

Über die Strömung an ringförmigen Verkleidungen

VI. Mitteilung:

Weitere Messungen an Einlaufgeräten

Übersicht: Der vorliegende Bericht bringt als Ergänzung zur IV. Mitteilung (FB 1236/4) weitere Windkanalmessungen an Einlaufgeräten, die vor allem den Einfluß des Nasenradius der Verkleidung auf die Strömungsverhältnisse zeigen sollen. Ausserdem wird eine einfache Regel zum Entwurf solcher Anordnungen, bei denen sich eine Nabe im Innenraum befindet, vorgeschlagen.

Gliederung: I. Vorbemerkungen.

II. Ergebnisse.

1. Eine Verkleidung mit großem Nasenradius.
2. Verkleidungen mit verschiedener Nasenform.

III. Zusammenfassung.

Der Bericht umfasst:

15 Seiten .

INSTITUT FÜR THEORETISCHE AERODYNAMIK

Der Leiter:

Die Bearbeiter:

A. Betz

V. Düppmann J. Dörner

I. Vorbemerkungen.

Der vorliegende Bericht bringt weitere Windkanalmessungen an Einlaufgeräten als Nachtrag zur IV. Mitteilung (FB 1236/4). Bei den früheren Messungen waren noch einige Fragen offen geblieben. So war der Einfluß des Nasenradius und der Nasenform der Verkleidung nicht eingehender behandelt; dieser sollte in einer neuen Meßreihe näher untersucht werden. Weiterhin soll ein einfaches Entwurfsverfahren beschrieben und geprüft werden.

Die früher untersuchten Verkleidungen hatten alle den gleichen Krümmungsradius $\varrho_N = 0,067 R_a$ ¹⁾. Auf Grund dieses kleinen Nasenradius hatten sich bei einigen Verkleidungen vor allem am Stand innen am Einlauf kleine lokale Ablöseerscheinungen gezeigt, und es war vermutet, daß durch größeren Nasenradius die Strömung im Innenraum noch geringere Verluste zeigen würde. Daher wurde bei der neuen Verkleidung 5 $\varrho_N = 0,095 R_a$ gewählt. Um einen besseren Überblick über den Einfluß von Nasenradius und Nasenform zu bekommen, wurde der Nasenteil von Verkleidung 5 noch abgeändert (Verkleidung 6 und 7; vgl. Abb. 10), sodaß sich kleinere Nasenradien $\varrho_N = 0,040 R_a$ bzw. $\varrho_N = 0,014 R_a$ ergaben.

Bei den früheren Messungen hat sich weiterhin gezeigt, daß es zur Vermeidung von Strömungsverlusten sehr wichtig ist, daß sich die Querschnitte des Innenraumes zumindest nicht erweitern.

¹⁾ Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in der IV. Mitteilung.

Die Aufgabe besteht also darin, eine Anordnung zu finden, bei der die Außenseite im Schnellflug die gewünschten niedrigen Übergeschwindigkeiten besitzt und der Innenraum sich nicht erweitert. Bei den Anwendungen ist der Innenraum stets teilweise oder ganz ausgefüllt z.B. durch eine Nabe oder einen Kühler (Sternmotor). Zur Lösung der strömungsphysikalischen Aufgabe kann man die Verdrängungskörper durch Singularitäten ersetzen. Man kann sich jedoch die Aufgabe wesentlich erleichtern, wenn man die aus den Messungen hervorgehende Tatsache heranzieht, daß die Strömung auf der Außenseite in der Hauptsache nur von der Durchflußmenge (Staupunktslage) abhängt und nicht von den Verhältnissen im Innenraum, sodaß man die Gestaltung des Innenraumes unabhängig von der Außenseite behandeln kann. Der Einbau von Kühlern ist ⁱⁿ diesem Sinne bereits untersucht ²⁾. Der Fall einer im Inneren eingebauten Nabe soll im folgenden besprochen werden.

Bei der Umströmung einer Nabe liegt die Schwierigkeit bei der Konstruktion eines z.B. konstanten Querschnittsverlaufes vor allem darin, die "Strömungsquerschnitte" selbst zu bestimmen, besonders in dem Gebiet, wo die Nabe beginnt. Wir betrachten dazu die freie Umströmung der Nabe, welche für den einfachsten Fall des räumlichen Halbkörpers (Einzelquelle) in Abb. 1 dargestellt ist. (Anders geformte Naben kann man durch geeignete Quellsenkenanordnungen ersetzen, was jedoch

²⁾ vgl. D. Küchemann und J. Weber: Der Einbau von Kühlern. Erscheint demnächst als FB .

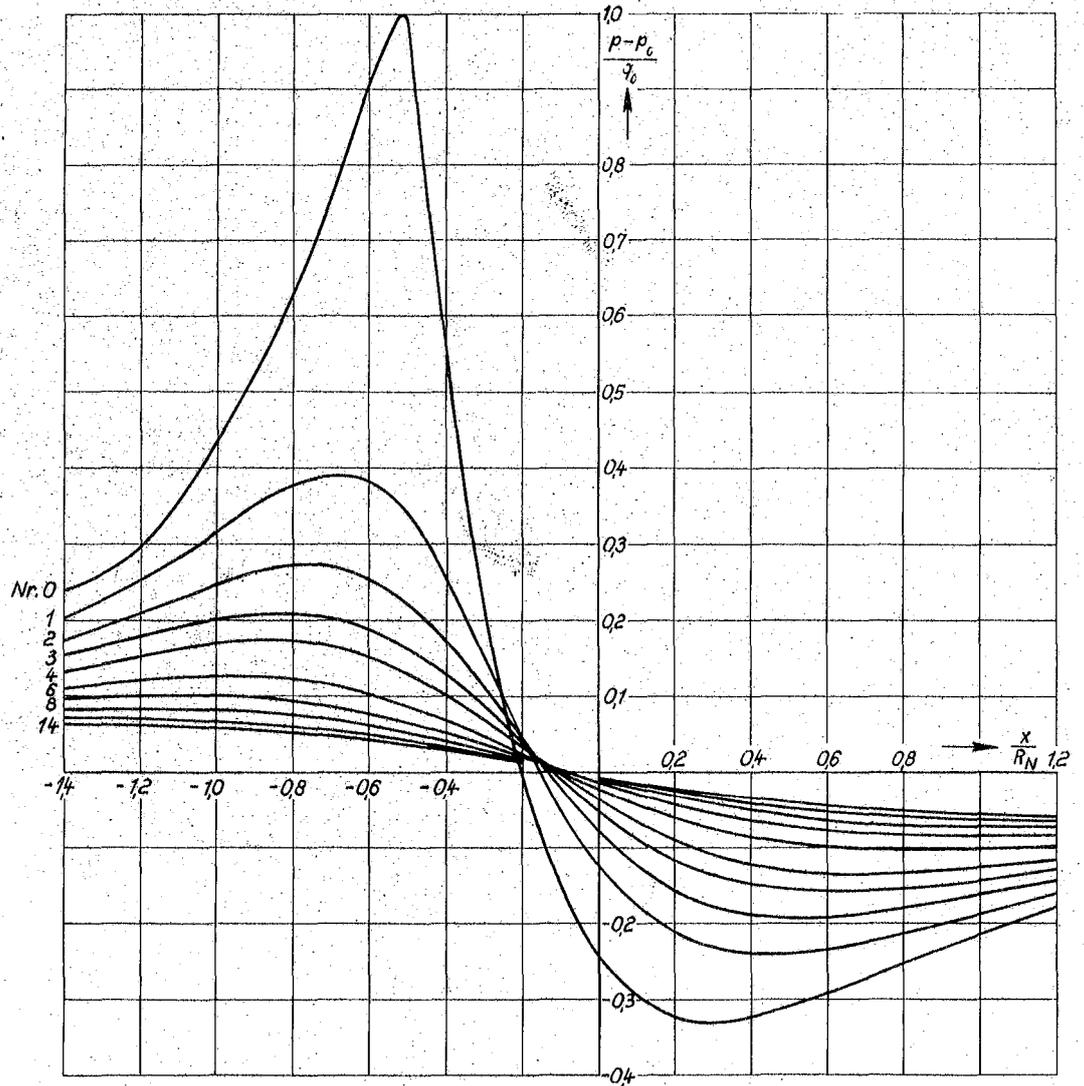
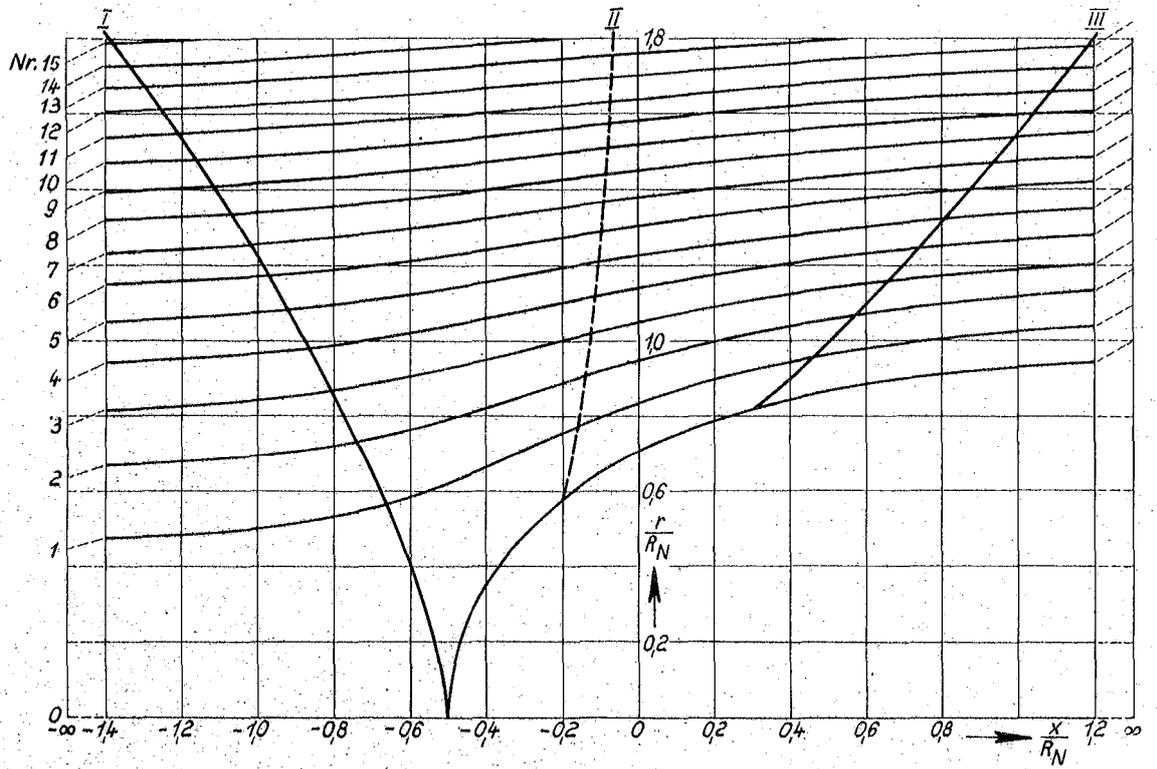


Abb. 1. Stromlinienbild der räumlichen Halbkörperströmung und Druckverteilungen auf den Stromlinien. Linie I: Beginn des Druckabfalls auf den Stromlinien; Linie II: $p=p_0$; Linie III: Ende des Druckabfallgebietes.

für den freifahrenden Körper keine große Rechenarbeit bedeutet.) Die Druckverteilungen auf den Stromlinien (Abb. 1) zeigen, daß in dem Gebiet zwischen den Linien I und III Druckabfall herrscht, d. h. daß sich die Strömungsquerschnitte in diesem Gebiet verengen. Stromaufwärts von Linie I und stromabwärts von Linie III ergibt sich eine Erweiterung. Macht man eine dieser Stromlinien zur Innenwand der Verkleidung, wie es in Abb. 2 an einem Beispiel gezeigt ist, so kann man vermuten, daß sich die Strömung an dieser Wand nicht ablöst. Will man jedoch z. B. einen konstanten oder sich stetig verengenden Querschnitt erhalten, so sind nur noch geringe Abänderungen von der vorgeschlagenen Innenseite nötig, die leicht durchzuführen sind.

II. Ergebnisse.

1. Eine Verkleidung mit großem Nasenradius. Die Verkleidung 5 (Abb. 3) wurde als unendlich langer Ringkörper ohne Nabe, welcher ein Geschwindigkeitsverhältnis $U_1/U_0 = 0,3$ herstellt ($Q/\pi R_a^2 U_0 = 0,16$), berechnet. Die zugehörige Skelettlinie ergab sich aus einer längs der Tiefe konstanten Wirbelbelegung, wobei mit Hilfe eines Iterationsverfahrens erreicht wurde, daß Belegungsfläche und Stromfläche der Gesamtströmung zusammenfallen. Durch Überlagerung einer Quellringströmung ergab sich die in Abb. 3 eingezeichnete Kontur. (Das Rechenverfahren soll ausführlich in einer demnächst erscheinenden Mitteilung beschrieben werden.) In den Innenraum wurde die vorhandene Nabe 1

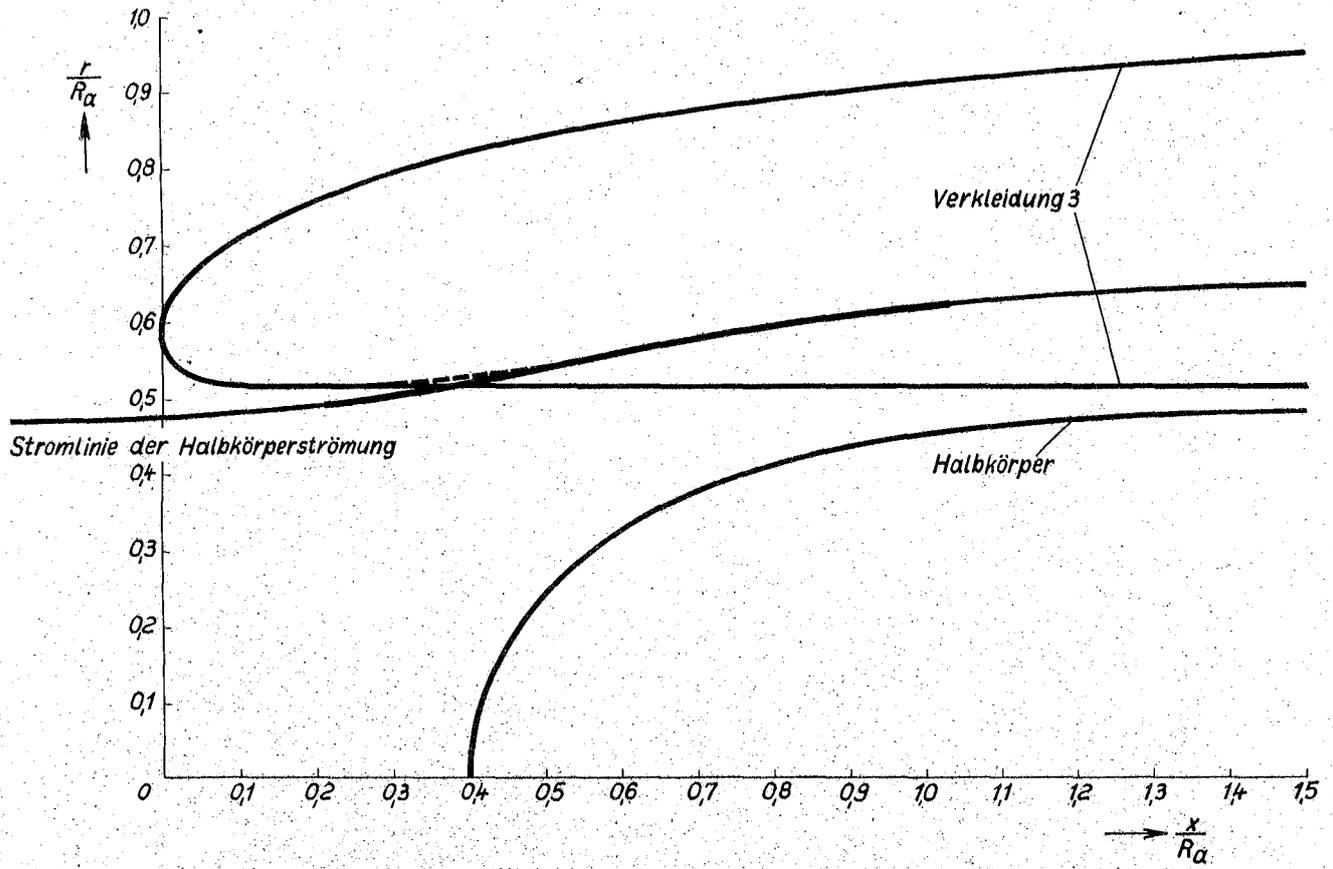


Abb. 2. Zur Formgebung des Innenraumes.

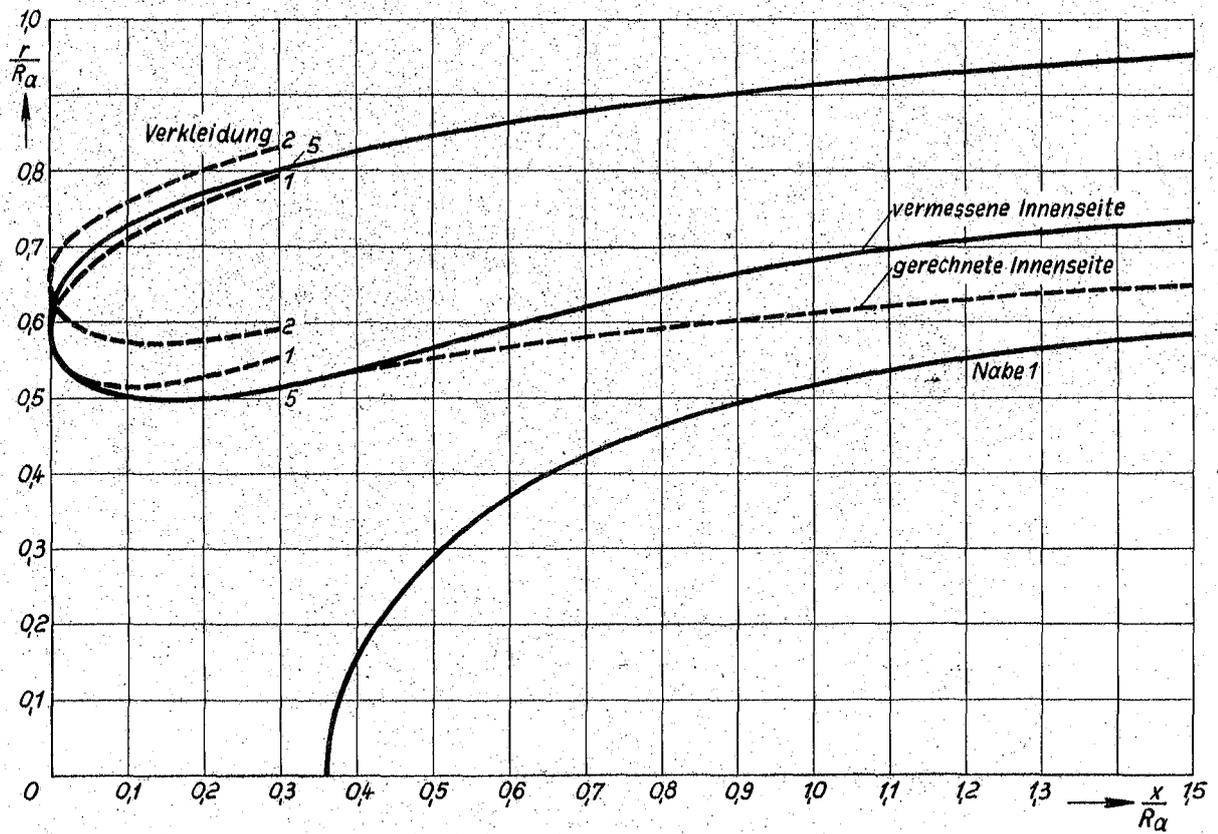


Abb. 3. Vergleich der vermessenen und gerechneten Anordnungen.

gebracht und die Innenseite der Verkleidung in der oben angegebenen Weise abgeändert. Dabei war zu berücksichtigen, daß die Nabe 1 nicht genau die Form eines Halbkörpers hat. Es wurde erstrebt, daß die Querschnitte gleichmäßig abnehmen, um Strömungsverluste im Innenraum zu vermeiden. Bei Anwesenheit der Nabe wird das Geschwindigkeitsverhältnis U_1/U_0 , bei welchem die Verkleidung stoßfrei angeströmt wird, von 0,3 verschieden sein. Wir erhalten dieselbe Durchflußmenge $Q/\pi R_a^2 U_0 = 0,16$ wie bei der leeren Verkleidung, wenn wir bei der neuen Anordnung 51 bei $x = 2,5 R_a$ (vgl. die Zahlentafel) das Geschwindigkeitsverhältnis $U_1/U_0 = 0,85$ haben.

Zahlentafel

x/R_a	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$r/R_{\text{ausßen}}$	0,600	0,695	0,728	0,772	0,802	0,826	0,845
r/R_{innen}	0,600	0,516	0,503	0,501	0,515	0,539	0,565
x/R_a	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$r/R_{\text{ausßen}}$	0,863	0,879	0,892	0,903	0,913	0,922	0,931
r/R_{innen}	0,593	0,621	0,645	0,665	0,682	0,696	0,708
x/R_a	1,3	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0	
$r/R_{\text{ausßen}}$	0,939	0,946	0,953	0,978	0,992	1,000	
r/R_{innen}	0,718	0,726	0,733	0,758	0,776	0,821	

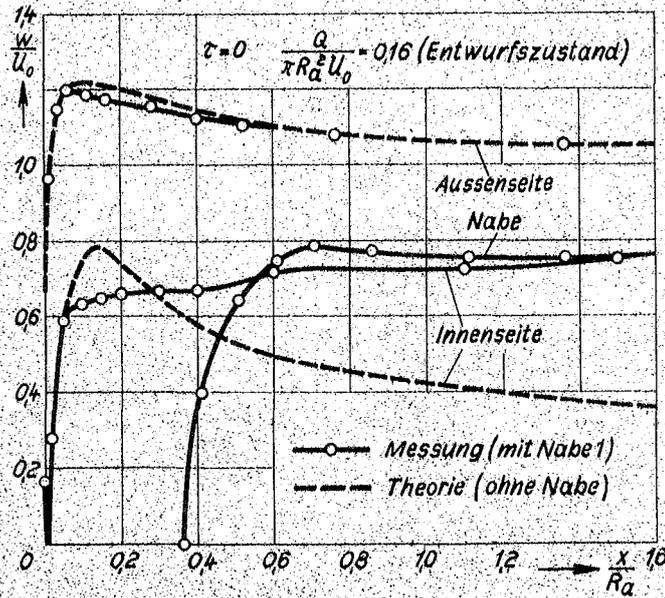


Abb. 4. Gemessene und gerechnete Geschwindigkeitsverteilungen bei stossfreiem Eintritt für Anordnung 51.

In Abb. 4 sind die gemessenen ³⁾ und gerechneten Wandgeschwindigkeitsverteilungen für den Entwurfzustand miteinander verglichen. Man erkennt eine gute Übereinstimmung auf der Außenseite und im besonderen, daß die Theorie die maximale Übergeschwindigkeit hinreichend genau wiedergibt. Diese beträgt im vorliegenden Falle 22%. Geringe Abweichungen zwischen Theorie und Messung in dem Gebiet $0,1 \leq x/R_a \leq 0,3$ sind auf eine Herstellungsungenauigkeit beim Modell zurückzuführen. Da der Innenraum durch das Hinzukommen der Nabe beträchtlich abgeändert ist, unterscheidet sich nun auch die gemessene Wandgeschwindig-

3) Die Messungen wurden wie in der IV. Mitteilung durchgeführt.

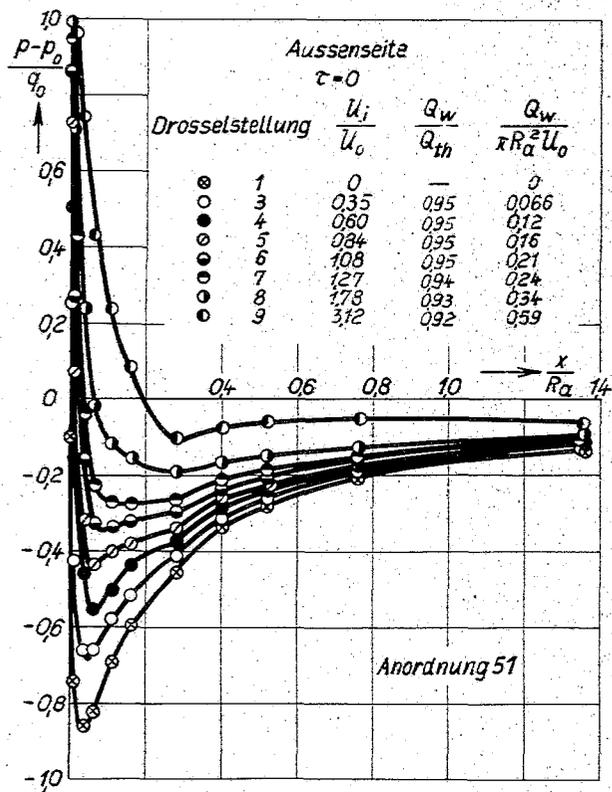
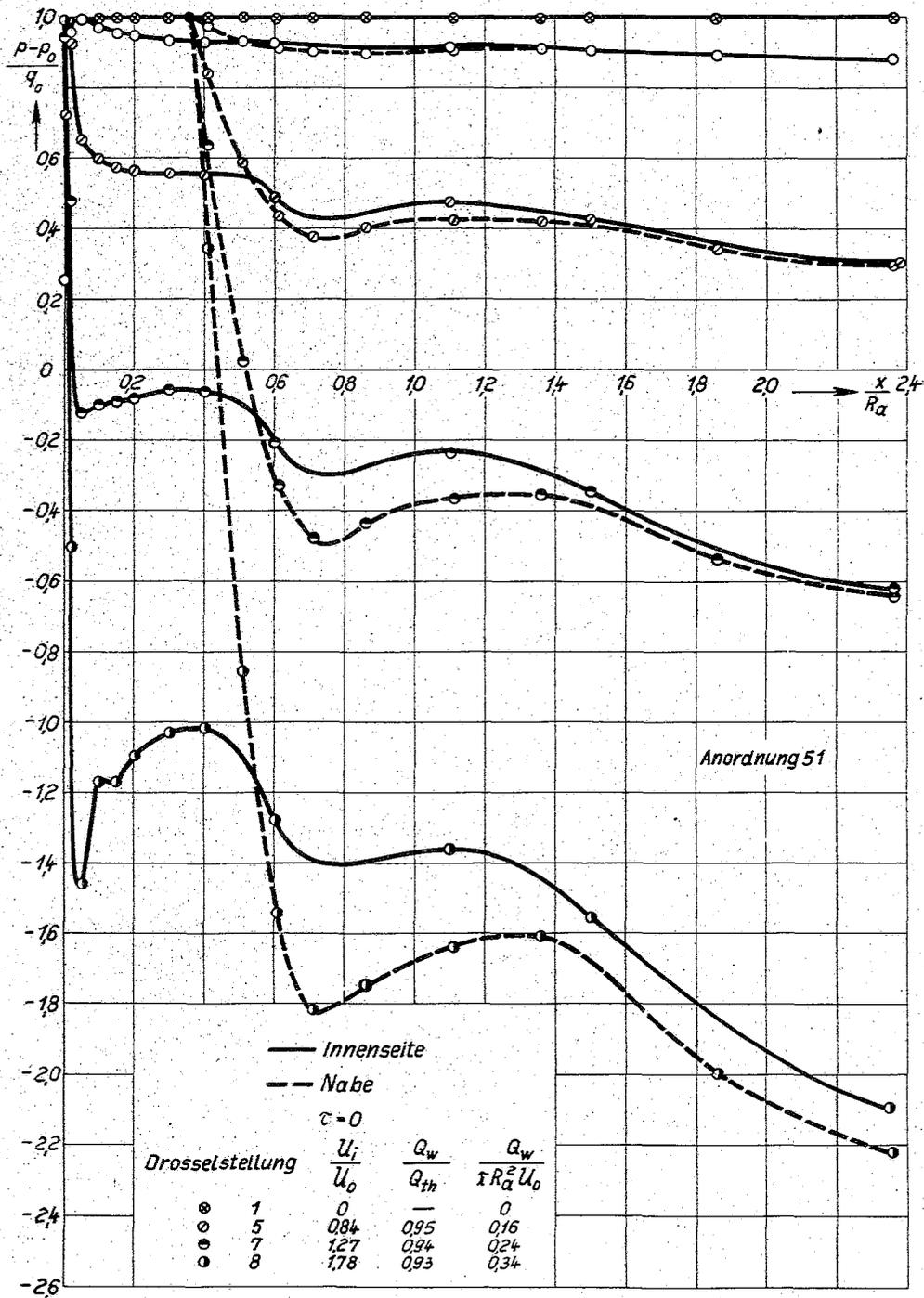


Abb. 5. Druckverteilungen auf der Aussenseite bei verschiedenen Betriebszuständen [U_i gemessen bei $x=2,5 R_a$].

Abb. 6. Druckverteilungen auf Innenseite und Nabe bei verschiedenen Betriebszuständen.



keitsverteilung auf der Innenseite entsprechend von der theoretisch (ohne Nabe) berechneten. Auf der Innenseite ergibt sich sehr bald die gewünschte, nur mehr schwach zunehmende Geschwindigkeitsverteilung. Auch die Geschwindigkeit an der Nabenwand fügt sich diesem Gang ein, d.h. die Geschwindigkeitsverteilung über den Strömungsquerschnitt ist für $x \geq 0,5 R_a$ praktisch konstant. Damit hat sich die vorgeschlagene Entwurfsregel als brauchbar erwiesen, auch in diesem Falle, wo die Abänderung des Innenraumes groß ist.

Die Wanddruckverteilungen bei nichtstoßfreiem Eintritt sind in den Abb. 5 und 6 aufgetragen. Abb. 7 zeigt die Druckver-

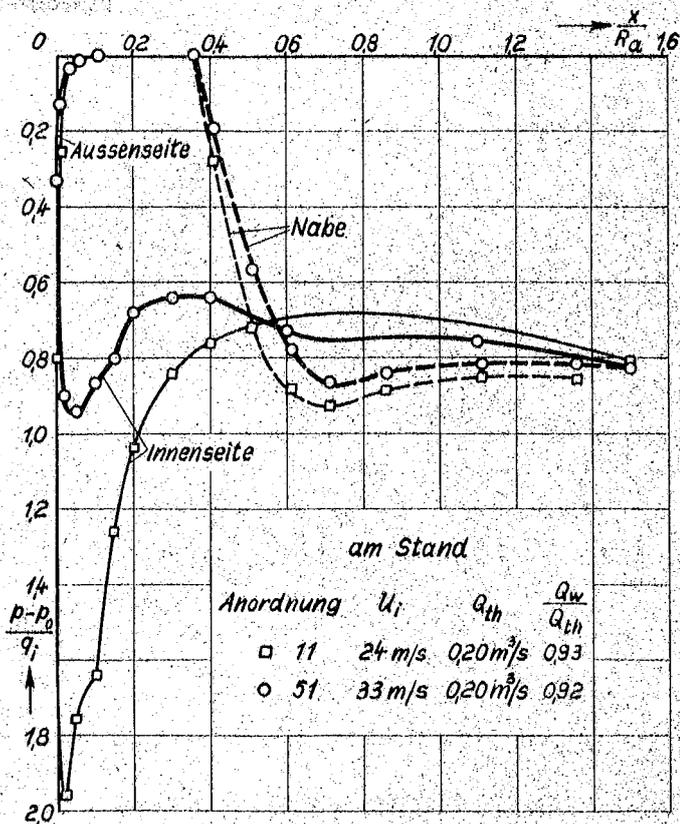


Abb. 7. Wanddruckverteilungen am Stand. Vergleich zweier Verkleidungen mit verschiedenen Nasenradien; vgl. Abb. 3.

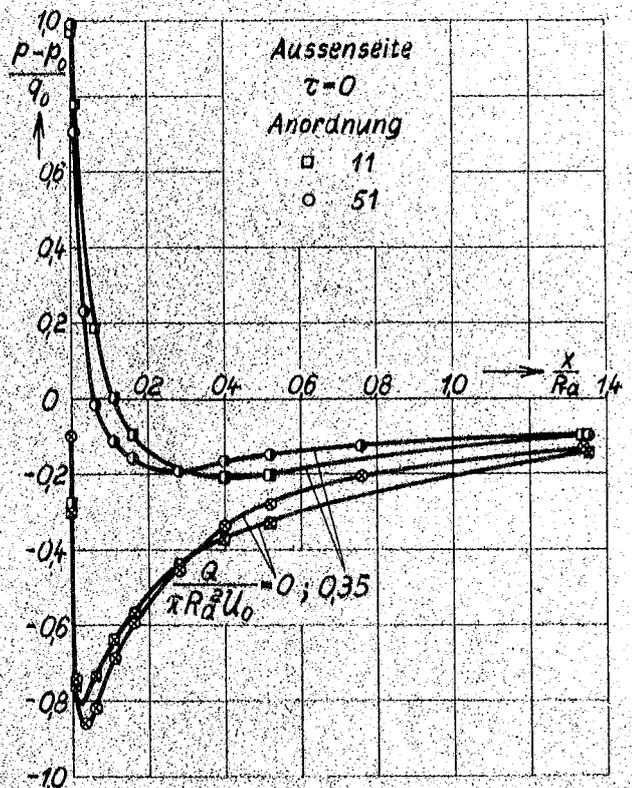


Abb. 8. Einfluss des Nasenradius auf die Druckverteilungen auf der Aussenseite.

teilungen am Stand. Von besonderem Interesse ist nun der Vergleich mit Verkleidung 1, welche sich von der Verkleidung 5 in der Hauptsache nur durch den Nasenradius unterscheidet (vgl. Abb. 3). Der Einfluß auf die Übergeschwindigkeiten auf der Außenseite ist nur gering (vgl. Abb. 8). Einen wesentlichen Unterschied bemerkt man jedoch bei den Druckverteilungen am Stand (Abb. 7). Trotz des etwas kleineren Eintrittsquerschnittes bei Verkleidung 5 ist die Unterdruckspitze auf der Innenseite bei weitem nicht mehr so groß. Auch die lokale Strömungsablösung im vorderen Teil der Innenseite bei Verkleidung 1 ist bei Verkleidung 5 kaum noch feststellbar. (vgl. auch Abb. 13). Um die Güte der Umströmung zu kennzeichnen, wurde in der IV. Mitteilung die Größe Q_w/Q_{th} gebraucht. Diese stellt das Verhältnis zwischen der wirklichen und der potentialtheoretischen Durchflußmenge dar. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß die unvermeidliche Wandreibungsschicht bei kleinen Strömungsquerschnitten stärker ins Gewicht fällt als bei größeren. So nimmt die Verdrängungsdicke der Grenzschicht bei der Anordnung 51 einen größeren Teil des Querschnittes ein als bei der Anordnung 11. Bei unseren Modellabmessungen ist die Größe Q_w/Q_{th} also kein eindeutiges Gütemerkmal, was z. B. beim Vergleich der in Abb. 7 (und 13) angegebenen Werte zu beachten ist.

In Abb. 9 sind die durch Integration aus den Wanddruckverteilungen gewonnenen Axialkräfte mit den theoretischen Werten

(vgl. die IV. Mitteilung) verglichen. Die Anzahl der Druckmeßstellen reichte jedoch im rückwärtigen Teil des Innenraumes nicht aus, um in allen Fällen einwandfreie Ergebnisse zu erhalten. Dieser Mangel macht sich aber erst bei größeren Durchflüssen ($U_1 > U_0$) in nennenswertem Maße bemerkbar. Bei geringen Durchflüssen ist die Übereinstimmung zwischen Messung und Theorie recht befriedigend. Es zeigt sich, daß die bei der theoretischen Aufteilung der Axialkräfte in Nabenschub und Verkleidungsschub gemachte Annahme, die Nabe befinde sich sehr weit im Inneren der Verkleidung selbst in unserem Falle brauchbar ist.

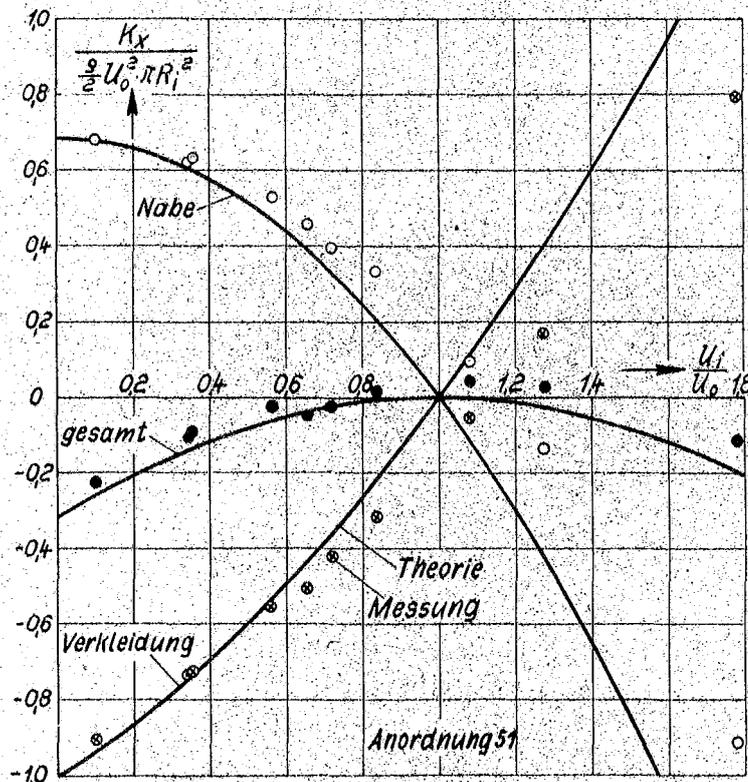


Abb. 9. Gemessene und gerechnete Axialkräfte.

Das Verhalten bei Schräganströmung ist gegenüber Anordnung 11 praktisch nicht geändert, weshalb nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht.

2. Verkleidungen mit verschiedener Nasenform. Die Verkleidungen 6 und 7, deren Form man aus Abb. 10 entnehmen kann, wurden durch Aufsetzen eines Holzringes auf Verkleidung 5 hergestellt. Da diese Messungen nur zur Übersicht dienen sollten, wurde auf die vorderen Druckmeßstellen verzichtet. Zunächst zeigt sich, daß die Übergeschwindigkeiten auf der Außenseite wahrscheinlich verringert werden (Abb. 11). Andererseits ergibt sich offenbar bei Anordnung 71 für Durchfluß Null ein lokales Abreißgebiet an der Nase, wie aus der Grenzschichtmessung an der Außenseite (Abb. 12) hervorgeht. Wesentlich verschlechtert werden jedoch die Strömungsverhältnisse im Innenraum bei größeren Durchflüssen (Staupunkt auf der Außenseite), besonders am Stand. Strömungsbeobachtungen mit Hilfe einer Fadensonde zeigten bei Anordnung 61 und 71, daß die Strömung auf der Innenseite unmittelbar hinter der Nase abriß. Dieses Verhalten findet man auch in den Geschwindigkeitsverteilungen über einen Innenquerschnitt (Abb. 13) wieder. Beim Vergleich der Anordnungen 51, 61 und 71 geben die Werte von Q_w/Q_{th} einen Anhalt über die Strömungsverluste. Aus Abb. 13 geht weiter durch Vergleich der Anordnungen 51 und 4 leer hervor, daß sich die Verluste auch bei 51 nur auf die Wandreibung beschränken. Daraus folgt, daß bei Anordnungen, bei denen sich unmittelbar hinter dem

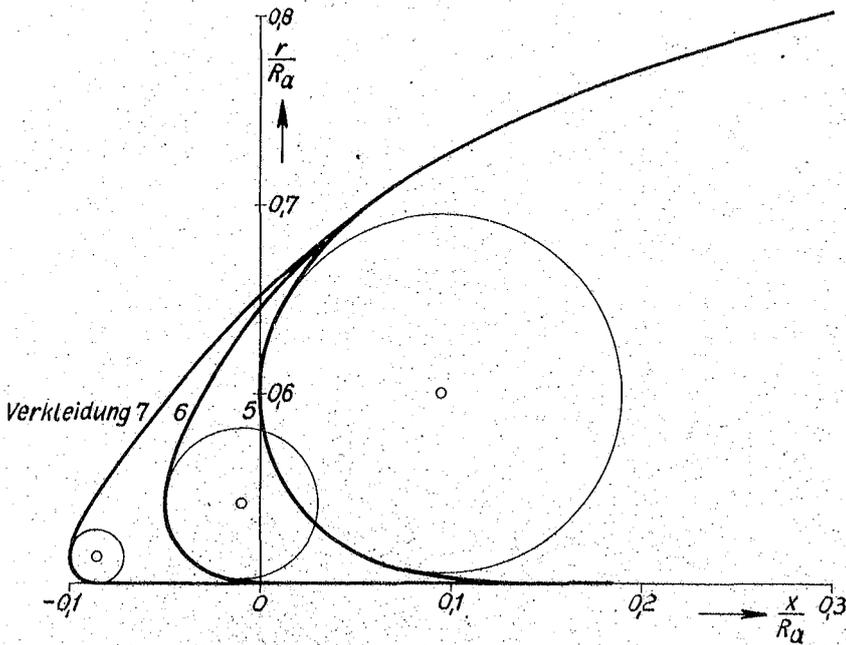


Abb. 10. Die Verkleidungen 6 und 7 als Abänderungen des Nasenteiles der Verkleidung 5.

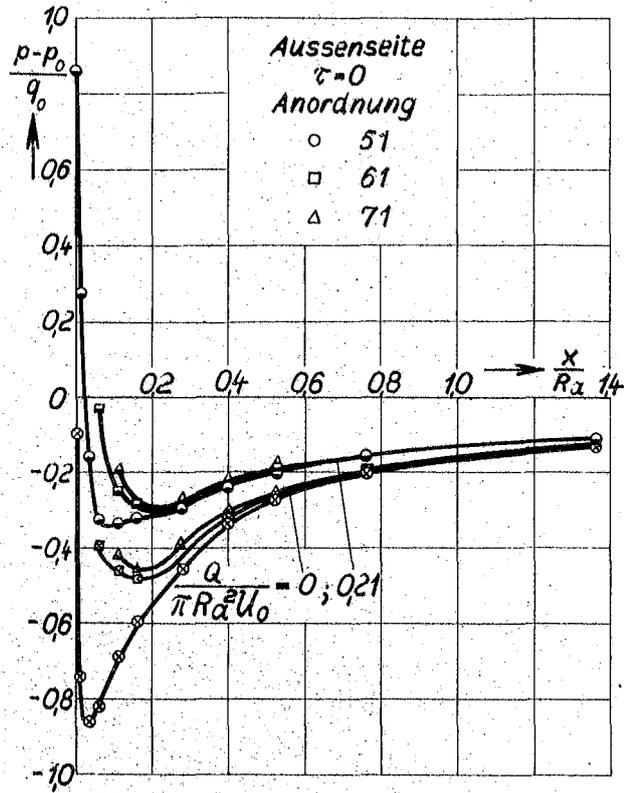


Abb. 11. Einfluss der Nasenform auf die Druckverteilungen auf der Aussenseite.

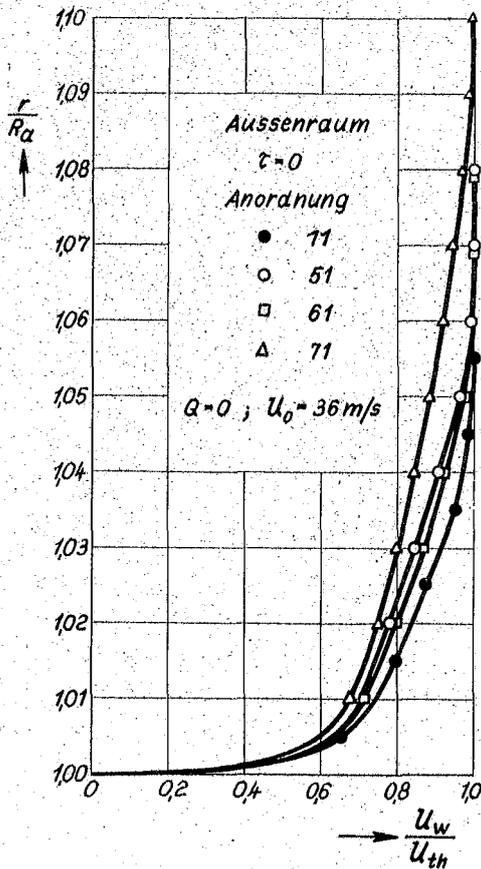


Abb. 12. Geschwindigkeitsprofile im Aussenraum für verschiedene Anordnungen bei $x=2,5 R_a$ für Durchfluss Null.

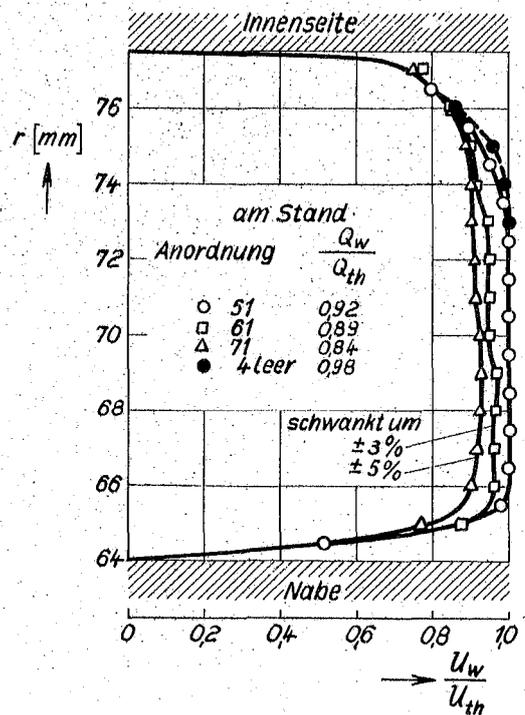


Abb. 13. Geschwindigkeitsprofile im Innenraum für verschiedene Anordnungen bei $x=2,5 R_a$ am Stand.

Einlauf eine Nabe befindet, der gewählte Krümmungsradius ausreicht, um auch am Stand eine verlustlose Strömung zu gewährleisten.

III. Zusammenfassung.

Während die in der IV. Mitteilung untersuchten Ringkörper den gleichen Nasenradius hatten, wird in diesem Bericht eine Reihe von Messungen an Einlaufgeräten mit verschiedener Nasenform vorgelegt. Die Messungen zeigen, daß es möglich ist, durch geeignete Wahl des Nasenradius und der Nasenform bei Anordnungen mit einer Nabe im Innenraum auch am Stand eine vollkommen verlustlose Strömung (abgesehen von der Wandreibung) zu erreichen. Eine spitze Nase verschlechtert die Strömungsverhältnisse im Innenraum bei großen Durchflüssen erheblich.

Es wird weiter vorgeschlagen, den Entwurf von Anordnungen mit Nabe dahingehend zu vereinfachen, daß die Gestaltung des Innenraumes unabhängig von der Außenseite behandelt wird. Die Wände des Innenraumes sind so zu formen, daß die Strömungsquerschnitte konstant bleiben, bzw. leicht abnehmen. Zur Lösung dieser Aufgabe wird das Strömungsbild der frei unströmten Nabe herangezogen. Die Brauchbarkeit der vorgeschlagenen Entwurfsregel wird durch die Meßergebnisse bestätigt.

Die Übergeschwindigkeiten auf der Außenseite im Schnellflug sind hinreichend klein und werden für stoßfreien Eintritt durch die Theorie gut wiedergegeben.