

428 | Januar 1983

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Gasau

Grenzschichteffekte an Tragflügelprofilen

Grenzschichteffekte an Tragflügelprofilen

H. Gasau , Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1983

© Technische Universität Hamburg-Harburg

Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 428

Grenzschichteffekte an Tragflügelprofilen

von

H. Gasau

Januar 1983

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit Kavitationsrechnungen an Tragflügelprofilen ist das Verhalten der Profilgrenzschicht von Interesse. Die einzelnen Grenzschichterscheinungen wie laminare bzw. turbulente Ablösung und der Umschlag in den turbulenten Strömungszustand können einen Einfluß auf das Kavitationsverhalten des Profils haben. In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine systematische Analyse der Grenzschicht an den NACA-Profilen 0015, 4412, 16006 und 16012. Es zeigt sich, daß die beiden letztgenannten Profile charakterisiert sind durch eine sprunghafte Änderung der Grenzschichtcharakteristik mit zunehmendem Anstellwinkel. Dies hat zur Folge, daß oberhalb eines kritischen Winkels das Kavitationsverhalten nicht mehr mit potentialtheoretischen Methoden erfaßt werden kann.

Abstract

Boundary-Layer Effects on Hydrofoils

In connection with the calculation of cavitation phenomena on hydrofoils the behaviour of the profile's viscous boundary layer is of interest. Various boundary layer phenomena such as laminar or turbulent separation and natural transition to turbulence may have an influence on the cavitation behaviour of the profile. In the present report the boundary layers of the NACA profiles 0015, 4412, 16006 and 16012 have been investigated systematically. The analysis shows that the profiles NACA 16012 and 16006 are marked by a precipitous change of the boundary layer characteristics with increasing angle of attack. As a result, the cavitation behaviour cannot be described by the methods of potential theory for angles of attack beyond a certain critical value.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Die Berechnung der Profilgrenzschicht	2
2.1. Bezeichnungen	2
2.2 Berechnung des laminaren Ablösepunktes und der Ablöseblase	3
2.3 Berechnung des turbulenten Umschlagpunktes	5
2.4 Berechnung des turbulenten Ablösepunktes	6
3. Diskussion der Rechenergebnisse	8
3.1 Profil NACA 0015	8
3.2 Profil NACA 4412	9
3.3 Profile NACA 16006 und NACA 16012	10
4. Schlußfolgerungen für Kavitationsrechnungen	12
5. Literatur	14
Anhang	
Verzeichnis der Abbildungen	16
Programm "Grenzschicht 1"	
Abbildungen	

1. Einleitung

Bei der Berechnung von Kavitationserscheinungen an Tragflügelprofilen mit auf der Potentialströmung basierenden profiltheoretischen Methoden ergeben sich teilweise erhebliche Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment. Wie in /1/ und /2/ gezeigt wird, ist die Abweichung besonders stark bei dem Profil NACA 16006. Bei den NACA-Profilen 0015 und 4412 hingegen ergeben sich gute bis sehr gute Übereinstimmungen zwischen Theorie und Experiment. Im Gegensatz zu den beiden letztgenannten treten beim dünnen Profil NACA 16006 sehr steile Druckgradienten auf. Dies legt nahe, für das unterschiedliche Kavitationsverhalten Grenzschichteinflüsse verantwortlich zu machen. Aus der Grenzschichttheorie, z.B. Schlichting /3/, ist ja bekannt, daß die entscheidende Größe bei Grenzschichtrechnungen der Druckgradient am umströmten Körper ist.

Bei bisherigen profiltheoretischen Berechnungen in /1/, /4/ und z.B. /5/ wurde stets von einer reinen Potentialströmung um das Profil ohne Zähigkeitseffekte ausgegangen. In der vorliegenden Arbeit wird bei vier der am häufigsten für Kavitationsuntersuchungen verwendeten NACA-Profilen (0015, 4412, 16012 und 16006) systematisch die Profilgrenzschicht untersucht. Insbesondere soll der Einfluß der einzelnen Grenzschichteinflüsse auf Kavitationsrechnungen geklärt und untersucht werden, unter welchen Bedingungen eine rein profiltheoretische Behandlung der Kavitation zulässig ist.

Folgende Möglichkeiten einer Beeinflussung des Kavitationsverhaltens durch die Profilgrenzschicht sind denkbar:

- a) Bei laminarer Ablösung der Grenzschicht kommt es zur Ausbildung einer Ablöseblase, die nach einer gewissen Strecke turbulent wieder anlegt. Die dann auftretenden turbulenten Druckschwankungen führen zu einer Druckabsenkung und damit zu einer Verstärkung der Kavitation. Unter bestimmten Bedingungen kann es bei laminarer Ablösung auch zu einer abgelösten Strömung mit Totwasserbildung kommen.

- b) Vor dem Auftreten einer laminaren Ablöseblase ist ein natürlicher Übergang der Grenzschicht zur Turbulenz möglich. Die auftretenden turbulenten Druckschwankungen beeinflussen die Kavitation.
- c) In einer turbulenten Grenzschicht kann es unter bestimmten Bedingungen zu einer Ablösung kommen. An der Ablösestelle bildet sich ein turbulentes Totwasser. Hierdurch wird die Druckverteilung am Profil entscheidend verändert.

In der vorliegenden Arbeit soll geklärt werden, welche der genannten Grenzschichteffekte an den betrachteten Profilen auftreten. Bisherige Grenzschichtuntersuchungen an Tragflügelprofilen im Zusammenhang mit Kavitationserscheinungen, z.B. von Casey /6/ oder Huang /7/, bezogen sich im wesentlichen auf den Kavitationseinsatz.

2. Die Berechnung der Profilgrenzschicht

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über die Verfahren geben werden, die zur Berechnung des Ablösepunktes sowie des turbulenten Umschlagpunktes verwendet wurden. Die Bestimmung des laminaren Ablösepunktes erfolgte auf der Grundlage des Karman-Pohlhausen-Verfahrens, das in der Literatur am häufigsten zur Berechnung laminarer Grenzschichten herangezogen wird. Die Berechnung des turbulenten Umschlagpunktes erfolgt unter Verwendung einer von Cebeci /8/ stammenden empirischen Formel.

2.1 Bezeichnungen

U_∞ = Zuströmgeschwindigkeit

L = Profillänge

ν = kinematische Zähigkeit

$C_p = 2 (P_\infty - P) / \rho U_\infty^2$ Druckbeiwert

$U_E = U_\infty \sqrt{1 + C_p}$ Konturgeschwindigkeit am Profil

$R_e = U_\infty L / \nu$ Profilreynoldszahl

δ = Grenzschichtdicke

δ	=	Impulsverlustdicke
R_∞	=	$U_E \delta / \nu$ Grenzschichtreynoldszahl
\bar{x}	=	Profilsehnencoordinate
x	=	\bar{x}/L dimensionslose Sehnencoordinate
θ	=	δ/L dimensionslose Impulsverlustdicke

2.2 Berechnung des laminaren Ablösepunktes und der Ablöseblase

Die Grundlage der Berechnungen bildet das Karman-Pohlhausen-Verfahren in der von Holstein, Bohlen und Walz verbesserten Form. Eine sehr ausführliche Einführung in dieses Verfahren wird von Schlichting in /3/ gegeben. Wir beschränken uns deshalb hier auf die Wiedergabe der wichtigsten Formeln.

Die laminare Grenzschicht läßt sich durch zwei sogenannte Formparameter charakterisieren, die entweder über die Grenzschichtdicke δ oder über die Impulsverlustdicke ϑ definiert sind.

$$\lambda = \frac{\delta^2}{\nu} \frac{du_e}{d\bar{x}} \quad \alpha = \frac{\vartheta^2}{\nu} \frac{du_e}{d\bar{x}} \quad (2.2.1)$$

In der Literatur, z.B. /9/, hat sich für die Vorhersage der laminaren Ablösung das folgende Kriterium durchgesetzt

$$\alpha \leq -0.09 \quad (2.2.2)$$

Die Ablösebedingung ist experimentell gut gesichert. Allerdings muß gesagt werden, daß der Zahlenwert -0.09 in (2.2.2) etwas willkürlich ist. Rechnungen zeigen, daß sich der Formparameter im Bereich der Ablösezone rasch ändert. Die Impulsverlustdicke ist nach Walz durch die folgende Relation bestimmt

$$\frac{u_e \bar{U}^2}{\nu} = \frac{0.47}{u_e^5} \int_0^x u_e^5 (\xi) d\xi \quad (2.2.3)$$

Zur numerischen Berechnung ist es günstig, (2.2.3) in eine dimensionslose Form zu bringen. Wir beziehen deshalb alle Längen auf die Profiltiefe. Mit der Abkürzung $\Theta = \bar{U}/L$ erhalten wir nach einigen Umformungen

$$\Theta^2 = \frac{0.47}{Re (1 + c_p)^3} \int_0^x (1 + c_p)^{2.5} d\xi \quad (2.2.4)$$

Die Ablösebedingung (2.2.2) nimmt dann die folgende Form an

$$\chi = \frac{Re \Theta^2}{2 \sqrt{1 + c_p}} \frac{dc_p}{dx} \leq -0.09 \quad (2.2.5)$$

Man erkennt aus (2.2.4) und (2.2.5), daß die Lage des laminaren Ablösepunktes unabhängig von der Profilreynoldszahl ist. Diese Tatsache wird experimentell auch bestätigt, so z.B. von v.d. Meulen /10/.

An der Stelle der laminaren Ablösung kommt es zur Ausbildung einer Ablöseblase, sofern nicht vorher ein natürlicher Umschlag der Grenzschicht zur Turbulenz stattgefunden hat. Nach einer gewissen Länge L_B legt die abgelöste Grenzschicht wieder turbulent an. Für die Länge solcher Ablöseblasen geben Huang und Peterson /9/ eine Interpolationsformel an, die auf Messungen von Gaster /11/ basiert.

$$\frac{L_B}{L} = 350 \frac{\Theta_{sep}}{\log R_{\gamma sep}} \quad (2.2.6)$$

mit $R_{\gamma} = R_e \Theta \sqrt{1 + C_p}$

Nach /9/ kommt es zu keinem Wiederauflösen der abgelösten Grenzschicht mehr, wenn die Reynoldszahl R_{γ} an der Ablösestelle den Wert 125 unterschreitet. Huang spricht in diesem Zusammenhang von einer "langen Blase".

Im Hinblick auf spätere Kavitationsuntersuchungen ist die Dicke der Grenzschicht an der Ablösestelle von Interesse. Liegt sie in der Größenordnung der Kavitationsschichtdicke an der dortigen Stelle, so ist mit Sicherheit eine rein potentialtheoretische Berechnung der Kavitation nicht mehr zulässig. Der Ablösebedingung (2.2.2) entspricht etwa $\lambda = -6.27$. Mit (2.2.1) erhalten wir also für die Grenzschichtdicke an der Ablösestelle

$$\frac{H_s}{L} \equiv \frac{\delta_{sep}}{L} = \sqrt{\frac{\lambda_{sep}}{\lambda_{sep}}} \Theta_{sep} \quad (2.2.7)$$

$$\approx 8.24 \cdot \Theta_{sep}$$

2.3 Berechnung des turbulenten Umschlagpunktes

Prinzipiell lässt sich die Lage des Umschlagpunktes über die Lösung der Orr-Sommerfeldt-Gleichung bestimmen. Die Berechnung der sogenannten Amplitudenfaktoren liefert dann den Umschlagpunkt. Solche Rechnungen sind z.B. von Huang und Peterson /9/ und Jaffe, Ohamura und Smith /12/ durchgeführt worden. Um die damit verbundenen komplizierten Berechnungen zu umgehen, haben

Cebeci und Smith /8/ eine empirische Beziehung zwischen der Impulsverlustdicke Θ_{tr} im Umschlagpunkt und der zugehörigen Lauflänge x_{tr} auf der Körperwand angegeben. In dimensionsloser Schreibweise lautet sie

$$R_{\Theta_{tr}} = 1.174 \cdot \left(1 + \frac{22400}{R_{x_{tr}}} \right) R_{x_{tr}}^{0.47} \quad (2.3.1)$$

mit $R_{\Theta_{tr}} = Re \Theta_{tr} \sqrt{1 + C_p}$

und $R_{x_{tr}} = Re x_{tr} \sqrt{1 + C_p}$

Die Lösung von (2.3.1) erfolgt numerisch durch ein Iterationsverfahren, beginnend mit ϑ an der Stelle des Instabilitätspunktes. Dieser wird nach einem Verfahren von Schlichting und Ulrich bestimmt. Einzelheiten hierzu sind in /3/ angegeben.

2.4 Berechnung des turbulenten Ablösepunktes

Ändert sich in einer turbulenten Grenzschicht das Verhältnis von Verdrängungsdicke δ^* zu Impulsverlustdicke ϑ über ein bestimmtes Maß, so kommt es zu einer turbulenten Grenzschichtablösung. Diese ist gekennzeichnet durch die Ausbildung eines turbulenten Totwassers an der Ablösestelle. Als Kriterium für das Auftreten turbulenter Ablösung gilt in der Literatur das Ansteigen eines Formparameters $H = \delta^*/\vartheta$ auf einen Wert über 1.8 bis 2.6, /3/, /13/. Die Grenzen dieses Ablösekriteriums sind fließend. Es zeigt sich aber in allen Rechnungen, daß der Wert von H an der Stelle der Ablösung rapide ansteigt. Wie bei allen Rechnungen an turbulenten Grenzschichten ist man auch bei der Berechnung des Formparameters auf semi-empirische Methoden angewiesen. Zur Bestimmung von H gibt es eine Fülle von Verfahren, siehe z.B. /3/, /13/, /14/. Alle diese Verfahren laufen auf die numerische Lösung eines Systems zweier simultaner Differentialgleichungen für den Formparameter und für die Impulsverlustdicke hinaus. Für unsere Rechnungen verwenden wir

eine Methode, die v. Doenhoff und Teterin in /15/ vorschlagen.
In dimensionsloser Schreibweise lautet die dort angegebene
Differentialgleichung für H

$$\frac{dH}{dx} = - e^{4.68[H-2.975]} \left[\frac{2}{C_F} \frac{1}{1+C_P} \frac{dc_P}{dx} + \frac{2.035}{\Theta}(H-1.286) \right] \quad (2.4.1)$$

Hierbei stellt

$$\frac{C_F}{2} = \frac{\tau_0}{\frac{S}{2} U_\infty^2}$$

den dimensionslosen Wandreibungskoeffizienten dar. Nach Tillmann und Ludwig /16/ ist er in guter Näherung gegeben durch

$$C_F = 0.246 * 10^{-0.678 H} R_J^{-0.268} \quad (2.4.2)$$

Der Impulssatz liefert eine Differentialgleichung für die Impulsverlustdicke

$$\frac{d\Theta}{dx} + (H+2) \frac{\Theta}{U_\infty} \frac{du_\infty}{dx} = \frac{C_F}{2} \quad (2.4.3)$$

Nach elementarer Umformung erhalten wir

$$\frac{d\Theta}{dx} = \frac{C_F}{2} - \left(1 + \frac{H}{2}\right) \frac{\Theta}{1+C_P} \frac{dc_P}{dx} \quad (2.4.4)$$

Die numerische Lösung von (2.4.2) und (2.4.4) erfolgt mit Hilfe eines Standard-Kutta-Runge-Verfahrens. Als Anfangswert wählen wir die Impulsverlustdicke und den Formparameter an der Stelle des natürlichen Überganges zur Turbulenz. Hier gilt in guter Näherung $\Theta(x_u) = \Theta_{\text{laminar}}(x_u)$ und

$$H(X_u) = 1.286 .$$

3. Diskussion der Rechenergebnisse

Zur Berechnung der Profilgrenzschicht wurde das Programm "Grenzschicht 1" in BASIC geschrieben. Es ist auf dem Microcomputersystem Sharp PC 1500 installiert und gestattet die Berechnung des laminaren Ablösepunktes, des turbulenten Wiederaufliegens, des Instabilitäts punktes sowie des natürlichen Umschlags zur Turbulenz. Ferner lassen sich damit der turbulente Ablösepunkt sowie die Druckverteilung und Druckgradienten der Profile berechnen. Ein Listing dieses Programms ist im Anhang abgedruckt.

Rechnungen wurden durchgeführt für die NACA-Profile 0015, 4412, 16006 und 16012. Für die drei erstgenannten liegen Kavitationsbeobachtungen und Rechnungen vor /1/,/2/. Es zeigt sich dort /1/, daß die Meßergebnisse im Schnitt bei den Profilen NACA 0015 und NACA 4412 wesentlich besser reproduziert werden als beim NACA 16006. Im folgenden betrachten wir die Grenzschicht an den einzelnen Profilen getrennt. Die Daten für die Druckverteilungen wurden aus Abbott - v. Doenhoff /14/ entnommen. Ein Tunneleffekt wurde nicht berücksichtigt.

3.1 Profil NACA 0015

Für dieses Profil liegen Messungen des laminaren Ablösepunktes von Casey /6/ vor. Wie die Abb. 9 zeigt, werden sie von der Theorie gut reproduziert. Rechnungen wurden durchgeführt für die Profilreynoldszahlen $3.6 \cdot 10^5$ und 10^6 . Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die Grenzschichtcharakteristik für dieses Profil. Bei der niedrigen Reynolds Zahl $R_e = 3.6 \cdot 10^5$ tritt bei allen Anstellwinkeln vor einem natürlichen Übergang zur Turbulenz laminare Ablösung auf. Zu natürlichem Umschlag zur Turbulenz kommt es bei $R_e = 10^6$ nur für Anstellwinkel kleiner als 4° . Wie der Abbildung 23 zu entnehmen ist, liegen die Grenzschichtreynoldszahlen R_{γ} an der Ablösestelle deutlich über 125. Es kommt hier also in allen Fällen zu einem turbulenten Wieder-

anlegen der abgelösten Grenzschicht.

Von besonderem Interesse für Kavitationsrechnungen ist das Verhältnis zwischen Grenzschichtdicke H_g und Kavitations- schichtdicke H_{kav} an der Stelle der laminaren Ablösung. Die Berechnung von H_g erfolgt nach Gl. (2.2.7). Zur Bestim- mung der Kavitationsschichtdicke verwenden wir eine in /17/ begründete Näherungsformel. In der Regel erfolgt der Kavita- tionseinsatz in der Nähe des potentialtheoretischen Druckmini- mums. Ist dies nicht allzuweit von der Profilvorderkante ent- fernt, so gilt für die Dicke einer Kavitationsschicht an der Stelle x

$$\frac{H_{kav}}{L} = \delta_0 * (x - x_{min}) \quad (3.1.1)$$

Hierbei sind δ_0 der Zuströmwinkel und x_{min} der Ort des Druckminimums. Das Verhältnis von H_g zu H_{kav} ist in Abb. 19 eingetragen. Es liegt für Anstellwinkel größer 5° praktisch immer unter 0.1. Die Höhe der Grenzschicht macht also nur ein Zehntel der Kavitationsdicke aus. In diesem Fall ist eine rein potentialtheoretische Berechnung der Kavitation sicher zulässig. So ergeben sich in /4/ und /1/ auch sehr gute Übereinstimmungen zwischen Theorie und Messungen. Der Anstieg der Kurve für kleine Anstellwinkel erklärt sich durch die Tatsache, daß der Kavitationseinsatz dann erheblich von der Profilvorderkante entfernt ist. Die Grenzschicht hingegen entwickelt sich stets ab der Vorderkante, so daß bei niedrigen Anstellwinkeln H_g an der Ablösestelle wesentlich größer ist als bei höheren. Interessanterweise ergibt die Theorie bei $\delta_0 = 2^\circ$ eine deut- lich größere Differenz zu den Kavitationsmessungen als bei höheren Anstellwinkeln.

3.2 Profil NACA 4412

Hier liegen umfangreiche Grenzschichtmessungen von v.d. Meulen /10/ vor. Unsere Rechnungen erstrecken sich über einen Bereich des Anstellwinkels von 2° bis 16° und wurden für die drei

Profilreynoldszahlen $2 \cdot 10^5$, $4 \cdot 10^5$ und 10^6 durchgeführt.

Im Vergleich zum Profil NACA 0015 zeigt das 4412 eine stärkere Änderung der Lage des Ablösepunktes mit zunehmendem Anstellwinkel. Wie die Abbildungen 11 - 13 zeigen, stimmen die Ergebnisse im wesentlichen mit den Messungen überein. Es zeigt sich hier, daß die Lage des laminaren Ablösepunktes im wesentlichen unabhängig ist von der Profilreynoldszahl. Zu einem natürlichen Übergang zur Turbulenz kommt es nur bei $R_e = 10^6$ für Anstellwinkel kleiner als 8° . Dies entspricht auch den Beobachtungen von v.d. Meulen. In den Abbildungen 11 - 13 sind zusätzlich Meßpunkte für den Beginn der Turbulenz eingezeichnet. Van der Meulen unterscheidet hierbei nicht zwischen turbulentem Wiederanlegen und natürlichem Übergang zur Turbulenz. Die Meßpunkte stimmen recht gut mit dem nach (2.2.6) berechneten Ort des turbulenten Wiederanlegens der abgelösten Grenzschicht überein. Dies bestätigt die Vorstellung, daß die Strecke zwischen laminarer Ablösung und turbulentem Wiederanlegen im wesentlichen durch die Länge der beobachteten Ablöseblase bestimmt ist. Abbildung 23 zeigt die Grenzschichtreynoldszahlen an der Ablösestelle. Für Anstellwinkel über 12° sinken die Werte von $R_{\sqrt{J}}$ unter 125. Nach Huang /9/ ist dies gleichbedeutend mit der Ausbildung eines freien Totwassers an der Ablösestelle. Van der Meulen beobachtet einen solchen Effekt für einen Anstellwinkel von 16° . Der Verlauf von H_g/H_{kav} zeigt, daß der Wert für Anstellwinkel zwischen 4° und 10° unter 0.2 liegt. Auch hier wird eine rein potentialtheoretische Rechnung zulässig sein. Generell läßt sich sagen, daß das Profil NACA 4412 ein ähnliches Grenzschichtverhalten besitzt wie das NACA 0015.

3.3 Profile NACA 16006 und NACA 16012

Ein vollkommen anderes Grenzschichtverhalten als die beiden zuerst untersuchten zeigen die NACA-Profile 16012 und 16006. Für das 16012 liegen ausführliche Messungen von v.d. Meulen /10/ vor. Charakteristisch für beide Profile sind sehr steile Druckgradienten. Wie den Abbildungen 6 und 8 zu entnehmen ist, liegen sie um eine Größenordnung höher als bei den Profilen NACA 0015 und 4412. Dies hat einen starken Einfluß auf die

Profilgrenzschicht. Beide Profile zeigen eine sprunghafte Änderung des laminaren Ablösepunktes. Beim NACA 16012 ändert sich die Lage des Ablösepunktes zwischen 4° und 5° Anstellwinkel von 65 % auf 1.5 % Profiltiefe. Wie die Abbildungen 14 - 16 zeigen, stimmt dies relativ gut mit Messungen von v.d. Meulen überein. Bei dem dünneren Profil NACA 16006 liegt der kritische Zuströmwinkel zwischen 2° und 3° . Hier verschiebt sich die laminare Ablösung von 80 % auf 0.2 % Profiltiefe. Die Abb. 21 und 22 zeigen das Verhältnis H_s/H_{kav} für beide Profile. Die Abbildungen zeigen eine Korrelation zur Lage des Ablösepunktes. In dem Bereich des Anstellwinkels, in dem sich der Ablösepunkt stark verschiebt, steigt H_s/H_{kav} von ca. 0.1 sprunghaft auf 0.8 (16012) bzw. 2 (16006) an. Dies bedeutet, daß die Grenzschicht an der Ablösestelle bei beiden Profilen in der Größenordnung der Kavitationsschichtdicke liegt.

Wie schon vorher erwähnt, ist im Zusammenhang mit der Ausbildung der Ablöseblase die Grenzschichtreynoldszahl R_{sep} von Interesse. Hier zeigt sich bei beiden Profilen im Bereich der kritischen Anstellwinkel ein starker Abfall auf Werte unter 100 (Abb. 24). Nach Gaster /11/ bedeutet dies, daß es zu keinem turbulenten Wiederaufladen der abgelösten Grenzschicht mehr kommt. Van der Meulen beobachtet dies beim NACA 16012 für Anstellwinkel größer als 7° . Bei 5° kam es in den meisten Fällen noch zu einem Wiederaufladen.

Ein natürlicher Umschlag der Grenzschicht zur Turbulenz tritt bei den Profilen nur unterhalb der kritischen Anstellwinkel auf. Die Berechnung der turbulenten Ablösepunkte ist bei beiden Profilen bedeutungslos, da es zu keinem turbulenten Aufladen der Grenzschicht mehr kommt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei den Profilen NACA 16012 und 16006 ab den kritischen Anstellwinkeln von 4° bzw. 2° eine rein potentialtheoretische Berechnung der Kavitation nicht mehr zulässig ist.

4. Schlußfolgerungen für Kavitationsrechnungen

Die im Kapitel 3 diskutierten Ergebnisse zeigen, daß sich die untersuchten Profile im Hinblick auf Kavitationsuntersuchungen in zwei Kategorien einteilen lassen:

a) NACA 0015 und NACA 4412

Diese Profile sind gekennzeichnet durch eine gemäßigte Änderung der Grenzschichtgrößen in Abhängigkeit vom Anstellwinkel. Im Bereich der üblichen Zuströmwinkel ($\delta_0 \leq 8^\circ$) ist eine rein potentialtheoretische Rechnung zulässig. Die profiltheoretische Behandlung repräsentiert im Durchschnitt die Meßergebnisse gut /1/,/4/.

b) NACA 16012 und NACA 16006

Beide Profile sind charakterisiert durch ein sprunghaftes Grenzschichtverhalten. Unterhalb eines kritischen Anstellwinkels kommt es entweder zu einem natürlichen Umschlag der Grenzschicht zur Turbulenz oder zu laminarer Ablösung im hinteren Profilbereich. Bei höheren Anstellwinkeln tritt laminare Ablösung in der Nähe der Profilvorderkante auf, verbunden mit der Ausbildung eines turbulenten Totwassers an der Ablösestelle. Hier ist eine rein potentialtheoretische Behandlung der Kavitation nicht mehr zulässig. Beeindruckend bestätigt wird dies durch die Rechnungen von Gasau /1/ und Alwardt /2/ für das Profil NACA 16006. Der kritische Anstellwinkel liegt bei 2° . Hier ist die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment gut. Bei höheren Anstellwinkeln hingegen wie 3° und 4° zeigt sich eine deutliche Diskrepanz.

Es stellt sich jetzt die Frage, wie die oben erwähnten Grenzschichteffekte in Kavitationsrechnungen berücksichtigt werden können. In einer turbulenten Grenzschicht treten zeitlich und örtlich veränderliche Druckschwankungen p' auf. Näherungsweise kann man sich vorstellen, daß der potentialtheoretische Druck $P(x)$ verringert wird um das lokale, zeitlich gemittelte Druckschwankungsquadrat

$$P_{\text{turb}}(x) = P_{\text{pot}}(x) - \sqrt{\bar{p'}^2(x)} \quad (4.1)$$

Über die Größe dieser Druckschwankungssquarete gibt es mehrere Untersuchungen. Es sei hier besonders auf den Übersichtsartikel von Willmarth /18/ verwiesen. Dort wird das Druckschwankungsquadrat in Relation zur Wandschubspannung τ_o gesetzt. Die Behandlung des Totwassers einer abgelösten Grenzschicht ist mit den hier dargestellten Methoden nicht möglich.

An dieser Stelle sei Herrn Professor Dr. W.H. Isay für seine wertvollen Hinweise und seine ständige Bereitschaft zur Diskussion gedankt. Für ihre Hilfe bei der Herstellung der Abbildungen möchte ich Frau Wagener herzlich danken.

Die Arbeit am vorliegenden Bericht wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsvorhabens IS 10/29-1 finanziert.

5. Literatur

- /1/ H. Gasau:
Zur Behandlung der stationären Teil- und Super-kavitation an Tragflügelprofilen.
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg (IfS)
Bericht Nr. 416 (1982)
- /2/ P. Alwardt:
Beitrag zur Berechnung von instationären Kavitationserscheinungen am Tragflügel und Schiffspropeller.
IfS-Bericht in Vorbereitung (1983)
- /3/ H. Schlichting:
Grenzschichttheorie - 5. Auflage.
Verlag Braun, Karlsruhe (1965)
- /4/ P. Alwardt, W.H. Isay:
Zur Behandlung der Teilkavitation an Flügeln mit Methoden der Profiltheorie.
IfS-Bericht Nr. 399 (1981)
- /5/ T. Nishiyama, J. Ito:
Linearized Theory of Partially Cavitated Hydrofoils by Singularity Method.
Techn. Rep. of the Tohoku University Vol. 42 (1977)
- /6/ M.V. Casey:
The Inception of Attached Cavitation from Laminar Separation Bubbles on Hydrofoils.
Proc. of the Conference on Cavitation Edinburgh (1974)
- /7/ T.T. Huang:
Cavitation Inception Observations on six Axisymmetric Headforms.
Proc. of the ASME Int. Symposium on Cavitation Inception New York (1979)
- /8/ T. Cebeci, A.M.O. Smith:
Analysis of Turbulent Boundary Layers.
Academic Press, New York (1974)
- /9/ T.T. Huang, F.B. Peterson:
Influence of Viscous Effects on Model/Full-Scale Cavitation Scaling.
Journal of Ship Research Vol. 20, No. 4 (1976)
- /10/ J.H.J. van der Meulen:
Boundary Layer and Cavitation Studies of NACA 16012 and NACA 4412 Hydrofoils.
Proceeding of the 13th Symposium on Naval Hydrodynamics Tokyo (1980)
- /11/ M. Gaster:
The Structure and Behavior of Laminar Separation Bubbles.
AGARD Conference Proceedings No. 4 (1966)

- /12/ U.A. Jaffe, T.T. Okamura, A.M.O. Smith:
Determination of Spatial Amplification Factors
and Their Application to Predicting Transition.
AIAA Journal Vol. 8, No. 2 (1970)
- /13/ T. Cebeci, P. Bradshaw:
Momentum Transfer in Boundary Layers.
McGraw Hill, New York (1977)
- /14/ I. Abbott, A.E. von Doenhoff:
Theory of Wing Sections.
Dover Publications, New York (1959)
- /15/ A.E. von Doenhoff, N. Tetrovin:
Determination of General Relations for the Behavior
of Turbulent Boundary Layers.
NACA Rep. No. 772 (1943)
- /16/ H. Ludwig, W. Tillmann:
Investigation of the Wall Shearing Stress in
Turbulent Boundary Layers.
NACA Report TM 1285 (1949)
- /17/ W.H. Isay:
Kavitation.
Schiffahrtsverlag "Hansa" C. Schroedter & Co.,
Hamburg (1981)
- /18/ W.W. Willmarth:
Pressure Fluctuations Beneath Turbulent Boundary
Layers.
Ann. Rev. of the Journal of Fluid Mechanics (1975)

Verzeichnis der Abbildungen

Abb.

Druckverteilung	Profil	NACA 0015	1
Druckgradient	Profil	NACA 0015	2
Druckverteilung	Profil	NACA 4412	3
Druckgradient	Profil	NACA 4412	4
Druckverteilung	Profil	NACA 16012	5
Druckgradient	Profil	NACA 16012	6
Druckverteilung	Profil	NACA 16006	7
Druckgradient	Profil	NACA 16006	8
Grenzschichtcharakteristik	NACA 0015		9 - 10
Grenzschichtcharakteristik	NACA 4412		11 - 13
Grenzschichtcharakteristik	NACA 16012		14 - 16
Grenzschichtcharakteristik	NACA 16006		17 - 18

Verhältnis von Grenzschichtdicke zu
Kavitationsdicke an der Stelle der
laminaren Ablösung:

NACA 0015	19
NACA 4412	20
NACA 16012	21
NACA 16006	22

Grenzschichtreynoldszahlen an der Stelle
der laminaren Ablösung

23 - 24

GRENZSCHICHT 1

```

5:ARUN :LF -5:GOTO "MENUE"
10:REM *
20:REM *
30:REM *
40:REM * H.Gasau 8/12/82 *
50:REM *
60:REM *
70:REM *
80:REM *
90:REM *
95:Q"CLEAR
99:COSUB "FORMAT":COSUB "PROFIL":
    WAIT 1
100:INPUT "Reynoldszahl":=;RE
105:INPUT "Ablesung bei x/L":=;XS:=T
    XS>THEN 60SUB 1280
110:CLS :COSUB "LINE":COLOR 3:CSIZE
    3:USING
115:R=>"Berechnung des"
120:LPRINT "Berechnung der Grenzschicht"
124:COLOR 1:CSIZE 2
128:LPRINT P:=LPRINT D=
130:COSUB "CP-MIN"
135:LPRINT "Reynoldszahl":=;LPRINT
    STR# (RE)
140:COLOR 2:LF 1
150:LPRINT B:=LPRINT "laminaren Ablo
    sungsverlust"
155:COLOR B:CSIZE 1:LF 1
160:COLOR B:CSIZE 1:LF 1
165:COSUB "Keep"
170:COLOR 2:CSIZE 2
175:LPRINT "Iam. Abloesung bei":
    LPRINT "x/L":=;USING FB:=INT (
    XS*1000+.5)/10; %
180:COSUB "RTHETA":LF 2:COSUB "BUBL
    E"
200:LPRINT B:=LPRINT "Instabilitaets
    -T":LPRINT "Punktes"
210:COLOR 0:CSIZE 1:LF 1
220:COSUB "Xinit"
225:COLOR 2:CSIZE 2
230:LPRINT "Instabilitaetspkt."
    LPRINT "bei"
235:LPRINT "Xinit/L":=;USING FB:=INT
    (X1*1000+.5)/10; %
240:LF 2:LPRINT B:=LPRINT "UmschlagP
    unktes"
250:COSUB "ITER2"
260:LPRINT "turb. Umschlag bei":
    LPRINT "x/L":=;USING FB:=XT*
    100; %
270:COSUB "RTHETA":COSUB "LINE":END
280:REM
282:REM
284:REM
286:REM
288:REM
290:"BUBBLE":LPRINT LEFT# (B#,11);"d
    er":LPRINT "Iam. Abloesseblace"
290:LB=358*T/L/LOG RT
295:LPRINT "lb/L":=;USING FB:=LB
310:LPRINT "hb/L":=;USING "#.####";1
    .55*T/L:IF D0=0 THEN 330
320:LPRINT "Hdelta/Hkav":=;USING F3#
    4;.19*T/L/DB/XS
330:LPRINT "Turb. Anlegen bei".
    LPRINT "x/L":=;USING FB:=XS+LB
    *100; %
340:LF 2:RETURN
350:REM
360:REM
370:REM
380:REM
390:REM
400:"RTHETA":LPRINT "theta/L":=;USING
    FS#:T
410:RT=R*T*SQR (1+CP)
420:LPRINT "theta":=;USING "#.####";R
    T:RETURN
430:REM
440:REM
450:REM
460:REM
470:REM
1000:"Keep":IF XS>0 THEN 60SUB 1300:
    RETURN
1005:DX#=0:X=0:K1=1
1006:IF P=20 R=P=30 R=P=7 THEN LET DX=
    .01
1008:IF P=2 AND VAL RIGHT# (D#,9)>2
    THEN LET DX=.001
1010:X=X-DX:COSUB "KAPPA"
1015:PRINT "x/L":=;USING FS#:X; " Kap
    pa":=;USING F3#:KA
1020:IF KAC=0 THEN 1020
1030:LPRINT "x/L":=;USING FS#:X;TAB
    21; Kappa":=;USING F3#:KA
1035:IF KAKITHEN 1020
1040:K1=KA:COTO 1010
1050:IF ABS (KA-.09-1)<.01 THEN 106
    5
1060:X=X-DX:DX=DX/10:K1=1:COTO 1010
1065:XS=X-DX/2:LF 1:RETURN
1070:IF KB<0 THEN 1010
1080:K=0:DX=1:KB=1:COTO 1010
1090:REM
1100:REM
1110:REM
1120:REM
1130:REM
1200:INPUT "Xinit/L":=;XN; "Re":=;R#
    ; "theta/L":=;TL:RETURN
1300:Y=XS:COSUB "CP"
1310:TL=T*L*SQR (R1/RE):RETURN
1320:REM
1330:REM
1340:REM
1350:REM
1360:REM
2000:Xinit":X=0:DX=.1:TF P=3 THEN
    LET DX=.001
2010:X=X-DX
2020:COSUB "RDELTA"
2030:PRINT "x=";USING F6#:X; " =";
    RC/RD
2040:IF RC>RD THEN 2060
2045:LPRINT "x/L":=;TAB 19;"Ro/Rd=
    "RC/RD
2050:COTO 2010
2060:IF ABS (RC/RD-1)<.01DR DX<=.00
    1 THEN 2075
2070:X=X-DX:DX=DX/2:LF 1:RETURN
2080:REM
2090:REM
2100:REM
2110:REM
2120:REM
2000:RDELTA":60SUB "KAPPA"
3000:IF KA=.0940 THEN LET KA=.0940:
    COTO 3010
3005:IF KA=.1567 THEN LET KA=-.1567
    :COTO 3010
3010:K=KA:COSUB "ITER1":LA=IN
3020:COSUB "RC"
3030:=(.3-LA/120)/(.1125-LA/945-LA
    *LA/9022)
3040:RD=TL*H*RE
3050:RETURN
3060:REM
3070:REM
3080:REM
3090:REM
3100:REM
3100:KAPPA":T=1
4010:IF COSUB "RTHETA":COSUB "DCP"
    4020:KA=R*T*TL*T*L*DC/SQR (1+CP)/2
4030:RETURN
4040:REM
4050:REM
4060:REM
4070:REM
4080:REM
4090:REM
5000:IF LA<-5.5 THEN LET RC=.08.2
    34*(LA+12)^1.2178:RETURN
5010:IF LA<1.5 THEN 5040
5020:IF LA>3 THEN 5050
5030:RC=4100+2150*(LA-3)^.8592:
    RETURN
5040:RC=.00+17.25*(LA+5.5)^1.803:
    RETURN
5050:RC=.00+191.3*(EXP (.6747*(LA+1
    .5))-1):RETURN
5060:REM
5070:REM
5080:REM
5090:REM
5100:ITER1":IF K>0 THEN LET J=.01:
    COTO 5020
5010:J=.01
5020:COSUB 5100
5030:IF ABS (J-IN-1)<1E-6 THEN 5060
5040:=(J-IN)^2/IN
5050:PRINT USING "N":IN:RETURN
5100:IN=.1175-1.945-J*0.0072
5110:IN=K/J\IN:IN:RETURN
5120:REM
5130:REM
5140:REM
5150:REM
5160:REM
5000:RTHETA":60SUB "SIMPSON"
5010:ON T60TO 7020,2048
5020:TL=SQR (.47*(1+CP)^-3/RE*A*B/3
    )
5030:RETURN
5040:T=.0026/RE^(1/6)/(1+CP)^(2/4)
    *#A#^2/3
5050:T=T-TA^(6/7):RETURN
5060:REM
5070:REM
5080:REM
5090:REM
5100:SIMPSON":IF P=20 R=P=3 THEN LET
    F=15:COTO 2110
5105:F=.1B
5110:IF A=0: E=AC5 (1-2*X):B=E/2/F
    5115:A=0: T=D:COSUB 7165
    5120:=(A-Y-A)*T=TH+B:COSUB 7165
    5130:=(A-Y-A)*T=TH+B:COSUB 7165
    5140:=(A-Y-A)*T=TH+B-1
    5150:IF FK>0 THEN 7120
    5160:RETURN
    5165:ON T60TO 7120,7190
    5170:COSUB "LP(TH)":Y=(1+CP)^-2.5:
    COTO 7200
    5180:COTO 7200
    5190:COSUB "LP(TH)":Y=(1+CP)^(-5/3)
    5200:Y=Y*SQR (1+YD*YD)*SIN TH/2:
    RETURN
    5220:REM
    5230:REM
    5240:REM
    5250:REM
    5260:REM
    5000:ITER2":Y=1:COSUB "S(X)":SL=S
    5005:Y=X1:=1
    5010:COSUB "CEBECK"
    5020:PRINT USING " "; iter..: Yr
    cos":=;USING F9#:X#*100; %
    5030:IF ABS (X#*X-1)<.005 THEN
    RETURN
    5040:T=J+1:Y=XT:COTO 8810
8050:REM
8060:REM
8070:REM
8080:REM
8090:REM
8100:CEBECK":T=1:COSUB "THETA"
8120:RK=R*E*SQR (1+CP):RT=TL*RK
8140:COSUB "S(X)":RS=RK*S:ST=J.174/
    RT*(S+2400/RK)*RS^.46
8145:COSUB "X(S)":RETURN
8150:REM
8160:REM
8170:REM
8180:REM
8190:REM
9000:"S(X)":E=AC5 (1-2*X):L=1
9010:COSUB "SIMPSON2":S=A*B/3
9020:RETURN
9030:"X(S)":E=AC5 (1-2*ST/SL):L=2
9040:COSUB "SIMPSON2":X=A*B/3
9050:RETURN
9060:"SIMPSON2":S=5:R=E/2/F
9070:A=0:TH=0:COSUB 9130
9080:=(A-Y-A)*T=TH+B:COSUB 9130
9090:=(A-Y-A)*T=TH+B:COSUB 9130
9100:=(A-Y-A)*T=TH+B-1
9110:IF FK>0 THEN 9080
9120:RETURN
9130:SI=SIN TH:LD=COS (TH/2):YD=B0*(
    CD*CO-SI*SI)
9140:ON C60TO 9150,9160
9150:Y=SQR (SI*SI/4-YD*YD):RETURN
9160:Y=SI*SI/4-YD*YD:Y=SQR ABS Y:
    RETURN
9170:REM
9180:REM
9190:REM
9200:REM
9210:REM
10000:R"CLEAR":COSUB "FORMAT":COSUB
    "PROFIL":WAIT 1
10005:IF J=0:PRINT "Please select
    Plot":WAIT 1:PRINT "CPlot=1 C
    Plot=2 dCP/dx=3"
10010:PL=VAL INKEY":IF PL=0 THEN 100
    10
10012:IF PL>3 THEN 10005
10014:DIM LX1000,LY1000
10015:ON PL60TO "PLOT1","PLOT2","PLO
    T3"
10016:ON PL60TO "PLOT1","PLOT2","PLO
    T3"
10020:REM
10021:REM
10022:REM
10023:REM
10024:REM
10025:PLOT1":INPUT "CPmax":Y2
10026:FOR A=1 TO 19
    10030:=(A-1)*0:COSUB 1010
10040:NEXT A
10050:FOR A=20 TO 40
    10070:=(A-25-.6)*COSUB 1010
10080:NEXT A
10090:COTO 10120
10100:COSUB "CP":LX(A)=X:LY(A)=CP
    10110:PRINT "x":USING X; " CP":
    USING F9#:P:RETURN
    10120:Y=1:Y2=1:Y1=0
    10130:=(A-Y-A)*T=1-Y1=0
    10140:=(A-Y-A)*T=1-Y2=0
    10150:COSUB "LINE":LF 3:COSUB "DRAW
    2"
    10200:=(A-1)*COSUB "LX,LY":CLCURSOR (LX
    ,LY)
    10210:FOR A=2 TO 40:COSUB "LX,LY"
    10240:LINE -(LX,LY),0,3
    10250:NEXT A:TEXT :LF 3:COSUB "LINE"
    END
    10260:REM
    10270:REM
    10280:REM
    10290:REM
    10300:REM
    10310:INPUT "Max(dCP/dx)":Y2
    10315:INPUT "Max(x/L)":Y2
    10320:FOR A=1 TO 100
    10330:=(A-100)*X2:COSUB "DCP"
    10340:PRINT "x/L":USING F9#:DC
    10350:LX(A)=X:LY(A)=DC:NEXT A
    10355:LY(100)=LY(33)
    10360:Y=1:Y2=Y2-*#*4CP/dx"
    10365:=(A-Y-A)*T=(X2-X1)*Y
    10370:COSUB "DRAW1"
    10375:=(A-1)*COSUB "LX,LY":CLCURSOR (LX
    ,LY)
    10380:FOR A=2 TO 100:COSUB "LX,LY"
    10390:LINE -(LX,LY),0,3
    10400:NEXT A
    10410:CLCURSOR (0,0):TEXT :LF 3:
    COSUB "LINE":END
    10420:REM
    10430:REM
    10440:REM
    10450:REM
    10500:LINE"TEXT :CSIZE 2:LF 3
    10510:GRAPH :LINE (10,0)-(210,0),0,1
    TEXT :COSUB "TIME":LF 4:
    RETURN
    10520:REM
    10530:REM
    10540:REM
    10550:REM
    10560:REM

```

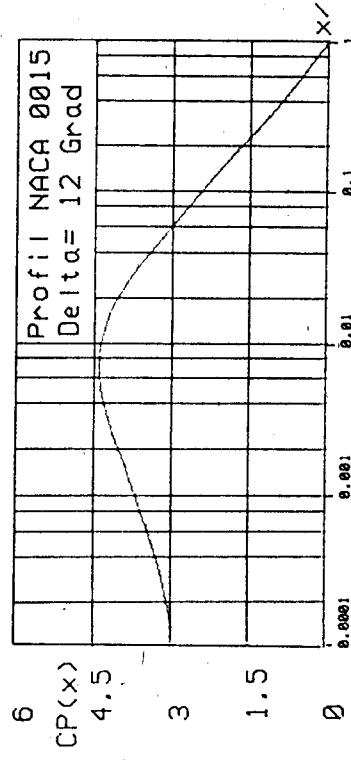
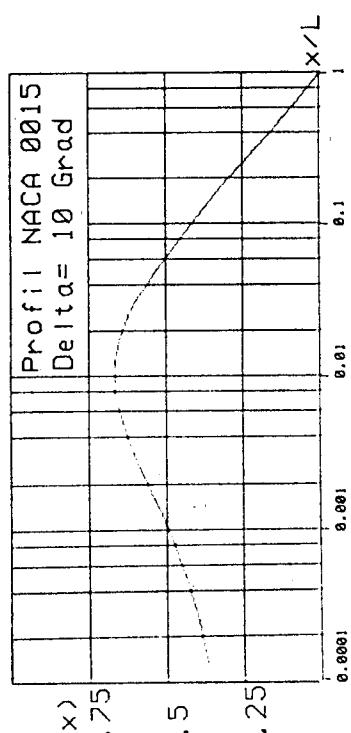
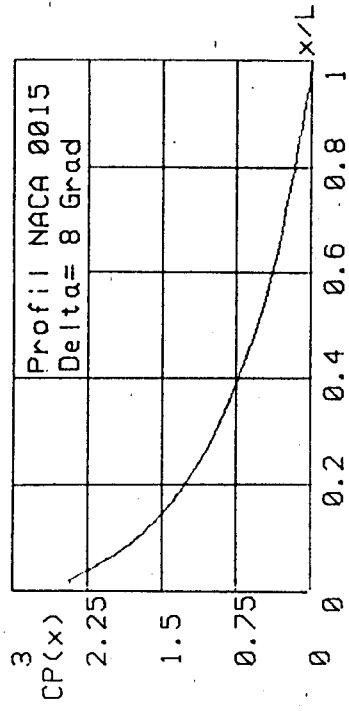
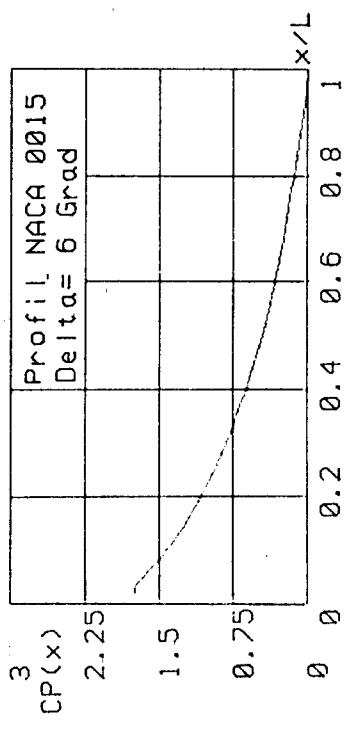
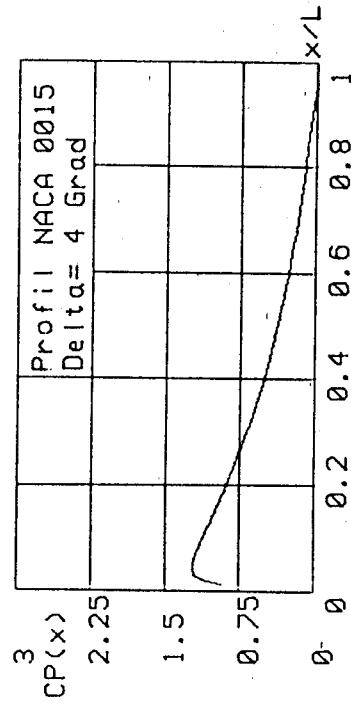
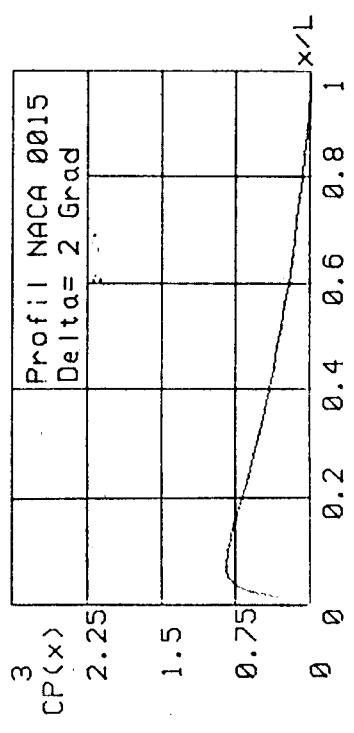
```

10600: LX, LY=LX=INT ((LX(A)-X1)*C/(X2-X1))
10610: LY=INT ((LY(A)-Y1)*B/(Y2-Y1))
10620: IF LY=0 THEN LET LY=0
10630: IF LY=0 THEN LET LY=B
10640: RETURN
10700: "N"ON PL6010 J0710, 10730, 10728
10710: INPUT "CPmax="; Y2:COTO 10198
10720: INPUT "Max<CP/dx>"; Y2:COTO 1
10730: REM
10740: INPUT "CPmax="; Y2:COTO J0860
10750: REM
10760: REM
10770: REM
10780: REM
10790: "PLOT2"INPUT "CPmax="; Y2
10810: FOR A=1TO 48
10820: A=A/10-4; Y=0: COSUB "CP"
10830: PRINT "X\|L": USING "#.###": X
10840: CP=F1:USING F9$:LP
10850: LX(A)=B:LY(A)=CP
10860: Y1=-4; Y2=0; Y=0
10870: Y=0;"X\|L": Y=0;CP(x)
10880: COSUB "LINE":LF 3: COSUB "DRAW3"
10885: A=1: COSUB "LX LY": CLCURSOR (LY
10890: FOR A=2TO 40: COSUB "LX LY"
10900: LINE -(LY,-LX), 0, 3: NEXT A
10910: TEXT :LF 3: COSUB "LINE".END
10920: REM
10930: REM
10940: REM
10950: REM
10960: REM
10970: DRAW1"TEXT .CSIZE 2:COLOR 1:B
10980: LPRINT TAB 2:P:LPRINT TAB 2;0
10990: CLCURSOR TAB 2;P:LPRINT TAB 2;0
11000: GRAPH :ROTATE 0:LSIZE 1:JSING
11010: CLCURSOR (30,-350):SORGN
11020: LINE (0, 0)-(C, B), 0, 0, B
11030: FOR A=36TO 144STEP 36
11040: LINE (A, 0)-(A, B):NEXT A
11050: FOR A=38TO 266STEP 38
11060: IF A=152THEN LINE (-10, A)-(C, A
11070: .):COTO J1108
11080: LINE (0, A)-(C, A)
11090: NEXT A
11100: FOR A=0TO CSTEP 36
11110: LX=X1-(X2-X1)/#A
11120: LX=LX/X2
11130: LX=1*INT (LX*10+!.)
11140: CLCURSOR (A-15,-15):LPRINT LX
11150: NEXT A
11160: CLCURSOR (.85,-.35).CSIZE 2:
11170: LPRINT X#:LSIZE 1
11180: FOR A=0TO BSTEP 38
11190: LY=Y1+(Y2-Y1)/#A
11200: LY=1*INT (100LY+.1)
11210: CLCURSOR (-32, A-3):LPRINT LY
11220: NEXT A
11230: CLCURSOR (0, B+5).CSIZE 2:
11240: LPRINT Y#
11250: CLCURSOR (0, B/2):RETURN
11260: REM
11270: REM
11280: REM
11290: REM
11300: REM
12000: DRAW2"GRAPH .CSIZE 2:ROTATE 1
12010: JSING
12020: R=192; C=350
12030: CLCURSOR (20,-30):SORGN
12040: LINE (0, 0)-(B, -C), 0, 0, B
12050: FOR A=70TO 140STEP 20:LINE (0,
12060: , -A)-(B, -A):NEXT A
12070: FOR A=210TO 280STEP 20:LINE (0
12080: , -A)-(144, -A):NEXT A
12090: FOR A=48TO 144STEP 48:LINE (A,
12100: , -A)-(A, -C):NEXT A
12110: FOR A=0TO CSTEP 20
12120: LX=X1-(X2-X1)/#A
12130: LX=1*INT (LX*10+!.)
12140: CLCURSOR (-20, -A+25):LPRINT LX
12150: NEXT A
12160: CLCURSOR (0, -C-5):LPRINT X#
12170: FOR A=0TO BSTEP 48
12180: LY=Y1-(Y2-Y1)/#A
12190: LY=1*INT (100LY+.1)
12200: CLCURSOR (A-12, 60):LPRINT LY
12210: NEXT A
12220: CLCURSOR (160, 20):LPRINT Y#
12230: COLOR 1:CLCURSOR (120, -145):
12240: LPRINT P#
12250: CLCURSOR (150, -145):LPRINT D#
12260: CLCURSOR (0, 0):RETURN
12270: REM
12280: REM
12290: REM
12300: REM
13000: DRAW3"GRAPH :ROTATE 1:JSING
13010: P=200; C=400
13020: CLCURSOR (15, -30):SORGN
13030: LINE (-5, 0)-(0, 0), 0, 0
13040: LINE (0, 0)-(B, -C), 0, 0, B
13050: FOR D=1TO 9
13060: H=*(A-LD D+4)/4
13070: IF E=0R E=CTHEN 13090
13080: IF E>C2THEN LET F=3#B/4
13090: F=A; IF D=0R D=5THEN LET J=-5
13100: LINE (J, -E)-(F, -E)
13110: NEXT D:NEXT A:LINE (-5, -C)-(C,
13120: )
13130: FOR A=50TO 150STEP 50
13140: LINE (A, 0)-(A, -C):NEXT A
13150: LSIZE 1:F=-4:FOR A=0TO CSTEP J
13160: LSIZE 2:CLCURSOR (0, -C-5):
13170: LPRINT X#
13180: FOR A=0TO BSTEP B/4
13190: LY=Y1-(Y2-Y1)/#A; LY=1*INT (100LY+.1)
13200: CLCURSOR (A-12, 60):LPRINT LY
13210: CLCURSOR (160, 65):LPRINT Y#
13220: COLOR 1:CLCURSOR (160, -205):
13230: LPRINT P#
13240: CLCURSOR (160, -205):LPRINT D#
13250: REM
13260: REM
13270: REM
13280: REM
13290: REM
13300: "MENU"WAIT 1
13310: PRINT "Programm=P manuel=M"
13320: A=INKEY$: IF A="M"THEN 20020
13330: IF A="M"THEN END
13340: IF A<>"P"THEN 20020
13350: PRINT "Grenzschicht=A Plotten
13360: B"
13370: A=INKEY$: IF A="B"THEN 20060
13380: IF A="A"OR A="B"THEN A#
13390: COTO 20060
13400: REM
13410: REM
13420: REM
13430: REM
13440: REM
13450: REM
13460: REM
13470: REM
13480: REM
13490: REM
13500: REM
13510: REM
13520: REM
13530: REM
13540: REM
13550: REM
13560: REM
13570: REM
13580: REM
13590: REM
13600: REM
13610: REM
13620: REM
13630: REM
13640: REM
13650: REM
13660: REM
13670: REM
13680: REM
13690: REM
13700: REM
13710: REM
13720: REM
13730: REM
13740: REM
13750: REM
13760: REM
13770: REM
13780: REM
13790: REM
13800: REM
13810: REM
13820: REM
13830: REM
13840: REM
13850: REM
13860: REM
13870: REM
13880: REM
13890: REM
13900: REM
13910: REM
13920: REM
13930: REM
13940: REM
13950: REM
13960: REM
13970: REM
13980: REM
13990: REM
14000: REM
14010: REM
14020: REM
14030: REM
14040: REM
14050: REM
14060: REM
14070: REM
14080: REM
14090: REM
14100: REM
14110: REM
14120: REM
14130: REM
14140: REM
14150: REM
14160: REM
14170: REM
14180: REM
14190: REM
14200: REM
14210: REM
14220: REM
14230: REM
14240: REM
14250: REM
14260: REM
14270: REM
14280: REM
14290: REM
14300: REM
14310: REM
14320: REM
14330: REM
14340: REM
14350: REM
14360: REM
14370: REM
14380: REM
14390: REM
14400: REM
14410: REM
14420: REM
14430: REM
14440: REM
14450: REM
14460: REM
14470: REM
14480: REM
14490: REM
14500: REM
14510: REM
14520: REM
14530: REM
14540: REM
14550: REM
14560: REM
14570: REM
14580: REM
14590: REM
14600: REM
14610: REM
14620: REM
14630: REM
14640: REM
14650: REM
14660: REM
14670: REM
14680: REM
14690: REM
14700: REM
14710: REM
14720: REM
14730: REM
14740: REM
14750: REM
14760: REM
14770: REM
14780: REM
14790: REM
14800: REM
14810: REM
14820: REM
14830: REM
14840: REM
14850: REM
14860: REM
14870: REM
14880: REM
14890: REM
14900: REM
14910: REM
14920: REM
14930: REM
14940: REM
14950: REM
14960: REM
14970: REM
14980: REM
14990: REM
15000: REM
15010: REM
15020: REM
15030: REM
15040: REM
15050: REM
15060: REM
15070: REM
15080: REM
15090: REM
15100: REM
15110: REM
15120: REM
15130: REM
15140: REM
15150: REM
15160: REM
15170: REM
15180: REM
15190: REM
15200: REM
15210: REM
15220: REM
15230: REM
15240: REM
15250: REM
15260: REM
15270: REM
15280: REM
15290: REM
15300: REM
15310: REM
15320: REM
15330: REM
15340: REM
15350: REM
15360: REM
15370: REM
15380: REM
15390: REM
15400: REM
15410: REM
15420: REM
15430: REM
15440: REM
15450: REM
15460: REM
15470: REM
15480: REM
15490: REM
15500: REM
15510: REM
15520: REM
15530: REM
15540: REM
15550: REM
15560: REM
15570: REM
15580: REM
15590: REM
15600: REM
15610: REM
15620: REM
15630: REM
15640: REM
15650: REM
15660: REM
15670: REM
15680: REM
15690: REM
15700: REM
15710: REM
15720: REM
15730: REM
15740: REM
15750: REM
15760: REM
15770: REM
15780: REM
15790: REM
15800: REM
15810: REM
15820: REM
15830: REM
15840: REM
15850: REM
15860: REM
15870: REM
15880: REM
15890: REM
15900: REM
15910: REM
15920: REM
15930: REM
15940: REM
15950: REM
15960: REM
15970: REM
15980: REM
15990: REM
16000: REM
16010: REM
16020: REM
16030: REM
16040: REM
16050: REM
16060: REM
16070: REM
16080: REM
16090: REM
16100: REM
16110: REM
16120: REM
16130: REM
16140: REM
16150: REM
16160: REM
16170: REM
16180: REM
16190: REM
16200: REM
16210: REM
16220: REM
16230: REM
16240: REM
16250: REM
16260: REM
16270: REM
16280: REM
16290: REM
16300: REM
16310: REM
16320: REM
16330: REM
16340: REM
16350: REM
16360: REM
16370: REM
16380: REM
16390: REM
16400: REM
16410: REM
16420: REM
16430: REM
16440: REM
16450: REM
16460: REM
16470: REM
16480: REM
16490: REM
16500: REM
16510: REM
16520: REM
16530: REM
16540: REM
16550: REM
16560: REM
16570: REM
16580: REM
16590: REM
16600: REM
16610: REM
16620: REM
16630: REM
16640: REM
16650: REM
16660: REM
16670: REM
16680: REM
16690: REM
16700: REM
16710: REM
16720: REM
16730: REM
16740: REM
16750: REM
16760: REM
16770: REM
16780: REM
16790: REM
16800: REM
16810: REM
16820: REM
16830: REM
16840: REM
16850: REM
16860: REM
16870: REM
16880: REM
16890: REM
16900: REM
16910: REM
16920: REM
16930: REM
16940: REM
16950: REM
16960: REM
16970: REM
16980: REM
16990: REM
17000: REM
17010: REM
17020: REM
17030: REM
17040: REM
17050: REM
17060: REM
17070: REM
17080: REM
17090: REM
17100: REM
17110: REM
17120: REM
17130: REM
17140: REM
17150: REM
17160: REM
17170: REM
17180: REM
17190: REM
17200: REM
17210: REM
17220: REM
17230: REM
17240: REM
17250: REM
17260: REM
17270: REM
17280: REM
17290: REM
17300: REM
17310: REM
17320: REM
17330: REM
17340: REM
17350: REM
17360: REM
17370: REM
17380: REM
17390: REM
17400: REM
17410: REM
17420: REM
17430: REM
17440: REM
17450: REM
17460: REM
17470: REM
17480: REM
17490: REM
17500: REM
17510: REM
17520: REM
17530: REM
17540: REM
17550: REM
17560: REM
17570: REM
17580: REM
17590: REM
17600: REM
17610: REM
17620: REM
17630: REM
17640: REM
17650: REM
17660: REM
17670: REM
17680: REM
17690: REM
17700: REM
17710: REM
17720: REM
17730: REM
17740: REM
17750: REM
17760: REM
17770: REM
17780: REM
17790: REM
17800: REM
17810: REM
17820: REM
17830: REM
17840: REM
17850: REM
17860: REM
17870: REM
17880: REM
17890: REM
17900: REM
17910: REM
17920: REM
17930: REM
17940: REM
17950: REM
17960: REM
17970: REM
17980: REM
17990: REM
18000: REM
18010: REM
18020: REM
18030: REM
18040: REM
18050: REM
18060: REM
18070: REM
18080: REM
18090: REM
18100: REM
18110: REM
18120: REM
18130: REM
18140: REM
18150: REM
18160: REM
18170: REM
18180: REM
18190: REM
18200: REM
18210: REM
18220: REM
18230: REM
18240: REM
18250: REM
18260: REM
18270: REM
18280: REM
18290: REM
18300: REM
18310: REM
18320: REM
18330: REM
18340: REM
18350: REM
18360: REM
18370: REM
18380: REM
18390: REM
18400: REM
18410: REM
18420: REM
18430: REM
18440: REM
18450: REM
18460: REM
18470: REM
18480: REM
18490: REM
18500: REM
18510: REM
18520: REM
18530: REM
18540: REM
18550: REM
18560: REM
18570: REM
18580: REM
18590: REM
18600: REM
18610: REM
18620: REM
18630: REM
18640: REM
18650: REM
18660: REM
18670: REM
18680: REM
18690: REM
18700: REM
18710: REM
18720: REM
18730: REM
18740: REM
18750: REM
18760: REM
18770: REM
18780: REM
18790: REM
18800: REM
18810: REM
18820: REM
18830: REM
18840: REM
18850: REM
18860: REM
18870: REM
18880: REM
18890: REM
18900: REM
18910: REM
18920: REM
18930: REM
18940: REM
18950: REM
18960: REM
18970: REM
18980: REM
18990: REM
19000: REM
19010: REM
19020: REM
19030: REM
19040: REM
19050: REM
19060: REM
19070: REM
19080: REM
19090: REM
19100: REM
19110: REM
19120: REM
19130: REM
19140: REM
19150: REM
19160: REM
19170: REM
19180: REM
19190: REM
19200: REM
19210: REM
19220: REM
19230: REM
19240: REM
19250: REM
19260: REM
19270: REM
19280: REM
19290: REM
19300: REM
19310: REM
19320: REM
19330: REM
19340: REM
19350: REM
19360: REM
19370: REM
19380: REM
19390: REM
19400: REM
19410: REM
19420: REM
19430: REM
19440: REM
19450: REM
19460: REM
19470: REM
19480: REM
19490: REM
19500: REM
19510: REM
19520: REM
19530: REM
19540: REM
19550: REM
19560: REM
19570: REM
19580: REM
19590: REM
19600: REM
19610: REM
19620: REM
19630: REM
19640: REM
19650: REM
19660: REM
19670: REM
19680: REM
19690: REM
19700: REM
19710: REM
19720: REM
19730: REM
19740: REM
19750: REM
19760: REM
19770: REM
19780: REM
19790: REM
19800: REM
19810: REM
19820: REM
19830: REM
19840: REM
19850: REM
19860: REM
19870: REM
19880: REM
19890: REM
19900: REM
19910: REM
19920: REM
19930: REM
19940: REM
19950: REM
19960: REM
19970: REM
19980: REM
19990: REM
19999: REM

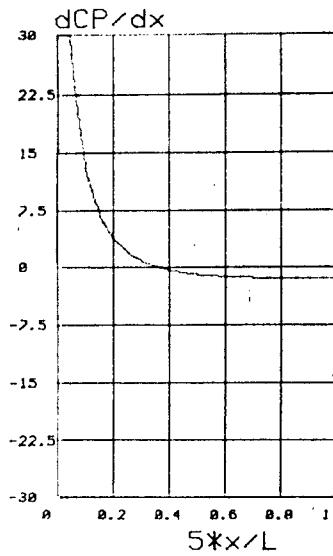
```

```

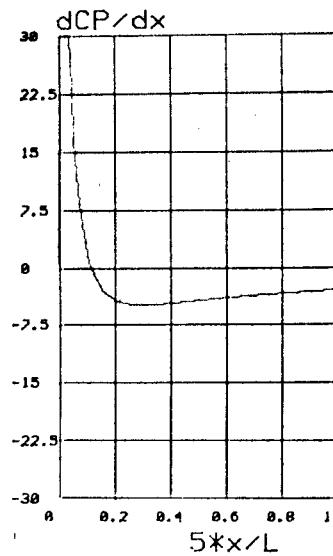
54110:REM
54120:REM
54130:REM
54140:REM
54150:REM
55000: FORMAT F1#.###, B
55010: F2#=###, B
55020: F3#=###, B
55030: F4#=###, B
55040: F5#=###, B
55050: F6#=###, B
55060: F7#=###, B
55070: F8#=###, B
55080: F9#=###, B
55090: F0#=###, B
56000: "INPUT "Farbe="; F:CSIZE 2:
COLOR F
60010:FOR A=1TO 98: LPRINT " "; NEXT
A: TEXT :LF 4:END
61000: F"USING :WAIT 150:PRINT
STATUS 3-STATUS 2;" Bytes free
62000: "TIME" T#=STR$ TIME
62002: IF LOG TIME <5 THEN LET T#=0" +
T#
62005: IF LEN T#>11 THEN 62000
62010: LSIZE 1:LF 1
62015: LPRINT TAB 2;LEFT$ (RIGHT$ (T#
,.9), 2); :
62030: LPRINT LEFT$ (T#, 2); :
62040: LPRINT TAB 2;RIGHT$ (T#, 2);
62050: LPRINT TAB 2;RETURN
62060: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62065
62065: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62060
62070: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62070
62080: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62080
62090: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62090
62100: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62100
62110: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62110
62120: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62120
62130: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62130
62140: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62140
62150: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62150
62160: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62160
62170: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62170
62180: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62180
62190: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62190
62200: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62200
62210: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62210
62220: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62220
62230: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62230
62240: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62240
62250: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62250
62260: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62260
62270: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62270
62280: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62280
62290: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62290
62300: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62300
62310: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62310
62320: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62320
62330: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62330
62340: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62340
62350: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62350
62360: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62360
62370: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62370
62380: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62380
62390: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62390
62400: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62400
62410: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62410
62420: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62420
62430: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62430
62440: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62440
62450: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62450
62460: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62460
62470: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62470
62480: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62480
62490: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62490
62500: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62500
62510: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62510
62520: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62520
62530: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62530
62540: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62540
62550: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62550
62560: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62560
62570: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62570
62580: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62580
62590: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62590
62600: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62600
62610: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62610
62620: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62620
62630: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62630
62640: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62640
62650: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62650
62660: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62660
62670: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62670
62680: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62680
62690: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62690
62700: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62700
62710: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62710
62720: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62720
62730: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62730
62740: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62740
62750: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62750
62760: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62760
62770: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62770
62780: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62780
62790: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62790
62800: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN 62800
62810: P=0:FOR A=1TO 100: P+=1: IF A>100
THEN
```



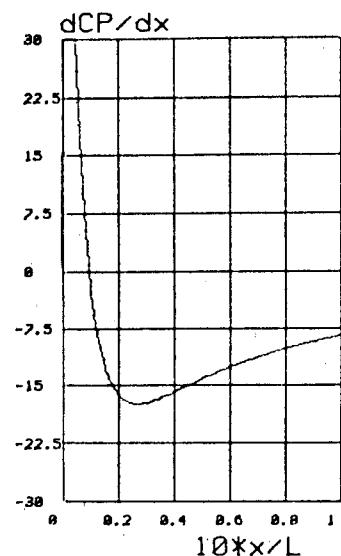
Profil NACA 0015
Delta= 2 Grad



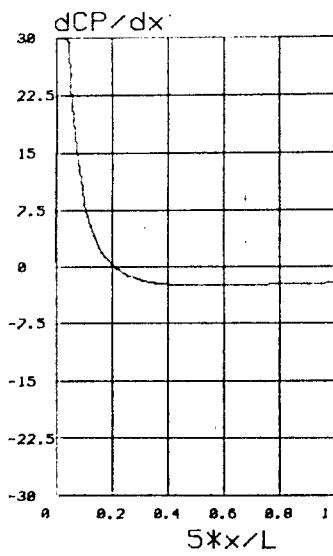
Profil NACA 0015
Delta= 6 Grad



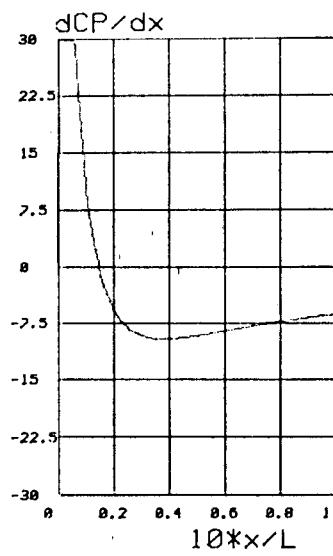
Profil NACA 0015
Delta= 10 Grad



Profil NACA 0015
Delta= 4 Grad



Profil NACA 0015
Delta= 8 Grad



Profil NACA 0015
Delta= 12 Grad

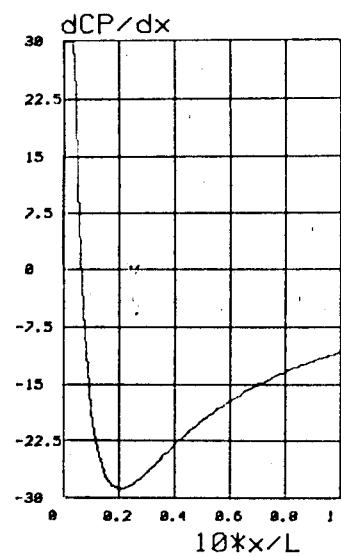
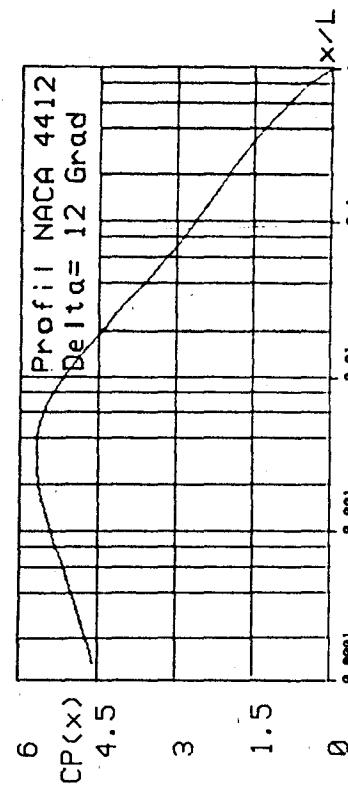
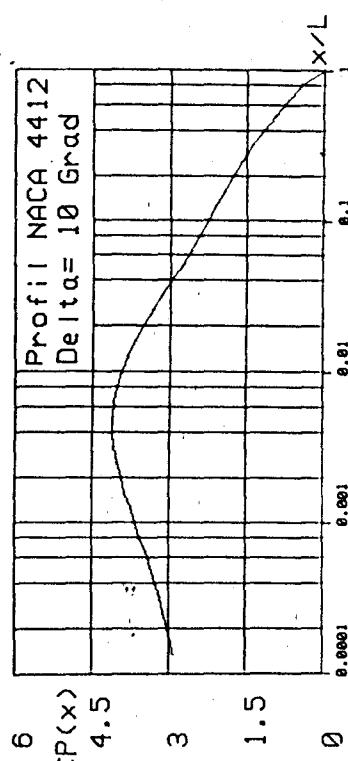
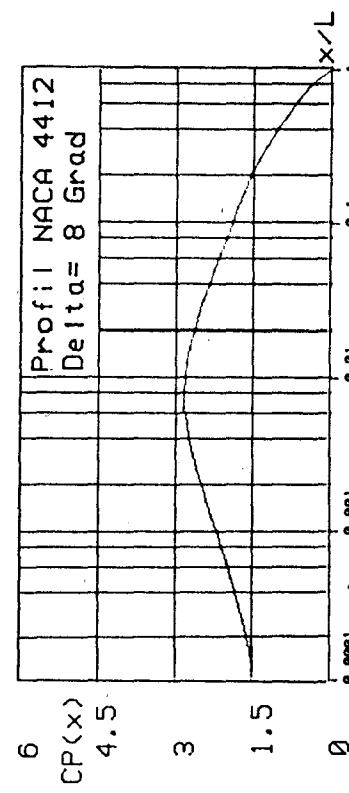
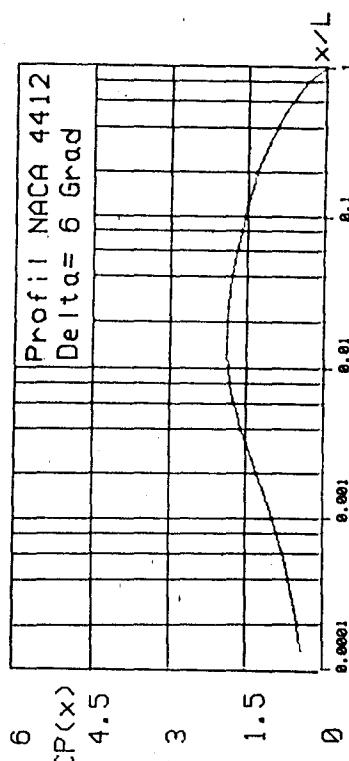
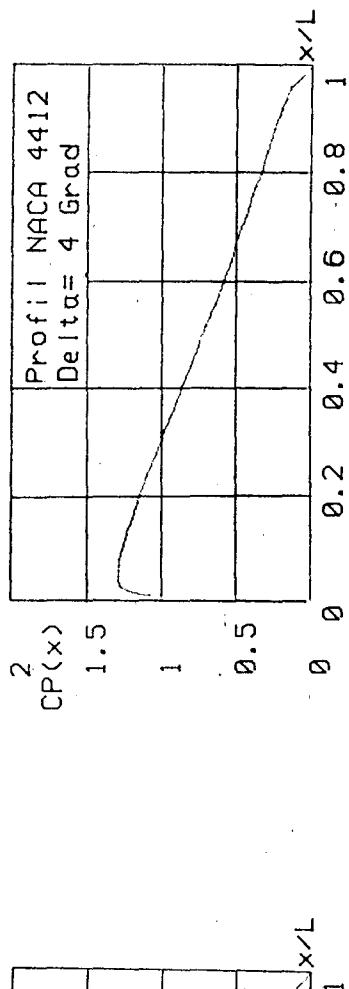
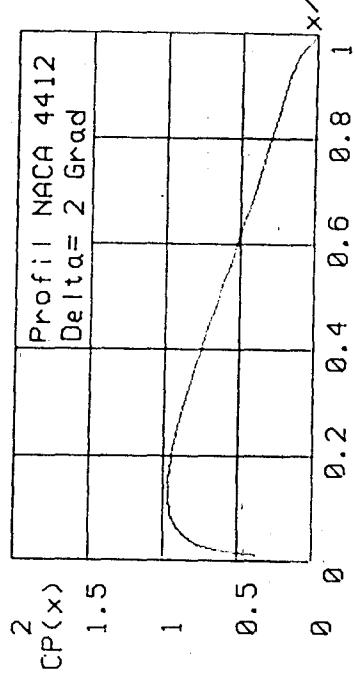
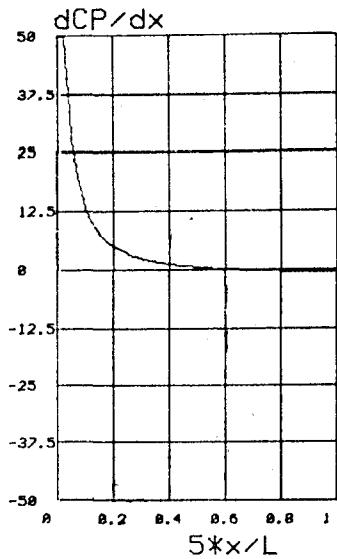


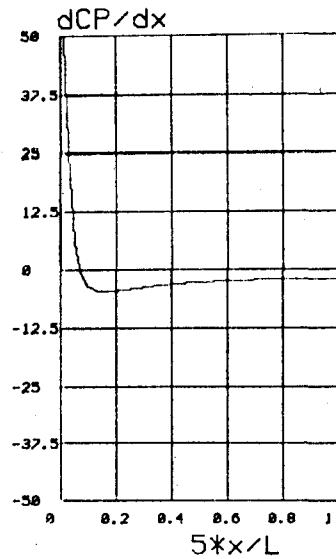
Abb. 2



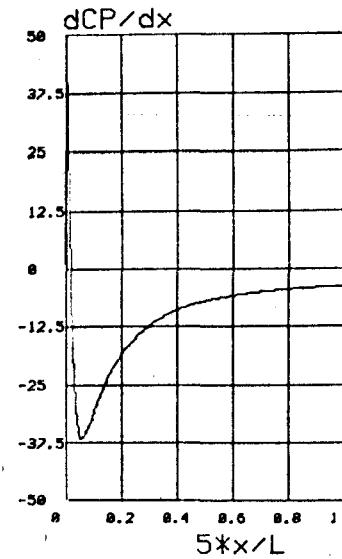
Profil NACA 4412
Delta= 2 Grad



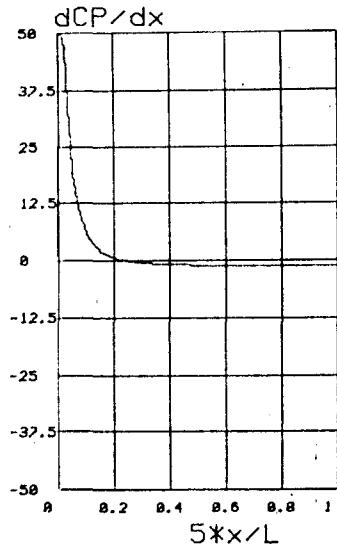
Profil NACA 4412
Delta= 6 Grad



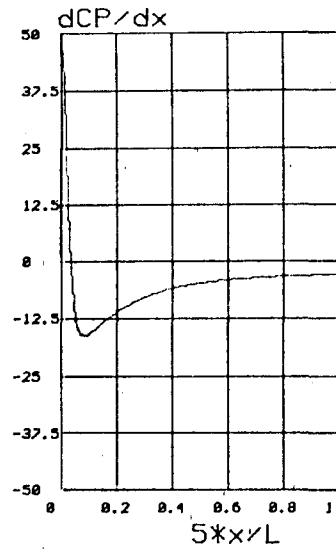
Profil NACA 4412
Delta= 10 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 4 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 8 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 12 Grad

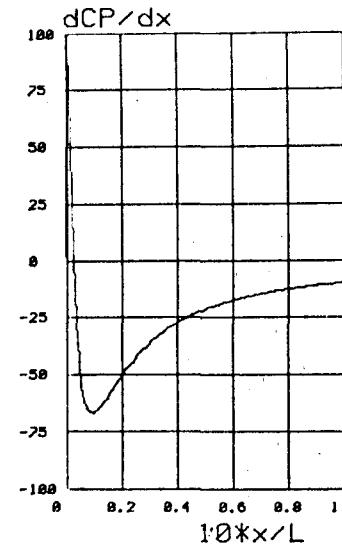
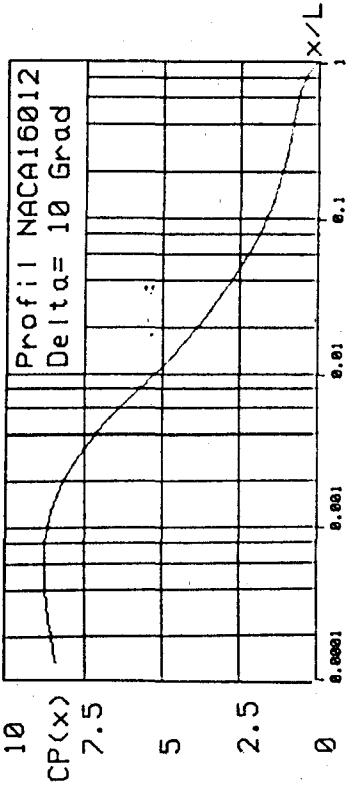
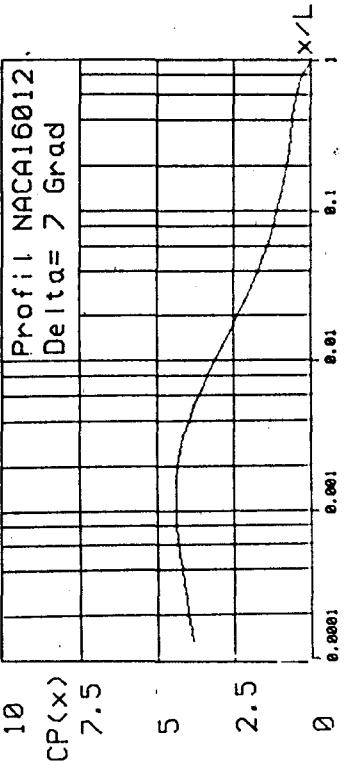
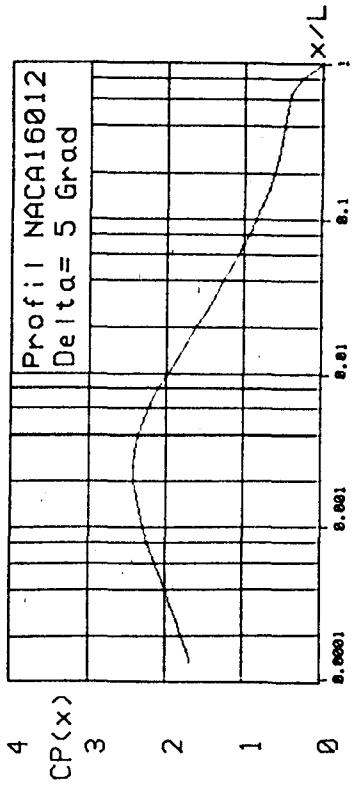
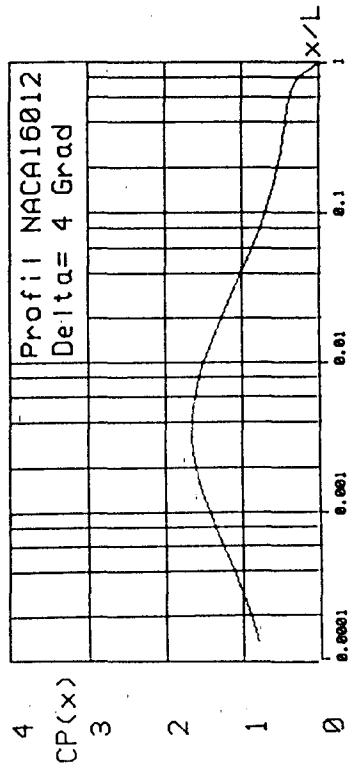
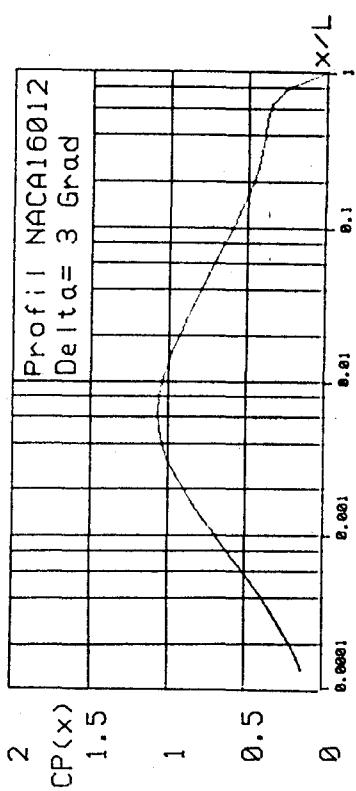
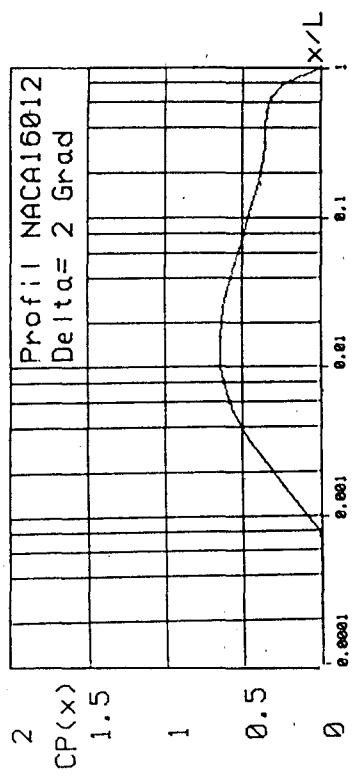
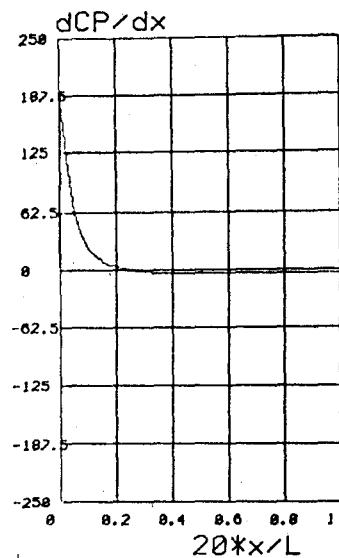


Abb. 4

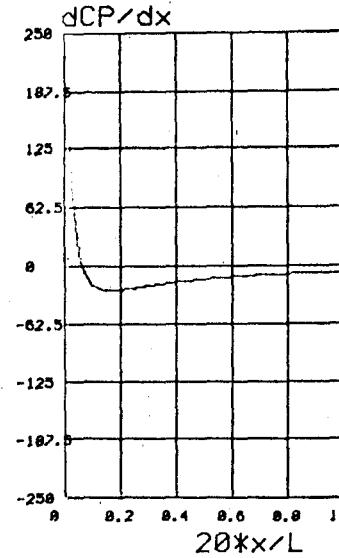


DBB. 5

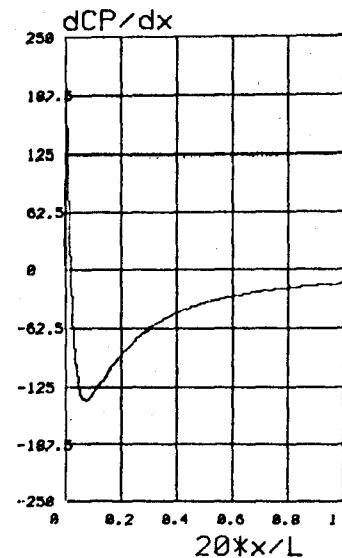
Profil NACA16012
Delta= 2 Grad



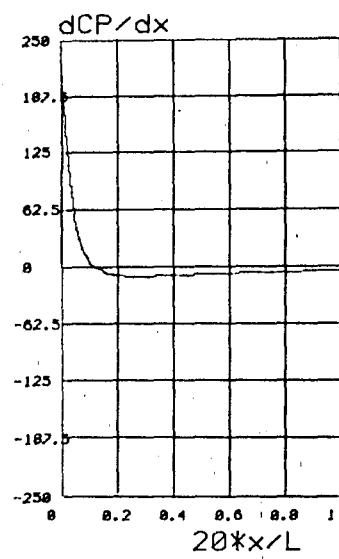
Profil NACA16012
Delta= 4 Grad



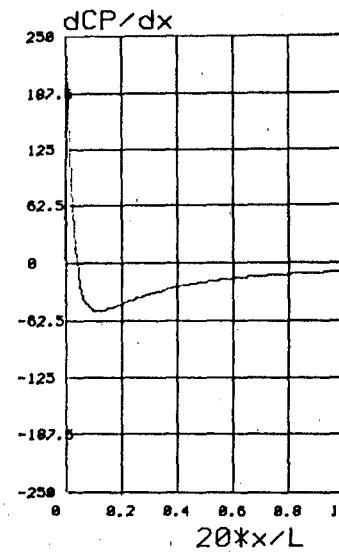
Profil NACA16012
Delta= 7 Grad



Profil NACA16012
Delta= 3 Grad



Profil NACA16012
Delta= 5 Grad



Profil NACA16012
Delta= 10 Grad

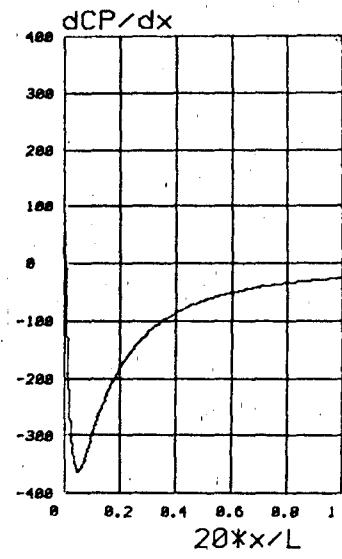


Abb. 6

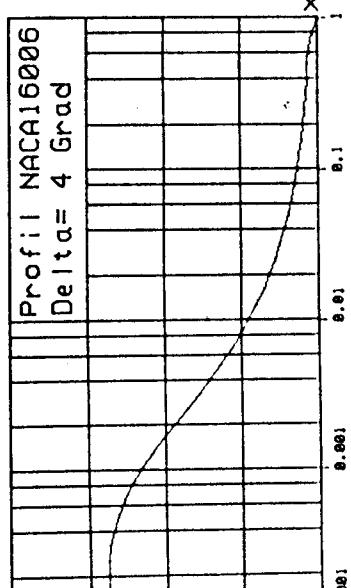
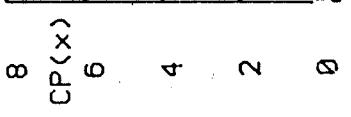
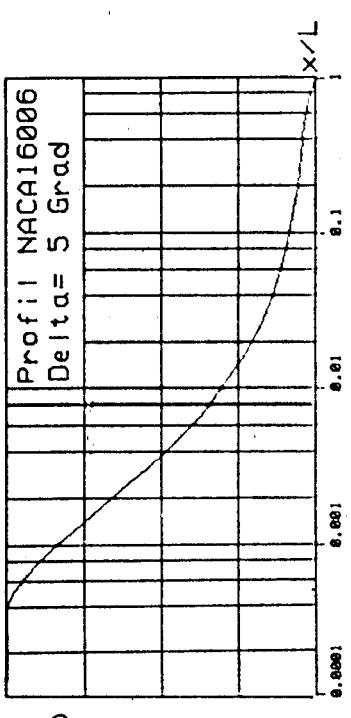
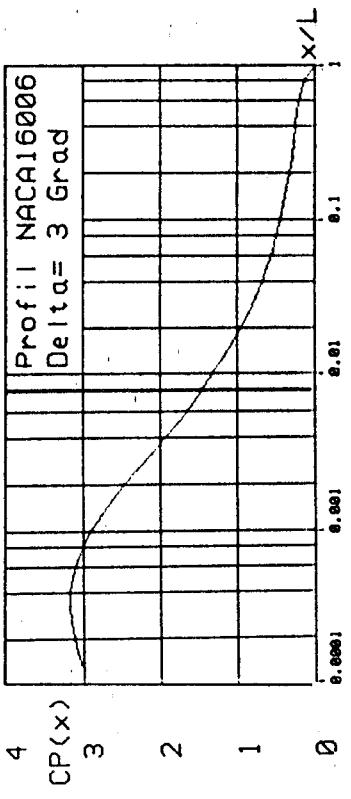
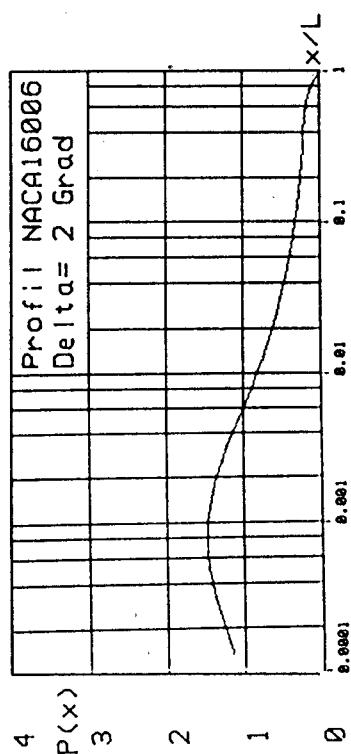
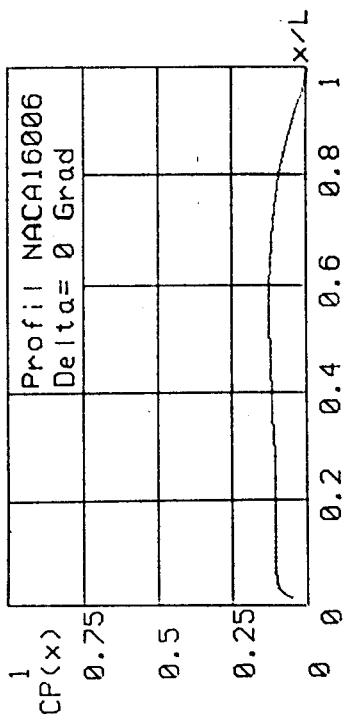
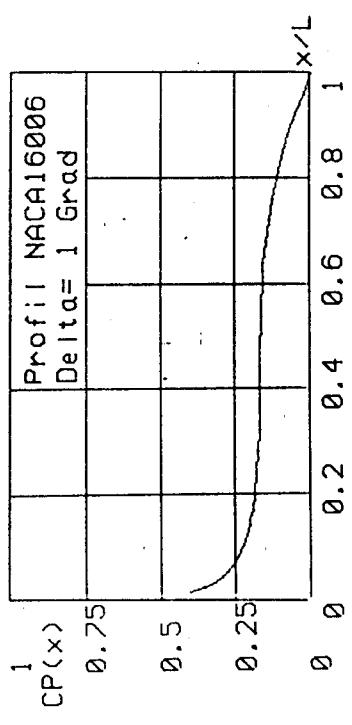
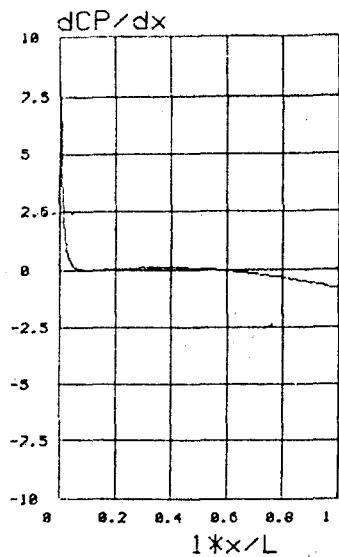
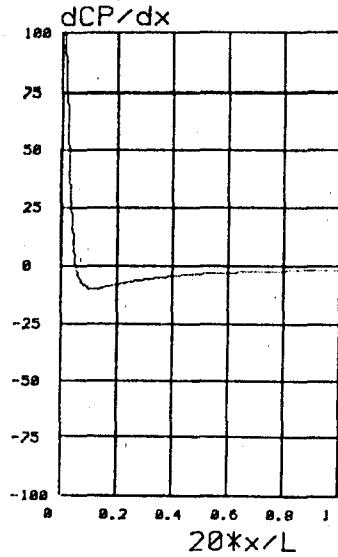


Abb. 7

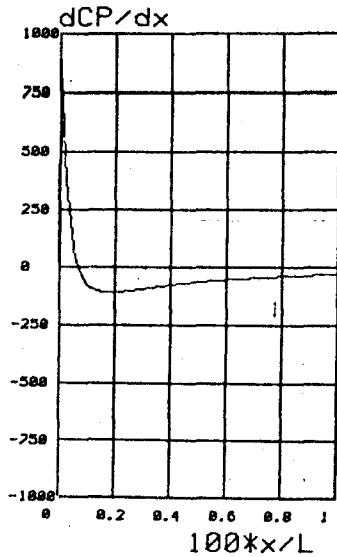
Profil NACA16006
Delta= 0 Grad



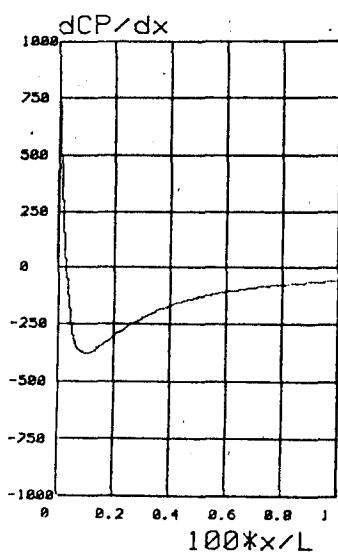
Profil NACA16006
Delta= 1 Grad



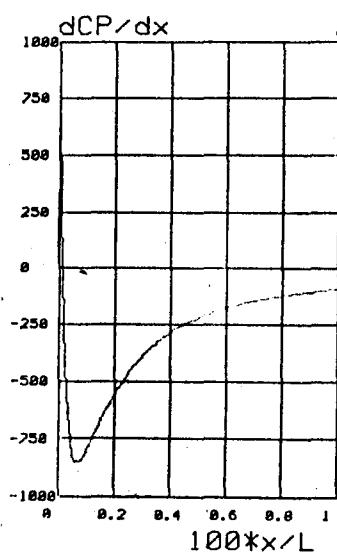
Profil NACA16006
Delta= 2 Grad



Profil NACA16006
Delta= 3 Grad



Profil NACA16006
Delta= 4 Grad



Profil NACA16006
Delta= 5 Grad

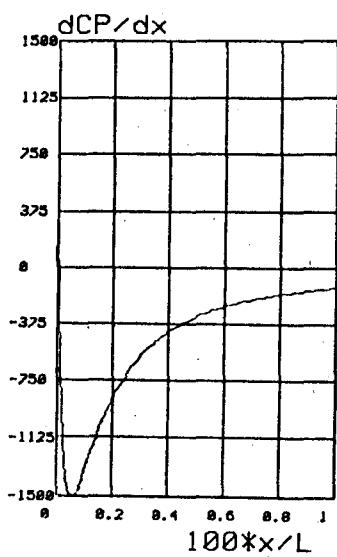
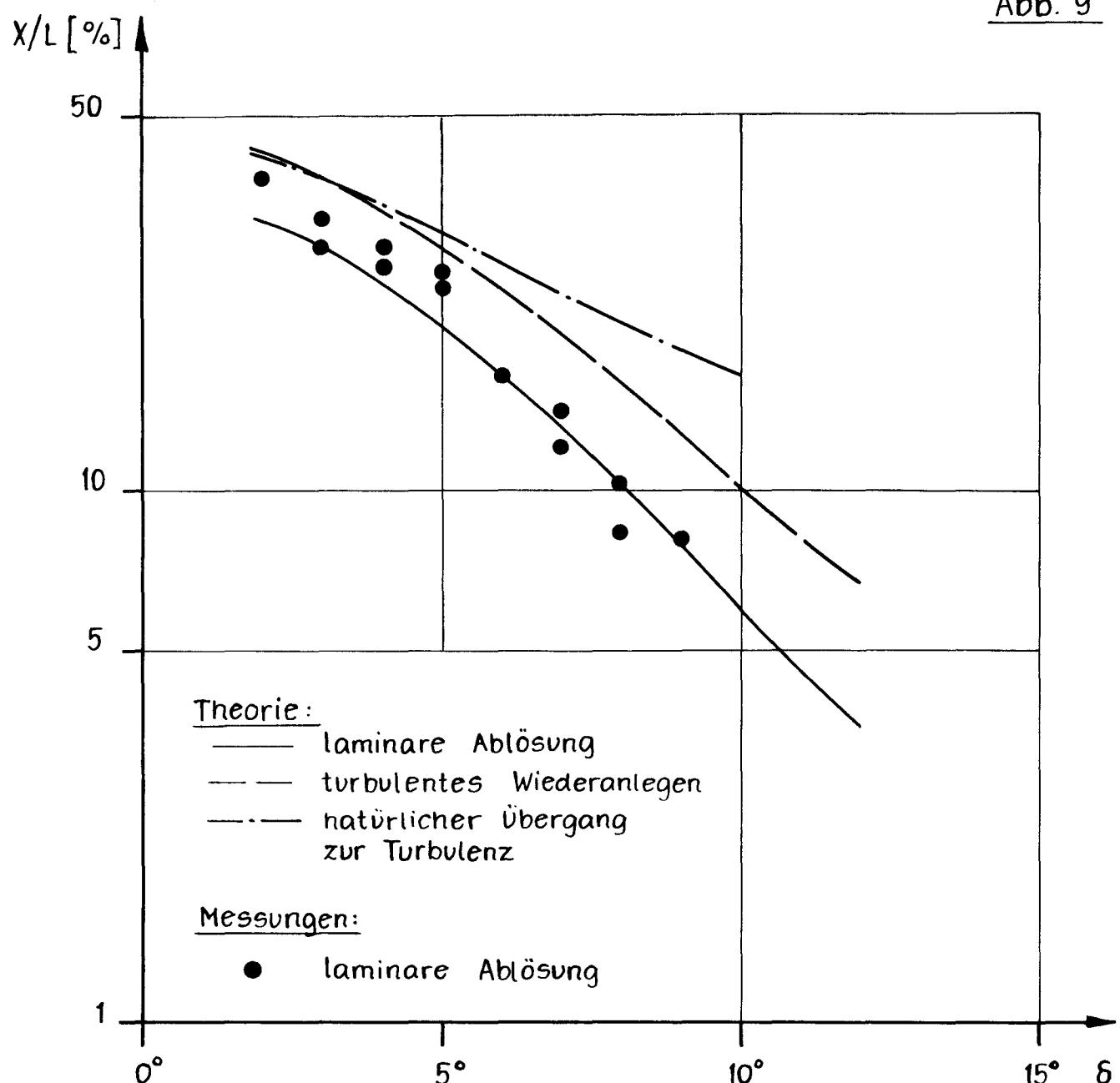
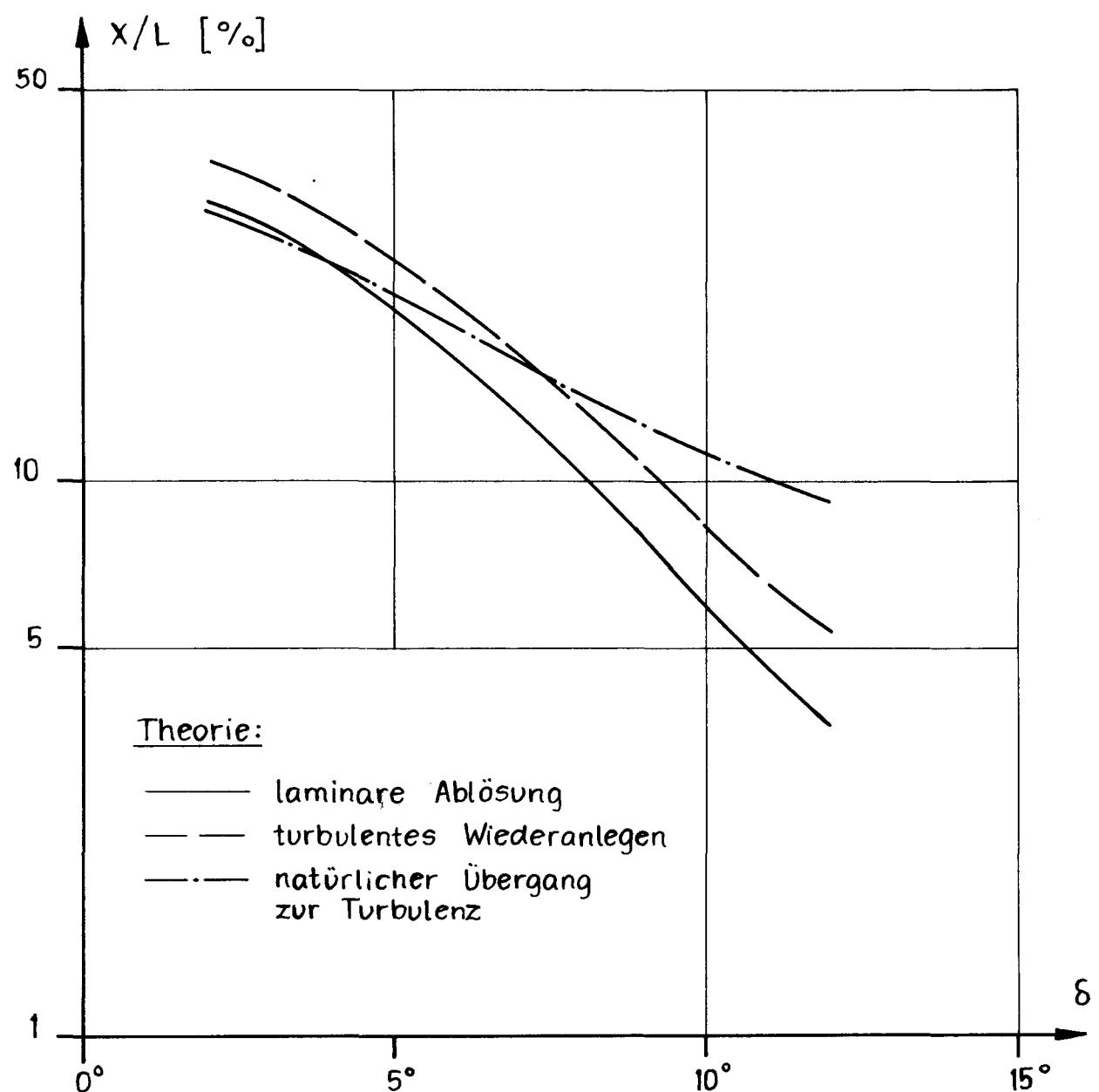


Abb. 9



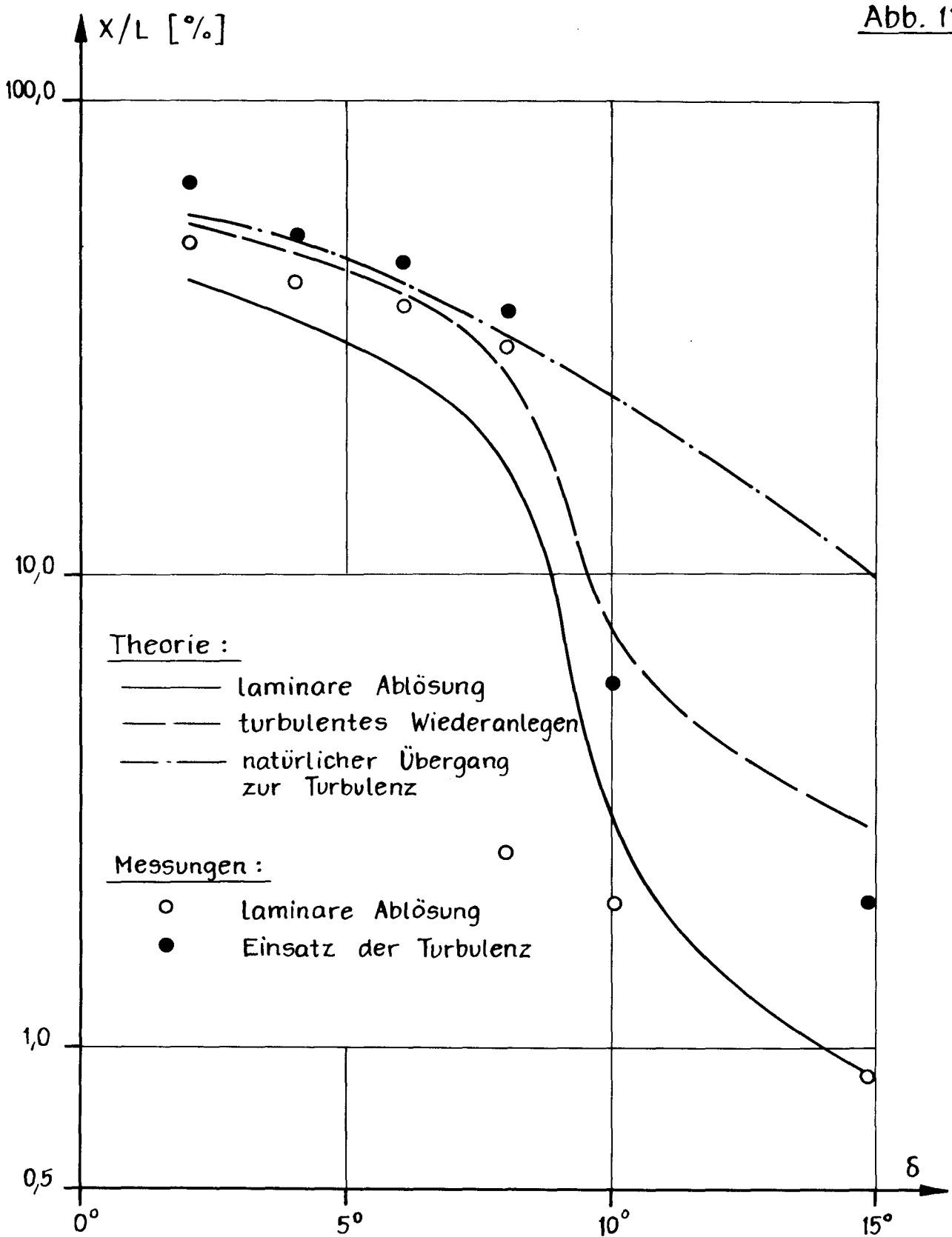
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 0015 . $Re = 3,6 \cdot 10^5$

Abb. 10



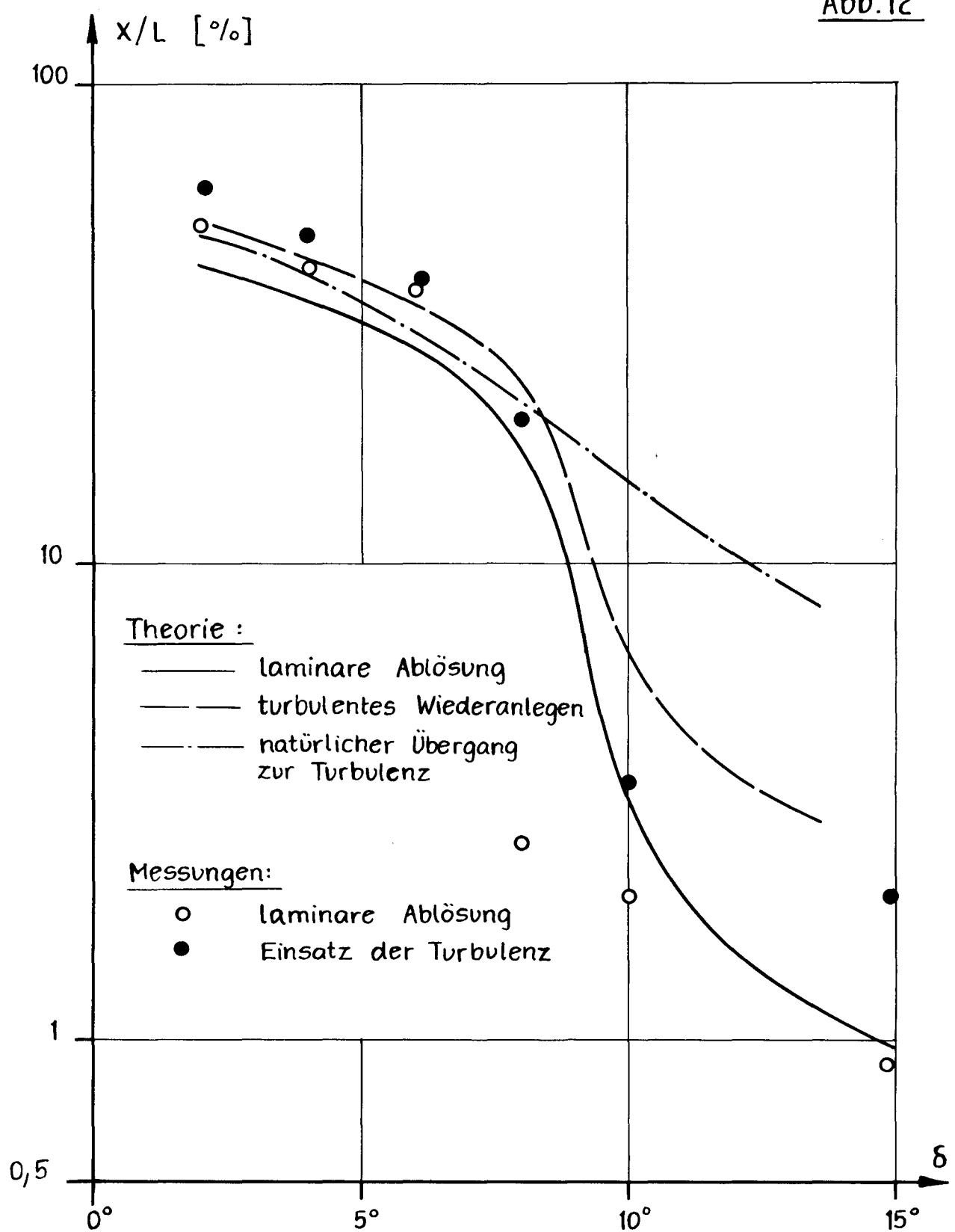
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 0015. $Re = 10^6$

Abb. 11



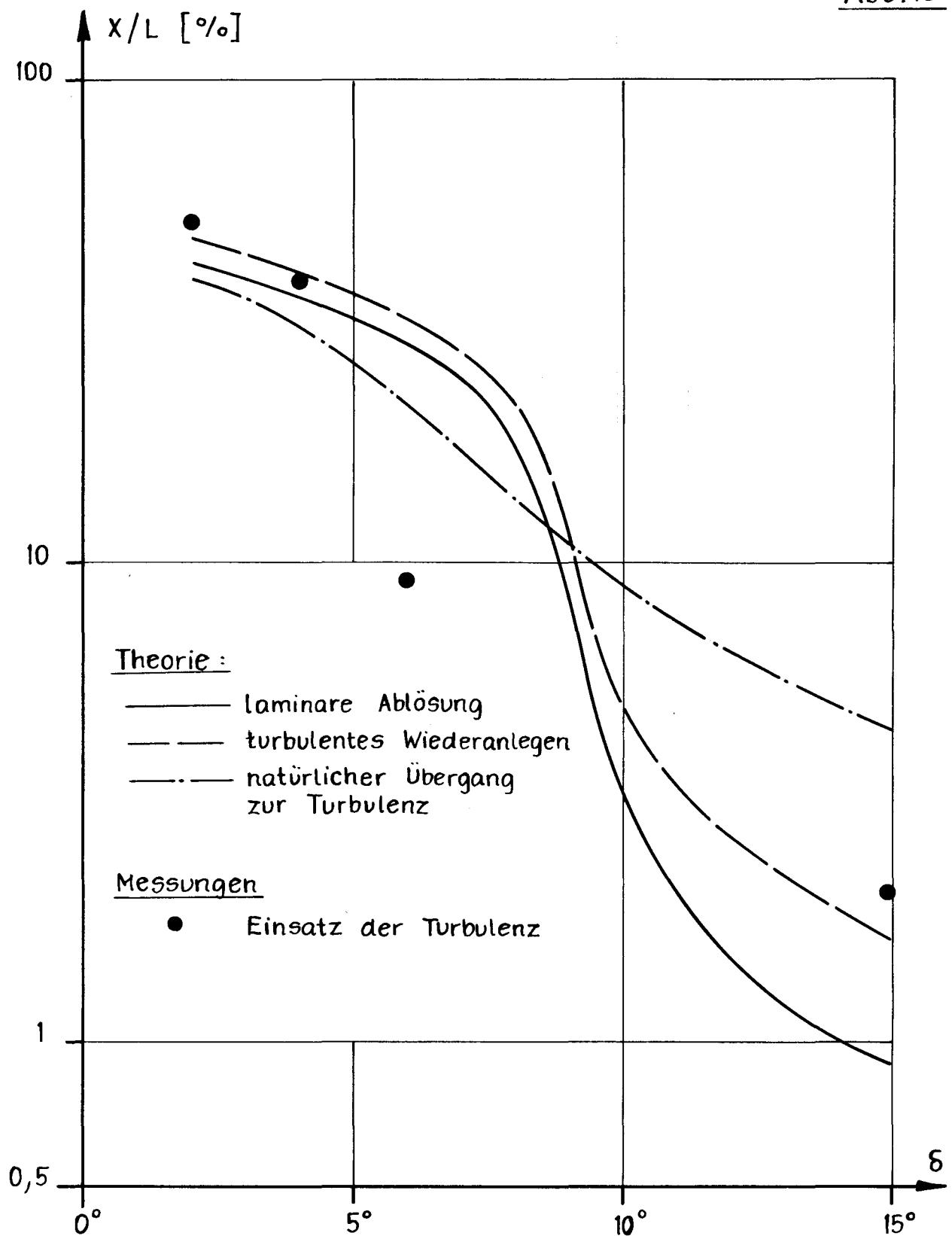
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 4412. $Re = 2 \cdot 10^5$

Abb. 12



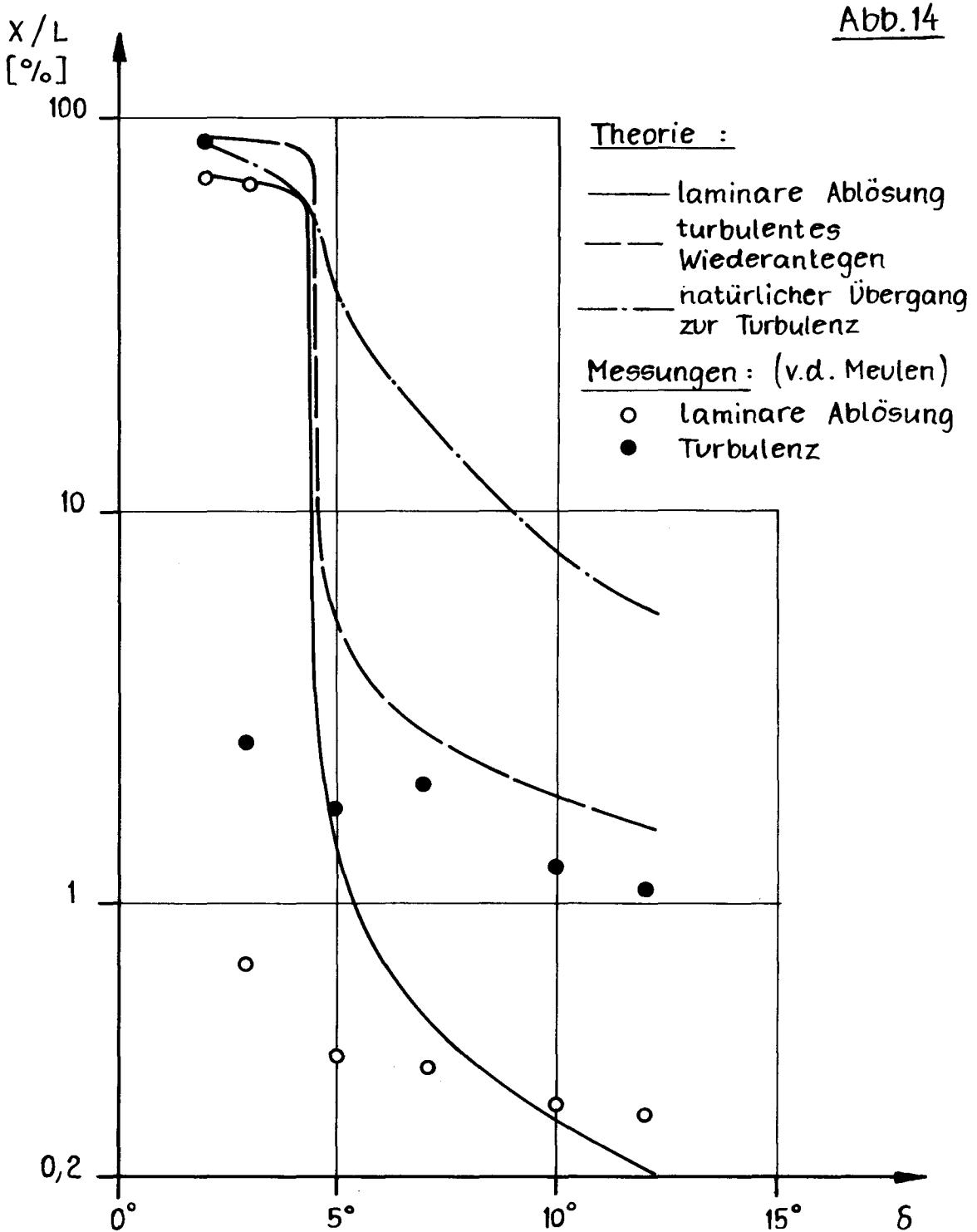
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 4412. $Re = 4 \cdot 10^5$

Abb. 13



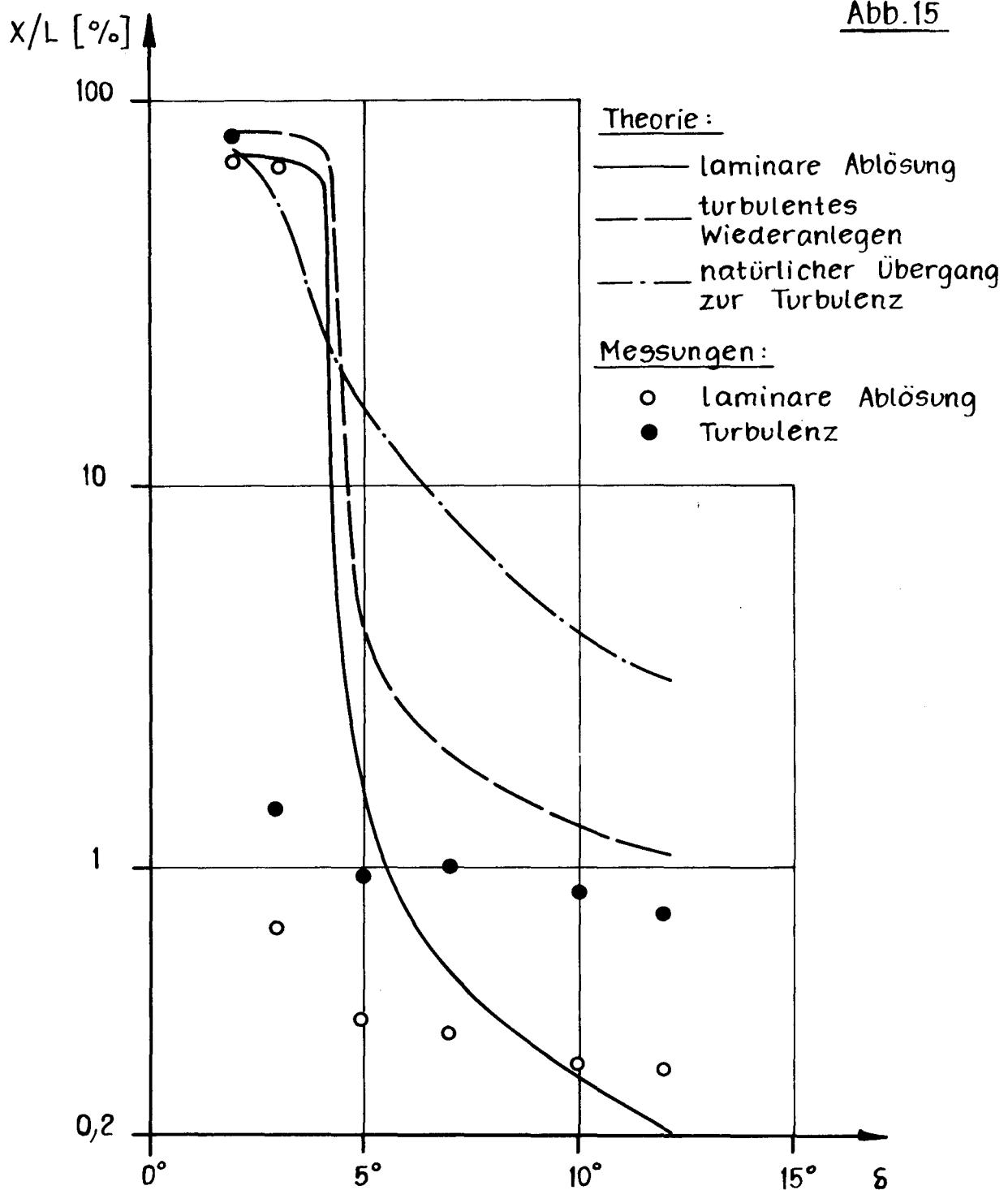
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 4412. $Re = 10^6$

Abb. 14



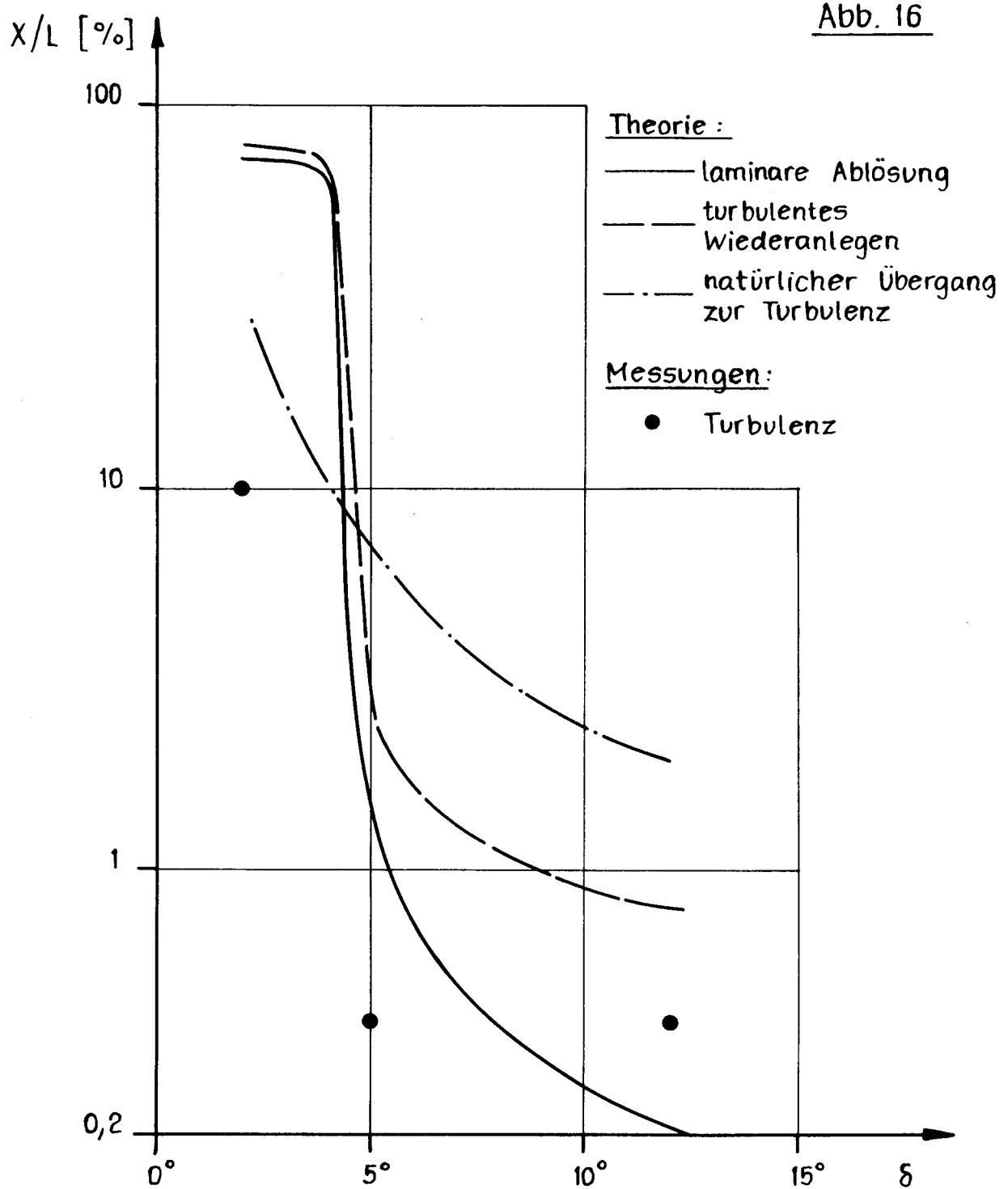
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012 . $Re = 2 \cdot 10^5$

Abb. 15



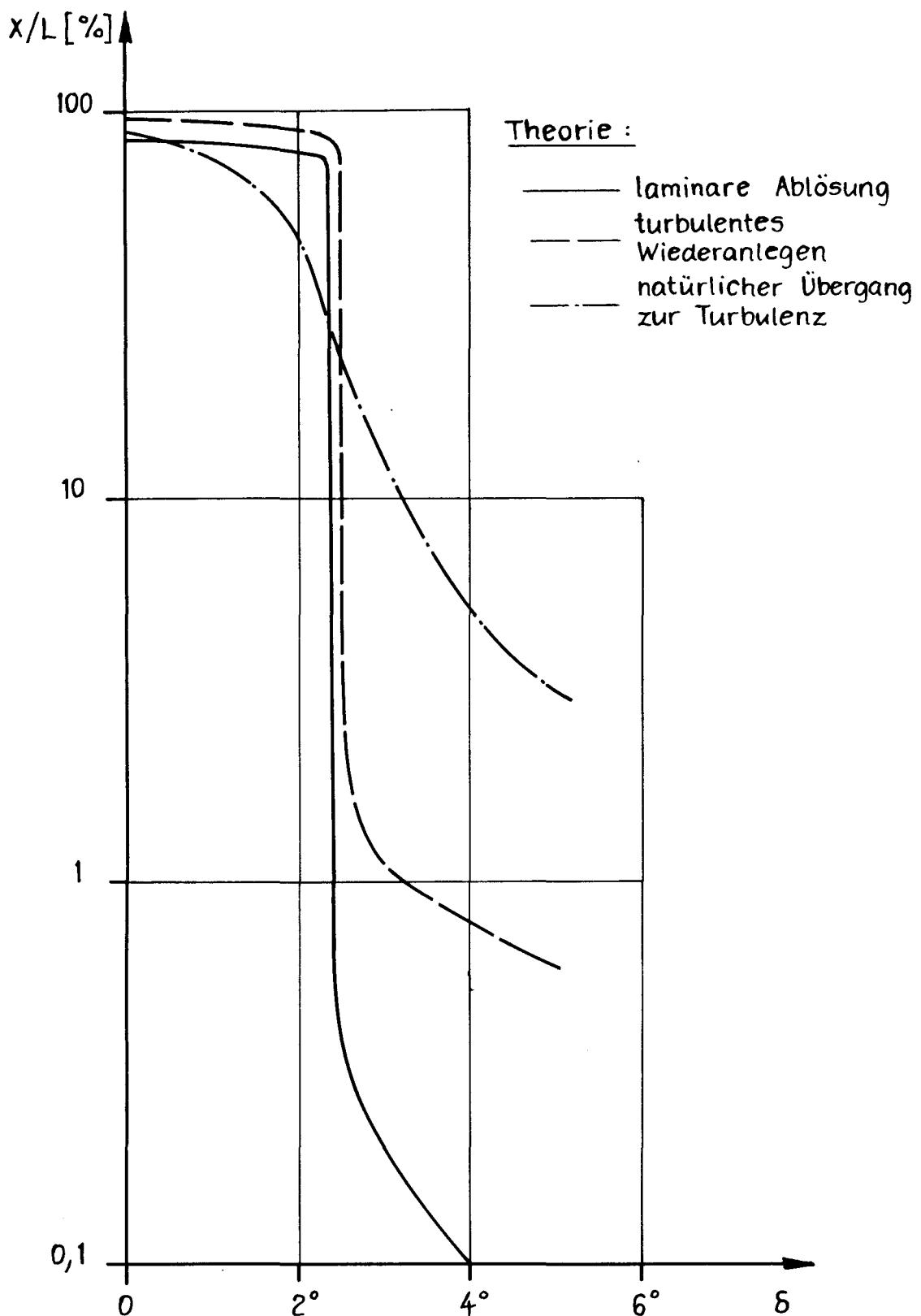
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012. $Re = 4 \cdot 10^5$

Abb. 16



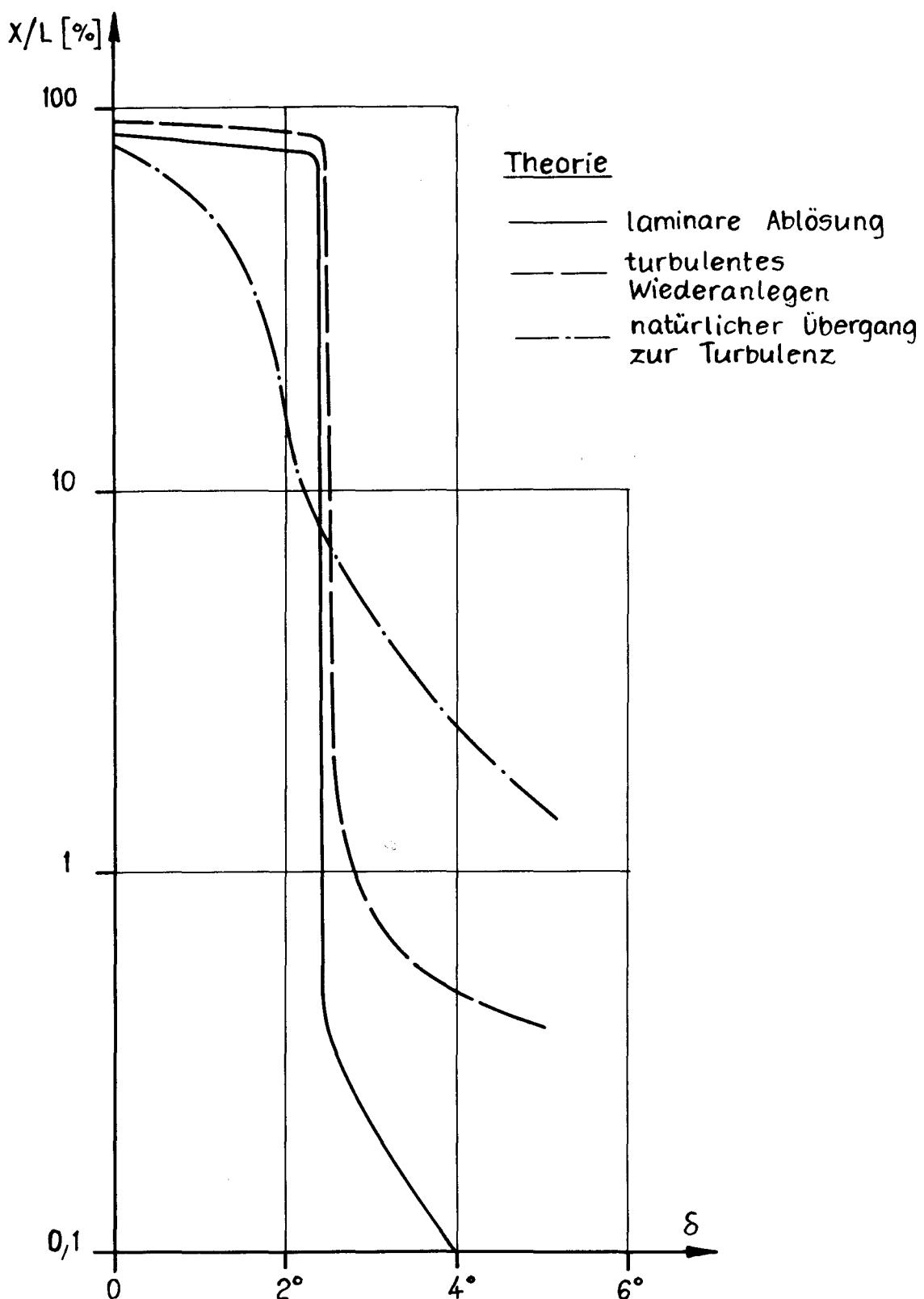
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012. $Re = 10^6$

Abb. 17



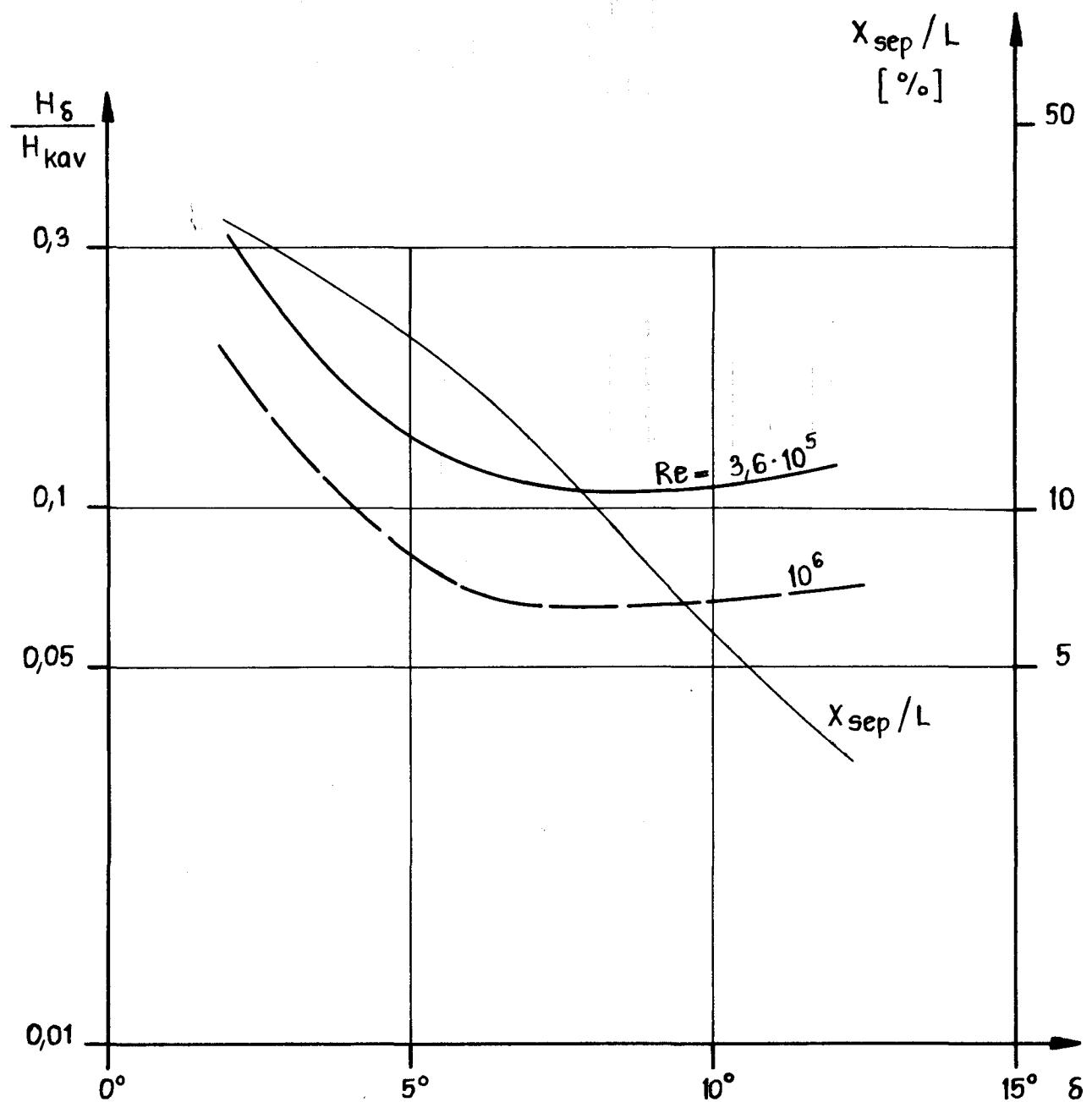
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 006. $Re = 5 \cdot 10^5$

Abb. 18



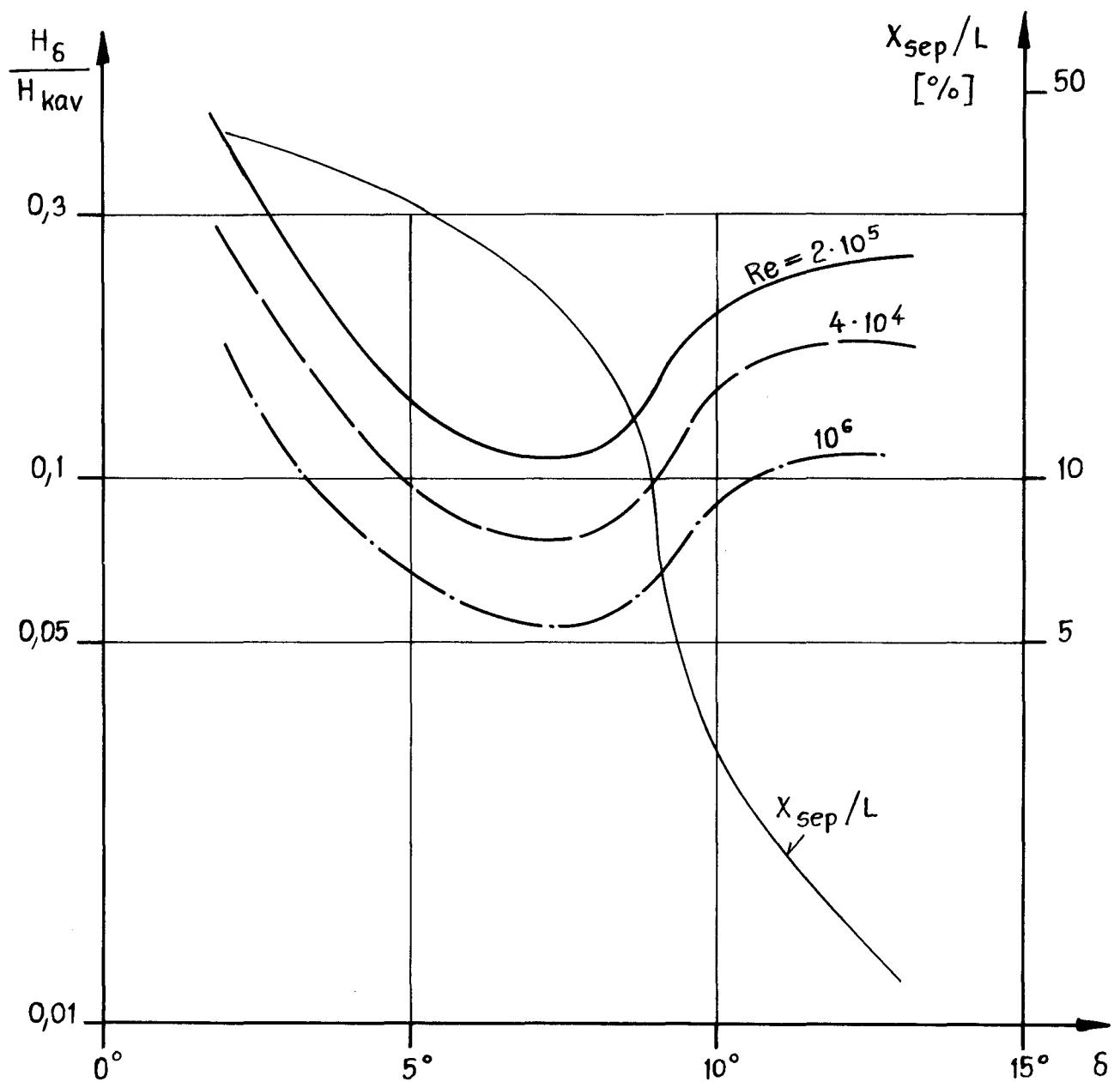
Grenzschichtcharakteristik für das
Profil NACA 16 006. $Re = 10^6$

Abb. 19



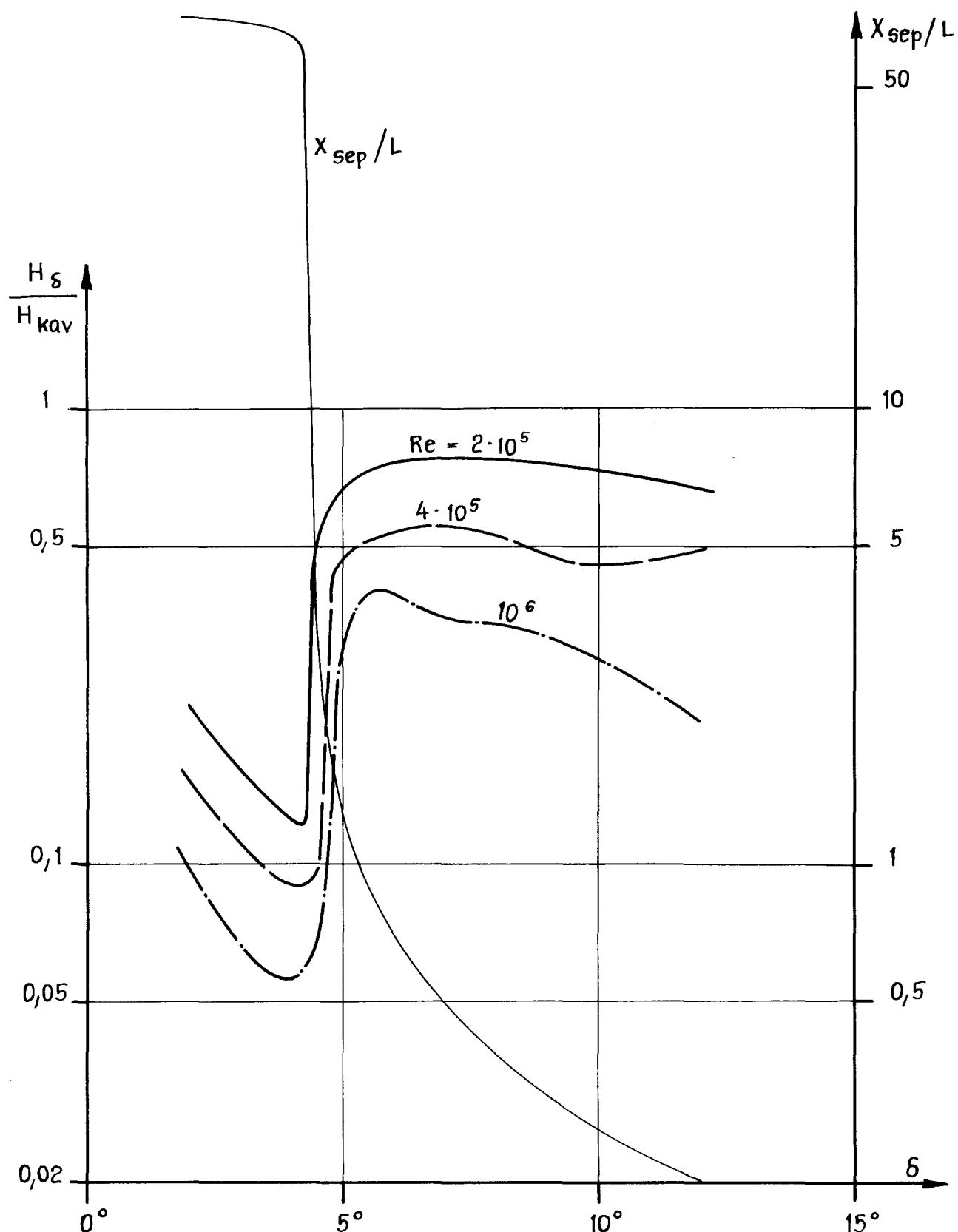
Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitationsdicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 0015

Abb. 20



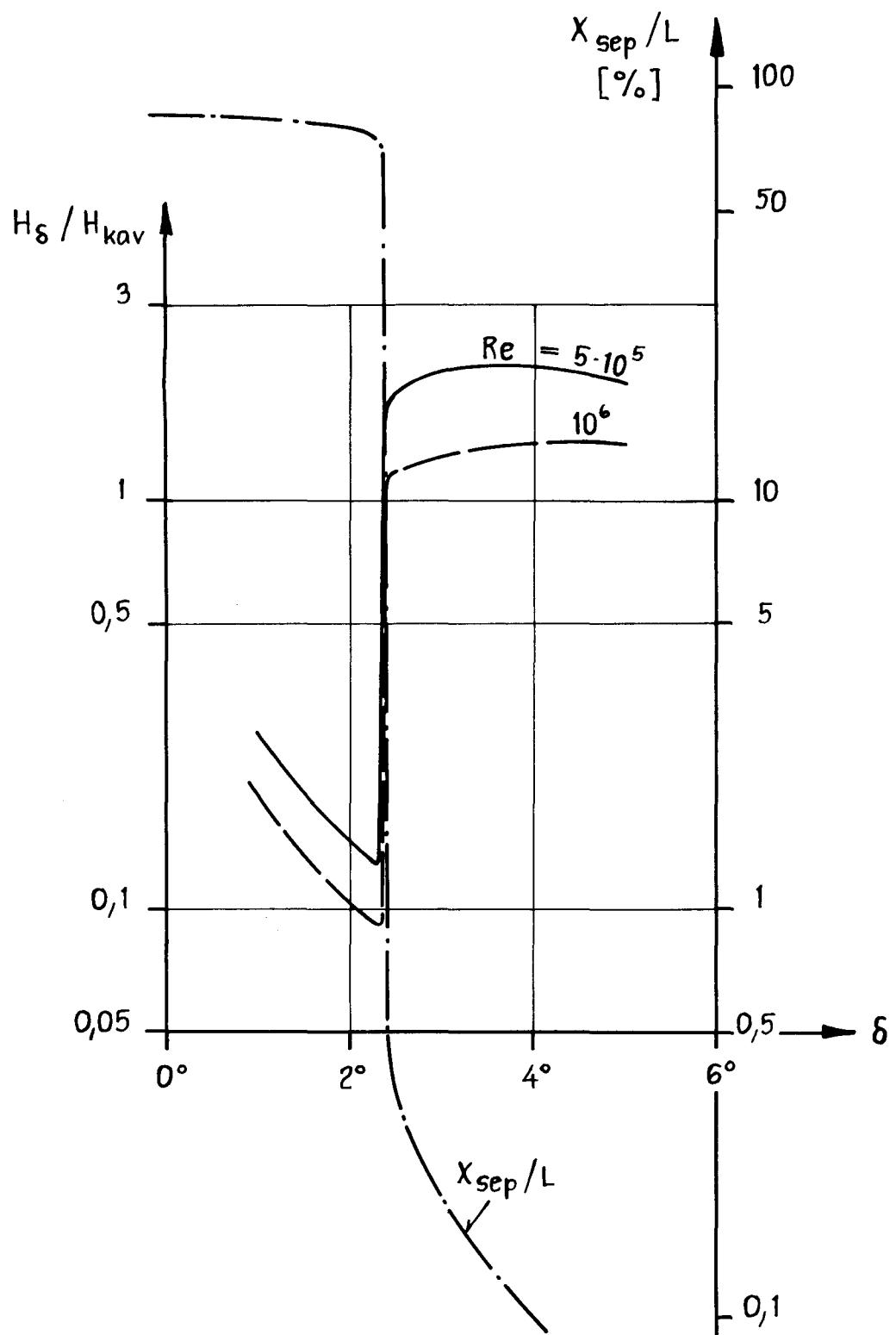
Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitationsdicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 4412

Abb. 21



Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitations-dicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 16 012

Abb. 22



Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitations-dicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 16 006

Abb. 23

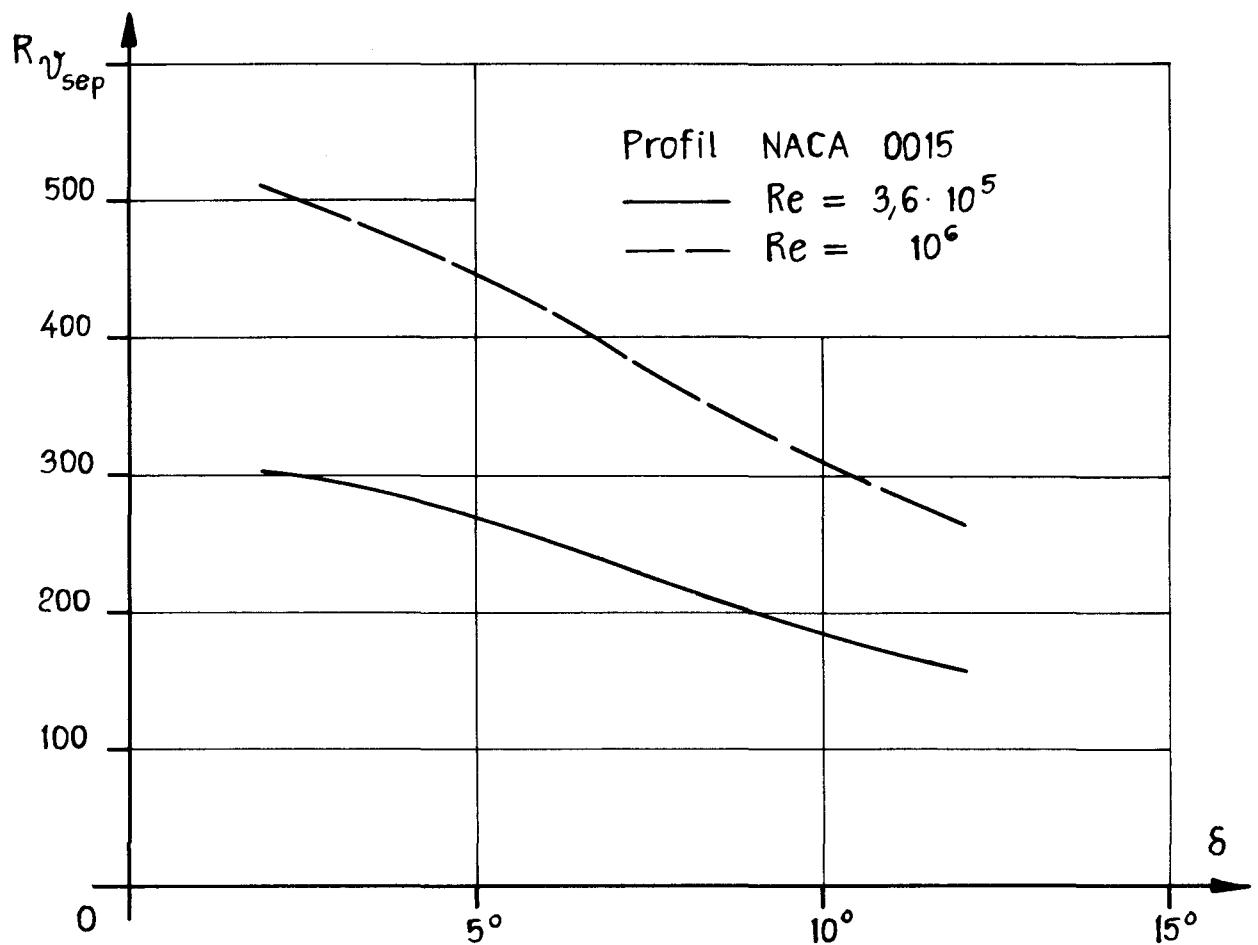
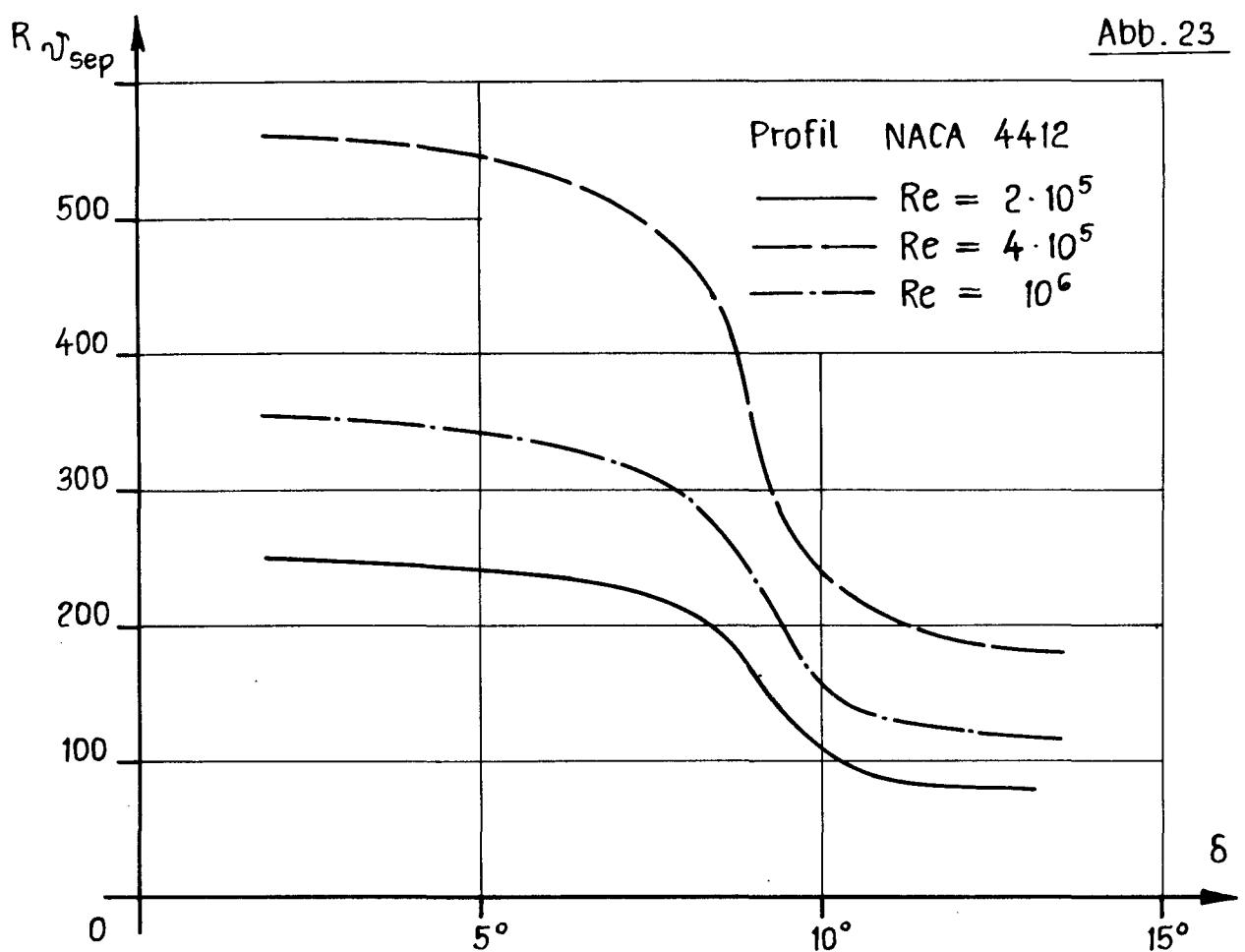


Abb. 24

