

428 | Januar 1983

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Gasau

Grenzschichteffekte an Tragflügelprofilen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

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-Profile (0015, 4412, 16012 und 16006) systematisch die Profilgrenzschicht untersucht. Insbesondere soll der Einfluß der einzelnen Grenzschichteffekte 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 gegeben 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
Re	=	$U_{\infty} L / \nu$ Profil Reynoldszahl
δ	=	Grenzschichtdicke

δ	=	Impulsverlustdicke
R_δ	=	$U_E \delta / \nu$ Grenzschichtreynoldszahl
\bar{x}	=	Profilsehnenkoordinate
x	=	\bar{x}/L dimensionslose Sehnenkoordinate
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 δ definiert sind.

$$\lambda = \frac{\delta^2}{\nu} \frac{dU_e}{d\bar{x}} \qquad \chi = \frac{\delta^2}{\nu} \frac{dU_e}{d\bar{x}} \qquad (2.2.1)$$

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

$$\chi \leq -0.09 \qquad (2.2.2)$$

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

$$\frac{u_E \bar{v}^2}{\nu} = \frac{0.47}{u_E^3} \int_0^{\bar{x}} u_E^5(\xi) d\xi \quad (2.2.3)$$

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 $\Theta = \bar{v}/L$ 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.

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

mit $R_{\mathcal{J}} = Re \Theta \sqrt{1 + C_p}$

Nach /9/ kommt es zu keinem Wiederaanlegen der abgelösten Grenzschicht mehr, wenn die Reynoldszahl $R_{\mathcal{J}}$ 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

$$\begin{aligned} \frac{H_8}{L} &\equiv \frac{\delta_{sep}}{L} = \sqrt{\frac{\lambda_{sep}}{\alpha_{sep}}} \Theta_{sep} \\ &\approx 8.24 \cdot \Theta_{sep} \end{aligned} \quad (2.2.7)$$

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

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

(2.3.1)

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

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

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 Tetervin in /15/ vorschlagen. In dimensionsloser Schreibweise lautet die dort angegebene Differentialgleichung für H

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

Hierbei stellt

$$\frac{c_F}{2} = \frac{\tau_0}{\frac{\rho}{2} u_\infty^2}$$

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

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

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

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

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 Wiederanlegens, des Instabilitätspunktes 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 Reynoldszahl $R_e = 3.6 \cdot 10^5$ 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_{ω} 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_δ und Kavitations-schichtdicke H_{kav} an der Stelle der laminaren Ablösung. Die Berechnung von H_δ erfolgt nach Gl. (2.2.7). Zur Bestimmung der Kavitationsschichtdicke verwenden wir eine in /17/ begründete Näherungsformel. In der Regel erfolgt der Kavitationseinsatz in der Nähe des potentialtheoretischen Druckminimums. Ist dies nicht allzuweit von der Profilvorderkante entfernt, so gilt für die Dicke einer Kavitationsschicht an der Stelle x

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

Hierbei sind δ_o der Zuströmwinkel und x_{min} der Ort des Druckminimums. Das Verhältnis von H_δ 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_δ an der Ablösestelle wesentlich größer ist als bei höheren. Interessanterweise ergibt die Theorie bei $\delta_o = 2^\circ$ eine deutlich 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_ν 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_δ/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_g/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_g/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 $R_{\sigma_{sep}}$ 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 Wiederanlegen 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 Wiederanlegen.

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 Anlegen 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

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

Über die Größe dieser Druckschwankungsquadrate gibt es mehrere Untersuchungen. Es sei hier besonders auf den Übersichtsartikel von Willmarth /18/ verwiesen. Dort wird das Druckschwankungsquadrat in Relation zur Wandschubspannung τ_0 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 Superkavitation 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. Tetervin:
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:GOTO 1: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: "A" CLEAR
95: COSUB "FORMAT": COSUB "PROFIL":
  WAIT 1
100: INPUT "Reynoldszahl=": RE
105: INPUT "Abloesung bei x/L=": X/L: IF
  X/L > 0 THEN GOSUB 1200
110: (LS: COSUB "LINE": COLOR 3: SIZE
  3: USING
115: R0="Berechnung des"
120: LPRINT "Berechnung": LPRINT "der"
  "laminar." LPRINT "Grenzschicht"
124: COLOR 1: SIZE 2
128: LPRINT P0: LPRINT D0
130: COSUB "CP-MIN"
135: LPRINT "Reynoldszahl=": LPRINT
  STR$ (RE)
140: COLOR 2: LF 1
150: LPRINT B0: LPRINT "laminare Ablo
  esung" LPRINT "Punktes"
160: COLOR 0: SIZE 1: LF 1
170: COSUB "Keep"
180: COLOR 2: SIZE 2
190: LPRINT "lam. Abloesung bei":
  LPRINT "Keep/L=": USING F00: INT (
  X/L*1000+.5)/10: " %"
195: COSUB "RTHETA": LF 2: COSUB "BUBBL
  E"
200: LPRINT B0: LPRINT "Instabilitaets
  -": LPRINT "Punktes"
210: COLOR 0: SIZE 1: LF 1
220: COSUB "Xinst"
225: COLOR 2: SIZE 2
230: LPRINT "Instabilitaetspkt.":
  LPRINT "bei"
235: LPRINT "Xinst/L=": USING F00: INT
  (X/L*1000+.5)/10: " %"
240: LF 2: LPRINT B0: LPRINT "Umschlagp
  unktes"
250: COSUB "ITERZ"
260: LPRINT "turb. Umschlag bei":
  LPRINT "Xtrans/L=": USING F00: XT$
  100: " %"
270: COSUB "RTHETA": COSUB "LINE": END
280: REM
282: REM
284: REM
286: REM
288: REM
290: "BUBBLE" LPRINT LEFT$ (B0, 11): "d
  er": LPRINT "lam. Abloesebias"
300: LB=350: TL=LOG RT
305: LPRINT "Lb/L=": USING F00: LB
310: LPRINT "Hb/L=": USING "##.###":
  2.55: TL: IF D0=0 THEN 330
320: LPRINT "Hdelta/Hkav=": USING F00:
  4.19: TL: D0=X/L
330: LPRINT "turb. Anlegen bei":
  LPRINT "X/L=": USING F00: (X/L+B)
  *100: " %"
340: LF 2: RETURN
350: REM
360: REM
370: REM
380: REM
390: REM
400: "RTHETA" LPRINT "Theta/L=": USING
  F00: TL
410: RT=RT*TL*SQR (1+CP)
420: LPRINT "Rtheta=": USING "#####": R
  T: RETURN
430: REM
440: REM
450: REM
460: REM
470: REM
1000: "Keep" IF X/L > 0 THEN GOSUB 1300:
  RETURN
1005: DX=X-DX: X=X-DX: K=1
1006: IF P=20R P=30R P=7 THEN LET DX=
  .01
1008: IF P=20 AND VAL RIGHT$ (D0, 9) > 2
  THEN LET DX=.001
1010: X=X-DX: COSUB "KAPPA"
1015: PRINT "X/L=": USING F00: X/L: KA
  p="": USING F00: KA
1020: IF KA<-.09 THEN 1050
1030: LPRINT "X/L=": USING F00: X/L: TAB
  21: Kappa="": USING F00: KA
1035: IF KA<KAP: COTO 1010
1040: K=KAP: COTO 1010
1050: IF ABS (KA-(-.09-1)) < .01 THEN 100
  5
1060: X=X-DX: DX=DX/10: K=1: COTO 1010
1065: X=X-DX/2: LF 1: RETURN
1070: IF K < 0 THEN 1010
1080: X=X-DX: X=X-DX: COTO 1010
1090: REM
1100: REM
1110: REM
1120: REM
1130: REM
1200: INPUT "Xmin/L=": Xmin: "Re" J="": RE
  "Theta/L=": TL: RETURN
1300: X=X-DX: COSUB "CP"
1310: "L=TL*SQR (R1/RE): RETURN
1320: REM
1330: REM
1340: REM
1350: REM
1360: REM

```

```

2000: "Xinst" X=X-DX: X=X-DX: 1: IF P=3 THEN
  LET DX=.001
2010: X=X-DX
2020: COSUB "RDELTA"
2030: PRINT "X=": USING F00: X: "Re=":
  RC/RD
2040: IF RC/RD THEN 2060
2045: LPRINT "X/L=": X/L: TAB 19: "Re/Rd="
  : RC/RD
2050: COTO 2010
2060: IF ABS (RC/RD-1) < .010R DX=<.00
  1 THEN 2075
2070: X=X-DX: DX=DX/10: COTO 2010
2075: X=X-DX/2: LF 1: RETURN
2080: REM
2090: REM
2100: REM
2110: REM
2120: REM
3000: "RDELTA" GOSUB "KAPPA"
3004: IF KA>.094 THEN LET KA=.094:
  COTO 3010
3008: IF KA<-.1507 THEN LET KA=-.1507
  : COTO 3010
3010: K=KA: COSUB "ITER1": LA=IN
  3020: COSUB "RC"
3030: H=K/3: LA/120: < 1175-LA/945-LA
  3040: RD=TL*RE
3050: RETURN
3060: REM
3070: REM
3080: REM
3090: REM
3100: REM
4000: "KAPPA" T=1
4010: COSUB "THETA": COSUB "DCP"
4020: KA=RE*TL*TL*DC/SQR (1+CP)/2
4030: RETURN
4040: REM
4050: REM
4060: REM
4070: REM
4080: REM
5000: "RC" IF LA<5.5 THEN LET RC=10.2
  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=100+17.25*(LA+5.5)/1.803:
  RETURN
5050: RC=310+191.3*EXP (.6747*(LA+1
  .5))-1: RETURN
5060: REM
5070: REM
5080: REM
5090: REM
5100: REM
6000: "ITER1" IF K=0 THEN LET I=.01:
  COTO 6020
6010: I=I+.01
6020: COSUB 6100
6030: IF ABS (1/IN-1)/IN < 1E-6 THEN 6060
6040: PRINT "1/in=": 1/IN
6050: I=IN: COTO 6020
6060: PRINT USING 61: "N=": IN: RETURN
6100: IN=(1175-1/945-1)/3072)
6110: IN=K/IN: IN: RETURN
6120: REM
6130: REM
6140: REM
6150: REM
6160: REM
7000: "THETA" GOSUB "SIMPSON"
7010: ON T60 TO 7020, 7040
7020: TL=SQR (.47*(1+CP)/3+RE*F00/3
  )
7030: RETURN
7040: TL=.0076/RE*(1/6)/(1+CP)^(2/4)
  *F00/3
7050: TL=TL*(6/7): RETURN
7060: REM
7070: REM
7080: REM
7090: REM
7100: "SIMPSON" IF P=20R P=3 THEN LET
  F=15: COTO 7110
7105: F=F+10
7110: D0=A: E=ACS (1-2*X): A=E/2/F
7115: A=0: TH=0: COSUB 7165
7120: A=Y+A: TH=TH+B: COSUB 7165
7130: A=4*Y+A: TH=TH+B: COSUB 7165
7140: A=Y+A: F=F-1
7150: IF F < 0 THEN 7120
7160: RETURN
7165: ON T60 TO 7170, 7190
7170: COSUB "CP(TH)": Y=(1+CP)^2.5:
  COTO 7200
7180: COTO 7200
7190: COSUB "CP(TH)": Y=(1+CP)^(5/3)
7200: Y=Y*SQR (1+Y*YD)*SIN TH/2:
  RETURN
7220: REM
7230: REM
7240: REM
7250: REM
7260: REM
8000: "ITER2" Y=1: COSUB "S(X)": SL=5
8005: Y=X/1: I=1
8010: COSUB "CEBECI"
8020: PRINT USING 81: "Iter=": I: "Yt
  cns=": USING F00: XT*100: " %"
8030: IF ABS (XT-X-1) < .005 THEN
  RETURN
8040: I=I+1: Y=XT: COTO 8010

```

```

8050: REM
8060: REM
8070: REM
8080: REM
8090: REM
9100: "CEBECI" T=1: COSUB "THETA"
9130: RK=RE*SQR (1+CP): RT=TL*RK
9140: COSUB "S(X)": RS=RK*SL: ST=1.174/
  RT*(5+22400/RK)*RS+.40
9145: COSUB "X(S)": RETURN
9150: REM
9160: REM
9170: REM
9180: REM
9190: REM
9000: "S(X)" E=ACS (1-2*X): C=1
9010: COSUB "SIMPSON2": S=A*E/3
9020: RETURN
9030: "X(S)" E=ACS (1-2*ST/SL): C=2
9040: COSUB "SIMPSON2": XT=A*E/3
9050: RETURN
9060: "SIMPSON2" F=5: A=E/2/F
9070: A=0: TH=0: COSUB 9130
9080: A=Y+A: TH=TH+B: COSUB 9130
9090: A=4*Y+A: TH=TH+B: COSUB 9130
9100: A=Y+A: F=F-1
9110: IF F < 0 THEN 9080
9120: RETURN
9130: SI=SIN TH: CO=COS (TH/2): YD=80*
  (CO*CO-SI*SI)
9140: ON C60 TO 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: "A" CLEAR: COSUB "FORMAT": COSUB
  "PROFIL": WAIT 1
10005: WAIT 100: PRINT "Please select
  Plot": WAIT 1: PRINT "CPlot=1: C
  Plot=2: dCP/dx=3"
10010: PL=VAL INKEY$: IF PL=0 THEN 100
  10
10012: IF PL > 3 THEN 10005
10014: ON LX (100), LY (100)
10015: ON PL GOTO "PLOT1", "PLOT2", "PLO
  T3"
10016: ON PL GOTO "PLOT1", "PLOT2", "PLO
  T3"
10020: REM
10021: REM
10022: REM
10023: REM
10024: REM
10025: "PLOT1" INPUT "CPmax=": Y2
10028: FOR A=1 TO 10
10030: X=A/100: COSUB 10100
10040: NEXT A
10060: FOR A=20 TO 40
10070: X=A/25: -6: COSUB 10100
10080: NEXT A
10090: COTO 10120
10100: COSUB "CP": LX(A)=X: LY(A)=CP
10110: PRINT "X=": USING 61: "CP=":
  USING F00: CP: RETURN
10120: X=0: Y2=1: Y1=0
10180: X=X/L: Y=X/L: "CP(X)"
10190: COSUB "LINE": LF 3: COSUB "DRAW2
  "
10200: A=1: COSUB "LX, LY": CLCURSOR (LY
  , -LX)
10210: FOR A=2 TO 40: COSUB "LX, LY"
10240: LINE -(LY, -LX), 0, 3
10250: NEXT A: TEXT : LF 3: COSUB "LINE"
  END
10260: REM
10270: REM
10280: REM
10290: REM
10300: REM
10310: "PLOT3" INPUT "Max(dCP/dX)=": Y2
10315: INPUT "Xmax/L=": X2
10320: FOR A=1 TO 100
10330: X=A/100: X2: COSUB "DCP"
10340: PRINT "X/L=": USING 61: "#####": X
  : "CP=": USING F00: CP: DC
10350: LX(A)=X: LY(A)=DC: NEXT A
10355: LY (100)=LY (95)
10360: X1=0: Y1=-Y2: Y=X2/2: dCP/dx="
10365: Y=STR$ (1/X2)+X/L
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
10460: REM
10500: LINE "TEXT": SIZE 2: LF 3
10510: GRAPH : LINE (10, 0), (210, 0), 0, 1
  TEXT: COSUB "LINE": LF 4:
  RETURN
10520: REM
10530: REM
10540: REM
10550: REM
10560: REM

```

```

0600: LX,LY=LX+INT ((LX(A)-X1)*C/(X
2-X1))
0610: LY=INT ((LY(A)-Y1)*B/(Y2-Y1))
0620: IF LY=0 THEN LET LY=0
0630: IF LY=0 THEN LET LY=0
0640: RETURN
0650: "ON PLOT2 INPUT "CPmax=";Y2:GOTO 10720
0660: INPUT "CPmax=";Y2:GOTO 10130
0670: INPUT "Max(dCP/dx)=";Y2:GOTO 1
0680
0690: INPUT "CPmax=";Y2:GOTO 10860
0700: REM
0710: REM
0720: REM
0730: REM
0740: REM
0750: REM
0760: REM
0770: REM
0780: REM
0790: REM
0800: "PLOT2" INPUT "CPmax=";Y2
0810: FOR A=1 TO 40
0820: A=A/10-4: X=X1+10*A: COSUB "CP"
0830: PRINT "X/L="; USING "##.###": X
CP=""; USING F5; LP
0840: LX(A)=B: LY(A)=CP
0850: NEXT A
0860: X1=X1+4: X2=X2+1: Y1=Y1+0
0870: X=X1: Y=Y1: V=CP(X)
0880: COSUB "LINE".LF 3: COSUB "DRAW3"
0890: A=1: COSUB "LX,LY": CLCURSOR (LY
-LX)
0900: FOR A=2 TO 40: COSUB "LX,LY"
0910: LINE (LY, LX), 0, 3: NEXT A
0920: TEXT (LF 3: COSUB "LINE".END
0930: REM
0940: REM
0950: REM
0960: REM
1000: DRAW1"TEXT :SIZE 2:COLOR 1:R
304: C=100
1002: LPRINT TAB 2; P: LPRINT TAB 2; 0
*
1005: GRAPH :ROTATE 0: SIZE 1: USING
1010: CLCURSOR (30, -350): SORGN
1020: LINE (0, 0)-(C, 0), 0, 0, B
1030: FOR A=30 TO 145 STEP 30
1040: LINE (A, 0)-(A, B): NEXT A
1050: FOR A=30 TO 265 STEP 30
1060: IF A=152 THEN LINE (-10, A)-(C, A)
: GOTO 11100
1070: LINE (0, A)-(C, A)
1080: NEXT A
1090: FOR A=0 TO C STEP 30
1100: LX=X1+(X2-X1)/C*A
1110: LX=LX/X2
1120: LX=X1+INT (LX*X10+.1)
1130: CLCURSOR (A-15, -15): LPRINT LX
1140: NEXT A
1150: CLCURSOR (85, -35): SIZE 2:
LPRINT X: SIZE 1
1160: FOR A=0 TO B STEP 30
1170: LY=Y1+(Y2-Y1)/B*A
1180: LY=LY+INT (10*LY+.1)
1190: CLCURSOR (-30, A-3): LPRINT LY
1200: NEXT A
1210: CLCURSOR (0, B+5): SIZE 2:
LPRINT Y
1220: CLCURSOR (0, B/2): RETURN
1230: REM
1240: REM
1250: REM
1260: REM
1270: REM
1280: REM
1290: REM
1300: REM
1310: REM
1320: REM
1330: REM
1340: REM
1350: REM
1360: REM
1370: REM
1380: REM
1390: REM
1400: REM
1410: REM
1420: REM
1430: REM
1440: REM
1450: REM
1460: REM
1470: REM
1480: REM
1490: REM
1500: REM
1510: REM
1520: REM
1530: REM
1540: REM
1550: REM
1560: REM
1570: REM
1580: REM
1590: REM
1600: REM
1610: REM
1620: REM
1630: REM
1640: REM
1650: REM
1660: REM
1670: REM
1680: REM
1690: REM
1700: REM
1710: REM
1720: REM
1730: REM
1740: REM
1750: REM
1760: REM
1770: REM
1780: REM
1790: REM
1800: REM
1810: REM
1820: REM
1830: REM
1840: REM
1850: REM
1860: REM
1870: REM
1880: REM
1890: REM
1900: REM
1910: REM
1920: REM
1930: REM
1940: REM
1950: REM
1960: REM
1970: REM
1980: REM
1990: REM
2000: REM
2010: REM
2020: REM
2030: REM
2040: REM
2050: REM
2060: REM
2070: REM
2080: REM
2090: REM
2100: REM
2110: REM
2120: REM
2130: REM
2140: REM
2150: REM
2160: REM
2170: REM
2180: REM
2190: REM
2200: REM
2210: REM
2220: REM
2230: REM
2240: REM
2250: REM
2260: REM
2270: REM
2280: REM
2290: REM
2300: REM
2310: REM
2320: REM
2330: REM
2340: REM
2350: REM
2360: REM
2370: REM
2380: REM
2390: REM
2400: REM
2410: REM
2420: REM
2430: REM
2440: REM
2450: REM
2460: REM
2470: REM
2480: REM
2490: REM
2500: REM
2510: REM
2520: REM
2530: REM
2540: REM
2550: REM
2560: REM
2570: REM
2580: REM
2590: REM
2600: REM
2610: REM
2620: REM
2630: REM
2640: REM
2650: REM
2660: REM
2670: REM
2680: REM
2690: REM
2700: REM
2710: REM
2720: REM
2730: REM
2740: REM
2750: REM
2760: REM
2770: REM
2780: REM
2790: REM
2800: REM
2810: REM
2820: REM
2830: REM
2840: REM
2850: REM
2860: REM
2870: REM
2880: REM
2890: REM
2900: REM
2910: REM
2920: REM
2930: REM
2940: REM
2950: REM
2960: REM
2970: REM
2980: REM
2990: REM
3000: REM
3010: REM
3020: REM
3030: REM
3040: REM
3050: REM
3060: REM
3070: REM
3080: REM
3090: REM
3100: REM
3110: REM
3120: REM
3130: REM
3140: REM
3150: REM
3160: REM
3170: REM
3180: REM
3190: REM
3200: REM
3210: REM
3220: REM
3230: REM
3240: REM
3250: REM
3260: REM
3270: REM
3280: REM
3290: REM
3300: REM
3310: REM
3320: REM
3330: REM
3340: REM
3350: REM
3360: REM
3370: REM
3380: REM
3390: REM
3400: REM
3410: REM
3420: REM
3430: REM
3440: REM
3450: REM
3460: REM
3470: REM
3480: REM
3490: REM
3500: REM
3510: REM
3520: REM
3530: REM
3540: REM
3550: REM
3560: REM
3570: REM
3580: REM
3590: REM
3600: REM
3610: REM
3620: REM
3630: REM
3640: REM
3650: REM
3660: REM
3670: REM
3680: REM
3690: REM
3700: REM
3710: REM
3720: REM
3730: REM
3740: REM
3750: REM
3760: REM
3770: REM
3780: REM
3790: REM
3800: REM
3810: REM
3820: REM
3830: REM
3840: REM
3850: REM
3860: REM
3870: REM
3880: REM
3890: REM
3900: REM
3910: REM
3920: REM
3930: REM
3940: REM
3950: REM
3960: REM
3970: REM
3980: REM
3990: REM
4000: REM
4010: REM
4020: REM
4030: REM
4040: REM
4050: REM
4060: REM
4070: REM
4080: REM
4090: REM
4100: REM
4110: REM
4120: REM
4130: REM
4140: REM
4150: REM
4160: REM
4170: REM
4180: REM
4190: REM
4200: REM
4210: REM
4220: REM
4230: REM
4240: REM
4250: REM
4260: REM
4270: REM
4280: REM
4290: REM
4300: REM
4310: REM
4320: REM
4330: REM
4340: REM
4350: REM
4360: REM
4370: REM
4380: REM
4390: REM
4400: REM
4410: REM
4420: REM
4430: REM
4440: REM
4450: REM
4460: REM
4470: REM
4480: REM
4490: REM
4500: REM
4510: REM
4520: REM
4530: REM
4540: REM
4550: REM
4560: REM
4570: REM
4580: REM
4590: REM
4600: REM
4610: REM
4620: REM
4630: REM
4640: REM
4650: REM
4660: REM
4670: REM
4680: REM
4690: REM
4700: REM
4710: REM
4720: REM
4730: REM
4740: REM
4750: REM
4760: REM
4770: REM
4780: REM
4790: REM
4800: REM
4810: REM
4820: REM
4830: REM
4840: REM
4850: REM
4860: REM
4870: REM
4880: REM
4890: REM
4900: REM
4910: REM
4920: REM
4930: REM
4940: REM
4950: REM
4960: REM
4970: REM
4980: REM
4990: REM
5000: REM
5010: REM
5020: REM
5030: REM
5040: REM
5050: REM
5060: REM
5070: REM
5080: REM
5090: REM
5100: REM
5110: REM
5120: REM
5130: REM
5140: REM
5150: REM
5160: REM
5170: REM
5180: REM
5190: REM
5200: REM
5210: REM
5220: REM
5230: REM
5240: REM
5250: REM
5260: REM
5270: REM
5280: REM
5290: REM
5300: REM
5310: REM
5320: REM
5330: REM
5340: REM
5350: REM
5360: REM
5370: REM
5380: REM
5390: REM
5400: REM
5410: REM
5420: REM
5430: REM
5440: REM
5450: REM
5460: REM
5470: REM
5480: REM
5490: REM
5500: REM
5510: REM
5520: REM
5530: REM
5540: REM
5550: REM
5560: REM
5570: REM
5580: REM
5590: REM
5600: REM
5610: REM
5620: REM
5630: REM
5640: REM
5650: REM
5660: REM
5670: REM
5680: REM
5690: REM
5700: REM
5710: REM
5720: REM
5730: REM
5740: REM
5750: REM
5760: REM
5770: REM
5780: REM
5790: REM
5800: REM
5810: REM
5820: REM
5830: REM
5840: REM
5850: REM
5860: REM
5870: REM
5880: REM
5890: REM
5900: REM
5910: REM
5920: REM
5930: REM
5940: REM
5950: REM
5960: REM
5970: REM
5980: REM
5990: REM
6000: REM
6010: REM
6020: REM
6030: REM
6040: REM
6050: REM
6060: REM
6070: REM
6080: REM
6090: REM
6100: REM
6110: REM
6120: REM
6130: REM
6140: REM
6150: REM
6160: REM
6170: REM
6180: REM
6190: REM
6200: REM
6210: REM
6220: REM
6230: REM
6240: REM
6250: REM
6260: REM
6270: REM
6280: REM
6290: REM
6300: REM
6310: REM
6320: REM
6330: REM
6340: REM
6350: REM
6360: REM
6370: REM
6380: REM
6390: REM
6400: REM
6410: REM
6420: REM
6430: REM
6440: REM
6450: REM
6460: REM
6470: REM
6480: REM
6490: REM
6500: REM
6510: REM
6520: REM
6530: REM
6540: REM
6550: REM
6560: REM
6570: REM
6580: REM
6590: REM
6600: REM
6610: REM
6620: REM
6630: REM
6640: REM
6650: REM
6660: REM
6670: REM
6680: REM
6690: REM
6700: REM
6710: REM
6720: REM
6730: REM
6740: REM
6750: REM
6760: REM
6770: REM
6780: REM
6790: REM
6800: REM
6810: REM
6820: REM
6830: REM
6840: REM
6850: REM
6860: REM
6870: REM
6880: REM
6890: REM
6900: REM
6910: REM
6920: REM
6930: REM
6940: REM
6950: REM
6960: REM
6970: REM
6980: REM
6990: REM
7000: REM
7010: REM
7020: REM
7030: REM
7040: REM
7050: REM
7060: REM
7070: REM
7080: REM
7090: REM
7100: REM
7110: REM
7120: REM
7130: REM
7140: REM
7150: REM
7160: REM
7170: REM
7180: REM
7190: REM
7200: REM
7210: REM
7220: REM
7230: REM
7240: REM
7250: REM
7260: REM
7270: REM
7280: REM
7290: REM
7300: REM
7310: REM
7320: REM
7330: REM
7340: REM
7350: REM
7360: REM
7370: REM
7380: REM
7390: REM
7400: REM
7410: REM
7420: REM
7430: REM
7440: REM
7450: REM
7460: REM
7470: REM
7480: REM
7490: REM
7500: REM
7510: REM
7520: REM
7530: REM
7540: REM
7550: REM
7560: REM
7570: REM
7580: REM
7590: REM
7600: REM
7610: REM
7620: REM
7630: REM
7640: REM
7650: REM
7660: REM
7670: REM
7680: REM
7690: REM
7700: REM
7710: REM
7720: REM
7730: REM
7740: REM
7750: REM
7760: REM
7770: REM
7780: REM
7790: REM
7800: REM
7810: REM
7820: REM
7830: REM
7840: REM
7850: REM
7860: REM
7870: REM
7880: REM
7890: REM
7900: REM
7910: REM
7920: REM
7930: REM
7940: REM
7950: REM
7960: REM
7970: REM
7980: REM
7990: REM
8000: REM
8010: REM
8020: REM
8030: REM
8040: REM
8050: REM
8060: REM
8070: REM
8080: REM
8090: REM
8100: REM
8110: REM
8120: REM
8130: REM
8140: REM
8150: REM
8160: REM
8170: REM
8180: REM
8190: REM
8200: REM
8210: REM
8220: REM
8230: REM
8240: REM
8250: REM
8260: REM
8270: REM
8280: REM
8290: REM
8300: REM
8310: REM
8320: REM
8330: REM
8340: REM
8350: REM
8360: REM
8370: REM
8380: REM
8390: REM
8400: REM
8410: REM
8420: REM
8430: REM
8440: REM
8450: REM
8460: REM
8470: REM
8480: REM
8490: REM
8500: REM
8510: REM
8520: REM
8530: REM
8540: REM
8550: REM
8560: REM
8570: REM
8580: REM
8590: REM
8600: REM
8610: REM
8620: REM
8630: REM
8640: REM
8650: REM
8660: REM
8670: REM
8680: REM
8690: REM
8700: REM
8710: REM
8720: REM
8730: REM
8740: REM
8750: REM
8760: REM
8770: REM
8780: REM
8790: REM
8800: REM
8810: REM
8820: REM
8830: REM
8840: REM
8850: REM
8860: REM
8870: REM
8880: REM
8890: REM
8900: REM
8910: REM
8920: REM
8930: REM
8940: REM
8950: REM
8960: REM
8970: REM
8980: REM
8990: REM
9000: REM
9010: REM
9020: REM
9030: REM
9040: REM
9050: REM
9060: REM
9070: REM
9080: REM
9090: REM
9100: REM
9110: REM
9120: REM
9130: REM
9140: REM
9150: REM
9160: REM
9170: REM
9180: REM
9190: REM
9200: REM
9210: REM
9220: REM
9230: REM
9240: REM
9250: REM
9260: REM
9270: REM
9280: REM
9290: REM
9300: REM
9310: REM
9320: REM
9330: REM
9340: REM
9350: REM
9360: REM
9370: REM
9380: REM
9390: REM
9400: REM
9410: REM
9420: REM
9430: REM
9440: REM
9450: REM
9460: REM
9470: REM
9480: REM
9490: REM
9500: REM
9510: REM
9520: REM
9530: REM
9540: REM
9550: REM
9560: REM
9570: REM
9580: REM
9590: REM
9600: REM
9610: REM
9620: REM
9630: REM
9640: REM
9650: REM
9660: REM
9670: REM
9680: REM
9690: REM
9700: REM
9710: REM
9720: REM
9730: REM
9740: REM
9750: REM
9760: REM
9770: REM
9780: REM
9790: REM
9800: REM
9810: REM
9820: REM
9830: REM
9840: REM
9850: REM
9860: REM
9870: REM
9880: REM
9890: REM
9900: REM
9910: REM
9920: REM
9930: REM
9940: REM
9950: REM
9960: REM
9970: REM
9980: REM
9990: REM

```

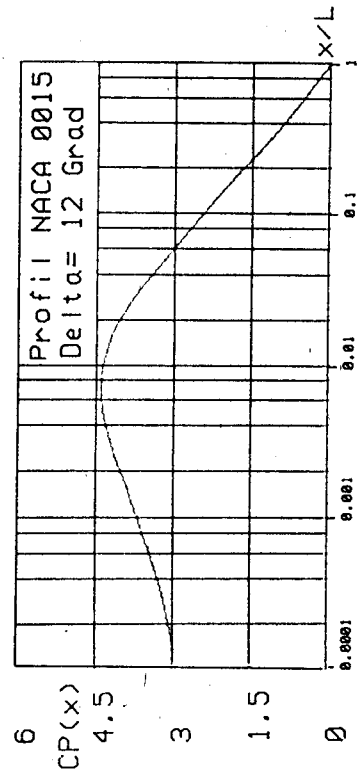
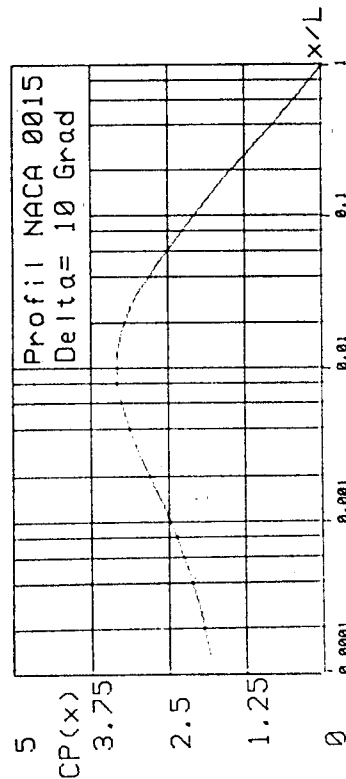
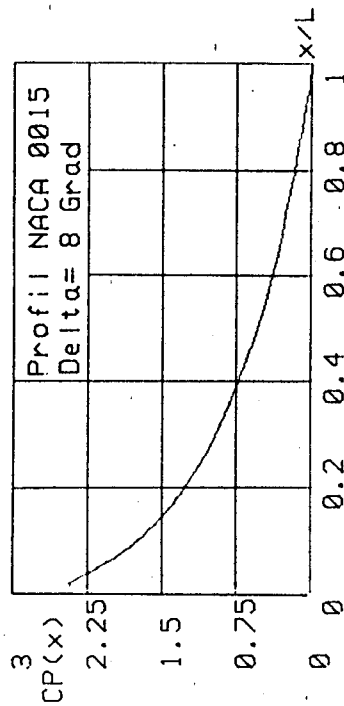
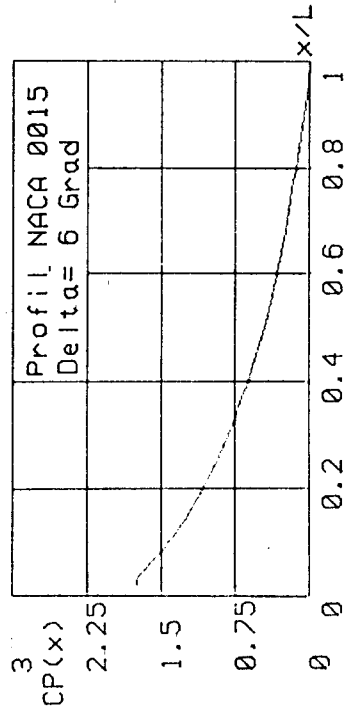
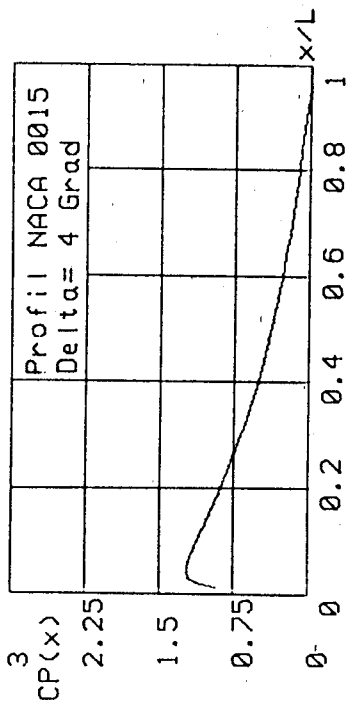
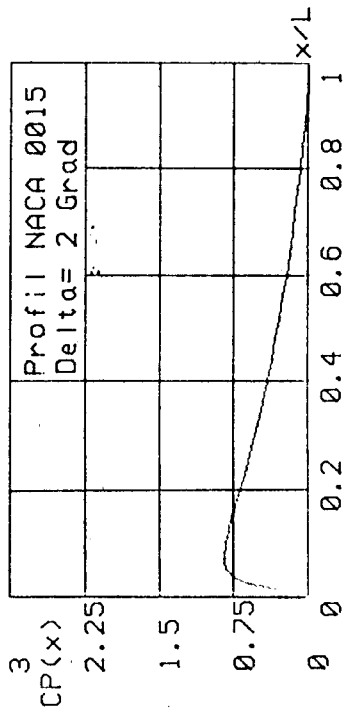
```

13250: REM
13260: REM
13270: REM
13280: REM
13290: REM
20000: "MENU" WAIT 1
20010: PRINT "Program=P manuel1=M"
20020: A=INKEY$: IF A="M" THEN 20020
20030: IF A="M" THEN END
20040: IF A="P" THEN 20020
20050: PRINT "Grenzschicht=A Plotten
=B"
20060: A=INKEY$: IF A="M" THEN 20060
20070: IF A="A" OR A="B" THEN A=
20080: GOTO 20060
20090: REM
20100: REM
20110: REM
20120: REM
20130: REM
50000: "PROFIL" INPUT "Profilnummer =
": P: "Delta (Grad) = ": D: 0
50010: D=D/100
50020: ON P GOTO 50030, 50040, 50050, 500
60, 50070, 50080, 50090
50025: GOTO 50000
50030: P="Profil NACA 0015"
50032: B0=.1113: B1=.0201: B2=.0161:
COTO 50065
50040: P="Profil NACA16006"
50042: B0=.03: B1=.018: B2=.018: B3=.0
12: COTO 50065
50050: P="Tamiya - Profil"
50055: B0=.045: B1=.03: B2=.02: B3=.05:
B4=.0065: B5=.1033: B6=.0261:
COTO 50065
50060: P="Joukowski 0015": B0=.1154
50065: PAUSE P: PAUSE D: RETURN
50070: P="Profil NACA 0012"
50072: B0=.009: B1=.0225: B2=.0129:
COTO 50065
50080: P="Profil NACA 4412"
50082: B0=.0089: B1=.0251: B2=.0153
50084: B3=.0107: B4=.1675: B5=.0264: B6
=.0044: B7=.0042: COTO 50065
50090: P="Profil NACA16012"
50092: B0=.06: B1=.036: B2=.036: B3=.0
24: COTO 50065
50100: REM
50110: REM
50120: REM
50130: REM
50140: REM
51000: (P*PI/180) TH=ACS (1-2*X)
51010: (P*TH) IF TH=0 THEN LET TH=1E
-3: COTO 51030
51020: IF TH=0 THEN LET TH=3.14
51030: UT=1+D0*(1.5*TH)+B0*(1+2*
COS TH)-B1*(1-2*COS TH)-B2*(COS
(2*TH)-B3*(COS (3*TH)
51035: IF P=30R P=6 THEN LET UT=UT+AB/
TAN (.5*TH)+B1*SIN TH+B2*SIN (
2*TH)
51036: IF P=6 THEN LET UT=UT+B3*SIN (3
*TH)+B4*SIN (4*TH)
51040: YD=B0*(1/TAN (.5*TH)-2*SIN TH)
51045: IF P=3 THEN LET YD=YD+B1*(TAN (
.5*TH)-2*SIN TH)
51050: LP=UT*(1+YD*YD)-1-D0*D0:
RETURN
51060: REM
51070: REM
51080: REM
51090: REM
51100: REM
52000: DC="COSUB "CP"
52010: DU=D0/(COS TH-1)-2*(B0+B1)*SIN
TH+2*B2*SIN (2*TH)+3*B3*SIN (3
*TH)
52015: IF P=30R P=6 THEN LET DU=DU+AB/
(COS TH-1)+B1*(COS TH+2*B2*(COS
(2*TH)
52016: IF P=6 THEN LET DU=DU+3*B3*(COS
(3*TH)+4*B4*(COS (4*TH)
52020: DY=B0*(1/(1-COS TH)-2*(COS TH)
52025: IF P=3 THEN LET DY=DY+B1*(1/(1
-COS TH)-2*(COS TH)
52030: DC=2*(CP+1)*(DU/UT-DY*YD/(1+YD
*YD))
52040: DC=2*DC/SIN TH/SQR (1+YD*YD):
RETURN
52050: REM
52060: REM
52070: REM
52080: REM
52090: REM
52100: REM
54000: LP="MIN" IF XM<0 THEN 54025
54010: Y=X: DX=X: 0
54020: Y=X+DX
54030: COSUB "DCP".PRINT "X=": USING ;
Y: "LP=": USING F5; DC
54040: IF DC<0 THEN 54020
54050: IF DX<1E-6 OR ABS DC<.05 THEN 5
4020
54060: Y=X-DX: DX=DX/10: COTO 54020
54070: Y=X+DX/2: Y=X: COSUB "CP"
54075: Y=X: COSUB "CP"
54080: PRINT "Xmin/L=": USING ; XM
54090: LPRINT "Xmin/L=": USING F5; XM:
LPRINT "CPmax=": USING F7; LP
54100: USING : RETURN

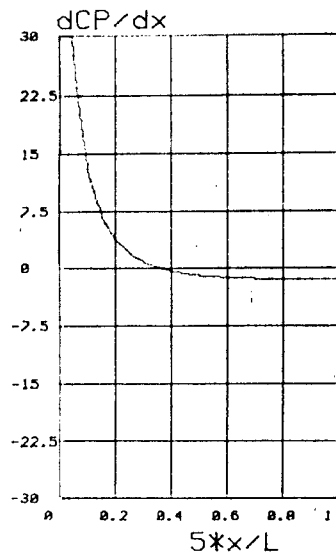
```

```

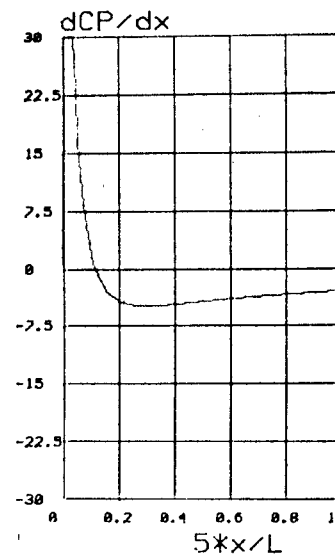
54110: REM
54120: REM
54130: REM
54140: REM
54150: REM
55000: "FORMAT" F="###.##"
55010: F2="###.###"
55020: F3="###.###"
55030: F4="###.###"
55040: F5="###.###"
55050: F6="###.###"
55060: F7="###.###"
55070: F8="###.###"
55080: F9="###.###"
55090: F10="###.###"
55090: F11="###.###"
55090: F12="###.###"
55090: F13="###.###"
55090: F14="###.###"
55090: F15="###.###"
55090: F16="###.###"
55090: F17="###.###"
55090: F18="###.###"
55090: F19="###.###"
55090: F20="###.###"
55090: F21="###.###"
55090: F22="###.###"
55090: F23="###.###"
55090: F24="###.###"
55090: F25="###.###"
55090: F26="###.###"
55090: F27="###.###"
55090: F28="###.###"
55090: F29="###.###"
55090: F30="###.###"
55090: F31="###.###"
55090: F32="###.###"
55090: F33="###.###"
55090: F34="###.###"
55090: F35="###.###"
55090: F36="###.###"
55090: F37="###.###"
55090: F38="###.###"
55090: F39="###.###"
55090: F40="###.###"
55090: F41="###.###"
55090: F42="###.###"
55090: F43="###.###"
55090: F44="###.###"
55090: F45="###.###"
55090: F46="###.###"
55090: F47="###.###"
55090: F48="###.###"
55090: F49="###.###"
55090: F50="###.###"
55090: F51="###.###"
55090: F52="###.###"
55090: F53="###.###"
55090: F54="###.###"
55090: F55="###.###"
55090: F56="###.###"
55090: F57="###.###"
55090: F58="###.###"
55090: F59="###.###"
55090: F60="###.###"
55090: F61="###.###"
55090: F62="###.###"
55090: F63="###.###"
55090: F64="###.###"
55090: F65="###.###"
55090: F66="###.###"
55090: F67="###.###"
55090: F68="###.###"
55090: F69="###.###"
55090: F70="###.###"
55090: F71="###.###"
55090: F72="###.###"
55090: F73="###.###"
55090: F74="###.###"
55090: F75="###.###"
55090: F76="###.###"
55090: F77="###.###"
55090: F78="###.###"
55090: F79="###.###"
55090: F80="###.###"
55090: F81="###.###"
55090: F82="###.###"
55090: F83="###.###"
55090: F84="###.###"
55090: F85="###.###"
55090: F86="###.###"
55090: F87="###.###"
55090: F88="###.###"
55090: F89="###.###"
55090: F90="###.###"
55090: F91="###.###"
55090: F92="###.###"
55090: F93="###.###"
55090: F94="###.###"
55090: F95="###.###"
55090: F96="###.###"
55090: F97="###.###"
55090: F98="###.###"
55090: F99="###.###"
55090: F100="###.###"
55090: F101="###.###"
55090: F102="###.###"
55090: F103="###.###"
55090: F104="###.###"
55090: F105="###.###"
55090: F106="###.###"
55090: F107="###.###"
55090: F108="###.###"
55090: F109="###.###"
55090: F110="###.###"
55090: F111="###.###"
55090: F112="###.###"
55090: F113="###.###"
55090: F114="###.###"
55090: F115="###.###"
55090: F116="###.###"
55090: F117="###.###"
55090: F118="###.###"
55090: F119="###.###"
55090: F120="###.###"
55090: F121="###.###"
55090: F122="###.###"
55090: F123="###.###"
55090: F124="###.###"
55090: F125="###.###"
55090: F126="###.###"
55090: F127="###.###"
55090: F128="###.###"
55090: F129="###.###"
55090: F130="###.###"
55090: F131="###.###"
55090: F132="###.###"
55090: F133="###.###"
55090: F134="###.###"
55090: F135="###.###"
55090: F136="###.###"
55090: F137="###.###"
55090: F138="###.###"
55090: F139="###.###"
55090: F140="###.###"
55090: F141="###.###"
55090: F142="###.###"
55090: F143="###.###"
55090: F144="###.###"
55090: F145="###.###"
55090: F146="###.###"
55090: F147="###.###"
55090: F148="###.###"
55090: F149="###.###"
55090: F150="###.###"
55090: F151="###.###"
55090: F152="###.###"
55090: F153="###.###"
55090: F154="###.###"
55090: F155="###.###"
55090: F156="###.###"
55090: F157="###.###"
55090: F158="###.###"
55090: F159="###.###"
55090: F160="###.###"
55090: F161="###.###"
55090: F162="###.###"
55090: F163="###.###"
55090: F164="###.###"
55090: F165="###.###"
55090: F166="###.###"
55090: F167="###.###"
55090: F168="###.###"
55090: F169="###.###"
55090: F170="###.###"
55090: F171="###.###"
55090: F172="###.###"
55090: F173="###.###"
55090: F174="###.###"
55090: F175="###.###"
55090: F176="###.###"
55090: F177="###.###"
55090: F178="###.###"
55090: F179="###.###"
55090: F180="###.###"
55090: F181="###.###"
55090: F182="###.###"
55090: F183="###.###"
55090: F184="###.###"
55090: F185="###.###"
55090: F186="###.###"
55090: F187="###.###"
55090: F188="###.###"
55090: F189="###.###"
55090: F190="###.###"
55090: F191="###.###"
55090: F192="###.###"
55090: F193="###.###"
55090: F194="###.###"
55090: F195="###.###"
55090: F196="###.###"
55090: F197="###.###"
55090: F198="###.###"
55090: F199="###.###"
55090: F200="###.###"
55090: F201="###.###"
55090: F202="###.###"
55090: F203="###.###"
55090: F204="###.###"
55090: F205="###.###"
55090: F206="###.###"
55090: F207="###.###"
55090: F208="###.###"
55090: F209="###.###"
55090: F210="###.###"
55090: F211="###.###"
55090: F212="###.###"
```



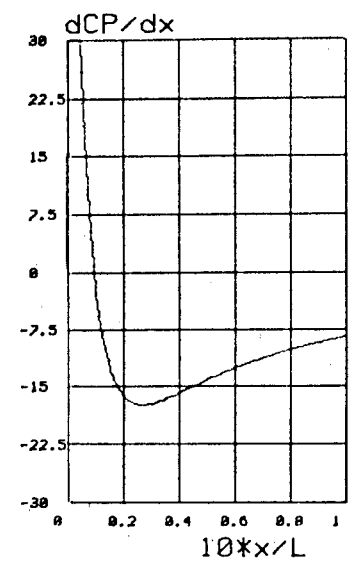
Profil NACA 0015
Delta= 2 Grad



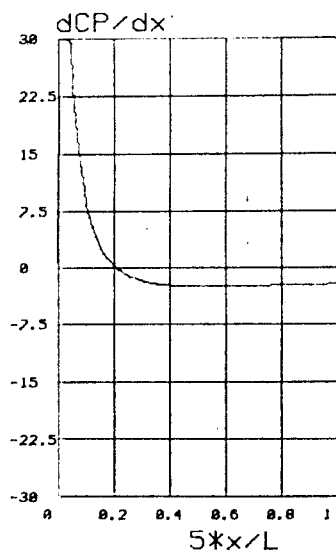
Profil NACA 0015
Delta= 6 Grad



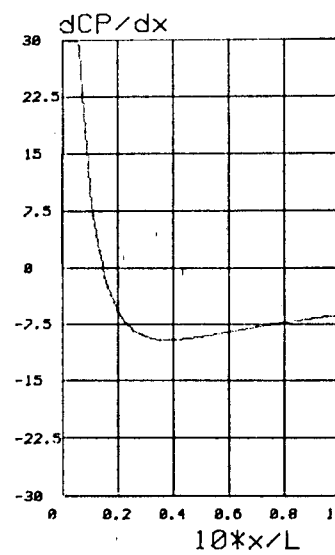
Profil NACA 0015
Delta= 10 Grad



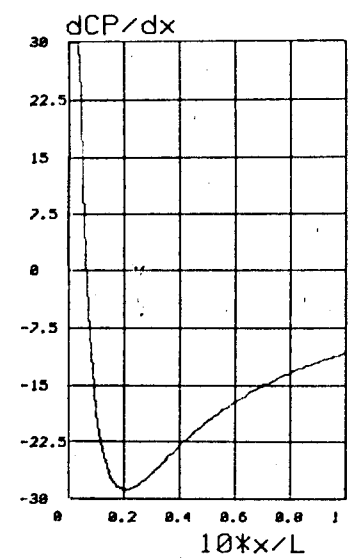
Profil NACA 0015
Delta= 4 Grad

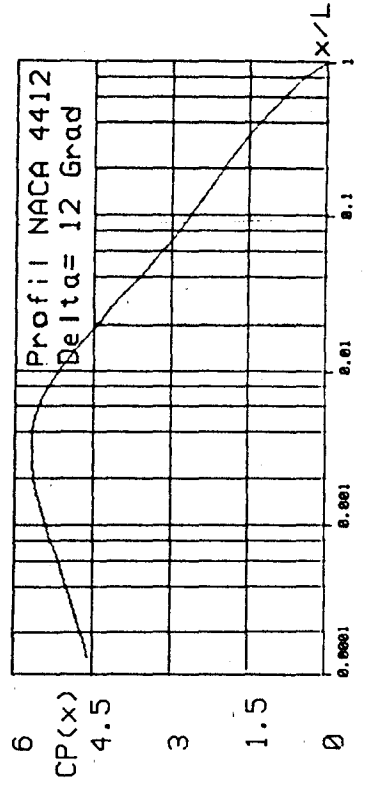
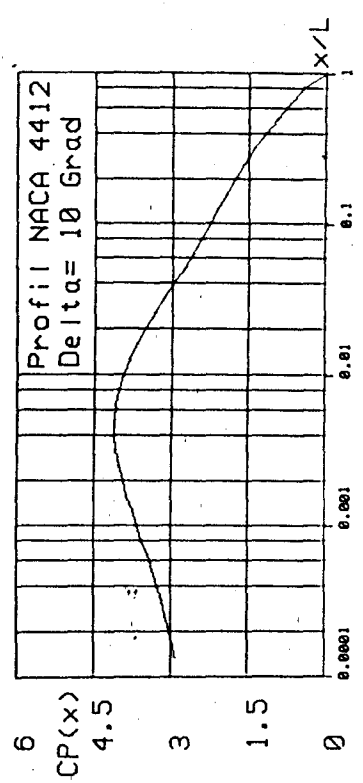
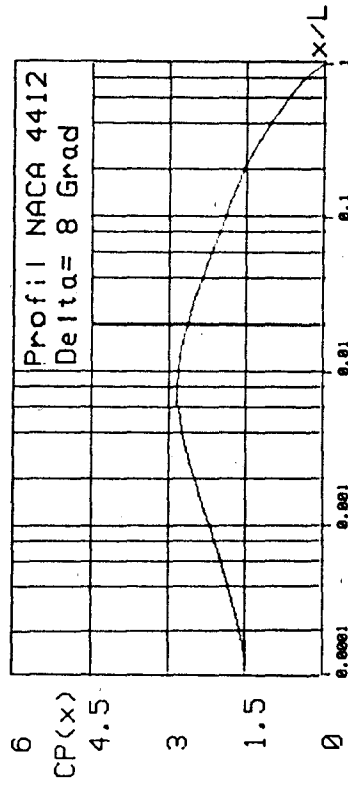
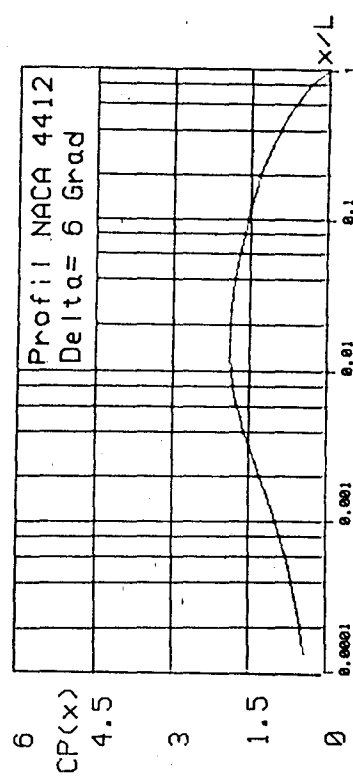
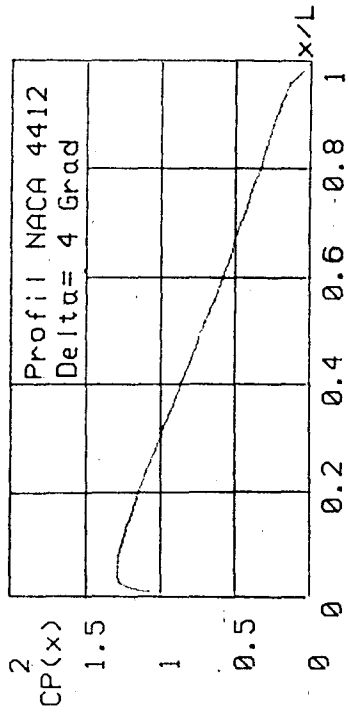
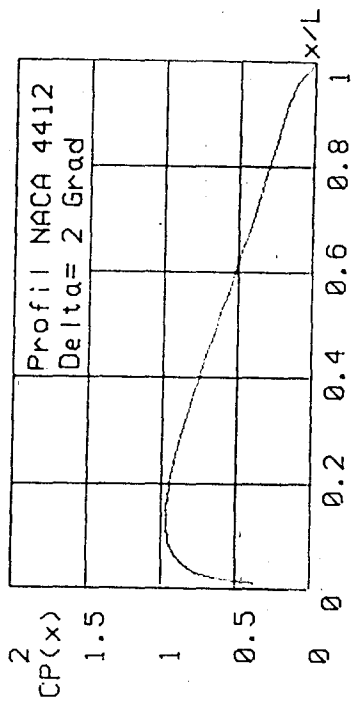


Profil NACA 0015
Delta= 8 Grad

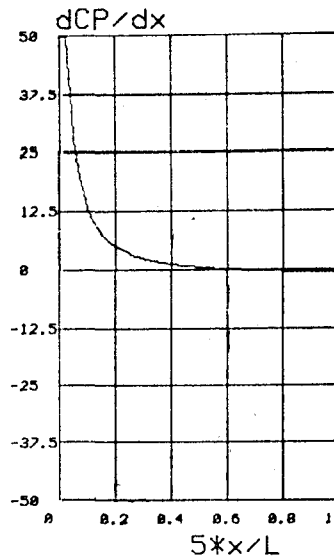


Profil NACA 0015
Delta= 12 Grad

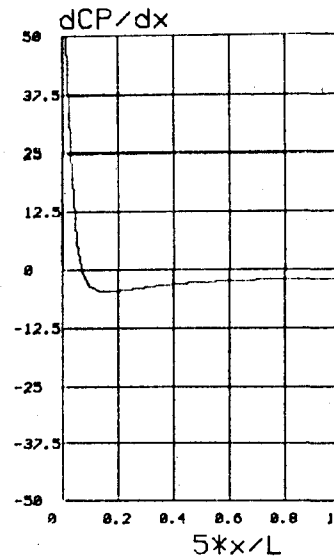




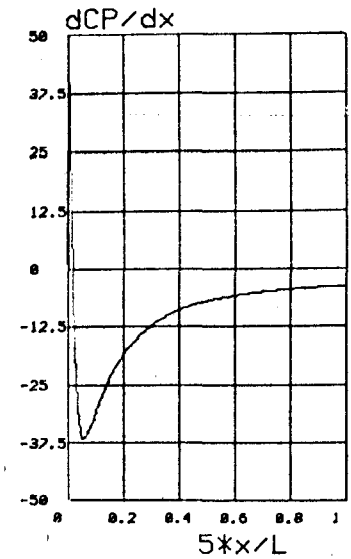
Profil NACA 4412
Delta= 2 Grad



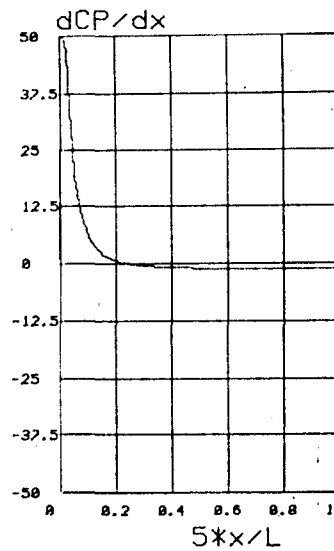
Profil NACA 4412
Delta= 6 Grad



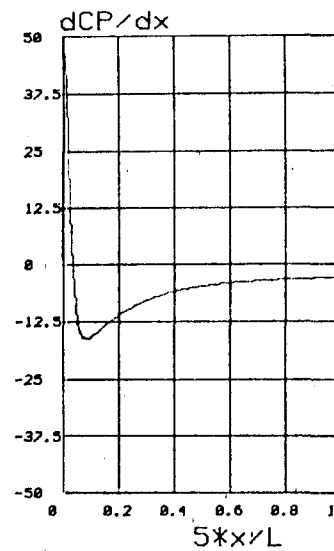
Profil NACA 4412
Delta= 10 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 4 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 8 Grad



Profil NACA 4412
Delta= 12 Grad

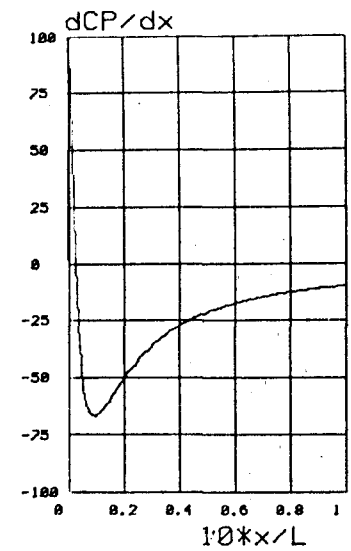
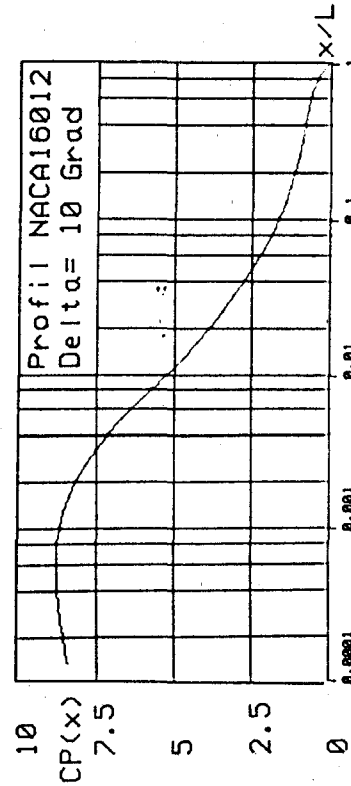
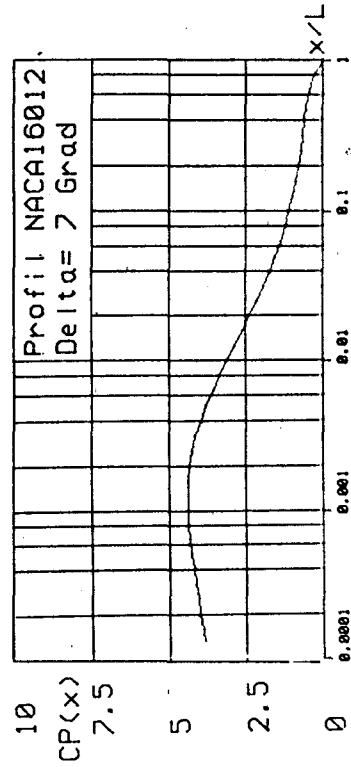
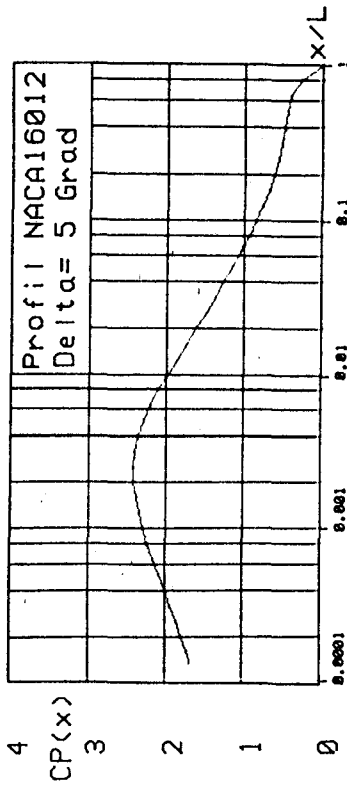
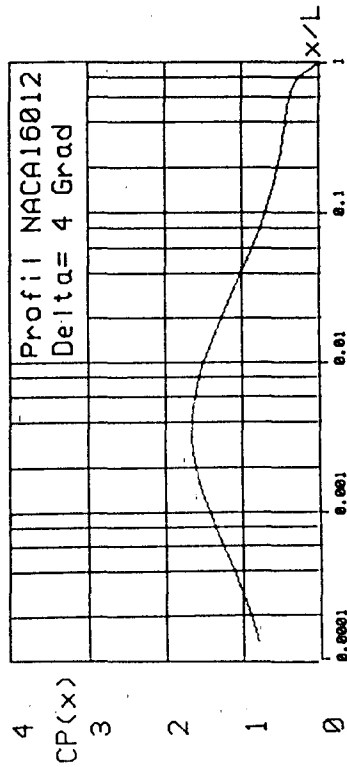
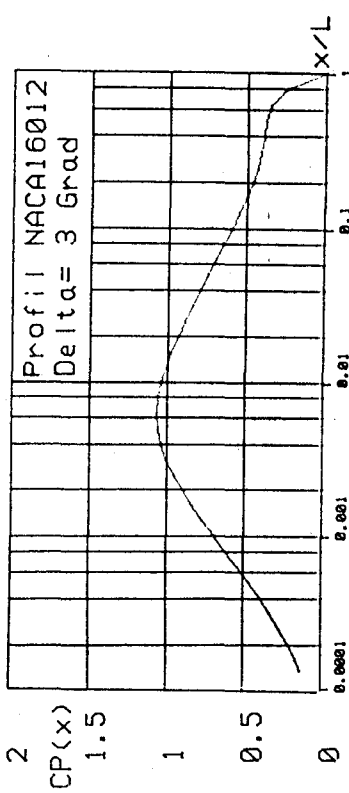
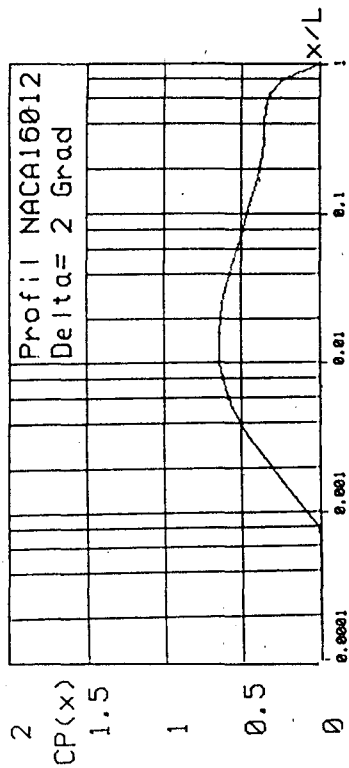
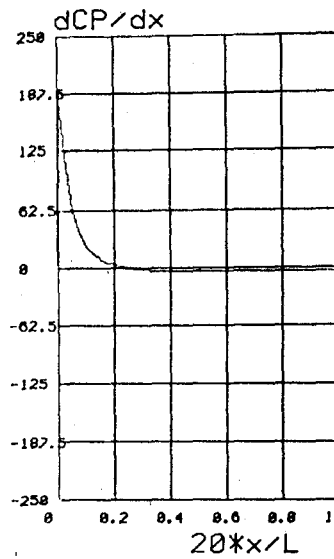


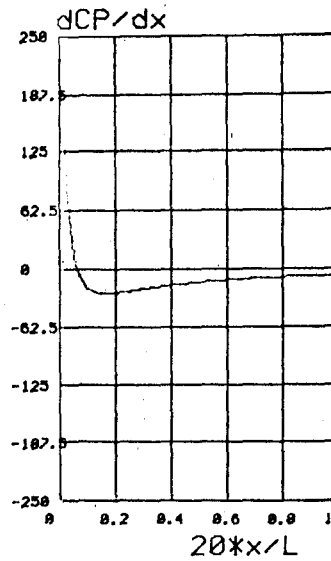
Abb. 4



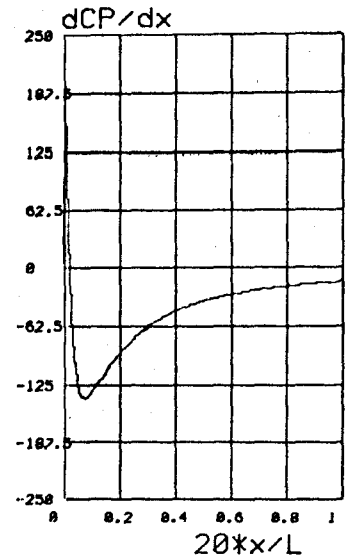
Profil NACA16012
Delta= 2 Grad



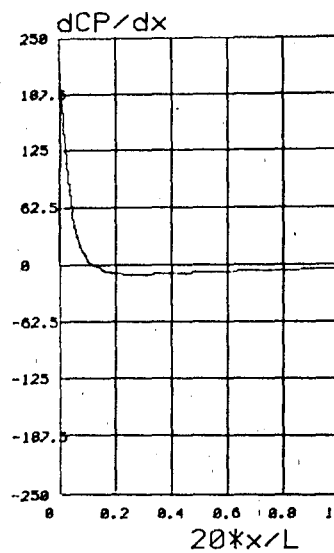
Profil NACA16012
Delta= 4 Grad



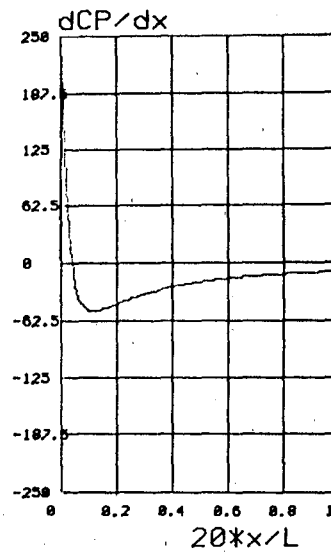
Profil NACA16012
Delta= 7 Grad



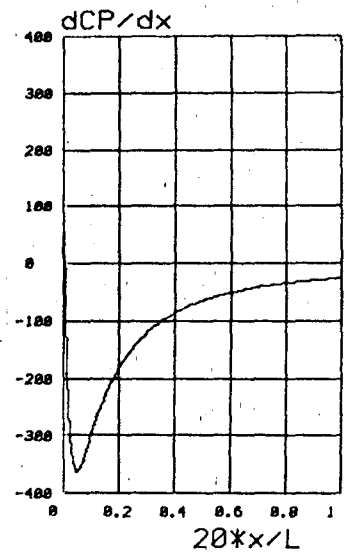
Profil NACA16012
Delta= 3 Grad

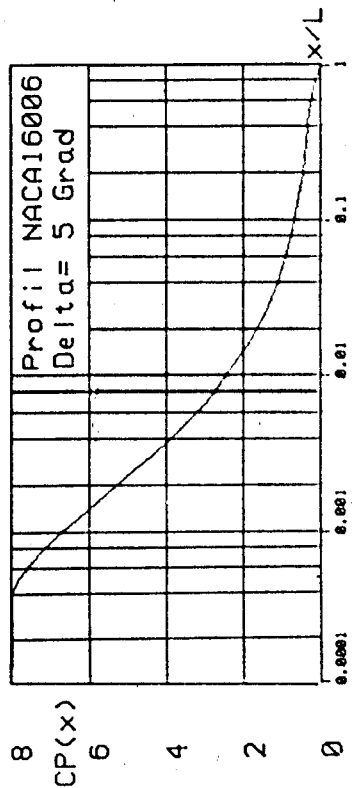
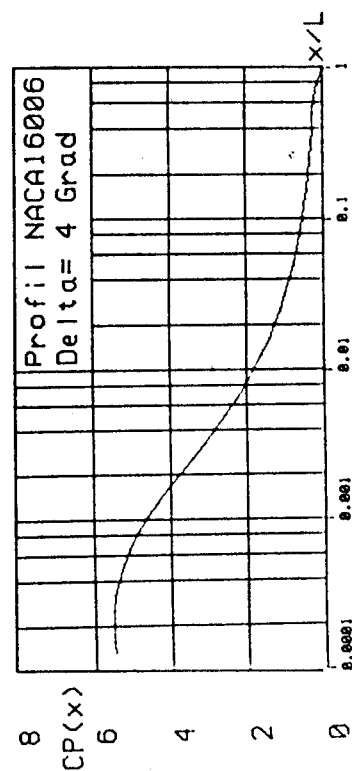
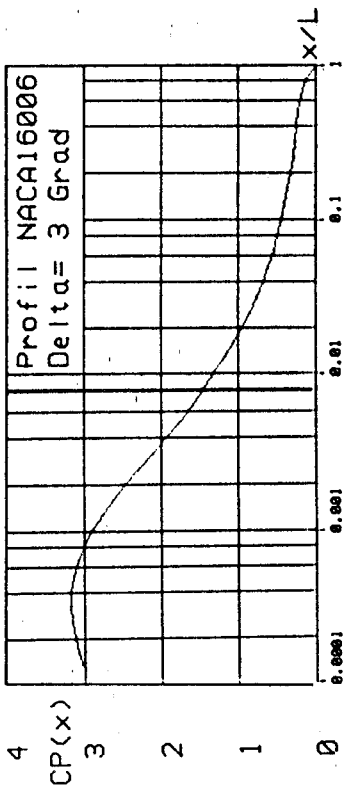
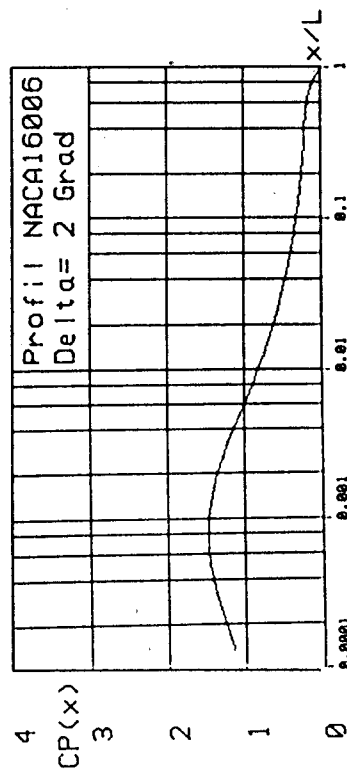
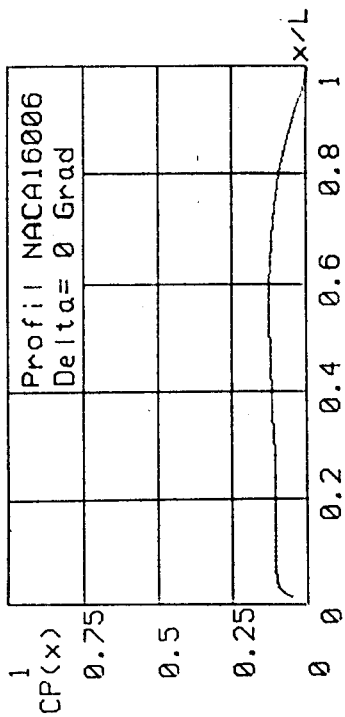
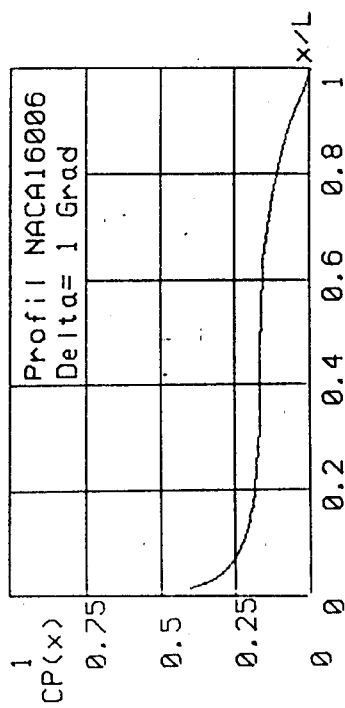


Profil NACA16012
Delta= 5 Grad

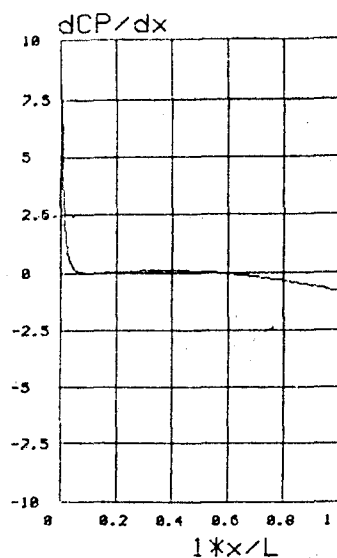


Profil NACA16012
Delta= 10 Grad

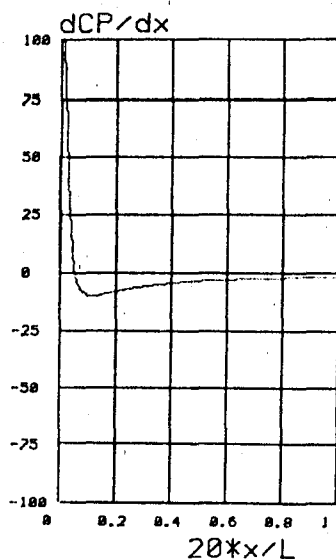




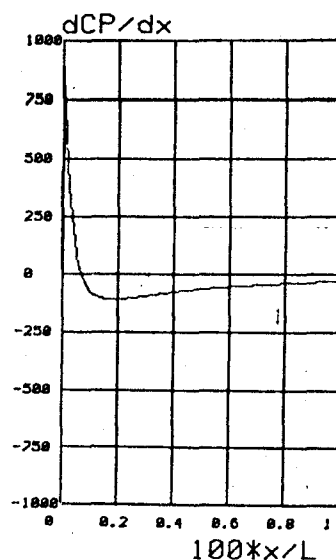
Profil NACA16006
Delta= 0 Grad



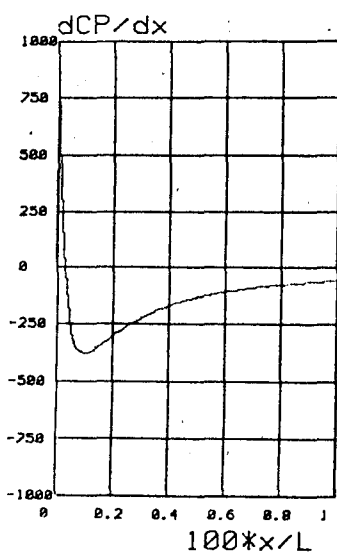
Profil NACA16006
Delta= 1 Grad



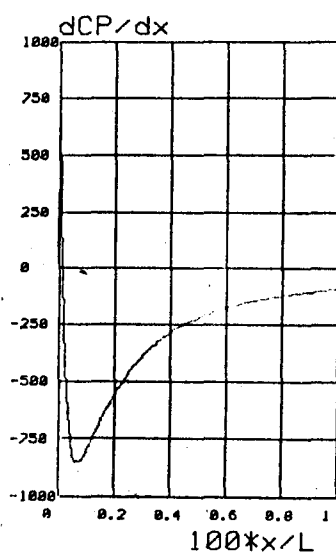
Profil NACA16006
Delta= 2 Grad



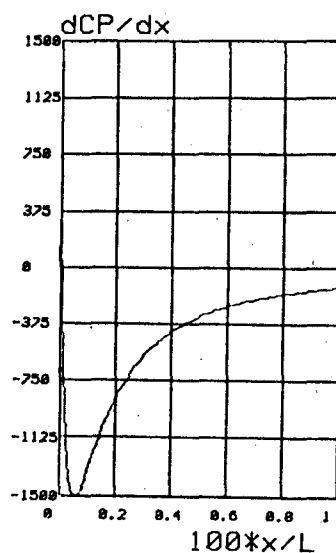
Profil NACA16006
Delta= 3 Grad

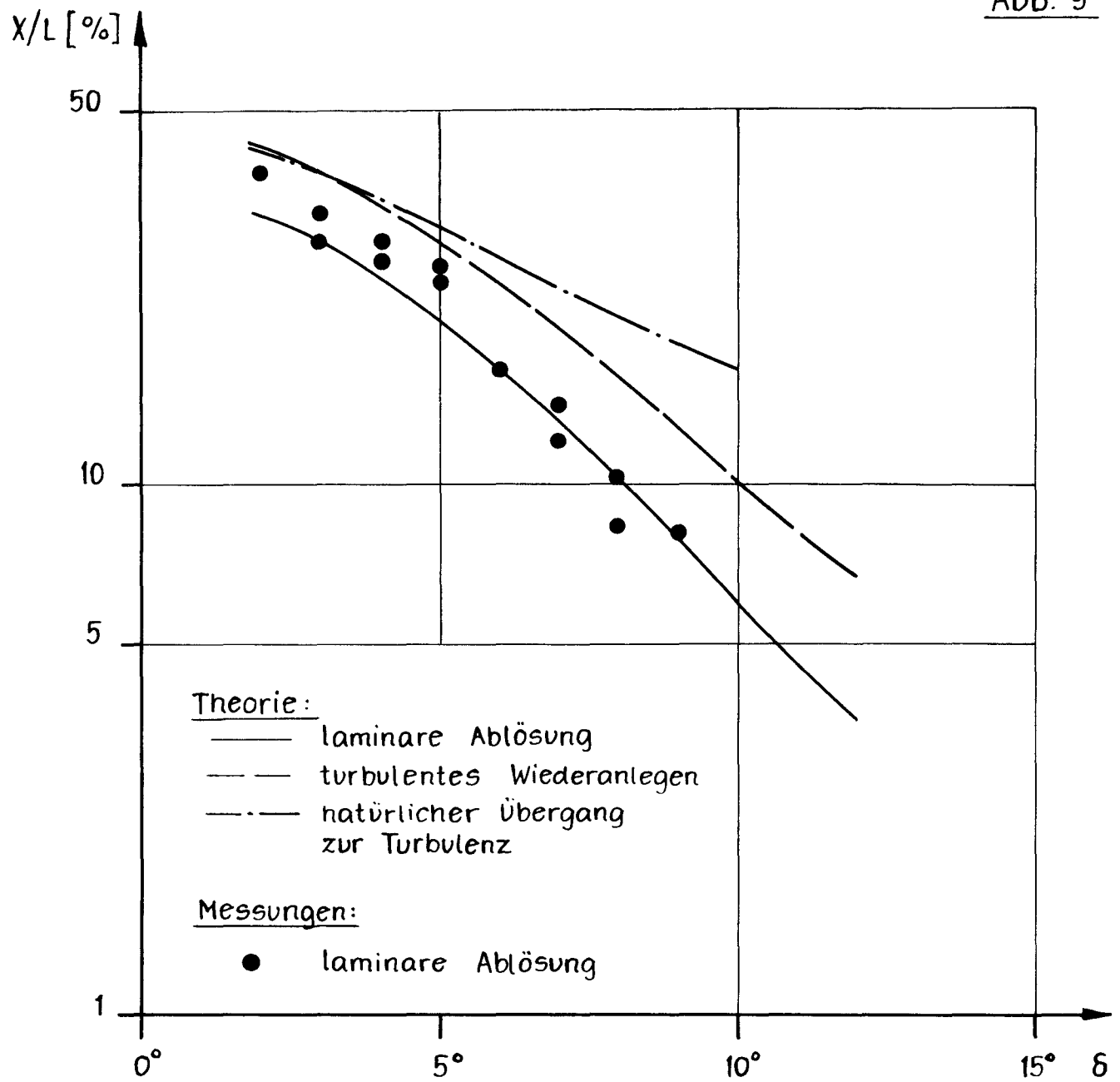


Profil NACA16006
Delta= 4 Grad

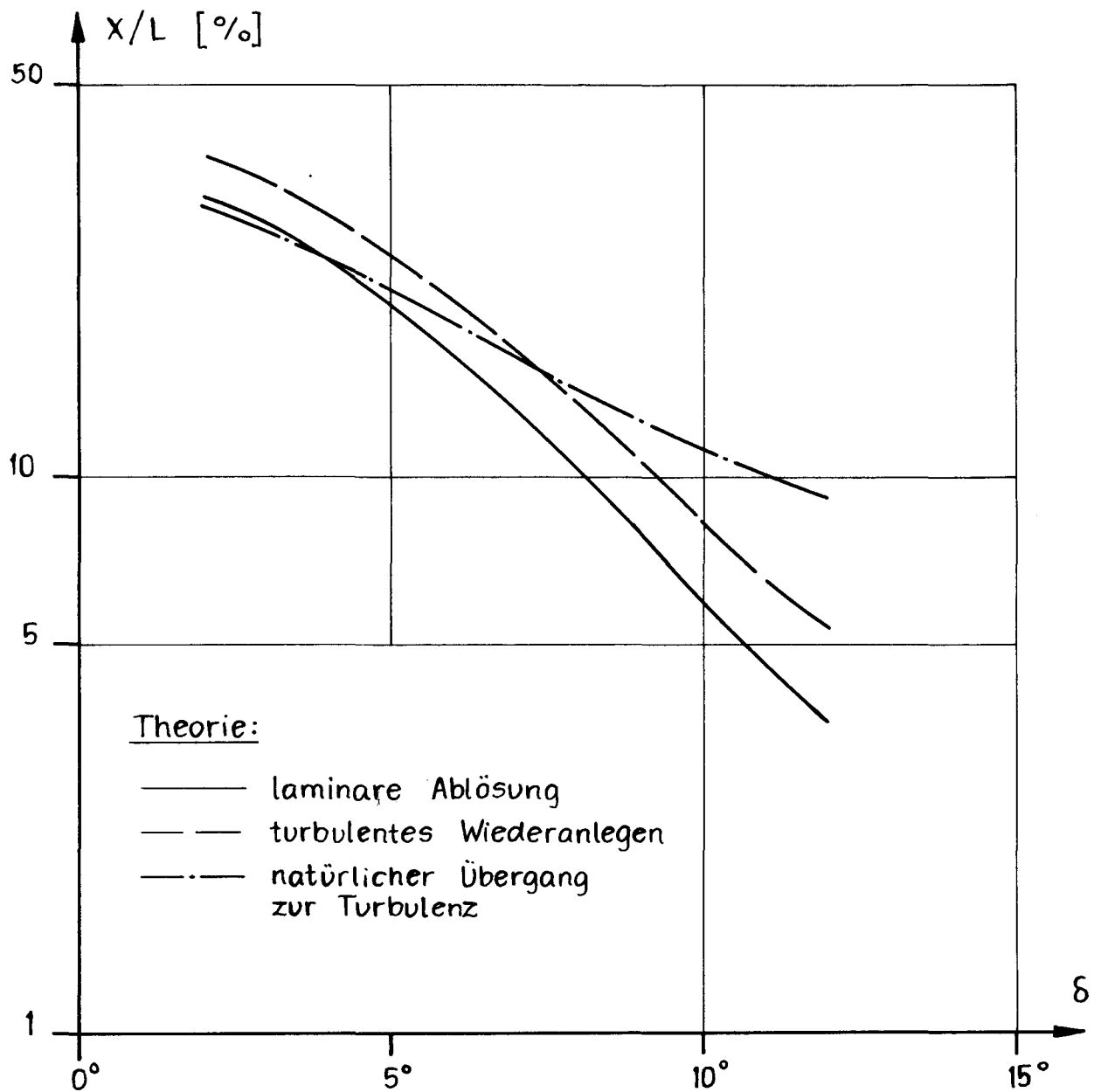


Profil NACA16006
Delta= 5 Grad

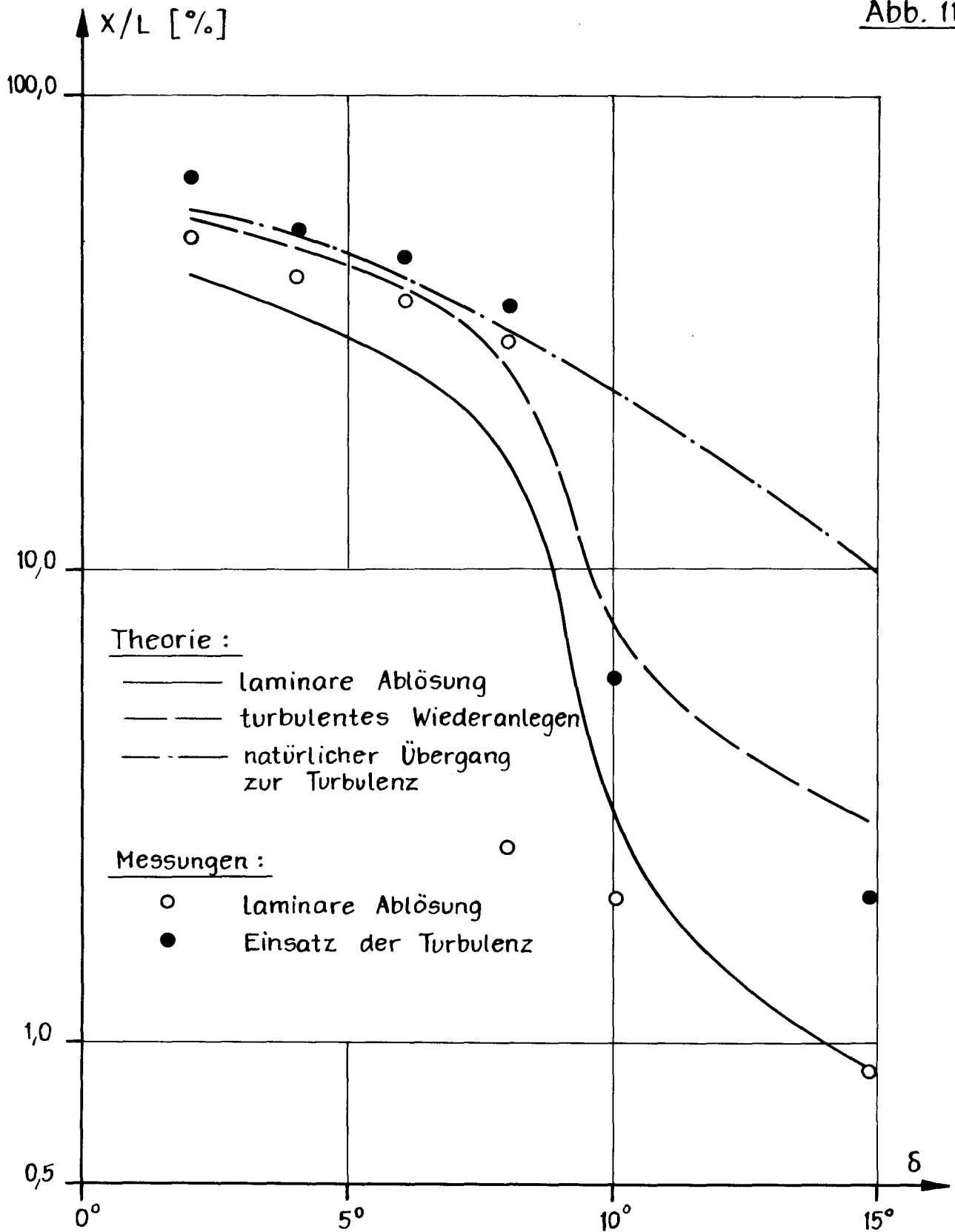




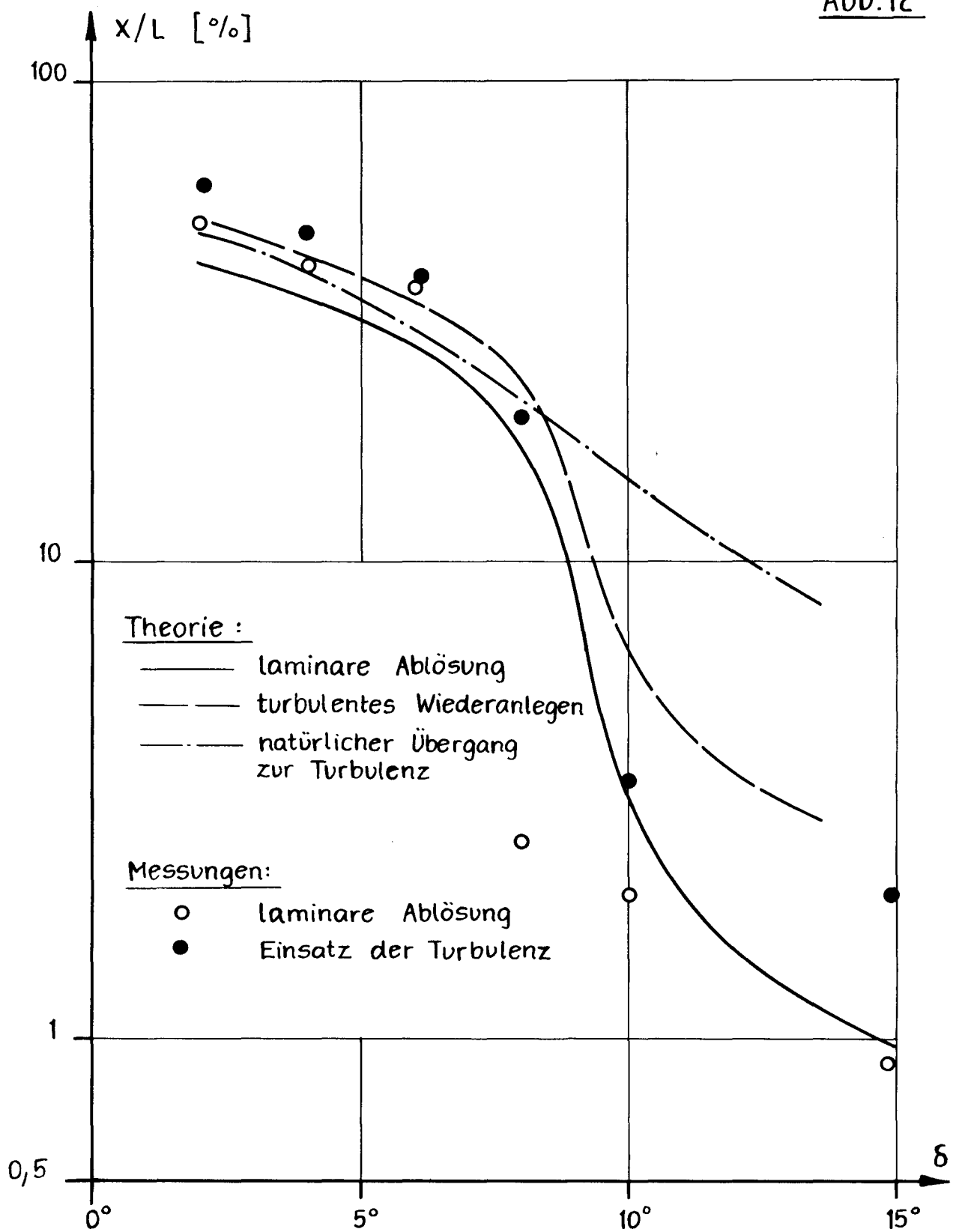
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 0015 . $Re = 3,6 \cdot 10^5$



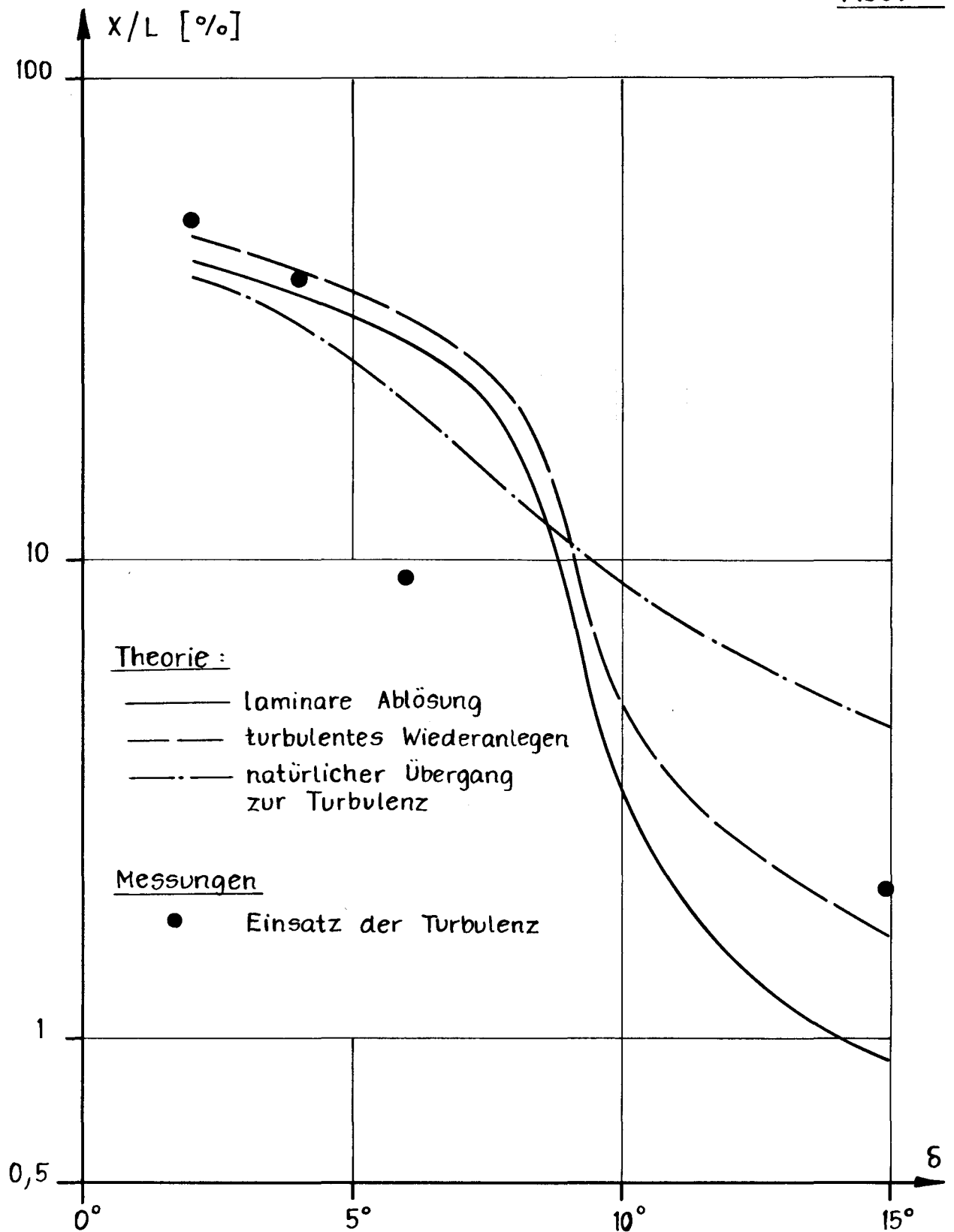
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 0015. $Re = 10^6$



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

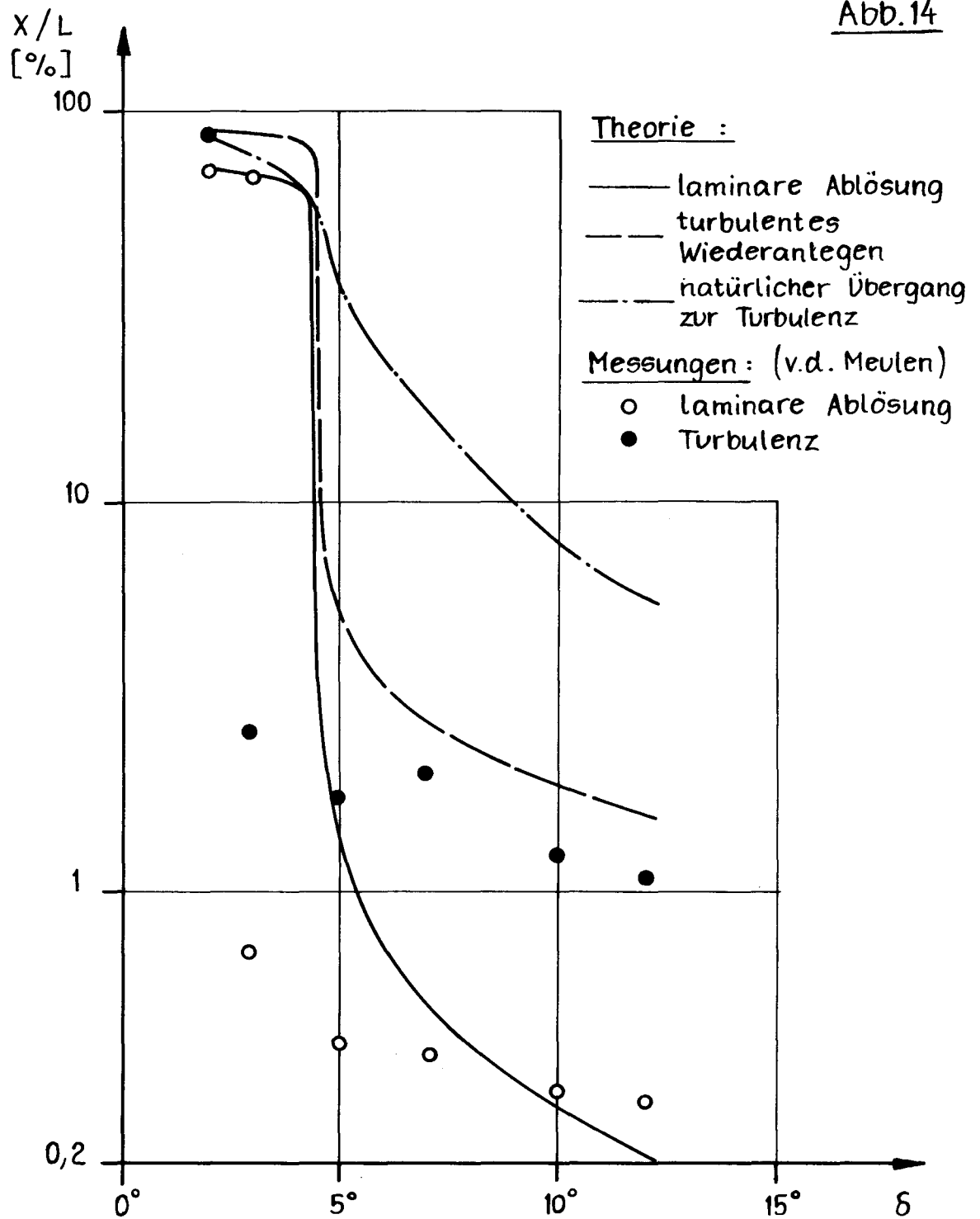


Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 4412. $Re = 4 \cdot 10^5$



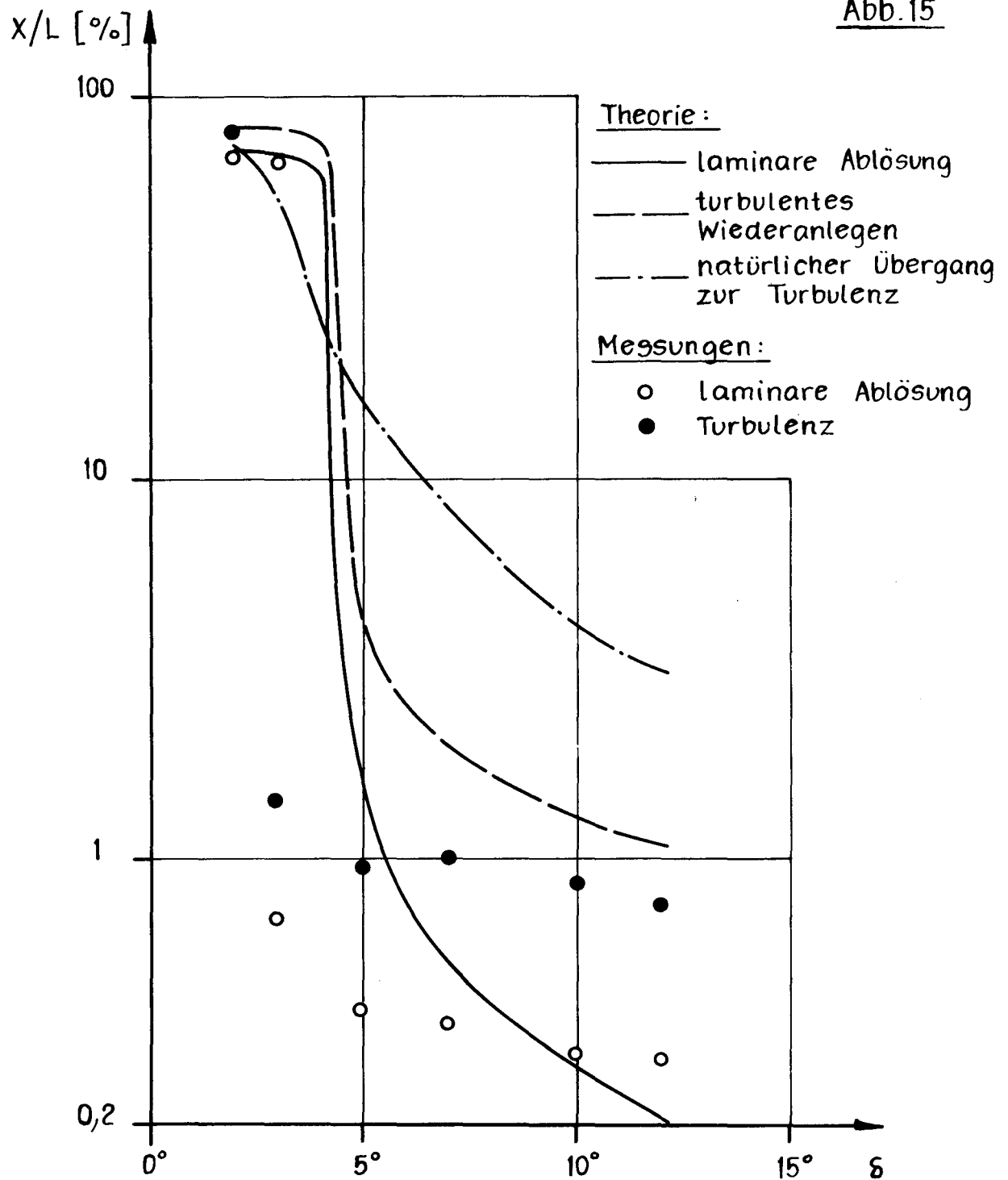
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 4412 . $Re = 10^6$

Abb.14



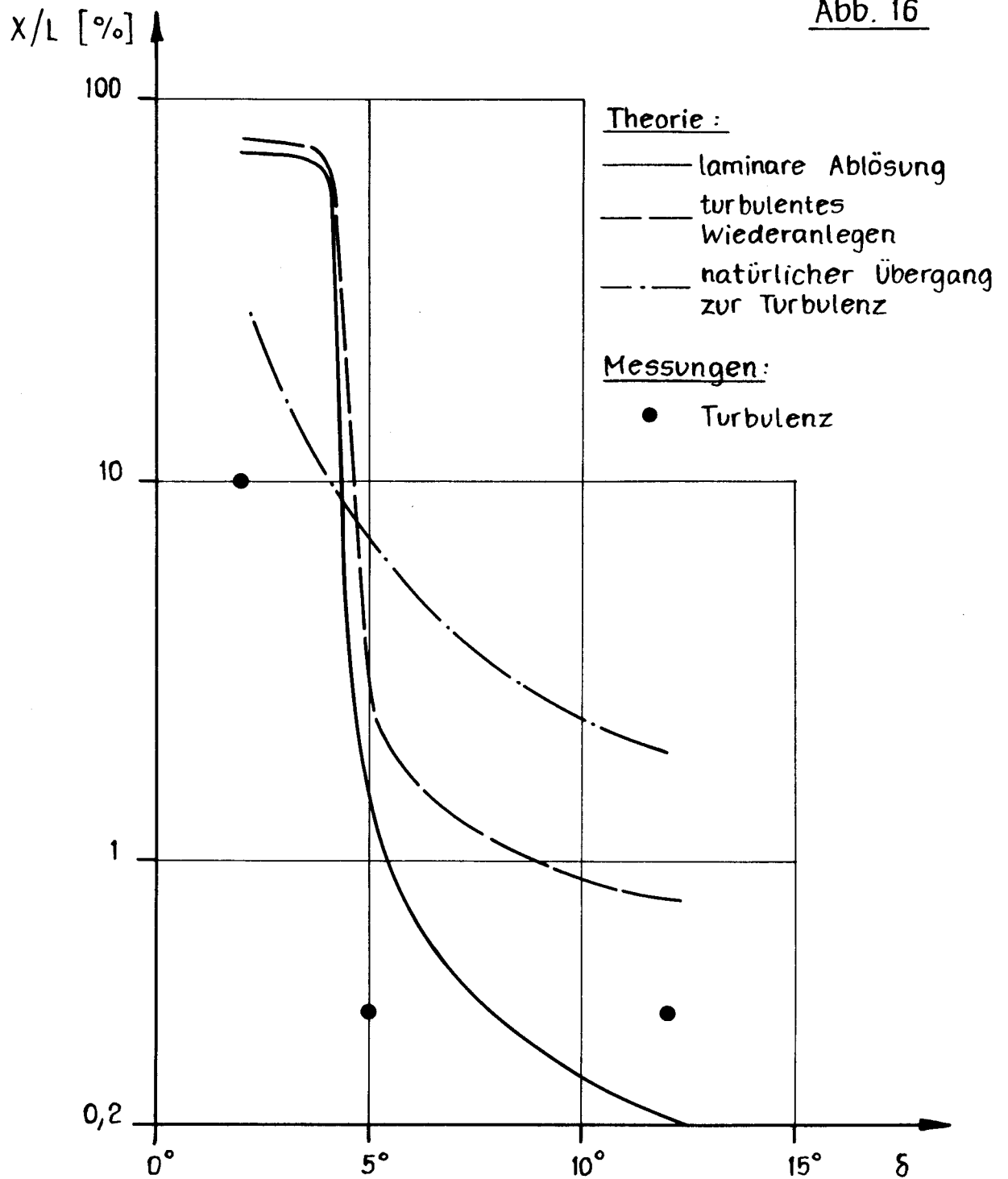
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012 . $Re = 2 \cdot 10^5$

Abb.15



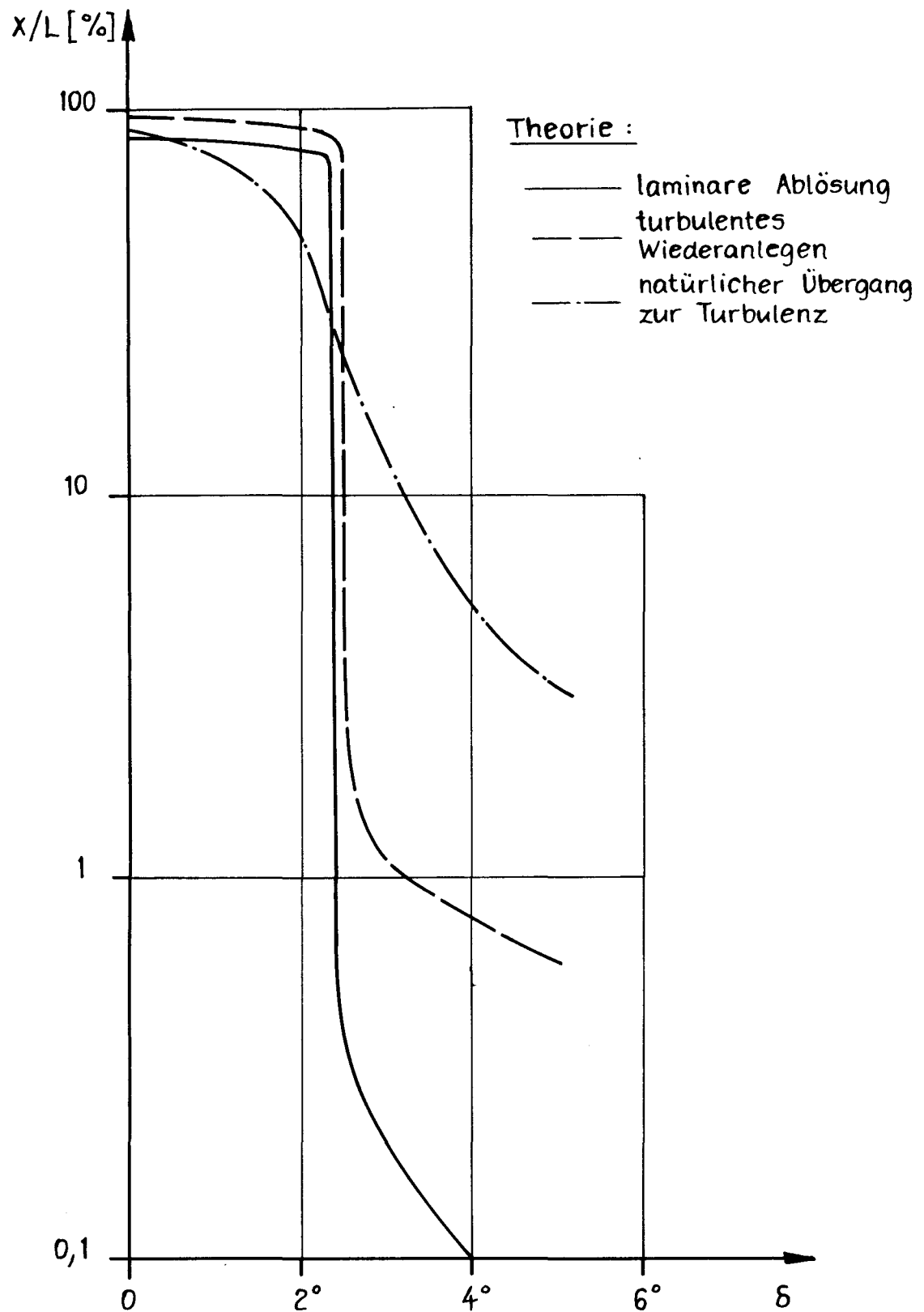
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012. $Re = 4 \cdot 10^5$

Abb. 16

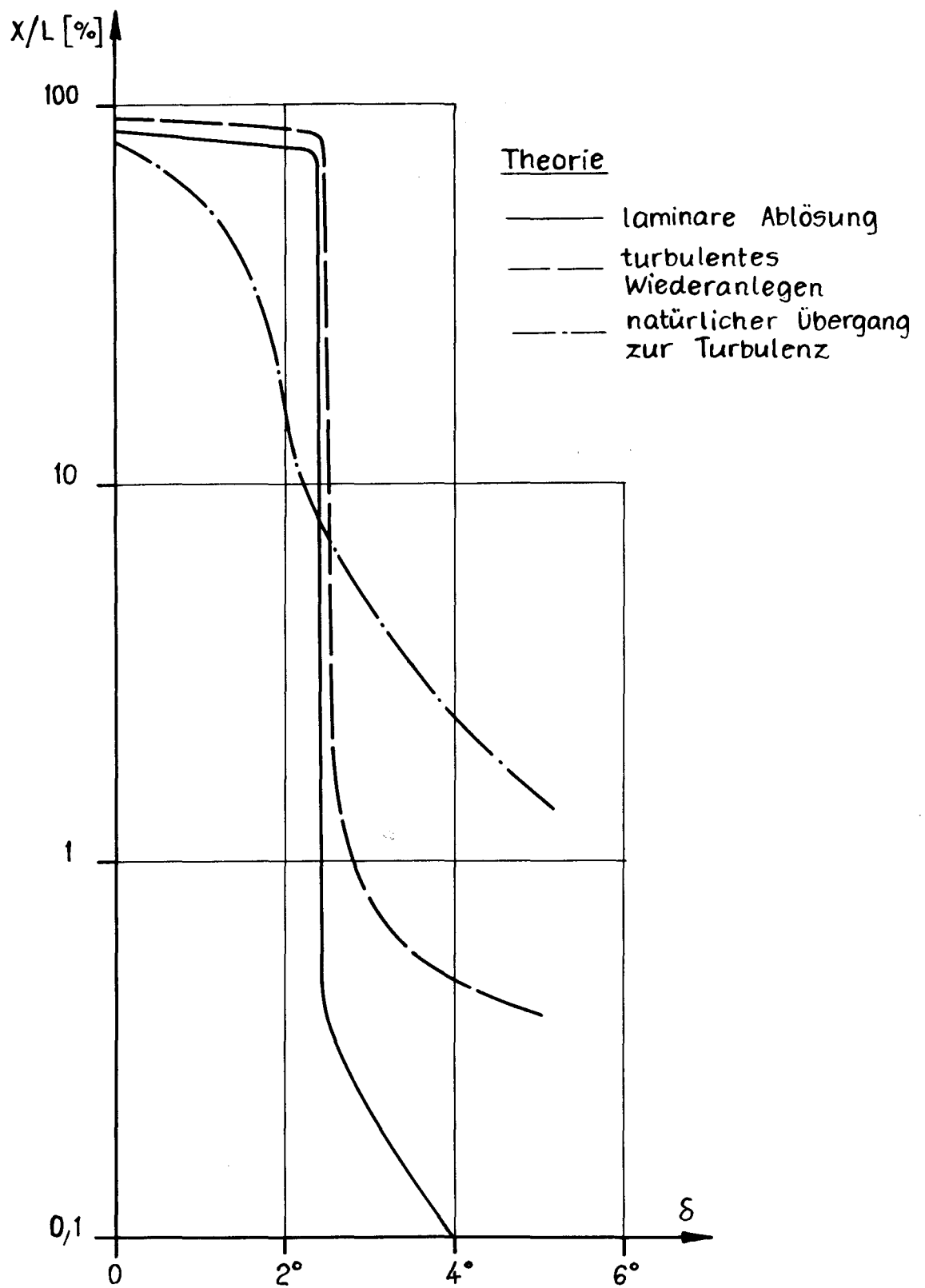


Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 012. $Re = 10^6$

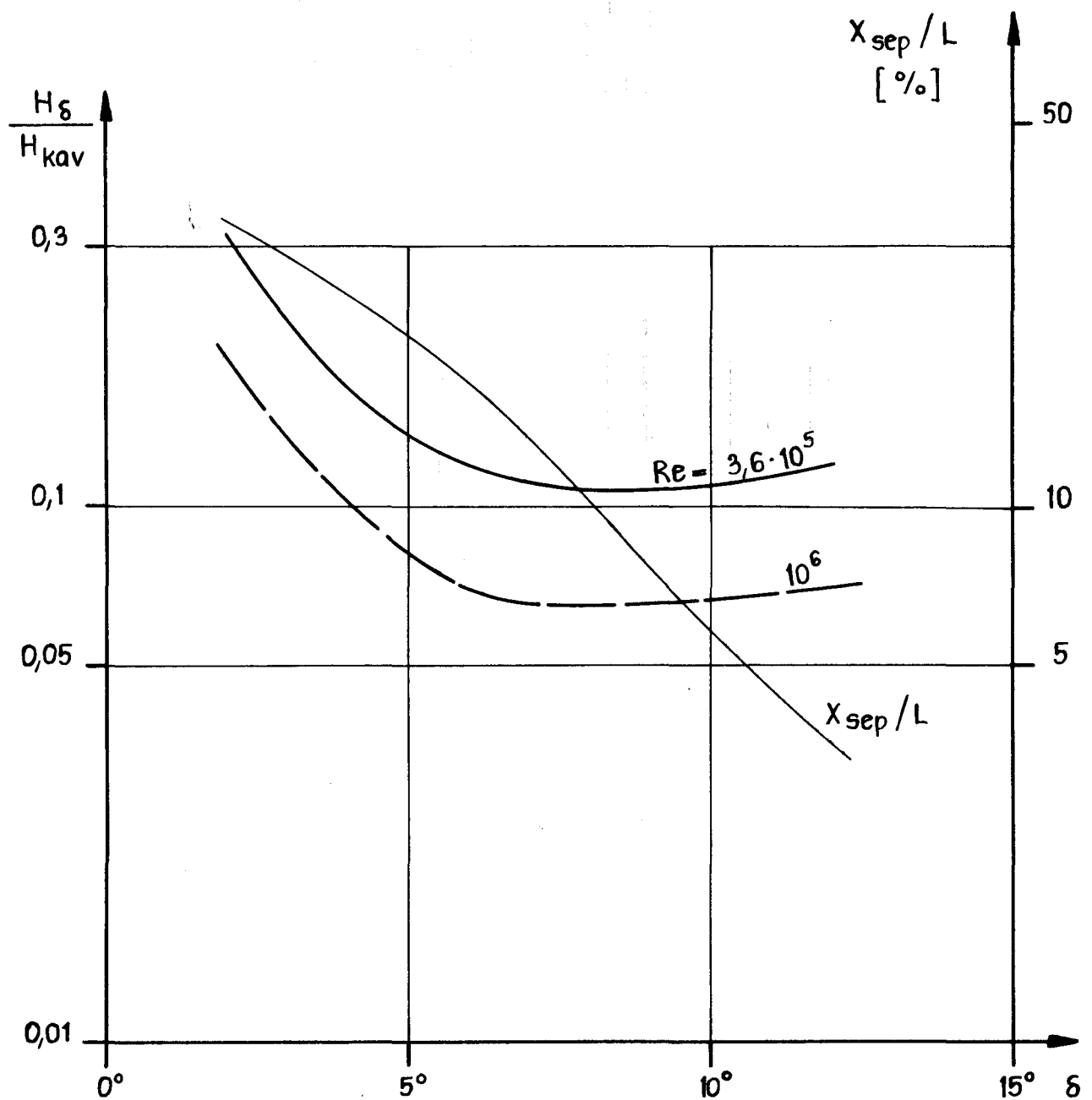
Abb. 17



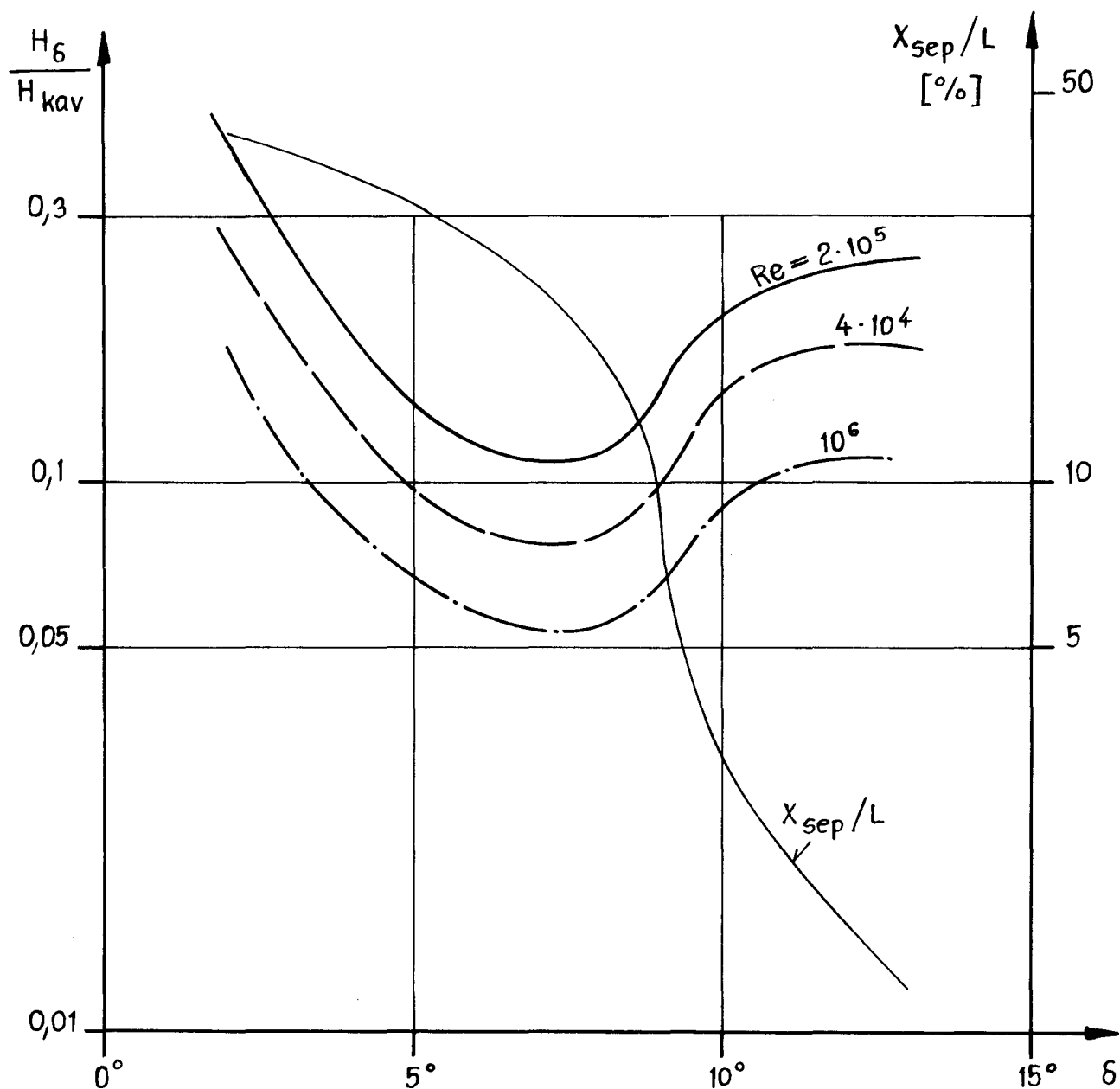
Grenzschichtcharakteristik für das Profil
NACA 16 006. $Re = 5 \cdot 10^5$



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

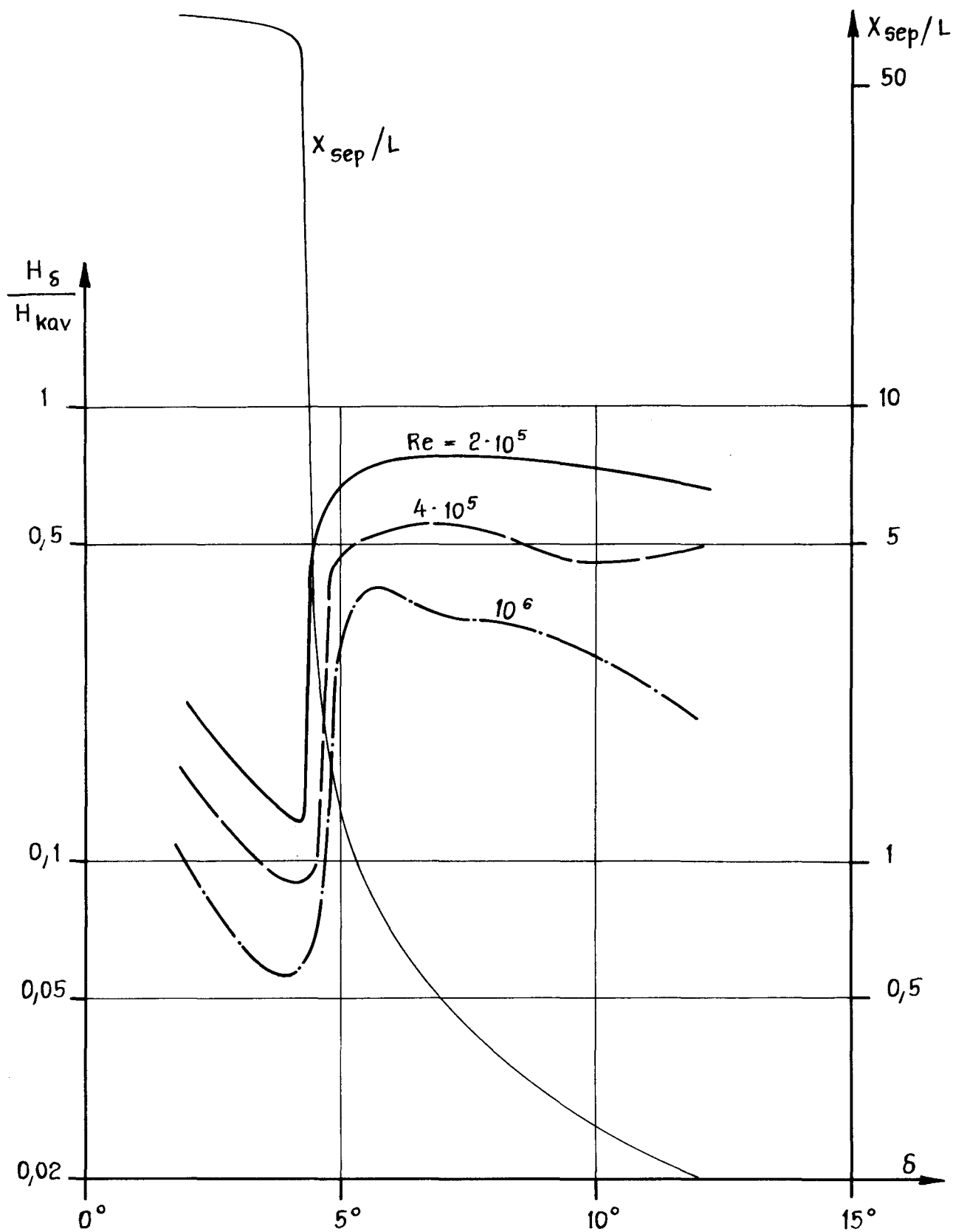


Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitations-
dicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 0015

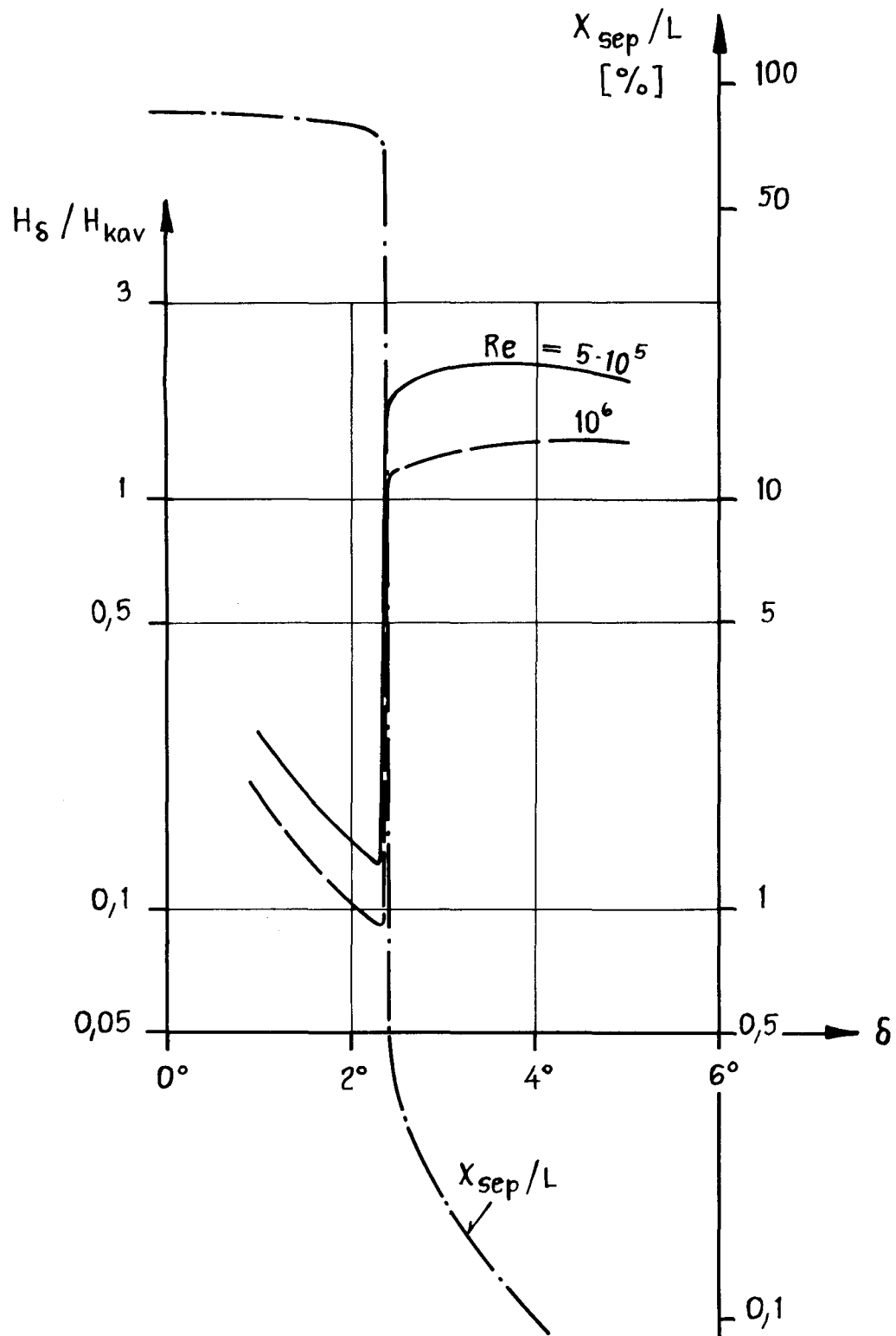


Verhältnis von Grenzschichtdicke zu Kavitations-
dicke an der Stelle der laminaren Ablösung
Profil NACA 4412

Abb. 21



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



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

Abb. 23

