quite incorrect to determine the extrapolation to $l/b = 0$ by a mean line for values of l/b from 0 to 40 such as used by Dr. Wieghardt for log R_n = 6.4 in his Fig. 1. The character of this line is clearly inconsistent with those for other values of R_n given in this figure. This is also because so much weight has been given to the three spots at l/b = 26.7, 32.0 and 43.4, all of which are for planes only 1.31″ wide for which the accuracy was less due to the small forces involved and due to interference effects (these points were all noted in the paper).

The correct extrapolation in this region is illustrated in Figs. 1, 2 and 3 herewith. In Figs. 1 and 2 the values of C_f are shown for the 57″ and 42″ planes, and in Fig. 3 these results are brought together in ratio form. It is quite clear from Fig. 3 that these two sets of results are mutually consistent with extrapolation to a common value at $l/b = 0$ which is appreciably lower than given by Dr. Wieghardt, and that the original analysis is reasonable (the line in Fig. 3 is very close to Line A of Fig. 10 of 1954 paper).

In Fig. 4 the results for the 10.5″ and 21″ planes are similarly shown. These are again clearly consistent with the original basic line.

These combined submerged plane results cover four lengths of plane from 10.5″ to 57″, and Reynolds numbers from log R_n = 5.75 to log R_n = 6.5 (mean values). They consistently indicate the sharp fall in the value of r as l/b approaches zero, of the order of 4 per cent between l/b = 2.5 and l/b = 0.

The pontoon tests did not properly cover this range of small values of l/b and there is little direct evidence that the same variation of r at small values of l/b applies at führte Deutung der Ergebnisse durchaus folgerichtig erscheint. (Die Kurve in Abb. 3 stimmt mit der Kurve A in Abb. 10 meines Vortrages Lit. 4 fast völlig überein).

In Abb. 4 sind die Ergebnisse der 10,5″ und 21″ langen Platten in ähnlicher Weise aufgetragen. Auch diese Werte harmonieren offensichtlich mit der von mir angenommenen Grundlinie.

Alle diese zusammengefaßten Ergebnisse an untergetauchten Platten beziehen sich auf 4 Plattenlängen zwischen 10,5″ und 57″ und Re-Zahlen zwischen log Re = 5,75 und 6,5 (Hauptwerte). Sie zeigen alle einheitlich den steilen Abfall der Verhältniswerte r bei $l/b \to 0$, der zwischen $l/b = 2{,}5$ bis $l/b = 0$ etwa 4 % beträgt.

Die Ponton-Versuche haben den gleichen Bereich der kleinen l/b-Werte nicht in geeigneter Weise erfaßt, und man kann nicht unmittelbar zu dem Schluß kommen, daß dieselbe Änderung des Verhältniswertes r bei kleinen l/b auch bei größeren Re-Zahlen eintritt. Man kann indessen aus den Kurven für die verschiedenen Pontonbreiten (Abb. 10 meines Vortrages 1954 Lit. 4) ohne weiteres entnehmen, daß alle diese Ergebnisse einen ähnlich steilen Abfall der Verhältniswerte r bei $l/b \to 0$ aufweisen. Deshalb wurde von mir angenommen, daß die Beziehung zwischen r und l/b von der Reynolds'schen Zahl unabhängig ist.

higher values of Reynolds number. But it is evident from the curves for the various widths of pontoon shown in Fig. 10 of the 1954 paper that all of these results are consistent with a similar sharp fall in the value of r as $l/b \to 0$. It was therefore assumed that the variation of r with l/b is independent of R_n. This assumption was supported by the data from the 1952 paper, and from Allan and Cutland's

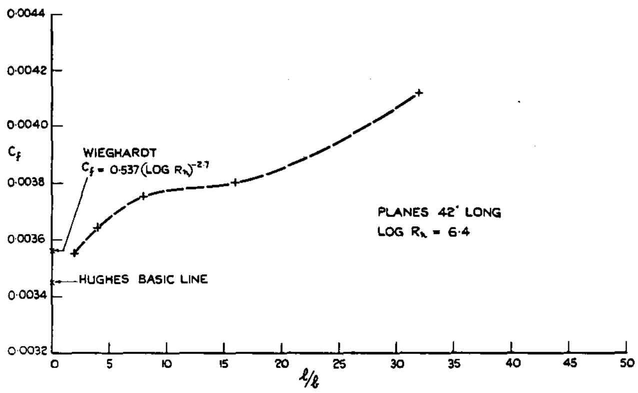

Abb. 2

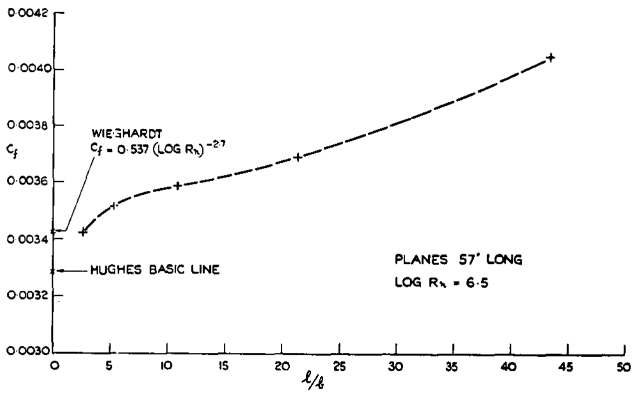

Abb. 1

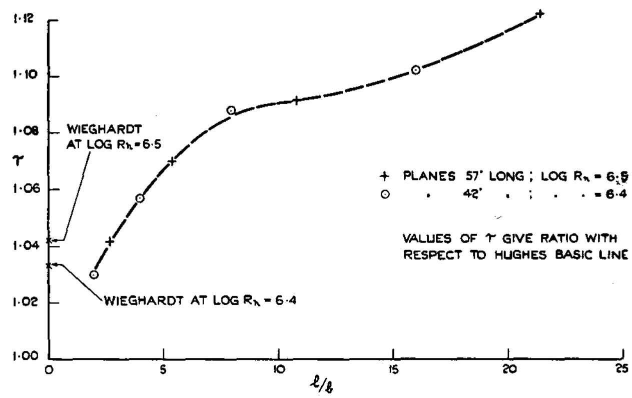

Abb. 3

Diese Annahme wurde durch die Ergebnisse, die in meinem Vortrag 1952 (Lit. 2) niedergelegt sind, und durch die Untersuchungen des Reibungsmitstromes von Allan und Cutland (Lit. 3) bestätigt, die sich beide auf log Re = 7,0 beziehen. Der unmittelbare Nachweis beschränkt sich deshalb auf den Bereich zwichen log Re = 5,75 bis log Re = 7, und es ist anzunehmen, daß dieser Bereich weit genug ist, um die Annahme zu rechtfertigen, daß der l/b-Einfluß unabhängig von Re ist. Der wesentliche Nachweis liegt in der Tatsache begründet, daß der Abfall aller Pontonkurven zu dieser Annahme paßt.

Dr. Wieghardt legt besonderen Wert auf die Versuchsergebnisse bei kleinen Werten l/b. Er hat außerdem, wie oben dargelegt wurde, die Ergebnisse für die längeren (42″ bis 57″) getauchten Platten nicht richtig gedeutet. Dieser ursprüngliche Irrtum in der Auslegung bei log Re = 6,4 bis 6,5 hat Dr. Wieghardt veranlaßt, eine Grundlinie $C_f = 0{,}537 (\log Re)^{-2{,}7}$ abzuleiten, die bei anderen Re-Zahlen zu beträchtlichen Abweichungen führt. Bei log Re = 4,5, 5,1 und 5,4 liegen diese Werte 13,8, 5,7 bzw. 3,9 % unterhalb der Werte, die man für $l/b = 0$ von Versuchen an kleinen Platten erhält. (Abb. 1, 2 und 3 in Lit. 4), während bei log Re = 7 diese Kurve 2 % über dem Wert liegt, den Allan und Cutland durch Mitstrom-Integration für $l/b = 1$ erhalten (Lit. 3) und 1 % über dem Wert für $l/b = 2{,}64$ aus Lit. 2. Gemäß den letztgenannten Abweichungen liegt die Wieghardt-Kurve etwa 5 % über den Werten aus Lit. 2 bei log Re = 7, wenn man den l/b-Einfluß berücksichtigt.

Wie schon betont wurde, behaupte ich nicht, daß die von mir in Lit. 2 gegebene Deutung der Versuchsergebnisse

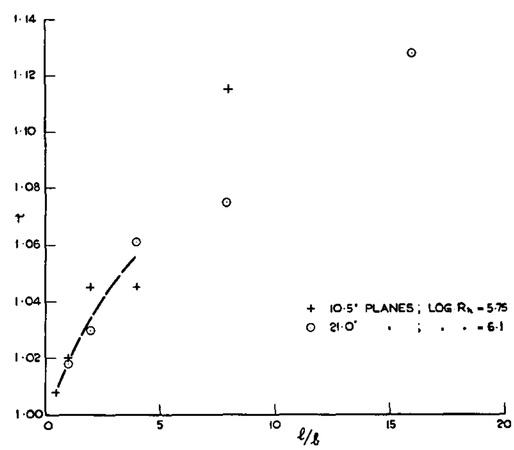

Abb. 4

wake integration results, both at log R_n = 7.0. The direct evidence therefore ranges from log R_n = 5.75 to log R_n = 7.0, and it is submitted that this is a sufficiently long range to justify the assumption that the l/b effect is independent of R_n. Finally there is the most important evidence that the slopes of all the pontoon curves fit this assumption.

Dr. Wieghardt stresses the importance of the results with small values of l/b, but despite this, as shown above, he has unbedingt endgültig und vollständig ist. Ich habe indessen nach sorgfältigen Überlegungen, die ich während der Abfassung des Vortrages und auch späterhin anstellte, die Überzeugung gewonnen, daß die von mir vorgeschlagene Formel allen zur Zeit vorliegenden Meßergebnissen mit der erforderlichen Genauigkeit entspricht. Die Formel ist außerdem einfach im Aufbau und in der Anwendung und in dieser Hinsicht wohl kaum zu übertreffen. Die neue Deutung von Herrn Dr. Wieghardt ist insofern von sehr großem Nutzen, als sie zeigt, wie ein verhältnismäßig geringfügiges Abweichen von der ursprünglichen Grundlinie innerhalb des Hauptbereiches zu wesentlichen Diskrepanzen mit den Meßwerten an verschiedenen Stellen führt. Offensichtlich stimmt seine Deutung nicht mit der gleichen Genauigkeit mit den Versuchsergebnissen überein, wie die ursprünglich von mir gegebene Formel. Deshalb scheint mir bis jetzt keine Veranlassung dafür vorzuliegen, von meinen ursprünglichen Schlußfolgerungen abzugehen.

gez. Hughes

Lit. 1: Wieghardt, K. „Über den Reibungswiderstand von Platten. Bemerkungen zu zwei Arbeiten von G. Hughes" *), Schiff und Hafen 1955, H. 2.

Lit. 2: Hughes, G. „Frictional Resistance of Smooth Plane Surfaces in Turbulent Flow — New Data and a Survey of Existing Data", Trans. I.N.A. 1952.

Lit. 3: Allan, J. F. and Cutland R. S. „Wake Studies of Plane Surfaces", Trans. North-East Coast Inst. of Engineers and Shipbuilders 1952—53.

Lit. 4: Hughes, G. „Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation", Trans. I.N.A. 1954.

wrongly interpreted the data for the longer submerged planes (42″ and 57″ long). This primary error of analysis at log R_n = 6.4 to 6.5 has led Dr. Wieghardt to deduce a basic line $C_f = 0.537 (\log R_n)^{-2.7}$ which is seriously at variance with the data at other points. At log R_n = 4.5, 5.1 and 5.4 his values are 13.8, 5.7 and 3.9 per cent respectively below the values obtained for l/b = 0 from the small plate results (Figs. 1, 2 and 3 of 1954 paper), while at log R_n = 7.0 his line runs 2 per cent above the value obtained by Allan and Cutland by wake integration for l/b = 1.0, and 1 per cent above the value for l/b = 2.64 given in the 1952 paper. The latter discrepancy corresponds to the Wieghardt line being effectively about 5 per cent above the 1952 data at log R_n = 7.0, after allowing for the l/b effect.

As already stressed it is not claimed that the analysis given in the paper is necessarily final and complete. However, after very careful consideration both when the paper was written and since, I am convinced that the proposed formulation fits all the present data with practical accuracy. Moreover, it is simple in construction and in use, and from this point of view cannot be easily superseded. Dr. Wieghardt's analysis has been useful in demonstrating how a relatively small departure from the original basic line in the main working range leads to incompatibility with the data at a number of points. It is quite clear, however, that his analysis does not fit the data as a whole so well as the original formulation, and I see no reason at present for departing from the original proposals.

*) On the Frictional Resistance of Plates. Remarks on two reports from G. Hughes. By K. Wieghardt, Institute for Naval Architecture, University of Hamburg.

Antwort auf die Kritik von Dr. Hughes an der Neuauswertung seiner Ergebnisse nach Dr. Wieghardt.

Um dem Haupteinwand von Dr. Hughes gegen meine Auswertung im Gebiet Re = 1 bis 5 Millionen zu begegnen, habe ich noch einmal den Trend zweiten Grades durch die Meßpunkte bei log Re = 6,4 berechnet (s. Abb. 1). Diesmal wurden nur die Ergebnisse an den untergetauchten Platten von der Länge 42 Zoll und 57 Zoll berücksichtigt, und die Punkte bei L/B = 26,7, 32,0 und 43,4 weggelassen. Diese neue mittlere Linie, deren Form in der Tat mit der für die anderen Re-Zahlen besser übereinstimmt, gibt für L/B = 0 einen Wert für c_{fo} von $3{,}536 . 10^{-3}$ anstatt von $3{,}576 . 10^{-3}$. Benutzt man diesen Wert bei log Re = 6,4, so ergibt die Methode der kleinsten Quadrate die Grundlinie c_{fo} (Re) $= 0{,}52 / (\log R_e)^{2.685}$. Einen Vergleich mit dem früheren Vorschlag ermöglicht die folgende Tabelle für $10^3 c_{fo}$:

Hughes [1] Grundlinie	Re	$\frac{537}{(\log Re)^{2,70}}$	$\frac{520}{(\log Re)^{2,685}}$	$\Delta\, c_{fo}/c_{fo}$
4.188	10^6	4.256	4.233	—0.54 %
2.672	10^7	2.807	2.798	—0.32 %
1.855	10^8	1.957	1.955	—0.10 %
1.359	10^9	1.424	1.425	+0.07 %
1.039	10^{10}	1.071	1.074	+0.28 %

Der Hauptgrund für das Abweichen unserer Auswertungen liegt jedoch tiefer. Meiner Ansicht nach geht Dr. Hughes folgendermaßen vor, um die Wirkung des Seitenverhältnisses auf den Reibungswiderstand zu finden. Volles Gewicht legt er nur den Ergebnissen an den untergetauchten 42″- und 57″-Platten mit log Re = 6,4 und 6,5 bei. Genau durch deren Punkte werden zwei ähnliche Kurven gezogen, ohne irgendwelche experimentelle Streuung zuzulassen. Die so erhaltene Abhängigkeit des $r = c_f/c_{fo}$ von L/B soll dann für alle Re-Zahlen gelten. Diese Annahme wird begründet:

Response to Comments by Dr. Hughes on the Re-analysis of his own Results made by Dr. Wieghardt.

To meet Dr. Hughes' principal objection to my analysis in the region of R_n = 1 to 5 million I have calculated again the least square fit parabola through the spots at log R_n = 6.4 as in Fiig. 1 This time only the results for the 42″ and 57″ submerged planes have been considered and the spots at L/B = 26.7, 32.0 and 43.4 are omitted. This new mean line whose character is in fact more consistent with those for other R_n-numbers gives a value of $c_{fo} = 3.536\ 10^{-3}$ for L/B = 0 instead of $3.576\ 10^{-3}$. Using this value at log R_n = 6.4 leads to a new least square fit for a basic line $c_{fo} (R_n) = 0.52 (\log R_n)^{-2.685}$. A comparison with the previous proposal is given in the following table for $10^3 c_{fo}$:

Hughes (1) basic line	R_n	$\frac{537}{(\log R_n)^{2.70}}$	$\frac{520}{(\log R_n)^{2.685}}$	$\Delta\, c_{fo}/c_{fo}$
4.188	10^6	4.256	4.233	—0.54 %
2.672	10^7	2.807	2.798	—0.32 %
1.855	10^8	1.957	1.955	—0.10 %
1.359	10^9	1.424	1.425	+0.07 %
1.039	10^{10}	1.071	1.074	+0.28 %

Yet the main reason for the difference of our analyses lies deeper. As far as I can see the procedure of Dr. Hughes to find out the effect of the aspect ratio on the skin friction is as follows. He gives full weight only to the results of the 42″ and 57″ submerged planes at log R_n = 6.4 and 6.5. Through these spots two similar curves are drawn without any allowance for experimental scatter. The resulting dependency of $r = c_f/c_{fo}$ of L/B for these two cases is then claimed to hold for any R_n-Number. He bases this assumption on 1) the results for the 10.5″ and 21″ planes at low R_n-numbers (logR_n = 5.75 and 6.1) which also show

1.) auf die Ergebnisse an den 10,5″- und 21″-Platten bei kleinen Re-Zahlen (log Re = 5,75 und 6,1), wo sich auch eine starke Abhängigkeit des r für $L/B \to 0$ ergibt, und 2.) auf Messungen von Allan und Cutland [2], die das bis zu Re = 10^7 bestätigen sollen.

In Fig. 7 der Hughes'schen Arbeit ist jedoch zu sehen, daß selbst die Meßpunkte für die 42″- und 57″-Platten mit einer gewissen, unvermeidlichen Streuung behaftet sind, so daß die Extrapolation in den Abb. 1 und 2 seiner obigen Bemerkungen nicht unbedingt diejenige sein muß, die der unbekannten, wahren Ausgleichslinie am nächsten liegt. — Die Ergebnisse an der 10,5″-Platte hatte ich ausgelassen wegen der Schwierigkeiten bei der künstlichen Turbulenzerzeugung bei log R = 5,75. Außerdem sind die Abweichungen von den verschiedenen Linien bei diesen kleinen Re-Zahlen sowieso nur gering. — Ich gebe durchaus zu, daß die Messungen von Allan und Cutland den steilen Abfall $\delta c_f/\delta L/B$ bei $L/B \approx 0$ auch noch bis Re = 10^7 zu bestätigen scheinen, vor allem wenn sie so aufgetragen sind wie in Fig. 10 der Arbeit von Hughes: r über L/B ohne Rücksicht auf die Re-Zahl, wobei die Grundlinie von Hughes bereits benutzt worden ist zur Berechnung von $r = c_f/c_{f0}$. Zur unabhängigen Überprüfung dieser Messungen (nach Fig. 10 von [2]) wurden sie jedoch auch in Abb. 1 mitaufgetragen: c_f über L/B bei verschiedenen Re-Zahlen. Bei dieser direkten Auftragung ist es nun offensichtlich, daß die Ergebnisse von Allan und Cutland mit denen von Hughes kaum übereinstimmen. Daher kann es meiner Meinung nach nicht zulässig sein, den steilen Anstieg nach den Messungen von Allan und Cutland für L/B zwischen 0 und etwa 3 als erwiesen anzusehen, dann aber für L/B größer als 3 die Werte von Hughes zu benutzen. Andererseits deuten die zahlreichen Meßpunkte von Hughes als Ganzes betrachtet doch darauf hin, daß zwar bei kleinen Re-Zahlen (z. B. bei Re = 10^6) ein steiler Anstieg bei L/B = 0 vorhanden ist, daß aber dieser Anstieg mit wachsender Re-Zahl (z. B. bei log. Re = 6,8 oder 7) schwächer wird. Ein solches Abnehmen des L/B-Effektes mit der Re-Zahl scheint nun tatsächlich ganz natürlich zu sein. Denn dieser Effekt kann ja erklärt werden durch das seitliche Divergieren der Stromlinien längs einer endlich breiten Platte infolge der Verdrängungsdicke der Grenzschicht an der Platte (vgl. auch Townsend [3]), die wiederum um so dünner wird, je höher die Re-Zahl ist.

Zum Allgemeinen möchte ich noch hinzufügen, daß natürlich jede Extrapolation von Meßergebnissen mehr oder weniger kritisiert werden kann, und daß sie deshalb so einfach und durchsichtig wie möglich durchgeführt werden sollte. Die einfachste Methode, Messungen von c_f (Re, L/B) zu inter- und extrapolieren, besteht aus zwei Schritten. Zuerst werden alle Messungen an den Platten mit verschiedenen L/B so aufgetragen, wie Hughes es getan hat: c_f über Re bei L/B-const. Durch diese Punkte werden Ausgleichskurven gezogen, die die Abhängigkeit des c_f von Re zeigen. Der naheliegende zweite Schritt ist offenbar der, diese Ausgleichskurven zu benutzen, um c_f über L/B bei Re = const. aufzutragen, wie ich es getan habe. Hier wurden nun wieder mittlere Kurven gezeichnet, wobei nur diejenigen Platten und Pontons berücksichtigt wurden, die nach Hughes am zuverlässigsten sind. (Bei Berücksichtigung aller Punkte würden sich noch höhere c_{f0}-Werte ergeben.) Allerdings habe ich mich dabei auf die direkten Widerstandsmessungen von Hughes beschränkt, da ich keine Möglichkeit sehe, seine Messungen mit denen von Allan und Cutland in Einklang zu bringen, und da auch ein Abnehmen des L/B-Effektes mit wachsender Re-Zahl, wie nach den Hughes'schen Messungen, theoretisch plausibler ist. Deshalb erscheint mir nach wie vor meine direkte und einfache Extrapolation der Ergebnisse von Hughes angemessener. K. Wieghardt

a sharp fall in the value of r for $L/B \approx 0$, and 2) tests by Allan and Cutland [2], which are said to confirm this up to $R_n = 10^7$.

However, from Fig. 7 in Hughes' paper [1] it is seen that there is some unavoidable scatter in the spots even for the 42″ and 57″ planes, so that the extrapolation in Fig. 1 and 2 of his Comments is not necessarily the nearest to the unknown true line. — I had left out the results for the 10.5″ planes because of the difficulties of turbulence stimulation at log R_n = 5.75. Besides, the differences between the varous lines are in any case small at the low R_n = numbers. — I quite agree that the tests by Allan and Cutland seem to confirm the steep slope $\delta c_f/\delta L/B$ near $L/B \to 0$ up to $R_n = 10^7$, especially when plotted as in Fig. 10 of Hughes' paper: r over L/B disregarding the R_n-number, where Hughes' basic line is already used for calculating $r = c_f/c_{f0}$. However, for an independent proof these tests (taken from Fig. 10 of [2] are plotted again in Fig. 1: c_f over L/B at various values of R_n = const. It is evident from this direct plotting that the results of Allan and Cutland hardly agree with those of Hughes. Therefore — in my opinion — it cannot be correct to take the steep slope of the Allan and Cutland-tests at L/B between 0 and say three for granted and yet use Hughes' values for L/B > about 3. On the other hand the numerous test points of Hughes as a whole suggest that there is a steep slope (at L/B = 0) for small R_n-numbers e. g. at $R_n = 10^6$ but that this slope decreases with increasing R_n-number e. g. at log R_n = 6.8 or 7. This decrease of the L/B-effect with R_n seems indeed quite natural, as the effect can be explained by the sidewise divergence of the streamlines along a finite plate owing to the displacement thickness of the boundary

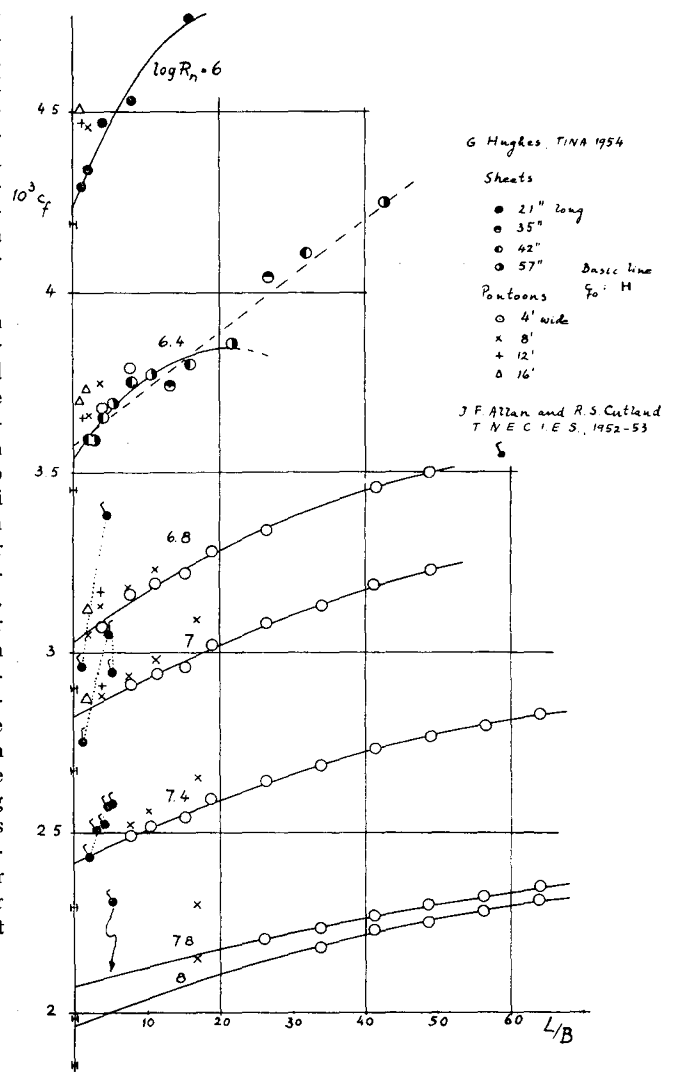

Abb. 1: Reibungswiderstand von Platten (L/B = Seitenverhältnis).

Frictional drag of plates (L/B = aspect ratio).

layer at the plate (see also Townsends paper [3]), wich becomes thinner the higher the R_n-number is.

Generally I should like to add that any extrapolation will naturally always be open to some controversy and should be performed as simply and lucidly as possible. Now the simplest way to inter- and extrapolate the measurements of $c_f(R_n, L/B)$ consists of two steps. First, all tests with different plates are plotted as Hughes has done: c_f over R_n with L/B = const. Through these spots mean curves are drawn showing the dependency of c_f of R_n. The obvious second step is to use these mean curves to plot c_f over L/B with R_n = const., as in my graph. Here mean lines have been drawn considering only those plates and pontoons which Hughes describes as most reliable. (Inclusion of all the points would lead to still higher c_{f0}-values.) Admittedly, I have considered only the direct tests by Hughes as I see no possibility of reconciling his tests with those by Allan and Cutland and a decrease of the L/B-effect with increasing R_n-numbers, as indicated by Hughes' tests, seems theoretically more plausible. Therefore, it still appears to me that my direct and simple extrapolation of Hughes results is the more appropriate.

K. Wieghardt.

References.

[1] Hughes, G. „Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation." TINA, 1954.

[2] Allan, J. F. and Cutland, R. S. „Wake Studies of Plane Surfaces" T.N.E.C.I.E.S. 1952—53.

[3] Townsend, A. A. „Turbulent Friction on a Flat Plate" I. T. T. Conf. Oslo, 1954.

Schlußwort von Dr. Hughes

Aus der vorstehenden Erwiderung von Herrn Dr. Wieghardt glaube ich entnehmen zu können, daß er seiner eigenen Auslegung meiner Versuchsergebnisse vor allem aus zwei Gründen den Vorzug gibt: 1) Die Streuung der Versuchsergebnisse, die keine genaue Extrapolation auf die Grundlinie (l/b = 0) zuläßt, selbst nicht bei log Re = 6,4 bis 6,5. 2) Die von ihm angenommene mangelhafte Übereinstimmung zwischen den Meßwerten von Allan und Cutland und meinen eigenen Ergebnissen.

Zu 1: Dieser Punkt scheint mir völlig eine Angelegenheit persönlicher Einstellung zu sein. Mit Rücksicht auf meine eigenen Eindrücke von der Art der Versuchsdurchführung und von der Sorgfalt, mit der alle Ergebnisse gewonnen wurden, mit Rücksicht auf die ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der 42″- und der 57″-Platten (vergl. meine oben stehende Abb. 3) und mit Rücksicht auf die Bestätigung, die durch meine Abb. 4 geliefert wird, möchte ich anheimstellen, daß die vorhandene, sehr geringe Streuung der Versuchsergebnisse nicht ausreicht, um eine endgültige Entscheidung zwischen meiner Auffassung und derjenigen von Dr. Wieghardt zu treffen. Bei höheren Werten der Re-Zahlen kann man die Extrapolation auf l/b = 0 nicht unmittelbar von den Ponton - Versuchen her durchführen, und es liegt kein Beweis dafür vor, daß die Deutung von Dr. Wieghardt genauer ist als meine.

Zu 2: Die Ergebnisse von Allan und Cutland stehen in guter Übereinstimmung mit den Ponton-Versuchen, wenn man sie auf gleiche Verhältnisse bezieht (vergl. Abb. 10 und die Diskussion in meinem Vortrag 1954), und wenn man den Einfluß des Tankquerschnittes berücksichtigt. Dr. Wieghardt stimmt bei den Ergebnissen von Allan und Cutland dem steilen Abfall bei der l/b-Abhängigkeit zu, lehnt aber die logische Schlußfolgerung daraus, nämlich den kleinen Reibungsbeiwert bei l/b = 0 bei log Re = 7,0, ab. Er hat ferner nicht versucht, meine Kritik zu widerlegen, daß seine Deutung weder durch die Versuchsergebnisse aus dem Jahre 1952 noch durch die Versuche an den kleinen Platten im Jahre 1954 bestätigt wird.

Schließlich glaube ich nicht, daß man beweisen kann, der l/b-Einfluß müsse mit zunehmender Re-Zahl abnehmen, wie es Dr. Wieghardt vermutet. Tatsächlich nimmt bei meiner Annahme eines konstanten r-Verhältnisses der l/b-Einfluß absolut genommen mit zunehmender Re-Zahl ab, aber aus allgemeinen Gründen allein kann man nicht beweisen, daß der Absolutwert der Abnahme größer sein muß als es einem konstanten r-Verhältnis entspricht.

Final Statement by Dr. Hughes

In Dr. Wieghardt's further remarks the main argument for preferring his own analysis seems to be (1) experimental scatter does not permit the basic line to be accurately deduced, even at log R_n = 6.4 to 6.5; (2) the supposed lack of agreement between the Allan and Cutland results and my own data.

Regarding (1) this matter now seems to be entirely one of preference. Having seen the experimental technique and the care with which all results were obtained, and in view of the excellent agreement between the results for the 42″ and 57″ planes (see Fig. 3 above), and the support given by Fig. 4, I submit that such experimental scatter as there is (it is very small) is not sufficient to prevent a clear distinction to be made between my interpretion and that of Dr. Wieghardt. At higher values of Reynolds number the extrapolation to l/b = 0 cannot be made directly from the pontoon data, and there is no evidence that Dr. Wieghardt's interpretation is more correct than mine.

Regarding (2) the Allan and Cutland results show fair agreement with the pontoon data when compared for corresponding conditions (see Fig. 10 and discussion in 1954 paper) and when consideration is given to tank boundary interference effects. Dr. Wieghardt agrees with the steep slope of the l/b effect in the Allan and Cutland results but refuses to accept the logical consequence, that is the low friction value for l/b = 0 at log R_n = 7.0. He has also made no attempt to refute my criticism that his interpretation is not supported by the 1952 results nor by the small plate results of the 1954 paper.

Finally I do not think it can be argued that the l/b effect must decrease with increase of Reynolds number, as Dr. Wieghardt supposes. Actually in my assumption of a constant ratio effect the l/b effect does of course decrease absolutely with increase of Reynolds number, which seems to me to be quite natural, but on general grounds it is not possible to argue that the absolute rate of decrease must be greater than corresponds to a constant ratio effect.