

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

A. Achner und J. Marzi

2-dimensionales, differentielles Grenzschichtberechnungsverfahren nach Cebeci Beschreibung und Berechnungsbeispiele

2-dimensionales, differentielles Grenzschichtberechnungsverfahren nach Cebeci

Beschreibung und Berechnungsbeispiele

A. Achner, J.Marzi., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1984

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 438

2-dimensionales, differentielles
Grenzschichtberechnungsverfahren nach Cebeci
- Beschreibung und Berechnungsbeispiele -

von

A. Achner und J. Marzi

H a m b u r g

Februar 1984

I N H A L T

Seite

Symbolliste	1
I. Theoretische Grundlagen	2
1) 2-dimensionale Grenzschtgleichungen	2
2) Manglertransformation	3
3) 'Faulkner-Skan' Transformation	4
4) Finite-Differenzen-Approximation der Impulsleichung	5
5) Behandlung der Turbulenz	11
6) Netzstruktur	12
II. Programmbeschreibung	13
1) Allgemeines	13
2) Beschreibung der einzelnen Programme	13
2.1) GS2D	13
2.2) GSDG	16
2.3) GSPLIT	16
III. Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse	17
1) Allgemeine Erfahrungen	17
2) Berechnungsbeispiele	17
IV. Literatur	20
V. Programmlisten	21
1) GSDG	21
2) GS2D	25
3) GSPLIT	37
VI. Berechnungsbeispiele - Ausgabelisten	47
1) Turbulente Grenzschicht an der Platte, Wieghardt	
1.Fassung	47
2) " " " " " 2.Fassung	49
3) Laminare Grenzschicht an der Platte	51

VII.	1) Beispiel für eine mögliche Kommandoprozedur für den Rechner VAX 11	52
	2) Beispiele für Eingabedateien	54
VIII.	Graphische Darstellung der Berechnungsergebnisse	57
	1) Cebeci Flow 1 (NACA 0012-Profil)	58
	2) Cebeci Flow 2 (2-dimensionale laminare Strömung mit analytischer Geschwindigkeitsverteilung)	63
	3) Laminare Grenzschicht an der Platte	66
	4) turbulente Grenzschicht an der Platte nach Wieghardt (ident. 1400) *)	69
	5) turbulente Grenzschicht an der Platte nach Wieghardt, feinere η -Unterteilung	74
	6) Schubauer und Klebanoff (ident. 2100) *)	79
	7) Schubauer und Spangenberg, Flow B (ident. 4500) *)	83
	8) Modell des USAS Akron (NACA Rep. 430)	87
	9) Mrs. Lyon's Modell A	92
	Zusammenfassung	96

*) Anmerkung:

Die Bezeichnungen "(ident. ...)" beziehen sich auf die Nummer der experimentell ermittelten Daten für diese Strömung in Band II "Compiled Data" der proceedings der "Computation of Turbulent Boundary Layers - 1968, AFOSR-IFP-Stanford Conference", Coles, D.E., Hirst, E.A., editors.

Symbolliste

Symbol	Definition	Erklaerung	Comp. Symbol
x		metrische Sehnenlaenge	X-Sehne
s		- " - Bogenlaenge	S
r_0, y_0		Koerperradius bzw. Aufmass $(y(x))$ (eben)	RR0
u		x-Komp. des Geschw.vektors	-
v		y-Komp. des Geschw.vektors	-
$g_{,x}$	$\frac{\partial g}{\partial x}$	partiellles Differential	-
$\psi(x,y)$		Stromfunktion	-
$\delta_{99}^*(x)$	für: $u(x,y) = 0.99 u_c(x)$	Grenzschichtdicke(99%)	d99
ν		kinematische Zaehigkeit	CNU
$u_c(x)$		Aussengeschw. a. R. d. GS	UE
η	$\left(\frac{u_c}{\nu x}\right)^{\frac{1}{2}} y$	dimensionslose Koordinate in Normalenrichtung	ETA
C_f	$\frac{\tau_w}{\frac{\rho}{2} u_c^2}$	Reibungswiderstandsbeiwert	CF
δ^*	$\int_0^\infty \left(1 - \frac{u}{u_c}\right) d\eta$	Verdraengungsdicke der GS	DELS
θ	$\int_0^\infty \frac{u}{u_c} \left(1 - \frac{u}{u_c}\right) d\eta$	Impulsverlustdicke der GS	THETA
δ^{**}	$\int_0^\infty \frac{u}{u_c} \left(1 - \left(\frac{u}{u_c}\right)^2\right) d\eta$	Energieverlustdicke der GS	ENTH
f		dimensionslose Stromfunktion	F
u		(Komponenten des DGL-Systems)	U
v			V
		dimensionslose Wirbelzaehigkeit	
$(\varepsilon_m^*)_i$		- im inneren Bereich der GS	EDVI
$(\varepsilon_m^*)_0$		- im aeusseren Bereich der GS	EDVO

I.

Theoretische Grundlagen.

1.) 2-dimensionale Grenzschichtgleichungen

Ausgangspunkt der Ueberlegungen sind zunaechst die folgenden Gleichungen mit den in der Grenzschichttheorie ueblichen Vereinfachungen.

1.1)

Grundgleichungen im 2-dimensionalen, ebenen Fall

$$u u_{,x} + v u_{,y} = - \frac{1}{\rho} p_{,x} + \frac{1}{\rho} (\mu u_{,y} - \rho \overline{u'v'})_{,y} \quad (1)$$

$$p_{,y} = 0 \quad (2)$$

$$u_{,x} + v_{,y} = 0 \quad (3)$$

Gleichung (1) ist die erste Reynoldsgleichung fuer den stationaeren Fall, (2) die aus den Vereinfachungen entstandene 2.Reynoldsgleichung und (3) die Kontinuitaetsgleichung. In der GL.(1) ist $\rho \overline{u'v'}$ der verbleibende Anteil des Reynoldsen Schubspannungstensors.

1.2)

Im ebenfalls 2-dimensionalen, rotationssymmetrischen Fall, ergeben sich die drei Gleichungen zu:

$$u u_{,x} + v u_{,y} = - \frac{1}{\rho} p_{,x} + \frac{1}{\rho} (r (\mu u_{,r} - \rho \overline{u'v'}))_{,r} \quad (1.1)$$

$$p_{,y} = 0 \quad (2.1)$$

$$u_{,x} + \frac{1}{r} (rv)_{,r} = 0 \quad (3.1)$$

2.) Manglertransformation

Mit Hilfe, der in diesem Abschnitt vorzustellenden Manglertransformation, gelingt es, die in 1.) angegebenen Gleichungen ineinander zu ueberfuehren. Die Transformationsgleichungen lauten :

$$d\bar{x} = \left(\frac{r_0}{L}\right)^k dx \quad (4)$$

$$d\bar{y} = \left(\frac{r_0}{L}\right)^k dy \quad (5)$$

$$\bar{\Psi}(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{L}{r_0}\right)^k \Psi(x, y) \quad (6)$$

k ist ein Index, der die Stroemung beschreibt: 0 im ebenen, 1 im rotationssymmetrischen Fall. L ist eine charakteristische Laenge des Koerpers, r_0 der Radius der Koerperkontur, r der Abstand eines beliebigen Punktes der Grenzschicht von der Rotationsachse.

Mit $r^k u = \Psi_y$ und $r^k v = -\Psi_x$ und einer Kontinuitaetsgleichung

$$\bar{u}_{,\bar{x}} + \bar{v}_{,\bar{y}} = 0$$

erhaelt man eine Stromfunktion $\bar{\Psi}(\bar{x}, \bar{y})$ die die Kontinuitaetsbedingung automatisch erfuehlt.

$$\bar{\Psi}_{,\bar{y}} = \bar{u} \quad ; \quad \bar{\Psi}_{,\bar{x}} = -\bar{v}$$

Mit diesen Transformationen erhaelt man die folgende Impulsgleichung:

$$\bar{u} \bar{u}_{,\bar{x}} + \bar{v} \bar{u}_{,\bar{y}} = -\int^{\bar{x}} \rho_{,\bar{x}} + \int^{\bar{y}} [(1+t)^{2k} (\mu \bar{u}_{,\bar{y}} - \left(\frac{L}{r_0}\right)^k \rho u v)]_{,\bar{y}} \quad (7)$$

mit

$$t = -1 + \left(1 + \frac{2 \cos \phi \left(\frac{L}{r_0}\right)^k \bar{y}}{\bar{y}}\right)^{\frac{1}{k}}$$

als Term, der die Kruemmung quer zur Stroemungsrichtung beruecksichtigt. ϕ ist der Steigungswinkel der Koerperkontur, d.h.

$$\tan \phi = \frac{dy_0}{dx} \quad \text{bzw.} \quad \tan \phi = \frac{dt_0}{dx}$$

Die Randbedingungen der Gleichung (7) sind:

$$\bar{y} = 0 \quad : \quad \bar{u} = \bar{v} = 0$$

$$\bar{y} = f(x) \quad : \quad \bar{u} = u_c(x)$$

3.) 'Faulkner-Skan' Transformation

Durch die im folgenden beschriebene 'Faulkner-Skan' Transformation erhaelt man sogenannte aehnliche Loesungen fuer die Gleichung (7).

Das hier benutzte Koordinatensystem ist bereits manglertransformiert, also ein \bar{x}, \bar{y} System. Mit der Transformation

$$\eta = \left(\frac{u_c}{r\bar{x}}\right)^{\frac{1}{2}} \bar{y} \quad (8)$$

und einer Stromfunktion

$$\bar{\psi}(\bar{x}, \bar{y}) = (u_c r \bar{x})^{\frac{1}{2}} f(\bar{x}, \eta) \quad (9)$$

erhaelt man

$$\bar{u} = u_c f' \quad (10.1)$$

$$\text{und} \quad \bar{v} = - \left[(u_c r \bar{x})^{\frac{1}{2}} f \right]_{,\bar{x}} + \frac{\eta}{2} \left(\frac{u_c r}{\bar{x}}\right)^{\frac{1}{2}} f' \quad (10.2)$$

$$\text{mit } ' = \frac{d}{d\eta}$$

Mit den Ansaetzen $\bar{u} = \bar{u}' \cdot \sigma$, also zunaechst fuer den laminaren Fall, und $\rho_{\bar{x}} = \rho u_c u_{c,\bar{x}}$ wird die Gleichung (7) zu:

$$[(1+t)^{2k} f']' + \frac{m+1}{2} f f'' + m [1 - (f')^2] = \bar{x} (f' f_{,\bar{x}}' - f f_{,\bar{x}}'') \quad (11)$$

Hier ist jetzt

$$t = -1 + \left[1 + \left(\frac{L}{r_0}\right)^2 \frac{2 \cos \phi}{L} \left(\frac{r\bar{x}}{u_c}\right)^{\frac{1}{2}} \eta\right]^{\frac{1}{2}} \quad (11.1)$$

und

$$m = \frac{\bar{x}}{u_c} u_{c,\bar{x}} \quad (11.2)$$

ein dimensionsloser Druckgradientparameter.

Die Randbedingungen der Gleichung (11) lauten:

$$\eta = 0 \quad : \quad f' = 0, \quad f(\bar{x}, 0) = f_{\text{wand}} = - (u_c r \bar{x})^{\frac{1}{2}} \int_0^{\bar{x}} \bar{v}_w d\bar{x}$$

$$\eta = \infty \quad : \quad f' = 1$$

Mit Hilfe der o.g. Transformation lassen sich die integralen Grenzsichtparameter folgendermassen schreiben:

$$c_f = 2 \left(\frac{x_0}{l} \right)^k \operatorname{Re}_{\bar{x}}^{-\frac{1}{2}} f_w \quad (12.1)$$

$$\delta_1^* = \left(\frac{l}{x_0} \right)^k \bar{x} \operatorname{Re}_{\bar{x}}^{-\frac{1}{2}} \delta_1^* \quad (12.2)$$

$$\Theta = \left(\frac{l}{x_0} \right)^k \bar{x} \operatorname{Re}_{\bar{x}}^{-\frac{1}{2}} \Theta_1 \quad (12.3)$$

$$\delta_1^{**} = \left(\frac{l}{x_0} \right)^k \bar{x} \operatorname{Re}_{\bar{x}}^{-\frac{1}{2}} \delta_1^{**} \quad (12.4)$$

mit

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}_{\bar{x}} &= \frac{u_c \bar{x}}{\nu} \\ \delta_1^* &= \int_0^\infty (1 - f') d\eta \\ \Theta_1 &= \int_0^\infty f' (1 - f') d\eta \\ \delta_1^{**} &= \int_0^\infty f' (1 - f'^2) d\eta \end{aligned}$$

4.) Finite-Differenzen-Approximation der Impulsgleichung

4.1)

Die Faulkner-Skan transformierte Grenzsichtgleichung

$$[(1+i)^{2k} f']' + \frac{m+1}{2} f f'' + m [1 - (f')^2] = \bar{x} (f f_{,x}' - f'' f_{,x}) \quad (11)$$

wird in ein System 1. Ordnung ueberfuehrt:

$$f' = u \quad (13.1)$$

$$u' = v \quad (13.2)$$

$$(b v)' + \frac{m+1}{2} f v + m (1 - u^2) = \bar{x} (u u_{,x} - v f_{,x}) \quad (13.3)$$

Hier ist zu beachten, dass v nicht die y -Komponente des Geschwindigkeitsvektors ist, sondern eine reine Rechengroesse. Die Randbedingungen des Systems lauten:

$$f(\bar{x}, 0) = f_w(\bar{x}) ; \quad u(\bar{x}, 0) = 0 ; \quad u(\bar{x}, \eta_\infty) = 1 \quad (13.4)$$

Es ist jetzt notwendig, ein Netz ueber der Koerperkontur zu definieren, an dessen Kreuzungspunkten die Elemente der Differentialgleichung berechnet werden. Hierzu wird eine allgemeine Koordinate ξ in x -Richtung ($\xi = \bar{x}$) und η (siehe Definition in Abschnitt 3.) verwandt.

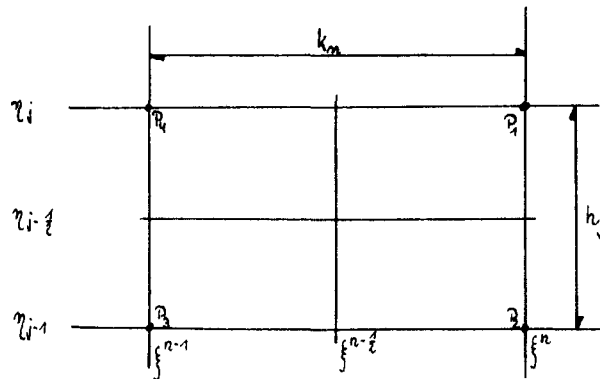


Abbildung 1.

Die Netzknoten werden folgendemassen benannt:

$$\begin{aligned} \xi^0 &= 0 ; \quad \xi^n = \xi^{n-1} + k_m & n &= 1, 2, \dots, N \\ \eta^0 &= 0 ; \quad \eta_j = \eta_{j-1} + h_j & j &= 1, 2, \dots, J, \quad \eta_J = \eta_\infty \end{aligned} \quad (14)$$

Die Werte (f, u, v) an den Punkten (ξ^n, η_j) werden mit (f_j^n, u_j^n, v_j^n) , sogenannten Netzfunktionen, bezeichnet. Die Zwischenpunkte werden durch

$\xi^{n-1/2} = \frac{1}{2}(\xi^n + \xi^{n-1}) ; \quad \eta_{j-1/2} = \frac{1}{2}(\eta_j + \eta_{j-1})$ dargestellt. Funktionswerte fuer alle Netzfunktionen an diesen Punkten sind

$$f_j^{n-1/2} = \frac{1}{2}(f_j^n + f_j^{n-1}) ; \quad g_j^n = \frac{1}{2}(g_j^n + g_{j-1}^n) \quad (15)$$

Das Gleichungssystem (13) wird nun durch finite Differenzen approximiert. Fuer die Gleichungen (13.1) und (13.2) lauten die Differenzengleichungen fuer die Netzknoten $(\xi^n, \eta_{j-1/2})$

$$\frac{f_j^n - f_{j-1}^n}{h_j} = u_{j-1/2}^n \quad (16.1)$$

$$\frac{u_j^n - u_{j-1}^n}{h_j} = v_{j-1/2}^n \quad (16.2)$$

Die Gleichung (13.3) wird in zwei Schritten am Punkt $(\xi^{n-1/2}, \eta_{j-1/2})$ approximiert. Die linke Seite von (13.3) wird mit L bezeichnet und so ergibt sich fuer $(\xi^{n-1/2}, \eta_{j-1/2})$:

$$\frac{1}{2}(L^n + L^{n-1}) = \xi^{n-1/2} [u^{n-1/2} (u^n - u^{n-1}) k_m^{-1} - v^{n-1/2} (f^n - f^{n-1}) k_m^{-1}] \quad (16.3)$$

Diese Gleichung wird umgeschrieben in:

$$[(bv)']^n + \alpha_1 (fv)^n - \alpha_2 (u^2)^n + \alpha (v^{n-1} f^n - f^{n-1} v^n) = R^{n-1} \quad (16.3.1)$$

mit

$$\alpha = k_m^{-1} \xi^{n-1/2} ; \quad \alpha_1 = \frac{m^{n+1}}{2} \alpha ; \quad \alpha_2 = m^n + \alpha$$

$$R^{n-1} = -L^{n-1} + \alpha [(fv)^{n-1} - (u^2)^{n-1}] \cdot m^n$$

$$L^{n-1} = [(bv)'] + \frac{m^{n+1}}{2} fv + m(1 - u^2)]^{n-1}$$

Jetzt wird (16.3.1) am Punkt (f^{n-1}, v_{j-1}^{n-1}) berechnet.

$$h_j^{-1}(b_j v_j^n - b_{j-1} v_{j-1}^n) + \alpha_1 (f v)_{j-1}^n - \alpha_2 (\mu^2)_{j-1}^n + \alpha (v_{j-1}^n f_{j-1}^n - f_{j-1}^{n-1} v_{j-1}^n) = R_{j-1}^{n-1} \quad (16.3.2)$$

mit $R_{j-1}^{n-1} = -L_{j-1}^{n-1} + \alpha [(f v)_{j-1}^{n-1} - (\mu^2)_{j-1}^{n-1}] - m$

und $L_{j-1}^{n-1} = \left\{ -h_j^{-1}(b_j v_j - b_{j-1} v_{j-1}) + \frac{m+1}{2} (f v)_{j-1} + m [1 - (\mu^2)_{j-1}] \right\}^{n-1}$

Die Randbedingungen (13.4) ergeben sich bei $f = f^n$ jetzt zu:

$$4.1) \quad f_0^n = f_w(f) \quad ; \quad \mu_0^n = 0 \quad ; \quad \mu_J^n = 1 \quad (16.4)$$

Mit Hilfe des Newton-verfahrens, unter der Annahme, dass $(f_j, \mu_j, v_j)^{n-1}$ bekannt sind, berechnet man das 3×3 System fuer die Unbekannten $(f_j, \mu_j, v_j)^n$ mit $j = 0, 1, \dots, J$. Das System hat dann folgendes Aussehen: (f_j, μ_j, v_j) entspricht (f_j^n, μ_j^n, v_j^n)

$$f_j - f_{j-1} - \frac{h_j}{2} (\mu_j - \mu_{j-1}) = 0 \quad (17.1)$$

$$\mu_j - \mu_{j-1} - \frac{h_j}{2} (v_j - v_{j-1}) = 0 \quad (17.2)$$

$$h_j^{-1}(b_j v_j - b_{j-1} v_{j-1}) + \alpha (f v)_{j-1} - \alpha_2 (\mu^2)_{j-1} + \alpha (v_{j-1}^n f_{j-1}^n - v_{j-1}^{n-1} f_{j-1}^{n-1}) = R_{j-1}^{n-1} \quad (17.3)$$

Zur Loesung werden Iterationsvariablen $(f_j^{(i)}, \mu_j^{(i)}, v_j^{(i)})$, $i = 0, 1, \dots, I_{\max}$ mit den Anfangswerten:

$$f_j^{(0)} = f_j(f_n) \quad ; \quad \mu_j^{(0)} = \mu_j^{n-1} \quad ; \quad v_j^{(0)} = v_j^{n-1} \quad 0 \leq j \leq J \quad (18)$$

$$\mu_0^{(0)} = 0 \quad ; \quad \mu_J^{(0)} = 1$$

eingefuehrt.

Die Variablen der naechsten Ordnung ergeben sich zu:

$$f_j^{(i+1)} = f_j^{(i)} + \underline{d}_j f_j^{(i)} \quad , \quad \underline{d}_j = (df_j, d\mu_j, dv_j)^T$$

Einsetzen der rechten Seiten in das GLS (17) ergibt, unter Vernachlässigung der quadratischen Terme:

$$\delta f_j - \delta f_{j-1} - \frac{h_j}{2} (\delta \mu_j + \delta \mu_{j-1}) = (\tau_1)_j \quad (19.1)$$

$$\delta \mu_j - \delta \mu_{j-1} - \frac{h_j}{2} (\delta v_j + \delta v_{j-1}) = (\tau_3)_j \quad (19.2)$$

$$\text{mit } (S_1)_j \delta v_j + (S_2)_j \delta v_{j-1} + (S_3)_j \delta f_j + (S_4)_j \delta f_{j-1} + (S_5)_j \delta \mu_j + (S_6)_j \delta \mu_{j-1} = (\tau_2)_j \quad (19.3)$$

$$(\tau_1)_j = f_{j-1}^{(i)} - f_j^{(i)} + h_j \mu_{j-\frac{1}{2}}^{(i)}$$

$$(\tau_3)_{j-1} = \mu_{j-1}^{(i)} - \mu_j^{(i)} + h_j v_{j-\frac{1}{2}}^{(i)}$$

$$(\tau_2)_j = R_{j-\frac{1}{2}}^{n-1} - [h_j^{n-1} (b_j^{(i)} v_j^{(i)} - b_{j-1}^{(i)} v_{j-1}^{(i)}) + \alpha_1 (f v)_{j-\frac{1}{2}}^{(i)} - \alpha_2 (\mu v)_{j-\frac{1}{2}}^{(i)} + \alpha (v_{j-\frac{1}{2}}^{n-1} f_{j-\frac{1}{2}}^{(i)} - f_{j-\frac{1}{2}}^{n-1} v_{j-\frac{1}{2}}^{(i)})]$$

$$(S_1)_j = h_j^{-1} (b_j^{(i)}) + \frac{\alpha_1}{2} f_j^{(i)} - \frac{\alpha}{2} f_{j-\frac{1}{2}}^{n-1}$$

$$(S_2)_j = -h_j^{-1} (b_{j-1}^{(i)}) + \frac{\alpha_1}{2} f_{j-1}^{(i)} - \frac{\alpha}{2} f_{j-\frac{1}{2}}^{n-1}$$

$$(S_3)_j = \frac{\alpha_1}{2} v_j^{(i)} + \frac{\alpha}{2} v_{j-\frac{1}{2}}^{n-1}$$

$$(S_4)_j = \frac{\alpha_1}{2} v_{j-1}^{(i)} + \frac{\alpha}{2} v_{j-\frac{1}{2}}^{n-1}$$

$$(S_5)_j = -\alpha_2 \mu_j^{(i)}$$

$$(S_6)_j = -\alpha_2 \mu_{j-1}^{(i)}$$

Die Randbedingungen (16.4) werden zu:

$$\delta f_0 = 0 \quad (19.4)$$

$$\delta \mu_0 = 0$$

$$\delta \mu_j = 0$$

4.2)

Die Lösung des linearisierten Differenzengleichungssystems (19), das eine Blocktridiagonalstruktur hat, erfolgt mit Hilfe der Blockeliminations Methode. Die Vektoren δ_j , r_j sind durch

$$\delta_j = \begin{pmatrix} \delta f_j \\ \delta u_j \\ \delta v_j \end{pmatrix} \quad 0 \leq j \leq J \quad (20.1)$$

$$r_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ (r_3)_0 \end{pmatrix} ; \quad r_j = \begin{pmatrix} (r_1)_j \\ (r_2)_j \\ (r_3)_j \end{pmatrix} \quad 1 \leq j \leq J-1 ; \quad r_J = \begin{pmatrix} (r_1)_J \\ (r_2)_J \\ 0 \end{pmatrix}$$

definiert.

Die 3×3 Matrizen A_j , B_j , C_j sind durch

$$A_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & -\frac{h_1}{2} \end{pmatrix} ; \quad A_j = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{h_j}{2} & 0 \\ (s_3)_j & (s_5)_j & (s_1)_j \\ 0 & -1 & \frac{h_{j+1}}{2} \end{pmatrix} \quad 1 \leq j \leq J-1 \quad (20.2)$$

$$A_J = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{h_J}{2} & 0 \\ (s_3)_J & (s_5)_J & (s_1)_J \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} ; \quad B_j = \begin{pmatrix} -1 & -\frac{h_j}{2} & 0 \\ (s_4)_j & (s_6)_j & (s_2)_j \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 1 \leq j \leq J$$

$$C_j = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -\frac{h_{j+1}}{2} \end{pmatrix} \quad 0 \leq j \leq J-1$$

definiert.

Das Gleichungssystem (19) kann nun folgendermassen geschrieben werden:

$$\underline{K} \cdot \underline{d} = \underline{r} \quad (20.3)$$

mit

$$\underline{K} = \begin{pmatrix} A_0 & C'_0 & & & \\ B_1 & A_1 & C'_1 & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & B_j & A_j & C'_j \\ & & & \cdot & \cdot \\ & & & B_{j-1} & A_{j-1} & C'_{j-1} \\ & & & & B_j & A_j \end{pmatrix} \quad (20.3.1)$$

und

$$\underline{d} = \begin{pmatrix} d_0 \\ d_1 \\ \vdots \\ d_{j-1} \\ d_j \end{pmatrix} \quad \underline{r} = \begin{pmatrix} r_0 \\ r_1 \\ \vdots \\ r_{j-1} \\ r_j \end{pmatrix} \quad (20.3.2)$$

Diese Matritzensgleichung wird mit Hilfe der Block-elimination, die hier nicht naeher beschrieben werden soll, geloest. Ausfuehrliche Hinweise siehe in der angegebenen Literatur.

5.) Behandlung der Turbulenz

In diesem Abschnitt wird die bisher vernachlässigte Turbulenz mit Hilfe des Wirbelzähigkeitskonzeptes in die Grenzschichtgleichungen eingeführt.

Die Reynoldsspannungen werden mit Hilfe der Wirbelzähigkeit

$$\rho \overline{u'v'} = \epsilon_m \cdot \frac{\partial u}{\partial y}$$

modelliert nach einem Vorschlag von Driest.

In transformierten Variablen lauten die Formeln:

$$(\epsilon_m^+)_i = \kappa^2 Re_x^{\frac{1}{2}} \left[1 - \exp\left(-\frac{y}{H}\right) \right]^2 \eta^{\frac{1}{2}} \nu f_w \quad (21.1)$$

$$(\epsilon_m^+)_o = 0.0168 Re_x^{\frac{1}{2}} \left[\eta_{\infty} - f(\eta_{\infty}) \right] f_w \quad (21.2)$$

$$(\epsilon_m^+) = \frac{\epsilon_m}{\rho \nu^2}$$

$$\frac{y}{H} = \frac{N}{26} Re_x^{\frac{1}{4}} \nu_w^{\frac{1}{2}} \eta$$

$$N = (1 - M.8 p^+)^{\frac{1}{2}}$$

$$p^+ = m Re_x^{-\frac{1}{4}} (\nu_w)^{-\frac{1}{2}}$$

$$f_w = 1 - \exp \left[-8.35 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\nu_w^3}{\nu^2} \right) Re_x^{-1.34} (x - x_w) \int_{x_w}^x \frac{dx}{u_e} \right]$$

5.1)

Mit Hilfe der jetzt eingefuehrten Wirbelzaehigkeit ergibt sich die Gleichung (11) zu:

$$(b f'')' + \frac{m+1}{2} f f'' + m [1 - (f')^2] = \bar{\kappa} (f f'_{ix} - f' f_{ix}) \quad (22)$$

mit

$$b = (1 + \frac{1}{2})^{2k} (1 + \epsilon_m^+) \quad ; \quad \epsilon_m^+ = \frac{\epsilon_m}{\rho \nu^2}$$

6.) Netzstruktur

In dem, im Programm GS2D verwandten Netz, wird eine, vom Benutzer 'willkuerlich' vorgegebene Unterteilung in x -Richtung und eine spezielle η Unterteilung verwandt. Die Netzaabstaende vergroessern sich geometrisch nach aussen, unter der Bedingung, dass das Verhaeltnis zweier, aufeinander folgender Intervallaengen konstant ist, also $h_j = k h_{j-1}$. Der Abstand zum j -ten Punkt ist durch

$$\eta_j = h_1 \frac{k^j - 1}{k - 1} ; j = 1, 2, \dots, j ; k \geq 1$$

gegeben. h_1 ist die erste Schrittweite, k das Schrittweitenverhaeltnis. Die Gesamtzahl der Punkte in η -Richtung, j kann durch

$$j = \frac{\ln [1 + (k-1) (\frac{\eta_{\infty}}{h_1})]}{\ln(k)}$$

berechnet werden. h_1 und k sind vom Benutzer zu waehlen, η_{∞} wird programmintern gesetzt.

II. Programmbeschreibung

1. Allgemeines

Das Programm GS2D dient der Berechnung ebener oder rotationssymmetrischer Grenzschichten in laminarer oder turbulenter Stroemung. Die Grundlagen des benutzten Differenzenverfahrens wurden im vorangehenden Abschnitt erlaeutert. Ausfuerlichere Beschreibungen finden sich in [1] und [2].

Um die Eingabe zu erleichtern, bzw. die Ausgabe uebersichtlicher zu gestalten, koennen die Hilfsprogramme GSDG und GSPLIT benutzt werden.

Das Datengenerierungsprogramm GSDG ermoeeglicht es, interaktiv eine Eingabedatei fuer GS2D zu erzeugen. Es koennen ausserdem zusaetzliche Eingabedaten interpoliert werden.

Im Plotprogramm GSPLIT wird eine Datei mit Plotinformationen erzeugt, um Ausgabedaten graphisch darzustellen.

Alle Programme wurden in FORTRAN77 erstellt.

2. Beschreibung der einzelnen Programme

2.1 GS2D

2.1.1 Programmstruktur

Das Programm GS2D besteht aus Hauptprogramm und den Unterprogrammen

INPUT, GRID, IVPL, EDDY, CMOM, SOLV3, GROWTH, OUTPUT, TRANSC sowie TRANSX.

Das Hauptprogramm steuert den Ablauf der Aufrufe und ueberprueft nach jeder Blockiteration die Konvergenz. Konvergenzkriterium ist die Ableitung der x-Geschwindigkeit $v_x = \left(\frac{\partial u}{\partial \eta}\right)_{\eta,0}$ auf der Koerperkontur. Ausserdem wird ueberprueft, ob das generierte Netz noch fuer die berechnete Grenzschicht ausreicht. Kriterium ist hier, dass $\frac{\partial u}{\partial \eta}$ am obersten Netzpunkt ausreichend klein ist.

Das Unterprogramm INPUT liest die Daten aus einer Datei mit der logischen Nummer 5 ein und berechnet, sofern m^* kein Eingabewert ist, den dimensionslosen Druckgradienten m .

Das Unterprogramm GRID erzeugt eine Reihe von Punkten in η -Richtung. Der Abstand der Punkte ist veraenderlich, mit groesseren Abstaenden bei wachsender η -Koordinate. Die Punktgenerierung wird ueber die Eingabeparameter VGP und DETA(1) gesteuert, auf die im Abschnitt Eingabe noch naeher eingegangen wird.

Im Unterprogramm IVPL (initial velocity profile) wird das erste Grenzschichtprofil in Form eines Polynoms 3.Grades erzeugt, das die Ausgangswerte fuer die erste Iteration liefert.

Die Routine EDDY (Wirbelzaehigkeit) wird aufgerufen, sobald der vom Benutzer einzugebende Umschlagspunkt erreicht worden ist. Zur Berechnung des in der Grenzschichtgleichung die Turbulenz beschreibenden Terms $B(i,j)$ dienen die im ersten Abschnitt vorgestellten empirischen Beziehungen. Bei turbulenter Abloesung (d.h. $(\frac{\partial u}{\partial y})_{y=0} \leq 0$) wird der Programmablauf ordnungsgemaess abgebrochen, da das benutzte Turbulenzkonzept keine negativen Geschwindigkeiten erlaubt.

Die Koeffizienten der Differenzengleichungen 19.1 bis 19.3 werden im Unterprogramm CMOM berechnet und an die Routine SOLV3 uebergeben, die die Blockiteration nach Keller ausfuehrt.

Die Routine GROWTH erzeugt zusaetzliche Punkte in η -Richtung, falls das vorhandene Netz nicht mehr ausreichen sollte.

Im Unterprogramm OUTPUT werden die integralen Grenzschichtparameter berechnet. Die Ausgabeliste wird in eine Datei mit der logischen Nummer 6 geschrieben, die Eingabedatei fuer das Plotprogramm hat die logische Nummer 7. Die Routinen TANSC und TRANSX berechnen im rotationssymmetrischen Fall den Querkruemmungsparameter $T(j,NX)$ sowie die nach Mangler [10] transformierte Bogenlaenge \bar{x} .

2.1.2 Eingabe(ohne Benutzung von GSDG)

Die erste Zeile der Eingabedatei muss die sechs Variablen NXT, NTR, NP2, DETA(1), VGP und CNU enthalten.

NXT = Anzahl der x-Stationen, maximal 61.
 NTR = x-Station des Umschlagspunktes laminar, turbulent.
 NP2 = Kennzahl fuer die Eingabe des Druckgradienten. Bei NP2=1 wird der Druckgradient berechnet, bei NP2=2 eingelesen.
 DETA(1) = Schrittweite des ersten $\Delta\eta$ Schrittes.
 VGP = Netzparameter, der das Verhaeltnis zweier aufeinanderfolgender $\Delta\eta$ Schritte festlegt.
 CNU = kinematische Zaehigkeit ν .

Aus der zweiten Zeile wird die von Karmansche Variable KAPPA eingelesen. Bei $KAPPA < 0.39$ bzw. > 0.41 wird 0.4 gesetzt. In der naechsten Zeile steht eine 0 im ebenen, bzw. eine 1 im rotationssymmetrischen Fall.

In den Zeilen 4 bis NXT+3 stehen die Variablen X, UE, P2 und RR0.

X = Abstand vom Startpunkt als Bogenlaenge.
 UE = Aussengeschwindigkeit.
 P2 = Dimensionsloser Druckgradient m . Bei NP2=1 muss P2 an der ersten Station den Wert 1.0 haben, die weitere Eingabe ist beliebig.
 RR0 = Abstand des jeweiligen Punktes von der Koerperachse. (aeq. $y(x)$ im ebenen Fall)

Die letzte Zeile enthaelt die Variable XL = Gesamtlaenge (Sehne).

2.1.3 Hinweise fuer die Eingabe

2.1.3.1 Netzeinteilung in x-Richtung und Umschlagspunkt

Die maximale Anzahl Punkte in x-Richtung betraegt 61. Eine Erhoehung dieser Zahl ergab bei Testlaeufen keine Verbesserung der Ergebnisse. Die Unterteilung sollte grundsaeztlich so gewaehlt werden, dass in Gebieten mit grossem Geschwindigkeitsgradienten mehr Punkte vorhanden sind. Der Umschlagspunkt darf fruehestens bei $NXT=3$ liegen. Soll die Stroemung von Anfang an voll turbulent sein, wird empfohlen, die ersten 3 Punkte dicht nebeneinander zu legen.

2.1.3.2 Netzeinteilung in η -Richtung

Die Netzeinteilung in η -Richtung ist variabel und kann durch die Wahl von VGP und DETA(1) beeinflusst werden. Fuer rein laminare Stroemungen genuegt ein groeberses Netz mit, z.B. VGP = 1.0 (d.h. alle $\Delta\eta$ Schritte sind gleich gross) und DETA(1) = 0.15.

Fuer gemischte oder turbulente Stroemungen ist ein Netz mit VGP = 1.14 und DETA(1) = 0.01 nach unseren Erfahrungen ausreichend. Die Anzahl der η -Punkte betraegt dann etwa 50. Da maximal 300 Punkte erlaubt sind, kann das Netz ggf. durch verkleinern der Parameter verfeinert werden. Der Einfluss auf die ohnehin sehr kurze Rechenzeit des Programms ist gering. Im Anhang findet sich ein Beispiel fuer einen Testlauf mit unterschiedlichen Netzeinteilungen.

2.1.4 Ausgabe

Die Laengenkoordinate an jedem Punkt wird als Bogen- und als Sehnenlaenge ausgegeben. Die oertliche Reynoldszahl bezieht sich auf die Bogenlaenge; des weiteren werden an jedem vierten Punkt in Normalenrichtung die Punktnummer, die η -Koordinate, die dimensionsbehaftete y-Koordinate, die Werte von $F, U = \frac{\partial F}{\partial \eta}, V = \frac{\partial u}{\partial \eta}$, sowie der Wert des Terms B, der Turbulenzeinfluesse und, im rotationssymmetrischen Fall, den Einfluss der Querkruemmung enthaelt, ausgegeben.

Die integralen Grenzschichtparameter werden zum einem entsprechend ihrer Definition im ersten Abschnitt dieses Berichts und zum anderen bezogen auf die oertliche Reynoldszahl ausgegeben. Bei der Groesse d99 handelt es um die Grenzsschichtdicke in physikalischen Koordinaten bei $U = 0.99U_e$.

2.2. GSDG

2.2.1 Moeglichkeiten des GSDG

1) Interaktives erstellen einer Eingabedatei:

Saemtliche Daten werden im Dialogbetrieb erfragt und in eine Datei mit der logischen Nr.5 geschrieben, die vorher zugewiesen werden muss.

Die Laengenkoordinaten koennen als Bogen- oder Sehnenlaengen eingegeben und, ggf., in Bogenlaengen umgerechnet werden. Ausserdem koennen Daten fuer zusaetzliche Punkte in Koerperrichtung interpoliert werden. Die Unterprogramme NUM1 und XXSPL stellen zur Interpolation einen kubischen Spline nach [3] zur Verfuegung.

2) Aendern oder Erweitern einer vorhandenen Datei

Die Datei wird mit der logischen Nr.8 eingelesen. In dieser Datei koennen Wertetripel x , U_e und RR_0 stehen; x entweder in Bogen- oder Sehnenlaenge, RR_0 immer abhaengig von der Sehnenkoordinate. Es ist nun moeglich Sehnen- in Bogenlaengen zu verwandeln und Zusatzpunkte zu interpolieren.

2.3 GSPLIT

2.3.1 Moeglichkeiten des GSPLIT:

Im Hauptprogramm werden Ausgabedaten des GS2D eingelesen, sowie Steuerwerte im Dialog erfragt. Es koennen folgende Plots erzeugt werden:

1) Der Verlauf der integralen Grenzsichtparameter ϵ_f^* , δ^* und θ ueber der Koerperlaenge. Die Kurven werden mit der unter 2.2.1 erwaehnten Splineroutine erzeugt.

2) Geschwindigkeitsprofile auf oder ueber der Koerperkontur. Beginnend bei $NXT=3$ wird jedes fuenfte Profil geplottet.

3) Geschwindigkeitsprofile an max. 5 x -Stationen, wobei U wahlweise gegen η oder y -Koordinaten geplottet wird. Auf einem Bild erscheint jeweils das Profil an der gewuenschten Station, sowie das vorangehende und das folgende Profil.

Die Plotausgabe kann auf dem Bildschirm eines Graphikterminals oder auf einem Plotter erfolgen.

III

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

1. Allgemeine Erfahrungen

Als Fortsetzungsverfahren benoetigt das GS2D Informationen ueber die Form des ersten Grenzschnittprofils. Gute Berechnungsergebnisse an den ersten x-Stationen kann man daher nur bei Grenzschnitten erwarten, deren Eintrittsprofil dem im IVPL generierten Profil aehnlich ist.

Da das IVPL eine verhaeltnismaessig duenne Grenzschnitt liefert, ergeben sich besonders dann schlechte Uebereinstimmungen mit Messergebnissen, wenn die zu berechnende Grenzschnitttdicke schon am Anfang "gross" ist (siehe Bsp. 2.6).

Eine zweite Schwaeche zeigte sich bei turbulenten Grenzschnitten mit Druckanstieg. Das Programm ist nicht in der Lage, einen stark abfallenden, gegen einen Abloesungspunkt strebenden ζ -Verlauf korrekt wiederzugeben.

Der in der Programmbeschreibung erwaehte Fall der turbulenten Abloesung duerfte daher gar nicht, oder nur sehr selten auftreten.

Sobald genuegend Erfahrungen vorliegen, ist eine Programmversion geplant, die es ermoeeglicht, sowohl auf die Form des Initialprofils Einfluss zu nehmen, als auch ein anderes Turbulenzkonzept zu verwenden.

2. Berechnungsbeispiele

2.1 Cebeci Beispiel 1

Es handelt sich um ein NACA0012 Profil bei $Re = 10^6$. Der Umschlagpunkt liegt bei $x = 0.2XL$. Die Plots zeigen die Verlaeufer der integralen Parameter (vergl. [1] S.271), die Entwicklung der Profilform ueber der Koerperkontur, sowie Geschwindigkeitsprofile im laminaren und turbulenten Bereich. (siehe Anhang Bild bis).

2.2 Cebeci Beispiel 2

Eine durch $\frac{u}{u_\infty} = 1 - \frac{4}{5} \frac{x}{L}$ analytisch gegebene Geschwindigkeitsverteilung fuehrt zu einer rein laminar angenommenen Stroemung mit positivem Druckgradienten. Dieses Beispiel diente der Ueberpruefung der numerischen Uebereinstimmung mit der Originalversion (vergl. [1] S.269). Die Plots zeigen u.a. typische Laminarproile mit beginnender Abloesungstendenz.

2.3 Die laminare Plattengrenzschicht ohne Druckgradient nach Prandtl und Blasius

Die sehr gute Uebereinstimmung der Ergebnisse mit der analytischen Aehnlichkeitsloesung zeigt die Gegenueberstellung einer Tabelle aus [6] und der Ergebnisse des

GS2D. Da die Definition der Normalenkoordinate in beiden Faellen uebereinstimmt und die Ergebnisse von x unabhaengig sind, ist ein direkter Vergleich moeglich. Den Funktionen f , f' und f'' aus [6] entsprechen F , U und V . Ein Plot zeigt Laminarprofile mit stabileren Formen als in Beisp. 2.2.

Die folgenden Beispiele 2.4 bis 2.6 stammen aus den fuer die Stanford Konferenz 1968 [4] ausgewaehlten Messungen.

2.4 Die turbulente Plattengrenzschicht nach Wieghardt

Die Messungen wurden an einer 5m langen Platte bei einer Anstroemgeschwindigkeit von 33 m/s durchgefuehrt. Bei diesem Beispiel wurden drei Berechnungslaeufe vorgenommen, um die Unabhaengigkeit der Ergebnisse von der Netzteilung zu zeigen. Ein Lauf mit 25 x -Stationen und 37 η -Punkten bei $x=0$, ein Lauf mit doppelter Punktzahl in x -Richtung und ein Lauf mit 25 x -Stationen, aber 109 η -Punkten am Startpunkt. Auszuege aus den Ausgabelisten stehen auf Seite 47 bis 50. In die geplotteten Bilder wurden Messergebnisse eingezeichnet, wobei die Uebereinstimmung zwischen Berechnung und Messung wird mit zunehmender Laenge immer besser wird und unabhaengig von den verschiedenen Netzen ist.

2.5 Turbulente Grenzschicht nach Klebanoff und Schubauer

Eine Messung auf einem Tragfluegel bei einer Anstroehmgeschwindigkeit von 46.2 m/s und zuerst leicht negativem, dann stark positivem Druckgradienten. Es wurden 38 Stationen gemessen. Berechnungen und Messungen stimmen, wie schon erwaeht, in der Naehе des Abloesungspunktes schlecht ueberein, die in die Plots eingezeichneten Messpunkte zeigen groessere Abweichungen im letzten Drittel des Koerpers.

2.6 Schubauer und Spangenberg Flow B

Dieses Beispiel, eine turbulente Stroemung mit positivem Druckgradienten bei einer Reynoldszahl von $6.77 \cdot 10^6$, zeigt wegen der beschriebenen Maengel des IVPL eine schlechte Uebereinstimmung mit den Messungen. Die Tabelle auf Seite 56 stellt berechnete und gemessene Grenzschichtdicken gegenueber, die geplotteten Geschwindigkeitsprofile zeigen dagegen die gleiche Tendenz wie die Gemessenen (vergl. [4])

Nun folgen zwei Beispiele fuer die Berechnung rotations-symmetrischer Grenzschichten.

2.7 Modellmessung Luftschiff "Akron"

Diese Grenzschichtmessungen (9 Profile) wurden einem 5.6m langem Modell eines Luftschiffes bei einer Anstroehmgeschwindigkeit von 40 m/s vorgenommen, die Stroemung war voll turbulent. Die Plots zeigen gute Uebereinstimmung mit den Messungen bei den Geschwindigkeitsprofilen, Messwerte fuer die Integralen Parameter wurden in [7] nicht veroeffentlicht.

2.8 Lyon's Modell A

Hierbei handelt es sich um Messungen am Modell eines luftschiffaehnlichen Koerpers, bei einer Geschwindigkeit von 39,3 m/s. Der Umschlagspunkt liegt bei dieser Stroemung auf halber Koerperlaenge. Die Versuchsbeschreibung und Ergebnisse (Geschwindigkeitsprofile) sind in [8] und [9] veroeffentlicht. Die Berechnungen stimmen insbesondere im turbulenten Teil der Stroemung gut mit den Messungen ueberein, der CF-Verlauf zeigt die Charakteristik einer gemischten Stroemung (vergl. Beisp. 2.1).

IV

Literatur:

- [1] T.Cebeci, P. Bradshaw "Momentum Transfer in Boundary Layers", 1977 Hemisphere Publishing Corp., Mc Graw Hill Book Company New York usw.
- [2] H.B.Keller "Accurate Difference Method for Two-Point Boundary-Value Problems", SIAM Journal of Numerical Analysis, Vol. 11, 1974
- [3] H.Spaeth "Spline Algorithmen", R. Oldenbourg Verlag, 1978
- [4] "Proceedings of the AFOSR-IFP-Stanford Conference 1968", Thermosciences Division, Department of Mech. Engineering, Stanford University, California
- [5] K.Wieghardt "Theoretische Stroemungslehre", Teubner Verlag Stuttgart, 1974
- [6] H.Schlichting "Grenzschichttheorie" Verlag G.Braun, Karlsruhe 1965
- [7] Hugh B. Freeman "Measurements of Flow in the Boundary-Layer of a 1/40-Scale Model of the U.S. Airship Akron", NACA Report No.430, 1932
- [8] Hilda M. Lyon "Effect of Turbulence on Drag of Airship Models", Aeronautical Research Committee Reports No.1511, 1932
- [9] Hilda M. Lyon "A Study of the Flow in the Boundary Layer of Streamline Bodies", Aeronautical Research Committee Reports No.1622, 1934
- [10] W. Mangler "Zusammenhang zwischen ebenen und rotationssymmetrischen Grenzschichten in kompressiblen Fluessigkeiten", in ZAMM 28, 1948.

V

Programmlisten

```

C      Program GSDG.FOR
C      Das Program dient der Datengenerierung fuer das
C      Program GS2D.FOR.
C
C      von: Andreas Achner und Jochen Marzi
C
C      18.11.1983
C
1      DIMENSION X(100),UE(100),RR0(100),XI(200),UEI(200),
          RR0I(200),P2(200),P2I(200),XSEHNE(100)
C      CHARACTER JANE*2
C
C
C      WRITE(*,5)27,27,12,27,27
C      PRINT*,'Wollen Sie eine Eingabedatei interaktiv erstellen ? '
C      PRINT*,' <JA/NE>'
C      READ(*,2) JANE
C      IF(JANE.EQ.'NE' .OR. JANE.EQ.'ne') GOTO1000
C      PRINT*,' '
C      PRINT*,'Eingabe der Anzahl der Wertepaare:'
C      READ*,N
C      PRINT*,' '
C      PRINT*,'Geben Sie x als Bosenlaense ein ? <JA/NE> '
C      READ(*,2) JANE
C      IF(JANE.EQ.'NE' .OR. JANE.EQ.'ne') THEN
C          PRINT*,' '
C          PRINT*,'Im folgenden muessen Wertetripel X,UE,R0 eingegeben werden,'
C          PRINT*,'entweder absolut oder bezogen auf die Koerperlaense (X,R0)'
C          PRINT*,'und auf die Anstroemungsgeschwindigkeit.'
C          PRINT*,' '
C          PRINT*,'Haben Sie fuer die Wertetripel eine Eingabedatei ?'
C          PRINT*,'[ FOR008 ] !           <JA/NE>'
C          READ(*,2) JANE
C          IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
C              READ(8,*) (XSEHNE(I),UE(I),RR0(I),I=1,N)
C          ELSE
C              DO 100 I=1,N
C                  WRITE(*,1)I,I,I
C                  READ*,XSEHNE(I),UE(I),RR0(I)
100         CONTINUE
C          END IF
C          PRINT*,' '
C          PRINT*,'Eingabe der Koerperlaense (Sehne) : '
C          READ*,XL
C
C
C      PRINT*,' '
C      PRINT*,'Sind die Eingabedaten auf L und Uo bezogen?'
C      PRINT*,'<JA/NE>'
C      READ(*,2)JANE
C      IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
C          PRINT*,' '
C          PRINT*,'Eingabe der Anstroemgeschwindigkeit:'
C          READ*,U0

```

```

DO 101 I=1,N
    XSEHNE(I) = XSEHNE(I)*XL
    RRO(I) = RRO(I)*XL
    UE(I) = UE(I)*UO
101    CONTINUE
END IF
X(1) = XSEHNE(1)
DO 102 I=2,N
    DXS = XSEHNE(I)-XSEHNE(I-1)
    DR = RRO(I)-RRO(I-1)
    DX = SQRT(DXS**2+DR**2)
    X(I)= X(I-1)+DX
102    CONTINUE
ELSE
    PRINT*, ' '
    PRINT*, 'Haben Sie fuer die Wertetripel eine Eingabedatei ?'
    PRINT*, '[ FOR008 ] ! <JA/NE>'
    READ(*,2) JANE
    IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
        READ(8,*) (X(I),UE(I),RRO(I),I=1,N)
    ELSE
        PRINT*, 'Im folgenden muessen Wertetripel S[m], UE[m/s]'
        PRINT*, 'und Ro(x) [!] eingseseben werden.'
        DO 103 I=1,N
            WRITE(*,1) I,I,I
            READ*,X(I),UE(I),RRO(I)
103        CONTINUE
        END IF
    END IF
C
C
    PRINT*, ' '
    PRINT*, 'Soll der Druckgradientparameter berechnet werden?'
    PRINT*, 'Geben Sie : 1 fuer berechnen'
    PRINT*, '                2 fuer Einsabe'
    READ*,NP2
    IF(NP2.EQ.2) THEN
        DO 200 I=1,N
            WRITE(*,3) I
            READ*,P2(I)
200        CONTINUE
    ELSE
        P2(1) = 1.
        DO 202 I=2,N
            P2(I) = 0.
202        CONTINUE
    END IF
    PRINT*, ' '
    PRINT*, 'Sollen Werte interpoliert werden ? <JA/NE>'
    READ(*,2) JANE
    IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
        PRINT*, ' '
        PRINT*, 'Wollen Sie eine bestimmte Anzahl von Werten'
        PRINT*, 'interpolieren ? <JA/NE>'
        PRINT*, 'Bei NE wird Jeweils ein Zwischenpunkt interpoliert'

```

```

      READ(*,2) JANE
      IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
        PRINT*,' '
        PRINT*,'Wieviele Werte sollen zwischen 2 Eingabepunkten'
        PRINT*,'liegen ?'
        READ*,MM
        MM = MM+1
      ELSE
        MM = 2
      END IF

C
C      Jetzt werden die interpolierten werte erzeugt.
C

      CALL NUM1(N,X,UE,MM,XI,UEI,M1)
      CALL NUM1(N,X,RR0,MM,XI,RR0I,M1)
      CALL NUM1(N,X,P2,MM,XI,P2I,M1)
    ELSE
      M1 = N
      DO 201 I=1,M1
        XI(I) = X(I)
        UEI(I) = UE(I)
        RR0I(I) = RR0(I)
        P2I(I) = P2(I)
201    CONTINUE
      END IF

C
      PRINT*,' '
      PRINT*,'Geben Sie die von Karmansche Variable KAPPA ein.'
      PRINT*,'Bei KAPPA < 0.39 oder > 0.41 wird 0.4 gesetzt.'
      READ*,AKAPPA

C
      PRINT*,' '
      PRINT*,'Handelt es sich um einen ebenen oder einen rotations-'
      PRINT*,'symmetrischen Koerper ?'
      PRINT*,'geben Sie bitte :    0  => eben'
      PRINT*,'                      1  => rotationssymmetrisch'
      READ*,KERE

C
      PRINT*,' '
      WRITE(*,4) M1
      PRINT*,' '
      PRINT*,'Wo soll der Umschlagpunkt liegen ? [ x-Station im'
      PRINT*,'interpolierten System]'
      READ*,NTR
      PRINT*,' '
      PRINT*,'Geben sie Jetzt die Netzparameter VGF und DETA(1) ein'
      READ*,VGF,DETA
      PRINT*,' '
      PRINT*,'Geben Sie die kinematische Zaehiskeit ein.'
      READ*,CNU

C
      WRITE(5,8) M1,NTR,NF2,DETA,VGF,CNU
      WRITE(5,9) AKAPPA
      WRITE(5,11) KERE
      WRITE(5,6) (XI(I),UEI(I),P2I(I),RR0I(I),I=1,M1)

```

WRITE(5,10) XL

C

```
1  FORMAT(2X,'X(',I2,') , UE(',I2,') und R0(',I2,') eingeben:')
2  FORMAT(A2)
3  FORMAT(2X,'P2(',I2,') EINGEBEN:')
4  FORMAT(2X,'Es sind Jetzt Werte fuer',I2,' Stationen vorhanden.')
5  FORMAT(1X,A1,'1',3A1,'2',A1,'[2J')
6  FORMAT(4E14.6)
8  FORMAT(2X,3I3,2F14.8,E14.6)
9  FORMAT(2X,F8.5)
10 FORMAT(2X,F14.8)
11 FORMAT(2X,I2)
1000 END
```

C

```

C      PROGRAM GS2D.FOR
C      LOESUNG DER GS-GLEICHUNG
C      VERFAHREN NACH CEBECI
C
C      von: Andreas Achner und Jochen Marzi
C
C      Version vom 18.11.1983
C      rotationssymmetrisch und eben
C
COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETAE,UGF,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)
COMMON/BLCP/ DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1      T(300)
C
C
C      PRINT*, ' '
C      PRINT*, 'Quellen und Senken koennen versehn,'
C      PRINT*, 'aber die Grenzsichten bleiben bestehn.'
C      PRINT*, ' '
C      KENNZ = 0
C      ITMAX = 10
C      CEL(1) = 0.0
C      NX = 1
C      CALL INPUT
C      WRITE(7,*) NXT
C      WRITE(7,*) X(1),RR0(1),PHI(1)
C      CALL GRID
C      CALL IVPL
C
C
C
25  WRITE(6,999)
    WRITE(6,1000) NX,S(NX),XSEHNE(NX)
    RX(NX) = UE(NX)*X(NX)/CNU
    WRITE(6,1001) RX(NX),UE(NX)
    IF(NX.GT.1) CEL(NX) = .5*(X(NX)+X(NX-1))/(X(NX)-X(NX-1))
    IT = 0
    P1P = P1(NX)+CEL(NX)
    P2P = P2(NX)+CEL(NX)
    IF(NX.GT.1) THEN
        IF(K.EQ.1) THEN
            CALL TRANSC
            DO 13 J=1,NP
                B(J,2) = ((1.+T(J))*2)
13      CONTINUE
        END IF
    END IF
    IF(NX.LT.NTR) GOTO 60
    CALL EDDY
60  IT = IT+1
    IF(IT.LE.ITMAX) GOTO 70

```

```

WRITE(6,2000)
GOTO 90

C
C
70  CALL CMOM
    CALL SOLV3

C
C
C    KONVERGENZ
61  IF(NX.GE.NTR) GOTO 62
    LAMINAR
    IF(ABS(DELV(1)).GT.1.E-05) GOTO 60
    GOTO 75
    TURBULENT
62  IF(ABS(DELV(1)/(V(1,2)+.5*DELV(1))).GT..02) GOTO 60
62  IF(ABS(DELV(1)).GT.1.E-05) GOTO 60

C
C    ANWACHSEN
75  IF(NX.EQ.1) GOTO 90
    IF(NP.EQ.300) GOTO 90
    IF(ABS(V(NP,2)).LE.1.0E-03) GOTO 90
    CALL GROWTH
    IT = 0
    GOTO 60
90  CALL OUTPUT
    GOTO 25

C
C
999  FORMAT('-----')
1    FORMAT('-----')
1000 FORMAT(/5X,'NX      = ',I3,16X,'S      = ',F10.3,4X,
1      'X-Sehne = ',F10.3)
1001 FORMAT(/5X,'Re(x) = ',E14.6,5X,'Ue(x) = ',F10.4)
2000 FORMAT(/5X,'Iterationsanzahl GT ITMAX')
END

C
C
C    SUBROUTINE INPUT
COMMON/BLC0/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGF,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)

C
C
READ(5,*) NXT,NTR,NP2,DETA(1),VGF,CNU
READ(5,*) AKAPPA
READ(5,*) K
READ(5,*) (S(I),UE(I),P2(I),RR0(I),I=1,NXT)
READ(5,*) XL
DO 10 I=1,NXT
    X(I)=S(I)
10  CONTINUE
XSEHNE(1) = S(1)

```

```

DO 20 I=2,NXT
    DS      = S(I)-S(I-1)
    DR      = RR0(I)-RR0(I-1)
    DXS     = SQRT(ABS(DS**2-DR**2))
    XSEHNE(I) = XSEHNE(I-1)+DXS
20  CONTINUE
    IF(K.EQ.1) CALL TRANSX
    IF(K.EQ.0) THEN
        ETAE = 8.0
    ELSE
        ETAE = 16.0
    END IF
    WRITE(6,5000) NXT,NTR,NP2,ETAE,DETA(1),VGP,CNU
C
C
C      Steigungswinkel
DX0      = XSEHNE(2)-XSEHNE(1)
DR0      = (RR0(2)-RR0(1))/DX0
PHI(1)   = ATAN(DR0)
DXN      = XSEHNE(NXT)-XSEHNE(NXT-1)
DRN      = (RR0(NXT)-RR0(NXT-1))/DXN
PHI(NXT) = ATAN(DRN)
NXT1     = NXT-1
DO 101 I=2,NXT1
    DXV    = XSEHNE(I+1)-XSEHNE(I)
    DRV    = (RR0(I+1)-RR0(I))/DXV
    DXR    = XSEHNE(I)-XSEHNE(I-1)
    DRR    = (RR0(I)-RR0(I-1))/DXR
    PHI(I) = ATAN(0.5*(DRV+DRR))
101 CONTINUE
GOTO(50,100) NP2
C
C
C      Parameter des Druckgradienten
50  DO 80 I=2,NXT
    IF(I.NE.NXT) THEN
        A1    = (S(I)-S(I-1))*(S(I+1)-S(I-1))
        A2    = (S(I)-S(I-1))*(S(I+1)-S(I))
        A3    = (S(I+1)-S(I))*(S(I+1)-S(I-1))
        DUDS  = -((S(I+1)-S(I))/A1)*UE(I-1)+(S(I+1)-2.*S(I)+
1          S(I-1))/A2*UE(I)+(S(I)-S(I-1))/A3*UE(I+1)
        P2(I) = S(I)/UE(I)*DUDS
    ELSE
        A1    = (S(I-1)-S(I-2))*(S(I)-S(I-2))
        A2    = (S(I-1)-S(I-2))*(S(I)-S(I-1))
        A3    = (S(I)-S(I-1))*(S(I)-S(I-2))
        DUDS  = (S(I)-S(I-1))/A1*UE(I-2)-(S(I)-S(I-2))/A2*
1          UE(I-1)+(2.*S(I)-S(I-2)-S(I-1))/A3*UE(I)
        P2(I) = S(I)/UE(I)*DUDS
    END IF
80  CONTINUE
100 DO 90 I=1,NXT
    P1(I) = 0.5*(P2(I)+1.0)
90  CONTINUE
RETURN

```



```

C
5000  FORMAT(/2X,'NXT = ',I3,8X,'NTR = ',I3,8X,'NP2 = ',I3/
      1      2X,'ETA= ',E14.6,3X,'DETA1 = ',E14.6,3X,
      2      'VGP = ',E14.6,'NUE = ',E14.6//)
      END

C
C
C
C
      SUBROUTINE GRID
      COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
      1      ETA(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
      1      P1P,P2P,RTHETA(60),RRO(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
      2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)

C
C
      IF((VGP-1.0).LE..001) THEN
        NP = ETA/DETA(1) + 1.0001
      ELSE
        NP = ALOG((ETA/DETA(1))*(VGP-1.0)+1.)/ALOG(VGP)+1.0001
      END IF
      IF(NP.LE.300) THEN
        ETA(1) = 0.0
        DO 20 J = 2,300,1
          DETA(J) = VGP*DETA(J-1)
          A(J) = .5*DETA(J-1)
          ETA(J) = ETA(J-1)+DETA(J-1)
20      CONTINUE
      ELSE
        WRITE(6,3000)
        STOP
      END IF
      RETURN

C
3000  FORMAT(/5X,'NP GT 300 => Programmende ')
      END

C
C
C
      SUBROUTINE IVPL
      COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
      1      ETA(300)
      COMMON/BLCP/ DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
      1      T(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
      1      P1P,P2P,RTHETA(60),RRO(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
      2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)

C
      ETANPQ = 0.25*ETA(NP)
      ETAU15 = 1.5/ETA(NP)
      DO 30 J=1,NP
        ETAB = ETA(J)/ETA(NP)
        ETAB2 = ETAB**2
        F(J,2) = ETANPQ*ETAB2*(3.0-.5*ETAB2)
      30

```

```

      U(J,2) = 0.5*ETAB*(3.-ETAB2)
      V(J,2) = ETAU15*(1.-ETAB2)
      B(J,2) = 1.0
30  CONTINUE
    RETURN
    END

C
C
      SUBROUTINE EDDY
      COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETAE,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
      COMMON/BLCP/DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1      T(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)

C
      RXS(1)=0.
      DO 12 I=2,NXT
        RXS(I)=UE(I)*S(I)/CNU
12  CONTINUE
      IF(V(1,2).LE.0.) THEN
        WRITE(6,7002)
        KENNZ = 1
        CALL OUTPUT
      END IF
      IF(AKAPPA.LT.0.39 .OR. AKAPPA.GT.0.41) AKAPPA = 0.4
      GAMTR = 1.0
      UEINTG = 0.0
      U1 = 1.0/UE(NTR-1)
      DO 10 I=NTR,NX
        U2 = 1.0/UE(I)
        UEINTG = UEINTG+(U1+U2)*(S(I)-S(I-1))*0.5
        U1 = U2
10  CONTINUE
      GG = 8.35E-04*UE(NX)**3/(RXS(NTR-1)**1.34*CNU**2)
      EXPTM = GG*(S(NX)-S(NTR-1))*UEINTG
      IF(EXPTM.LE.10.0) THEN
        GAMTR = 1.0-EXP(-EXPTM)
      ELSE
        WRITE(6,7000) GG,UEINTG,EXPTM
      END IF
      IFLGD = 0
      RX2 = SQRT(RXS(NX))
      RX4 = SQRT(RX2)
      PPLUS = P2(NX)/(RX4*V(1,2)**1.5)
      RX2KAP = RX2*(AKAPPA**2)
      CN = SQRT(ABS(1.0-11.8*PPLUS))
      CRSQV = CN*RX4*SQRT(V(1,2))/26.0
      EDV0 = 0.0168*RX2*(ETA(NP)-F(NP,2)+F(1,2))*GAMTR
      DO 50 J=1,NP
        IF(IFLGD.EQ.1) THEN
          EDV = EDV0
        ELSE
          YOA = CRSQV*ETA(J)

```

```

EDVI = RX2KAP*ETA(J)**2*V(J,2)*(1.0-EXP(-Y0A))**2*GAMTR
IF(EDVI,LT,EDV0) THEN
  EDV = EDVI
ELSE
  IFLGD = 1
  EDV = EDV0
END IF
END IF
B(J,2) = (1.+EDV)*(1.+T(J))**(2*K)
50  CONTINUE
RETURN
7000  FORMAT(/2X,'GG =',E14.6,2X,'UEINTG =',E14.6,2X,'EXPTM =',E14.6)
7002  FORMAT(/2X,'Programmende, da V(1,2) negativ')
END

C
C
C
C
C

SUBROUTINE CMOM
COMMON/BLC0/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
1  ETA(300)
COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1  P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2  K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)
COMMON/BLCP/DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1  T(300)
COMMON/BLC6/S1(300),S2(300),S3(300),S4(300),S5(300),S6(300),
1  R1(300),R2(300),R3(300)

C

DO 60 J=2,NP
  USB = .5*(U(J,2)**2+U(J-1,2)**2)
  FVB = .5*(F(J,2)*V(J,2)+F(J-1,2)*V(J-1,2))
  FB = .5*(F(J,2)+F(J-1,2))
  UB = .5*(U(J,2)+U(J-1,2))
  VB = .5*(V(J,2)+V(J-1,2))
  DERBV = (B(J,2)*V(J,2)-B(J-1,2)*V(J-1,2))/DETA(J-1)
  IF(NX.GT.1) THEN
    CFB = .5*(F(J,1)+F(J-1,1))
    CVB = .5*(V(J,1)+V(J-1,1))
    CFVB = .5*(F(J,1)*V(J,1)+F(J-1,1)*V(J-1,1))
    CUSB = .5*(U(J,1)**2+U(J-1,1)**2)
    CDERBV = (B(J,1)*V(J,1)-B(J-1,1)*V(J-1,1))/DETA(J-1)
  ELSE
    CFB = 0.0
    CVB = 0.0
    CFVB = 0.0
    CUSB = 0.0
  END IF
  S1(J) = B(J,2)/DETA(J-1)+(P1P*F(J,2)-CEL(NX)*CFB)*0.5
  S2(J) = -B(J-1,2)/DETA(J-1)+(P1P*F(J-1,2)-CEL(NX)*CFB)*
1  0.5
  S3(J) = .5*(P1P*V(J,2)+CEL(NX)*CVB)
  S4(J) = .5*(P1P*V(J-1,2)+CEL(NX)*CVB)
  S5(J) = -P2P*U(J,2)

```


G23(2) = -2.0*S2(2)/DETA(1)

G22(2) = G23(2)+S6(2)

VORWAERTS

DO 50 J=2,NP

IF(J.EQ.2) GOTO 51

1 DEN = (A13(J-1)*A21(J-1)-A23(J-1)*A11(J-1)-A(J)*
(A12(J-1)*A21(J-1)-A22(J-1)*A11(J-1)))

DEN1 = A22(J-1)*A(J)-A23(J-1)

G11(J) = (A23(J-1)+A(J)*(A(J)*A21(J-1)-A22(J-1)))/DEN

G12(J) = -(A(J)*A(J)+G11(J)*(A12(J-1)*A(J)-A13(J-1)))/DEN1

G13(J) = (G11(J)*A13(J-1)+G12(J)*A23(J-1))/A(J)

1 G21(J) = (S2(J)*A21(J-1)-S4(J)*A23(J-1)+A(J)*(S4(J)*
A22(J-1)-S6(J)*A21(J-1)))/DEN

1 G22(J) = (-S2(J)+S6(J)*A(J)-G21(J)*(A(J)*A12(J-1)-
A13(J-1)))/DEN1

51 G23(J) = G21(J)*A12(J-1)+G22(J)*A22(J-1)-S6(J)

A11(J) = 1.0

A12(J) = -A(J)-G13(J)

A13(J) = A(J)*G13(J)

A21(J) = S3(J)

A22(J) = S5(J)-G23(J)

A23(J) = S1(J)+A(J)*G23(J)

1 W1(J) = R1(J)-G11(J)*W1(J-1)-G12(J)*W2(J-1)-G13(J)*
W3(J-1)

1 W2(J) = R2(J)-G21(J)*W1(J-1)-G22(J)*W2(J-1)-G23(J)*
W3(J-1)

W3(J) = R3(J)

50 CONTINUE

RUECKWAERTS

DELU(NP) = W3(NP)

E1 = W1(NP)-A12(NP)*DELU(NP)

E2 = W2(NP)-A22(NP)*DELU(NP)

1 DELV(NP) = (E2*A11(NP)-E1*A21(NP))/(A23(NP)*A11(NP)-A13(NP)*
A21(NP))

DELF(NP) = (E1-A13(NP)*DELV(NP))/A11(NP)

NPX = NP-1

DO 60 J=NPX,1,-1

E3 = W3(J)-DELU(J+1)+A(J+1)*DELV(J+1)

1 DEN2 = A21(J)*A12(J)*A(J+1)-A21(J)*A13(J)-A(J+1)*
A22(J)*A11(J)+A23(J)*A11(J)

1 DELV(J) = (A11(J)*(W2(J)+E3*A22(J))-A21(J)*W1(J)-
E3*A21(J)*A12(J))/DEN2

DELU(J) = -A(J+1)*DELV(J)-E3

DELF(J) = (W1(J)-A12(J)*DELU(J)-A13(J)*DELV(J))/A11(J)

60 CONTINUE

WRITE(6,4000) V(1,2),DELV(1)

DO 70 J=1,NP,1

F(J,2) = F(J,2)+DELF(J)

U(J,2) = U(J,2)+DELU(J)

```

              V(J,2) = V(J,2)+DELV(J)
70    CONTINUE
      U(1,2) = 0.0
      RETURN
C
4000  FORMAT(/5X,'V-WAND = ',E14.6,5X,'DELTA V = ',E14.6)
      END
C
C
      SUBROUTINE GROWTH
      COMMON/BLC0/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
      COMMON/BLCF/ DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1      T(300)
C
      NP0 = NP
      NP1 = NP+1
      NP = NP+1
      IF(NX.EQ.NTR) NP = NP+3
      IF(NP.GT.300) NP = 300
C
C      PROFILE FUER NEUES NP
C
      DO 35 J=NP1,NP
        F(J,1) = U(NP0,1)*(ETA(J)-ETA(NP0))+F(NP0,1)
        U(J,1) = U(NP0,1)
        V(J,1) = 0.0
        B(J,1) = B(NP0,1)
        F(J,2) = U(NP0,2)*(ETA(J)-ETA(NP0))+F(NP0,2)
        U(J,2) = U(NP0,2)
        V(J,2) = V(J,1)
        B(J,2) = B(NP0,2)
35    CONTINUE
      NNP = NP-(NP1-1)
      WRITE(6,6000) NNP
      RETURN
C
6000  FORMAT(/5X,'Transf.GS-Dicke = ',I3,3X,'Punkt(e) hinzusefuest')
      END
C
C
C
      SUBROUTINE OUTPUT
      COMMON/BLC0/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,E,VGP,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)
      COMMON/BLCF/ DELV(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1      T(300)
C
      DIMENSION UPL0T(300,61),YPL0T(300,61),ETAP(300,61),NQ(300),
1      Y(300),DELS(61),THETA(61),YQ(300),DYQ(300)
C
      NQ(NX) = NP

```

```

IF(KENNZ.EQ.1) THEN
  WRITE(7,*) KENNZ
  WRITE(7,*) NXT
  WRITE(7,*) (S(I),RR0(I),PHI(I),CF(I),DELS(I),THETA(I),
1      NQ(I),I=2,NXT)
  WRITE(7,*) ((UPLOT(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
  WRITE(7,*) ((YPLOT(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
  WRITE(7,*) ((ETAP(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
  STOP
END IF
IF(NX.GT.1) THEN
  YQ(1) = 0.
  DO 40 J=2,NP
    YQ(J) = SQRT(CNU*X(NX)/UE(NX))*ETA(J)
    DYQ(J-1) = YQ(J)-YQ(J-1)
40  CONTINUE
  IF(K.EQ.1) THEN
    DO 41 J=1,NP
      Y(J) = XL/RR0(NX)*YQ(J)
41  CONTINUE
  ELSE
    DO 42 J=1,NP
      Y(J) = YQ(J)
42  CONTINUE
  END IF
END IF
C
39  WRITE(6,8000)
  WRITE(6,8001) (J,ETA(J),Y(J),F(J,2),U(J,2),V(J,2),B(J,2),J=1,NP,4)
  WRITE(6,8001) NP,ETA(NP),Y(NP),F(NP,2),U(NP,2),V(NP,2),B(NP,2)
  DO 50 J=1,NP
    UPLOT(J,NX) = U(J,2)
    YPLOT(J,NX) = Y(J)
    ETAP(J,NX) = ETA(J)
50  CONTINUE
C
IF(NX.EQ.1) THEN
  NX = NX+1
  IF(NX.GT.NXT) THEN
    STOP
  ELSE
    DO 250 J=1,NP
      F(J,1) = F(J,2)
      U(J,1) = U(J,2)
      V(J,1) = V(J,2)
      B(J,1) = B(J,2)
250  CONTINUE
    RETURN
  END IF
ELSE
  Berechnung der integralen GS Parameter

  F1 = 0.0

```

```

      THETA1 = 0.0
      DO 150 J=2,NP
          F2 = U(J,2)*(1.-U(J,2))
          THETA1 = THETA1+(F1+F2)*.5*DETA(J-1)
          F1 = F2
150    CONTINUE
      THETA(NX) = THETA1*X(NX)/SQRT(RX(NX))
      F3 = 0.0
      ENTH1 = 0.0
      DO 151 J=2,NP
          F4 = U(J,2)*(1-U(J,2)**2)
          ENTH1 = ENTH1+(F3+F4)*.5*DETA(J-1)
          F3 = F4
151    CONTINUE
      ENTH = ENTH1*X(NX)/SQRT(RX(NX))
      DELS(NX) = (ETA(NP)-F(NP,2))*X(NX)/SQRT(RX(NX))
      H = DELS(NX)/THETA(NX)
      CF(NX) = 2.0*V(1,2)/SQRT(RX(NX))
      IF(K.EQ.1) THEN
          ENTH = XL/RR0(NX)*ENTH
          THETA(NX) = XL/RR0(NX)*THETA(NX)
          DELS(NX) = XL/RR0(NX)*DELS(NX)
          CF(NX) = CF(NX)*RR0(NX)/XL
      END IF
      RTHETA(NX) = UE(NX)*THETA(NX)/CNU
      RENTH = UE(NX)*ENTH/CNU
      RDELS = UE(NX)*DELS(NX)/CNU
      DO 152 J=2,NP
          IF(U(J,2).LT.0.99) DEL99(NX) = Y(J)
152    CONTINUE
      WRITE(6,9000) ENTH,THETA(NX),DELS(NX),H,CF(NX),RENTH,RTHETA(NX),
1      RDELS,DEL99(NX),P2(NX)
      NX = NX+1
      IF(NX.GT.NXT) THEN
          WRITE(7,*) KENNZ
          WRITE(7,*) (S(I),RR0(I),PHI(I),CF(I),DELS(I),THETA(I),
1      NQ(I),I=2,NXT)
          WRITE(7,*) ((UPL0T(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
          WRITE(7,*) ((YPL0T(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
          WRITE(7,*) ((ETAP(J,I),J=1,NQ(I)),I=2,NXT)
          STOP
      ELSE
          DO 251 J=1,NP
              F(J,1) = F(J,2)
              U(J,1) = U(J,2)
              V(J,1) = V(J,2)
              B(J,1) = B(J,2)
251    CONTINUE
          RETURN
      END IF
  END IF
C
8000  FORMAT(/1X,2X,'J',6X,'ETA',7X,'Y',11X,'F',13X,'U',13X,'V',13X,'B')
8001  FORMAT(' ',I3,F10.3,F10.7,4E14.6)
9000  FORMAT(/1X,6X,'EnTh',8X,'Theta',10X,'Delta*',9X,'H',13X,'Cf'/

```



```

1      , ' ', 5E14.6//
2      , ' ', 6X, 'REnth', 7X, 'RTheta', 8X, 'RDelta*', 9X, 'd99', 11X,
3      'P2'//, ' ', 5E14.6)
      END

```

C
C
C
C
C

```

      SUBROUTINE TRANSC
      COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,VEG,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)
      COMMON/BLCP/DELU(300),F(300,2),U(300,2),V(300,2),B(300,2),
1      T(300)

```

C
C
C
C
C

Die Subroutine TRANSC berechnet die Querkruemmung des
Koerpers im rotationssymmetrischen Fall.

```

      DO 200 J=1,NP
          Z      = ((XL/RR0(NX))*2)*2*(COS(PHI(NX)/XL))
          Z1     = Z*SQRT(CNU*X(NX)/UE(NX))
          Z2     = Z1*ETA(J)+1
          T(J)   = -1.0+SQRT(Z2)
200    CONTINUE
      RETURN
      END

```

C
C
C

SUBROUTINE TRANSX

C
C
C
C
C
C
C

Das Unterprogramm TRANSX berechnet die manslertransformierte x-Koordinate

```

      COMMON/BLCO/ NP,NX,NXT,NTR,NFLOW,ETA,VEG,CNU,DETA(300),A(300),
1      ETA(300)
      COMMON/BLCC/ X(60),UE(60),P1(60),P2(60),CEL(60),RX(60),CF(60),
1      P1P,P2P,RTHETA(60),RR0(60),PHI(60),XL,KENNZ,AKAPPA,
2      K,S(60),RXS(60),XSEHNE(60),DEL99(60)

```

C

```

      XX      = 0.
      XXX     = 0.
      XI      = 0.
      DO 100 I=2,NXT
          XX = (RR0(I)**2/XL**2)
          XI = XI+(XX+XXX)/2.*(S(I)-S(I-1))
          XXX = XX
          X(I) = XI

```

```

100    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C
C      PROGRAMM GS PLOT.FOR
      DIMENSION X(63),RR0(63),PHI(63),U(302,63),
1          ETA(302,63),CF(63),DELS(63),THETA(63),
2          XA(620),YA(620),YB(620),YC(620),YD(620),
3          ZZTEXT(10),YK0(302,63),
4          X0(63),S(63),ETAEC(302),PHID(63),PSID(63),
5          X0CM(63),RR0CM(63),ETAECM(63),
6          NP(63),XCM(63),RCM(63),
7          R(63),OM(63)
      CHARACTER JANE*2

C
C
C      READ(7,*) NXT
      READ(7,*) X(1),RR0(1),PHI(1)
      READ(7,*) KENNZ
      IF(KENNZ.EQ.1) THEN
          READ(7,*) NXT
      END IF
      READ(7,*) (X(I),RR0(I),PHI(I),CF(I),DELS(I),THETA(I),
1          NP(I),I=2,NXT)
      READ(7,*) ((U(J,I),J=1,NP(I)),I=2,NXT)
      READ(7,*) ((YK0(J,I),J=1,NP(I)),I=2,NXT)
      READ(7,*) ((ETA(J,I),J=1,NP(I)),I=2,NXT)
      WRITE(*,5)27,27,12,27,27
      PRINT*, ' Bitte geben Sie die logische Nummer Ihrer '
      PRINT*, ' Plotaussgabedatei ein. <10:99> '
      READ*, NUM
      PRINT*, ' '
      PRINT*, ' Sollen integrale Werte und Profile sezeichnet werden?'
      PRINT*, ' '
      PRINT*, ' <JA/NE>      Bei NEIN werden nur integrale Werte se-'
      PRINT*, '                plottet.'
      READ(*,1) JANE

C
C      Plotterinitialisierung
C
      CALL PLOTS(0,0,NUM)
      CALL XLIMIT(250.)

C
C      Blattnullpunkt
C
      CALL PLOT(0.,4.,-3)

C
C      DIN A 4 Blatt zeichnen
C
      CALL PLOT(0.,21.,2)
      CALL PLOT(29.7,21.,2)
      CALL PLOT(29.7,0.,2)
      CALL PLOT(0.,0.,2)

C
      PRINT*, ' '
      PRINT*, ' Ueberschrift eingeben '
      READ(*,2) ZZTEXT

```

```

C
C      Berechnung und Plotten der integralen Werte
C
      DO 100 I=1,NXT-1
          X(I) = X(I+1)
          CF(I)= CF(I+1)
100    CONTINUE
C
      X0(1) = 0.
      X0(2) = SQRT(ABS(X(1)**2-(RR0(2)-RR0(1))**2))
      DO 440 I=3,NXT
          DX    = X(I-1)-X(I-2)
          DR    = RR0(I)-RR0(I-1)
          DX0   = SQRT(ABS(DX**2-DR**2))
          X0(I)= X0(I-1)+DX0
440    CONTINUE
C
      CF Berechnung
C
      CALL NUM1(X,CF,(NXT-1),XA,YA,M)
C
      X-Achse
C
      CALL PLOT(6.,2.5,-3)
      CALL SCALE(XA(1),20.,M,1)
      CALL AXIS(0.,0.,7HX BOGEN,-7,20.,0.,XA(M+1),
1      XA(M+2))
      ACL      = XA(M)/XA(M+2)
      X0(NXT+1) = XA(M+1)
      X0(NXT+2) = X0(NXT)/ACL
      CALL AXIS(0.0,-1.1,7HX SEHNE,-7,20.,0.,X0(NXT+1),
1      X0(NXT+2))
C
      CF Ausgabe
C
      CALL SCALE(YA(10),17.,(M-9),1)
      CALL AXIS (0.,0.,2HCF,2,17.,90.,YA(M+1),YA(M+2))
      CALL SYMBOL(-1.,13.,.3,2,90.,-1)
      CALL SYMBOL(2.0,18.,.25,ZZTEXT,0.0,40)
      DO 102 I=2,NXT
          X1    = (X(I)-XA(M+1))/XA(M+2)
          CF1    = (CF(I)-YA(M+1))/YA(M+2)
          CALL SYMBOL(X1,CF1,.3,2,0.0,-1)
102    CONTINUE
C
C
C
C
      CALL LINE (XA(10),YA(10),M-9,1,0,0)
C
C
C
C      DELTA* Berechnung
C
      CALL NEWPEN(2)
      DO 200 I=1,NXT-1

```

```

                DELS(I) = DELS(I+1)
200  CONTINUE
    CALL NUM1(X,DELS,(NXT-1),XA,YB,M)
C
C
    CALL SCALE (YB(10),17.,M-9,1)
    CALL AXIS (-2.,0.,11HVERDR.DICKE,11,17.,90.,YB(M+1),YB(M+2))
    CALL SYMBOL(-3.,13.,.3,10,90.,-1)
    DO 201 I=2,NXT
        X1      = (X(I)-XA(M+1))/XA(M+2)
        DELS1   = (DELS(I)-YB(M+1))/YB(M+2)
        CALL SYMBOL(X1,DELS1,.3,10,0.0,-1)
201  CONTINUE
C
    CALL LINE (XA(10),YB(10),M-9,1,0,0)
C
C
    THETA Berechnung
C
    DO 300 I=1,NXT-1
        THETA(I) = THETA(I+1)
300  CONTINUE
C
    CALL NUM1(X,THETA,(NXT-1),XA,YC,M)
C
C
    CALL NEWPEN(3)
    CALL SCALE (YC(10),17.,M-9,1)
    CALL AXIS (-4.,0.,16HIMPULSVERL.DICKE,16,17.,90.,YC(M+1),
1      YC(M+2))
    CALL SYMBOL(-5.,13.,.3,11,90.,-1)
    DO 301 I=2,NXT
        X1      = (X(I)-XA(M+1))/XA(M+2)
        THETA1   = (THETA(I)-YC(M+1))/YC(M+2)
        CALL SYMBOL(X1,THETA1,.3,11,0.0,-1)
301  CONTINUE
C
    CALL LINE (XA(10),YC(10),M-9,1,0,0)
C
C
    Plotbeendigung
C
    CALL PLOT(0.,0.,-3)
    CALL PLOT(32.,-6.5,-3)
    IF(JANE.EQ.'NE'.OR. JANE.EQ.'ne') THEN
        CALL PLOT(4.,0.,999)
        PRINT*, ' '
        WRITE(*,3) NUM
        STOP
    ELSE
        CONTINUE
    END IF
C
C
C
C

```

CALL NEWPEN(1)

CALL PLOT(0.,4.,-3)

C
C
C

DIN A 4 Blatt zeichnen

CALL PLOT(0.,21.,2)

CALL PLOT(29.7,21.,2)

CALL PLOT(29.7,0.,2)

CALL PLOT(0.,0.,2)

C
C
C

CALL NUM1(X0,RRO,NXT,XA,YD,M)

C

CALL PLOT(2.,2.,-3)

C

CALL SCALE(XA,25.,M,1)

XA(M+1) = XA(1)

XA(M+2) = XA(M)/25.

CALL AXIS(0.0,0.0,7HX-SEHNE,-7,25.,0.,

1 XA(M+1),XA(M+2))

CALL SCALE(YD,3.5,M,1)

CALL LINE(XA,YD,M,1,0,0)

DO 450 I=1,NXT

XOCM(I) = (X0(I)-XA(M+1))/XA(M+2)

RROCM(I) = (RRO(I)-YD(M+1))/YD(M+2)

XCM(I) = XOCM(I)

RCM(I) = RROCM(I)

CALL SYMBOL(XOCM(I),RROCM(I),.08,1,0.0,-1)

450 CONTINUE

DDX1 = XOCM(2)-XOCM(1)

DDR1 = (RROCM(2)-RROCM(1))/DDX1

PHI(1) = ATAN(DDR1)

DDXN = XOCM(NXT)-XOCM(NXT-1)

DDRN = (RROCM(NXT)-RROCM(NXT-1))/DDXN

PHI(NXT)= ATAN(DDRN)

NXT1 = NXT-1

DO 451 I=2,NXT1

DDXV = XOCM(I+1)-XOCM(I)

DDRV = (RROCM(I+1)-RROCM(I))/DDXV

DDXR = XOCM(I)-XOCM(I-1)

DDRR = (RROCM(I)-RROCM(I-1))/DDXR

PHI(I) = ATAN(0.5*(DDRV+DDRR))

451 CONTINUE

CALL SYMBOL(2.0,18.,.3,ZZTEXT,0.0,40)

CALL SYMBOL(2.0,17.,.3,8HU IN ZUE,0.0,8)

CALL SYMBOL(2.0,16.,.3,18HETA=SQRT(UE/CNU X),0.0,18)

C
C
C
C

ETAECM(NXT) = ETA(NP(NXT),NXT)

ETAECM(NXT) = 12.

DO 500 I=(NXT-1),1,-1

ETAECM(I) = ETA(NP(I),I)

ETAECM(I)= 12.*ETAECM(I)/ETAECM(NXT)

```

500  CONTINUE
    ETAECM(3) = 1.9
C
    XL = 62.5/REAL(NXT)
C
C
    PRINT*, ' '
    PRINT*, 'Wollen Sie die GS-Profile auf der Koerperoberflaeche'
    PRINT*, 'zeichnen ? <JA/NE> '
    READ(*,1) JANE
    IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
C
C      graphische Darstellung der GS-Profile auf der Koerperkontur
C
        PI = 4*ATAN(1.)
C
C      Arbeitsschleife - Vorbereitung von Plotwerten
C
        DO 600 I=2,NXT
            PHID(I) = 180.*PHI(I)/PI
            PSID(I) = PHID(I)+90.
600    CONTINUE
C
C      PROFILE
C
        DO 700 I=3,NXT,5
            CALL NEWPEN(1)
            NWP = NP(I)
            NWP1= NWP+1
            NWP2= NWP+2
            CALL PLOT(XOCM(I),RROCM(I),-3)
            IF(I .GT. 3 .AND. XOCM(I).LT.XL) THEN
                IF(XOCM(I) .LT. (XOCM(I-5)+XL)) GOTO 701
            END IF
            CALL SCALE(U(1,I),XL,NWP,1)
            CALL SCALE(ETA(1,I),ETAECM(I),NWP,1)
            CALL AXIS(0.0,0.0,' ',0,ETAECM(I),
1              PSID(I),ETA(NWP1,I),ETA(NWP2,I))
            DO 711 J=2,NWP
                R(J) = SQRT(((ETA(J,I)/ETA(NWP2,I))**2)+
1              ((U(J,I)/U(NWP2,I))**2))
                OM(J) = ATAN((ETA(J,I)/ETA(NWP2,I))/(U(J,I)/
1              U(NWP2,I)))
                U(J,I) = (R(J)*COS(PHI(I)+OM(J)))
                ETA(J,I) = (R(J)*SIN(PHI(I)+OM(J)))
711    CONTINUE
            ETA(NWP1,I) = 0.
            ETA(NWP2,I) = 1.
            U(NWP1,I) = 0.
            U(NWP2,I) = 1.
            CALL NEWPEN(2)
            CALL LINE(U(1,I),ETA(1,I),NWP,1,0,0)
701    IF((NXT-5).GT.0) THEN
            XOCM(I+5) = XOCM(I+5)-XCM(I)
            IF(RROCM(I+5).GT.RCM(I)) THEN

```

```

        RROCM(I+5) = ABS(RROCM(I+5)-RCM(I))
        ELSE
        RROCM(I+5) = -ABS(RROCM(I+5)-RCM(I))
        END IF
        ELSE
        CONTINUE
        END IF
700    CONTINUE
        I = I-5
        AKOR = -(RCM(I)+2.)
        CALL PLOT(17.,AKOR,-3)
    ELSE
        Profile auf einer Ebene ueber dem Koerper

        YLA = 6.
        DO 750 I=3,NXT,5
            CALL NEWPEN(1)
            NWP = NP(I)
            NWP1= NWP+1
            NWP2= NWP+2
            IF(I.EQ.3) THEN
                CALL PLOT(XOCM(I),YLA,-3)
            ELSE
                CALL PLOT(XOCM(I),0.,-3)
            END IF
            IF(I.GT.3 .AND. XOCM(I).LE.XL) GOTO 749
            CALL SCALE(U(1,I),XL,NWP,1)
            CALL SCALE(ETA(1,I),ETAECM(I),NWP,1)
            CALL AXIS(0.0,0.0,' ',-1,XL,0.0,
1                U(NWP1,I),U(NWP2,I))
            CALL AXIS(0.0,0.0,' ',1,ETAECM(I),
1                90.,ETA(NWP1,I),ETA(NWP2,I))
            CALL NEWPEN(2)
            CALL LINE(U(1,I),ETA(1,I),NWP,1,0,0)
749    IF((NXT-5).GT.0) THEN
            XOCM(I+5) = XOCM(I+5)-XCM(I)
        END IF
750    CONTINUE
        CALL PLOT(17.,-8.,-3)
        END IF
        PRINT*,' '
        PRINT*,'Wollen Sie einzelne GS-Profile zeichnen?'
        PRINT*,'<JA/NE>'
        READ(*,1) JANE
        IF(JANE.EQ.'NE' .OR. JANE.EQ.'ne') THEN
            CALL PLOT(35.,0.,999)
            PRINT*,' '
            WRITE(*,3) NUM
            STOP
        ELSE
            CONTINUE
        END IF
    
```

C
C
C
C
C

```

PRINT*, '
PRINT*, 'Wollen Sie eine Auftragsung in physikalischen oder in'
PRINT*, 'dimensionslosen Koordinaten ?'
PRINT*, '1 = physikalische Koordinaten'
PRINT*, '2 = dimensionslose      -"-      '
READ*, KORKE
IF (KORKE.EQ.1) THEN
  DO 751 I=2,NXT
    DO 752 J=1,NP(I)
      ETA(J,I) = YKO(J,I)
752      CONTINUE
751    CONTINUE
  END IF
799  CONTINUE
PRINT*, '
PRINT*, 'Eingabe der x-Station des gewuenschten Profils:'
PRINT*, 'Es wird Jeweils das x-1.,x.,x+1. Profil gezeichnet,'
WRITE(*,6) NXT1
READ*, KK
KK = KK-1

C
CALL NEWPEN(1)
CALL PLOT(4.,0.,-3)

C
C
C
CALL PLOT(0.,21.,2)
CALL PLOT(29.7,21.,2)
CALL PLOT(29.7,0.,2)
CALL PLOT(0.,0.,2)

C
C
C
CALL SYMBOL(10.0,19.,.3,ZZTEXT,0.0,40)
CALL SYMBOL(20.0,10.0,.3,21HDIE X-STATIONEN SIND:,0.0,21)
CALL NUMBER(999.,999.,.3,REAL(KK),0.0,0)
KK1 = KK+1
CALL NUMBER(999.,999.,.3,REAL(KK1),0.0,0)
KK2 = KK+2
CALL NUMBER(999.,999.,.3,REAL(KK2),0.0,0)

C
CALL PLOT(6.,6.,-3)
A0 = 0.
B0 = 0.
A1 = 0.
B1 = 0.
IPEN = 1

C
DO 800 I=KK,KK+2,1
  JJ = I-KK+1
  NWP = NP(I)
  NWP1 = NWP+1
  NWP2 = NWP+2
  CALL SCALE(U(1,I),6.,NWP,1)
  CALL SCALE(ETA(1,I),12.,NWP,1)

```



```

      CALL AXIS(A0,B0,8HU IN ZUE,-8,6.,0.,U(NWP1,I),U(NWP2,I))
      IF(KORKE.EQ.1) THEN
        CALL AXIS(A1,B1,8HY IN CM,8,12.,90.,ETA(NWP1,I),ETA(NWP2,I))
      ELSE
        CALL AXIS(A1,B1,3HETA,3,12.,90.,ETA(NWP1,I),ETA(NWP2,I))
      END IF
      CALL LINE(U(1,I),ETA(1,I),NWP,1,0,0)
      CALL PLOT(2.,0.,-3)
      A0 = 0.
      B0 = B0-1.4
      A1 = A1-3.4
      B1 = 0.
      IFEN = IPEN+1
      CALL NEWPEN(IPEN)
800  CONTINUE
      PRINT*, ' '
      PRINT*, 'Wollen Sie weitere Profile zeichnen ?'
      PRINT*, ' <JA/NE> '
      READ(*,1) JANE
      IF(JANE.EQ.'JA' .OR. JANE.EQ.'Ja') THEN
        CALL PLOT(25.,-6.,-3)
        GOTO 799
      ELSE
        CONTINUE
      END IF
      PRINT*, ' '
      WRITE(*,3) NUM
      CALL PLOT(35.,0.,999)
1     FORMAT(A2)
2     FORMAT(10A4)
3     FORMAT(/X,'Zur Erinnerung: Ihre Aussabedatei ist: FOR0',I2)
4     FORMAT(2(1H1))
5     FORMAT(1X,A1,'1',3A1,'2',A1,'[2J')
6     FORMAT(3X,'geben Sie also bitte eine Zahl zwischen [2;',I2,'] an')
      END

C
C
C
C
C
C
      SUBROUTINE NUM1(X,Y,N,XX,YY,M)
      DIMENSION X(63),Y(63),Y2(63),F(63),G(63),
1         A(63),B(63),C(63),D(63),
2         XX(620),YY(620)
      NN = N
      Y2(1) = 1.
      Y2(N) = 1.
      CALL XXSPL(NN,X,Y,Y2,F,G,A,B,C,D)
      N1 = N-1
      M = 10
      M0 = M
      K = 1
      J = 1
      DO 200 I=1,N1
        DX = (X(I+1)-X(I))/REAL(M0)

```

```

        XX(J) = X(I)
        DO 300 J=K,M
            YY(J) = A(I)*(XX(J)-X(I))**3+B(I)*(XX(J)-
1            X(I))**2+C(I)*(XX(J)-X(I))+D(I)
            XX(J+1) = XX(J)+DX
300        CONTINUE
            K = J
            M = M + M0
200    CONTINUE
        YY(J) = Y(I)
        M = M-M0+1
        RETURN
        END
C
C
        SUBROUTINE XXSPL(N,X,Y,Y2,F,G,A,B,C,D)
        DIMENSION X(63),Y(63),Y2(63),F(63),G(63),A(63),B(63),
1        C(63),D(63)
C
C
        N1 = N-1
        G(1) = 0.
        F(1) = 0.
        U = Y2(1)
        V = Y2(N)
        F2 = 2.
        DO 20 K=1,N1
            J2 = K+1
            H2 = X(J2)-X(K)
            R2 = (Y(J2)-Y(K))/H2
            IF(K.EQ.1) THEN
                J1 = K
                H1 = H2
                R1 = R2
            ELSE
                F1 = 2.
                IF(K.EQ.2) F1 = 2.+U
                IF(K.EQ.N1) F2 = 2.+V
                Z = 1./((F1-G(J1))*H1+F2*H2)
                G(K) = Z*H2
                F(K) = Z*(6.*(R2-R1)-H1*F(J1))
            END IF
            J1 = K
            H1 = H2
            R1 = R2
20        CONTINUE
        Y2(N1) = F(N1)
        IF(N1.LE.2) GOTO 4
        N2 = N1-1
        DO 30 J1=2,N2
            K = N-J1
            Y2(K)=F(K)-G(K)*Y2(K+1)
30        CONTINUE
        Y2(1) = U*Y2(2)
        Y2(N) = V*Y2(N1)
4

```

```
DO 40 K=1,N1
    H2    = X(K+1)-X(K)
    R2    = (Y(K+1)-Y(K))/H2
    A(K)  = (Y2(K+1)-Y2(K))/(6.*H2)
    B(K)  = 0.5*Y2(K)
    C(K)  = R2-H2/6.*(Y2(K+1)+2*Y2(K))
    D(K)  = Y(K)
40  CONTINUE
    RETURN
    END
```

VI

Berechnungsbeispiele - Ausgabelisten

1.Version: 109 Eta Punkte an der 1. x-Stelle

NX = 2 S = 0.040 X-Sehne = 0.040

Re(x) = 0.875497E+05 Ue(x) = 33.0500

V-WAND = 0.331830E+00 DELTA V = 0.217247E-02

V-WAND = 0.334003E+00 DELTA V = -0.208627E-05

J	ETA	Y	F	U	V
1	0.000	0.00000000	0.000000E+00	0.000000E+00	0.334001E+00
5	0.009	0.00000012	0.124094E-04	0.287912E-02	0.333988E+00
9	0.019	0.00000026	0.609103E-04	0.637856E-02	0.333974E+00
13	0.032	0.00000043	0.169234E-03	0.106319E-01	0.333955E+00
17	0.047	0.00000064	0.373839E-03	0.158016E-01	0.333933E+00
21	0.066	0.00000089	0.730295E-03	0.220850E-01	0.333905E+00
25	0.089	0.00000120	0.132276E-02	0.297216E-01	0.333869E+00
29	0.117	0.00000158	0.227807E-02	0.390029E-01	0.333821E+00
33	0.151	0.00000204	0.378666E-02	0.502825E-01	0.333757E+00
37	0.192	0.00000259	0.613354E-02	0.639897E-01	0.333666E+00
41	0.242	0.00000327	0.974415E-02	0.806454E-01	0.333531E+00
45	0.302	0.00000409	0.152523E-01	0.100880E+00	0.333322E+00
49	0.376	0.00000508	0.236002E-01	0.125456E+00	0.332985E+00
53	0.466	0.00000630	0.361864E-01	0.155288E+00	0.332422E+00
57	0.575	0.00000777	0.550826E-01	0.191467E+00	0.331461E+00
61	0.707	0.00000956	0.833500E-01	0.235271E+00	0.329789E+00
65	0.868	0.00001174	0.125496E+00	0.288151E+00	0.326856E+00
69	1.064	0.00001438	0.188122E+00	0.351646E+00	0.321696E+00
73	1.302	0.00001760	0.280801E+00	0.427164E+00	0.312671E+00
77	1.591	0.00002151	0.417188E+00	0.515449E+00	0.297139E+00
81	1.942	0.00002626	0.616201E+00	0.615548E+00	0.271261E+00
85	2.370	0.00003203	0.902726E+00	0.723054E+00	0.230646E+00
89	2.889	0.00003906	0.130670E+01	0.828109E+00	0.173229E+00
93	3.520	0.00004759	0.185912E+01	0.915506E+00	0.105232E+00
97	4.287	0.00005796	0.258569E+01	0.971243E+00	0.448889E-01
101	5.220	0.00007057	0.350462E+01	0.994527E+00	0.107780E-01
105	6.354	0.00008589	0.463580E+01	0.999594E+00	0.102320E-02
109	7.731	0.00010452	0.601351E+01	0.100000E+01	0.203100E-04
109	7.731	0.00010452	0.601351E+01	0.100000E+01	0.203100E-04

EnTh	Theta	Delta*	H	Cf
0.141183E-03	0.897579E-04	0.232243E-03	0.258744E+01	0.225762E-02

REnTh	RTheta	RDelta*	d99	P2
0.309013E+03	0.196457E+03	0.508321E+03	0.639567E-03	0.140922E-02

```

-----
NX      =      7              S      =      0.487      X-Sehne =      0.487
Re(x) =      0.106430E+07      Ue(x) =      33.0000
GG =      0.313800E+05      UEINTG =      0.135746E-01      EXPTM =      0.190409E+03
V-WAND =      0.157778E+01      DELTA V =      0.178961E+00
V-WAND =      0.175674E+01      DELTA V =      -0.681093E-03
Transf.GS-Dicke =      1      Punkt(e) hinzusefuest
V-WAND =      0.175606E+01      DELTA V =      -0.358483E-05
Transf.GS-Dicke =      1      Punkt(e) hinzusefuest
V-WAND =      0.175605E+01      DELTA V =      -0.170793E-05

  J   ETA      Y      F      U      V      B
  1  0.000  0.0000000  0.000000E+00  0.000000E+00  0.175605E+01  0.100000E+01
  5  0.009  0.0000041  0.652430E-04  0.151369E-01  0.175589E+01  0.100000E+01
  9  0.019  0.0000090  0.320230E-03  0.335337E-01  0.175557E+01  0.100008E+01
 13  0.032  0.0000150  0.889674E-03  0.558866E-01  0.175441E+01  0.100061E+01
 17  0.047  0.0000223  0.196493E-02  0.830182E-01  0.175011E+01  0.100291E+01
 21  0.066  0.0000312  0.383623E-02  0.115837E+00  0.173622E+01  0.101073E+01
 25  0.089  0.0000420  0.693691E-02  0.155157E+00  0.169752E+01  0.103349E+01
 29  0.117  0.0000551  0.118959E-01  0.201195E+00  0.160634E+01  0.109177E+01
 33  0.151  0.0000711  0.195806E-01  0.252710E+00  0.143407E+01  0.122229E+01
 37  0.192  0.0000905  0.310992E-01  0.306555E+00  0.118664E+01  0.147591E+01
 41  0.242  0.0001140  0.477607E-01  0.358740E+00  0.912412E+00  0.191632E+01
 45  0.302  0.0001427  0.710397E-01  0.406089E+00  0.662763E+00  0.262864E+01
 49  0.376  0.0001775  0.102596E+00  0.447316E+00  0.471285E+00  0.366913E+01
 53  0.466  0.0002198  0.144394E+00  0.483250E+00  0.342935E+00  0.497880E+01
 57  0.575  0.0002713  0.198903E+00  0.515632E+00  0.258961E+00  0.648489E+01
 61  0.707  0.0003338  0.269279E+00  0.545655E+00  0.198703E+00  0.832184E+01
 65  0.868  0.0004098  0.359485E+00  0.573598E+00  0.151526E+00  0.108286E+02

```

69	1.064	0.0005022	0.474384E+00	0.599402E+00	0.114862E+00	0.143383E+00
73	1.302	0.0006145	0.619934E+00	0.623219E+00	0.874563E-01	0.190607E+00
77	1.591	0.0007510	0.803481E+00	0.645510E+00	0.728969E-01	0.230728E+00
81	1.942	0.0009170	0.103478E+01	0.669638E+00	0.586484E-01	0.286248E+00
85	2.370	0.0011186	0.132597E+01	0.692665E+00	0.455160E-01	0.364665E+00
89	2.889	0.0013638	0.169106E+01	0.712699E+00	0.362748E-01	0.448220E+00
93	3.520	0.0016617	0.214807E+01	0.735224E+00	0.350801E-01	0.448220E+00
97	4.287	0.0020239	0.272235E+01	0.761594E+00	0.336859E-01	0.448220E+00
101	5.220	0.0024642	0.344702E+01	0.792291E+00	0.321484E-01	0.448220E+00
105	6.354	0.0029993	0.436534E+01	0.827556E+00	0.299755E-01	0.448220E+00
109	7.731	0.0036497	0.553296E+01	0.866512E+00	0.264223E-01	0.448220E+00
113	9.406	0.0044403	0.701881E+01	0.906501E+00	0.212598E-01	0.448220E+00
117	11.442	0.0054013	0.890372E+01	0.943358E+00	0.150659E-01	0.448220E+00
121	13.916	0.0065694	0.112768E+02	0.972318E+00	0.869898E-02	0.448220E+00
125	16.924	0.0079892	0.142318E+02	0.990330E+00	0.380578E-02	0.448220E+00
129	20.580	0.0097150	0.178698E+02	0.998204E+00	0.909140E-03	0.448220E+00
131	22.694	0.0107127	0.199815E+02	0.100000E+01	0.661461E-03	0.448220E+00

EnTh	Theta	Delta*	H	Cf
0.157630E-02	0.897128E-03	0.128023E-02	0.142703E+01	0.340435E-02

REnTh	RTheta	RDelta*	d99	P2
0.344489E+04	0.196061E+04	0.279784E+04	0.760783E-02	0.177092E-01

2. Version : 37 Eta Punkte an der 1. x-Stelle

NX	=	2	S	=	0.040	X-Sehne =	0.040
----	---	---	---	---	-------	-----------	-------

Re(x) =	0.875497E+05	Ue(x) =	33.0500
---------	--------------	---------	---------

V-WAND =	0.330374E+00	DELTA V =	0.217649E-02
V-WAND =	0.332550E+00	DELTA V =	-0.209454E-05

J	ETA	Y	F	U	V
1	0.000	0.0000000	0.000000E+00	0.000000E+00	0.332548E+00
5	0.049	0.0000067	0.402648E-03	0.163635E-01	0.332478E+00
9	0.132	0.0000179	0.291099E-02	0.439923E-01	0.332341E+00
13	0.273	0.0000369	0.123602E-01	0.906232E-01	0.331979E+00
17	0.510	0.0000689	0.431671E-01	0.169196E+00	0.330627E+00
21	0.910	0.0001231	0.137298E+00	0.300553E+00	0.324493E+00
25	1.587	0.0002145	0.413024E+00	0.511836E+00	0.296214E+00
29	2.729	0.0003689	0.117046E+01	0.795527E+00	0.191304E+00
33	4.658	0.0006297	0.293499E+01	0.983537E+00	0.271340E-01
37	7.917	0.0010702	0.618422E+01	0.100000E+01	-0.514008E-05
37	7.917	0.0010702	0.618422E+01	0.100000E+01	-0.514008E-05

EnTh	Theta	Delta*	H	Cf
0.142521E-03	0.905956E-04	0.234211E-03	0.258523E+01	0.224780E-02

REnTh	RTheta	RDelta*	d99	P2
0.311941E+03	0.198290E+03	0.512627E+03	0.629725E-03	0.140922E-02

NX	=	7	S	=	0.487	X-Sehne =	0.487
----	---	---	---	---	-------	-----------	-------

Re(x) =	0.106430E+07	Ue(x) =	33.0000
---------	--------------	---------	---------

GG = 0.313800E+05 UEINTG = 0.135746E-01 EXPTM = 0.190409E+03

V-WAND = 0.157366E+01 DELTA V = 0.177865E+00
V-WAND = 0.175152E+01 DELTA V = -0.669788E-03

Transf.GS-Dicke = 1 Punkt(e) hinzusefuest

V-WAND = 0.175085E+01 DELTA V = -0.818114E-05

J	ETA	Y	F	U	V	B
1	0.000	0.0000000	0.000000E+00	0.000000E+00	0.175084E+01	0.100000E+01
5	0.049	0.0000232	0.211902E-02	0.860734E-01	0.174407E+01	0.100337E+01
9	0.132	0.0000625	0.151502E-01	0.224768E+00	0.153038E+01	0.114230E+01
13	0.273	0.0001287	0.590695E-01	0.384010E+00	0.772155E+00	0.225423E+01
17	0.510	0.0002407	0.165527E+00	0.497309E+00	0.302727E+00	0.558677E+01
21	0.910	0.0004297	0.383149E+00	0.579912E+00	0.141865E+00	0.115273E+02
25	1.587	0.0007490	0.800112E+00	0.645811E+00	0.718837E-01	0.233294E+02
29	2.729	0.0012882	0.157694E+01	0.707437E+00	0.363263E-01	0.449629E+02
33	4.658	0.0021989	0.300716E+01	0.774141E+00	0.328706E-01	0.449629E+02
37	7.917	0.0037372	0.569329E+01	0.870980E+00	0.258048E-01	0.449629E+02
41	13.420	0.0063351	0.107903E+02	0.967421E+00	0.984828E-02	0.449629E+02
45	22.715	0.0107230	0.199955E+02	0.100000E+01	0.511925E-03	0.449629E+02
45	22.715	0.0107230	0.199955E+02	0.100000E+01	0.511925E-03	0.449629E+02

EnTh	Theta	Delta*	H	Cf
0.158098E-02	0.899742E-03	0.128398E-02	0.142705E+01	0.339425E-02

REnth	RTheta	RDelta*	d99	P2
0.345513E+04	0.196632E+04	0.280604E+04	0.722678E-02	0.177092E-01

Tabelle 7.1. Die Funktion $f(\eta)$ der Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte, nach L. HOWARTH [11]

$\eta = y \sqrt{\frac{U_\infty}{\nu x}}$	f	$f' = \frac{u}{U_\infty}$	f''
0	0	0	0.33206
0.2	0.00664	0.06641	0.33199
0.4	0.02656	0.13277	0.33147
0.6	0.05974	0.19894	0.33008
0.8	0.10611	0.26471	0.32739
1.0	0.16557	0.32979	0.32301
1.2	0.23795	0.39378	0.31659
1.4	0.32298	0.45627	0.30787
1.6	0.42032	0.51676	0.29667
1.8	0.52952	0.57477	0.28293
2.0	0.65003	0.62977	0.26675
2.2	0.78120	0.68132	0.24835
2.4	0.92230	0.72899	0.22809
2.6	1.07252	0.77246	0.20646
2.8	1.23099	0.81152	0.18401
3.0	1.39682	0.84605	0.16136
3.2	1.56911	0.87609	0.13913
3.4	1.74696	0.90177	0.11788
3.6	1.92954	0.92333	0.09809
3.8	2.11605	0.94112	0.08013
4.0	2.30576	0.95552	0.06424
4.2	2.49806	0.96696	0.05052
4.4	2.69238	0.97587	0.03897
4.6	2.88826	0.98269	0.02948
4.8	3.08534	0.98779	0.02187
5.0	3.28329	0.99155	0.01591
5.2	3.48189	0.99425	0.01134
5.4	3.68094	0.99616	0.00793
5.6	3.88031	0.99748	0.00543
5.8	4.07990	0.99838	0.00365
6.0	4.27964	0.99898	0.00240
6.2	4.47948	0.99937	0.00155
6.4	4.67938	0.99961	0.00098
6.6	4.87931	0.99977	0.00061
6.8	5.07928	0.99987	0.00037
7.0	5.27926	0.99992	0.00022
7.2	5.47925	0.99996	0.00013
7.4	5.67924	0.99998	0.00007
7.6	5.87924	0.99999	0.00004
7.8	6.07923	1.00000	0.00002
8.0	6.27923	1.00000	0.00001
8.2	6.47923	1.00000	0.00001
8.4	6.67923	1.00000	0.00000
8.6	6.87923	1.00000	0.00000

J	ETA	Y	F	U	V
1	0.000	0.00000000	0.000000E+00	0.000000E+00	0.332020E+00
5	0.600	0.00000000	0.597165E-01	0.198878E+00	0.329981E+00
9	1.200	0.00000000	0.237835E+00	0.393593E+00	0.316455E+00
13	1.800	0.00000000	0.529187E+00	0.574428E+00	0.282823E+00
17	2.400	0.00000000	0.921625E+00	0.728558E+00	0.228084E+00
21	3.000	0.00000000	0.139576E+01	0.845637E+00	0.161467E+00
25	3.600	0.00000000	0.192815E+01	0.923038E+00	0.982374E-01
29	4.200	0.00000000	0.249644E+01	0.966806E+00	0.506297E-01
33	4.800	0.00000000	0.308361E+01	0.987738E+00	0.219122E-01
37	5.400	0.00000000	0.367917E+01	0.996150E+00	0.792549E-02
41	6.000	0.00000000	0.427786E+01	0.998980E+00	0.238920E-02
45	6.600	0.00000000	0.487754E+01	0.999775E+00	0.599198E-03
49	7.200	0.00000000	0.547747E+01	0.999961E+00	0.124815E-03
53	7.800	0.00000000	0.607746E+01	0.999997E+00	0.215572E-04
54	7.950	0.00000000	0.622746E+01	0.100000E+01	0.134931E-04

VII

1) Beispiel fuer eine moesliche Kommando-prozedur :

```
$ASS GEDING.DAT FOR008
$ASS EINGABE.DAT FOR005
$ASS AUSGABE.DAT FOR006
$ASS PLOTAUS.DAT FOR007
$ASS/USER_MODE SYS$COMMAND SYS$INPUT
$R GSDG
$R GS2D
$ASS/USER_MODE SYS$COMMAND SYS$INPUT
$R GSPL0T
```

Beispiel fuer die Benutzung der ansehebenen Kommando-prozedur:

Aufruf:

@RGS

Das Programm meldet sich mit:

Wollen Sie eine Eingabedatei interaktiv erstellen ?

<JA/NE>

JA

Eingabe der Anzahl der Wertepaare:

7

Geben Sie x als Bogenlaenge ein ? <JA/NE>

NE

Im folgenden muessen Wertetripel X,UE,R0 eingegeben werden,
entweder absolut oder bezogen auf die Koerperlaenge (X,R0)
und auf die Anstroemsgeschwindigkeit.

Haben Sie fuer die Wertetripel eine Eingabedatei ?

[FOR008] ! <JA/NE>

NE

X(1) , UE(1) und R0(1) eingeben:

0.,1.,0.

X(2) , UE(2) und R0(2) eingeben:

.1.,.9875,0.

X(3) , UE(3) und R0(3) eingeben:

.2.,.975,0.

X(4) , UE(4) und R0(4) eingeben:

.3.,.9625,0.

X(5) , UE(5) und R0(5) eingeben:

.4.,.95,0.

X(6) , UE(6) und R0(6) eingeben:
.5,.935,0.
X(7) , UE(7) und R0(7) eingeben:
.55,.93125,0.

Eingabe der Koerperlaense:
.55

Sind die Eingabedaten auf L und Uo bezogen?
<JA/NE>
NE

Soll der Druckgradientparameter berechnet werden?
Geben Sie : 1 fuer berechnen
 2 fuer Eingabe
1

Sollen Werte interpoliert werden ? <JA/NE>
JA

Wollen Sie eine bestimmte Anzahl von Werten
interpolieren ? <JA/NE>
Bei NE wird Jeweils ein Zwischenpunkt interpoliert
NE

Geben Sie die von Karmansche Variable KAPPA ein.
Bei KAPPA < 0.39 oder > 0.41 wird 0.4 gesetzt
.395

Es sind Jetzt Werte fuer 13 Stationen vorhanden.

Wo soll der Umschlagspunkt liegen ? [x-Station im
interpolierten System]
99

Geben Sie Jetzt die Netzparameter VGP und DELTA(1) ein
1.0,0.2

Geben Sie die kinematische Zaehigkeit ein
1.5E-06

Quellen und Senken koennen versehn',
aber die Grenzschichten bleiben bestehn'.

FORTRAN STOP

Bitte geben Sie die logische Nummer Ihrer
Plotaussabedatei ein. <10:99>
11

Sollen integrale Werte und Profile gezeichnet werden?
<JA/NE> Bei NEIN werden nur integrale Werte ge-
 plottet.
JA

Ueberschrift eingeben
CEBECI FLOW 2

Wollen Sie die GS-Profile auf der Koerperoberflaeche
zeichnen ? <JA/NE>
NE

Wollen Sie einzelne GS-Profile zeichnen?
<JA/NE>
JA

Wollen Sie eine Auftrassung in physikalischen oder in
dimensionslosen Koordinaten ?
1 = physikalische Koordinaten
2 = dimensionslose -"-
1

Eingabe der x-Station des gewuenschten Profils:
(Es wird jeweils das x-1,,x,,x+1. Profil gezeichnet,
geben Sie also bitte eine Zahl zwischen [2;12] an
4

Wollen Sie weitere Profile zeichnen ?
<JA/NE>
NE

Zur Erinnerung: Ihre Ausssbedatei ist: FOR011
FORTRAN STOP
\$

2) Beispiele fuer Einsabedateien fuer GS2D :

CEBECI FLOW 1

25,9,1,.025,1.14,1.5E-05

0.39

0

0.00001	0.00001	1.	0.00001
.005	12.	0.	.007576
.0125	15.075	0.	.01894
.025	16.71	0.	.02615
.05	17.61	0.	.03555
.075	17.16	0.	.042
.1	17.82	0.	.04683
.15	17.82	0.	.05345
.2	17.75	0.	.05737
.25	17.61	0.	.05941
.30	17.43	0.	.06002
.35	17.235	0.	.05903
.4	17.025	0.	.05803
.45	16.83	0.	.05549
.5	16.63	0.	.05294

.55	16.41	0.	.04929
.6	16.2	0.	.04563
.65	16.005	0.	.04114
.7	15.795	0.	.03664
.75	15.57	0.	.03144
.8	15.33	0.	.02623
.85	15.0	0.	.02036
.9	14.67	0.	.01448
.95	14.28	0.	.00807
1.	13.725	0.	.00126
1.			

CEBECI FLOW 2

12,99,2,0.2,1.0,1.5E-06

.4			
0			
0.	1.	0.	0.
.05	.99375	-0.006289	0.
.1	.9875	-0.012658	0.
.15	.98125	-0.019108	0.
.2	.975	-0.025641	0.
.25	.96875	-0.032258	0.
.3	.9625	-0.038961	0.
.35	.95625	-0.045752	0.
.4	.95	-0.052632	0.
.45	.94375	-0.059603	0.
.5	.9375	-0.066667	0.
.55	.93125	-0.073826	0.
.55			

PLATTE LAMINAR

6 10 2 .15 1. .000015

0.4			
0			
0.	1.5	0.	0.
0.2	1.5	0.	0.
0.4	1.5	0.	0.
0.6	1.5	0.	0.
0.8	1.5	0.	0.
1.	1.5	0.	0.
1.			

PLATTE WIEGHARDT, TURBULENT 109 PKTE. AN DER ERSTEN X-STATION

25 3 1 .002 1.05 .0000151

0.4

0

.0	33.	0.	0.
.04	33.05	0.	0.
.087	33.1	0.	0.
.187	32.8	0.	0.
.287	33.	0.	0.
.387	32.8	0.	0.
.487	33.	0.	0.
.637	33.	0.	0.
.787	33.	0.	0.
.937	32.9	0.	0.
1.087	33.	0.	0.
1.237	33.	0.	0.
1.437	32.9	0.	0.
1.687	32.9	0.	0.
1.987	33.	0.	0.
2.287	33.	0.	0.
2.587	32.9	0.	0.
2.887	33.	0.	0.
3.187	33.	0.	0.
3.487	33.	0.	0.
3.787	33.	0.	0.
4.087	33.	0.	0.
4.387	33.	0.	0.
4.687	33.1	0.	0.
4.987	33.	0.	0.

5.

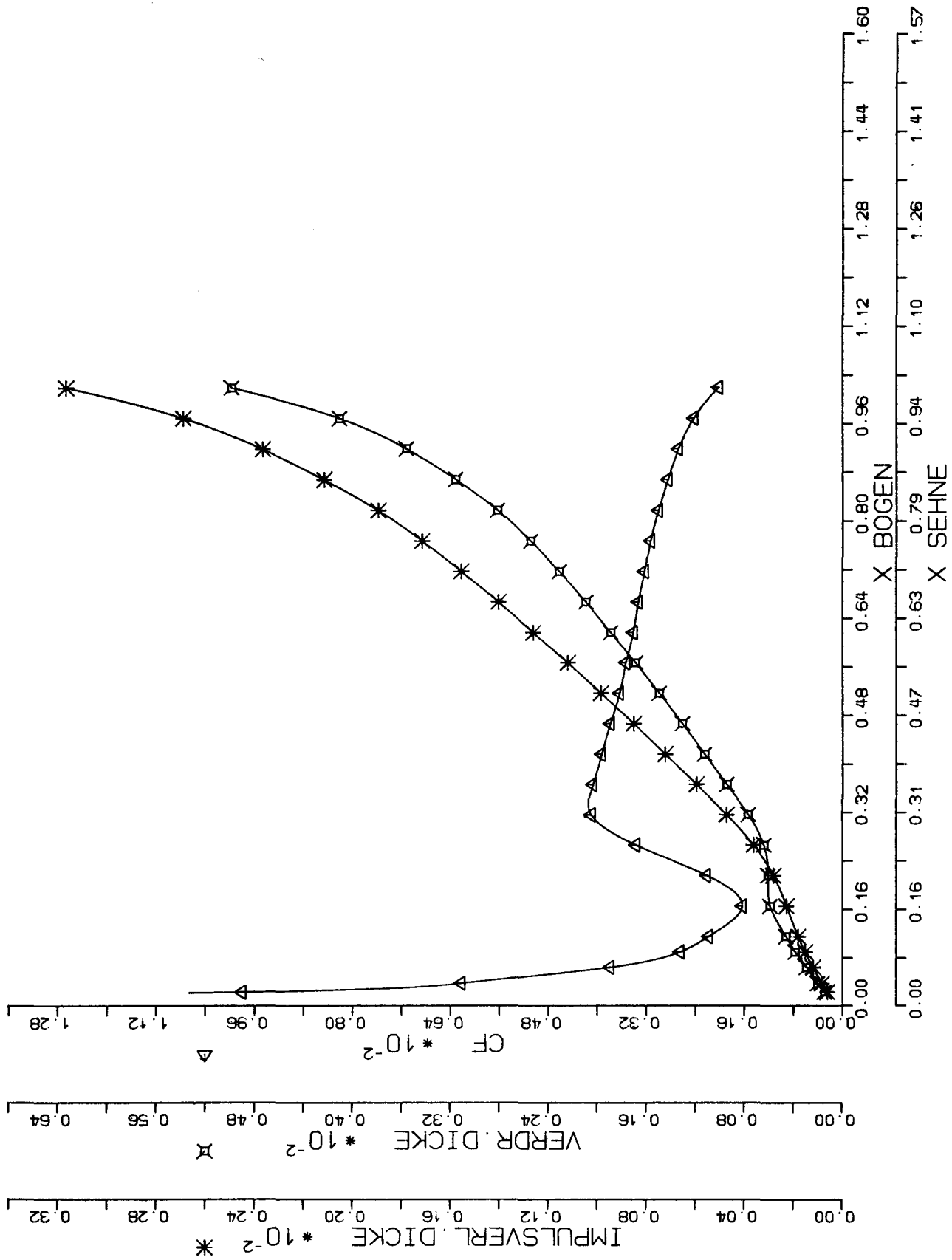
Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grenzschicht-
dicken fuer Schubauer-Spandenberg Flow B (Beisp. 2.6)

x-Stat.	x[m]	d99(gem.[cm])	d99(ber.[cm])
5	.508	3.055	.6641
7	1.016	4.171	1.6435
11	1.524	5.997	2.7559
15	2.032	8.269	4.3851
19	2.54	11.386	6.7307
23	3.068	16.597	8.8521

VIII

Graphische Darstellung der Berechnungs-
ergebnisse

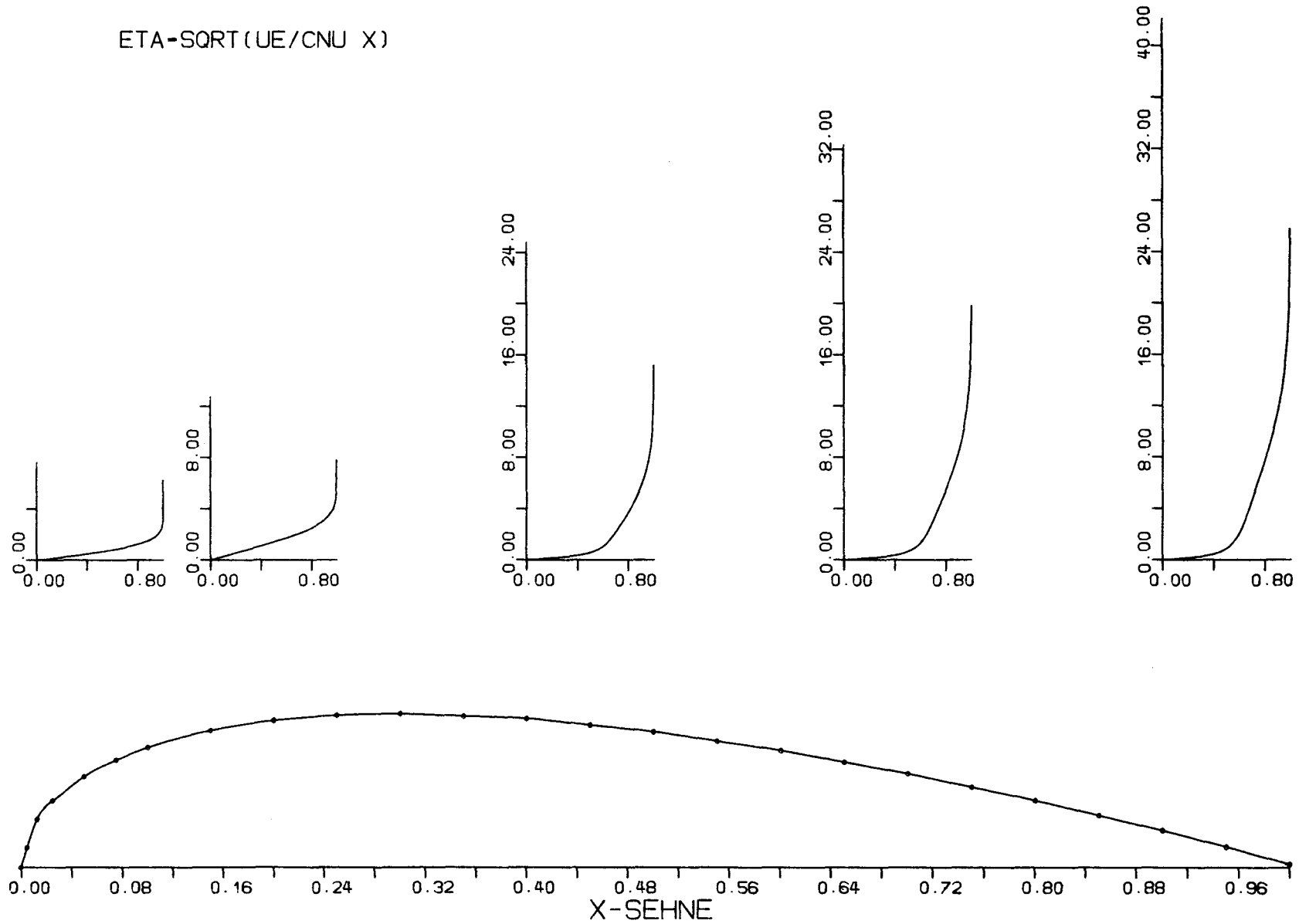
CEBECI FLOW 1 (NACA 0012)



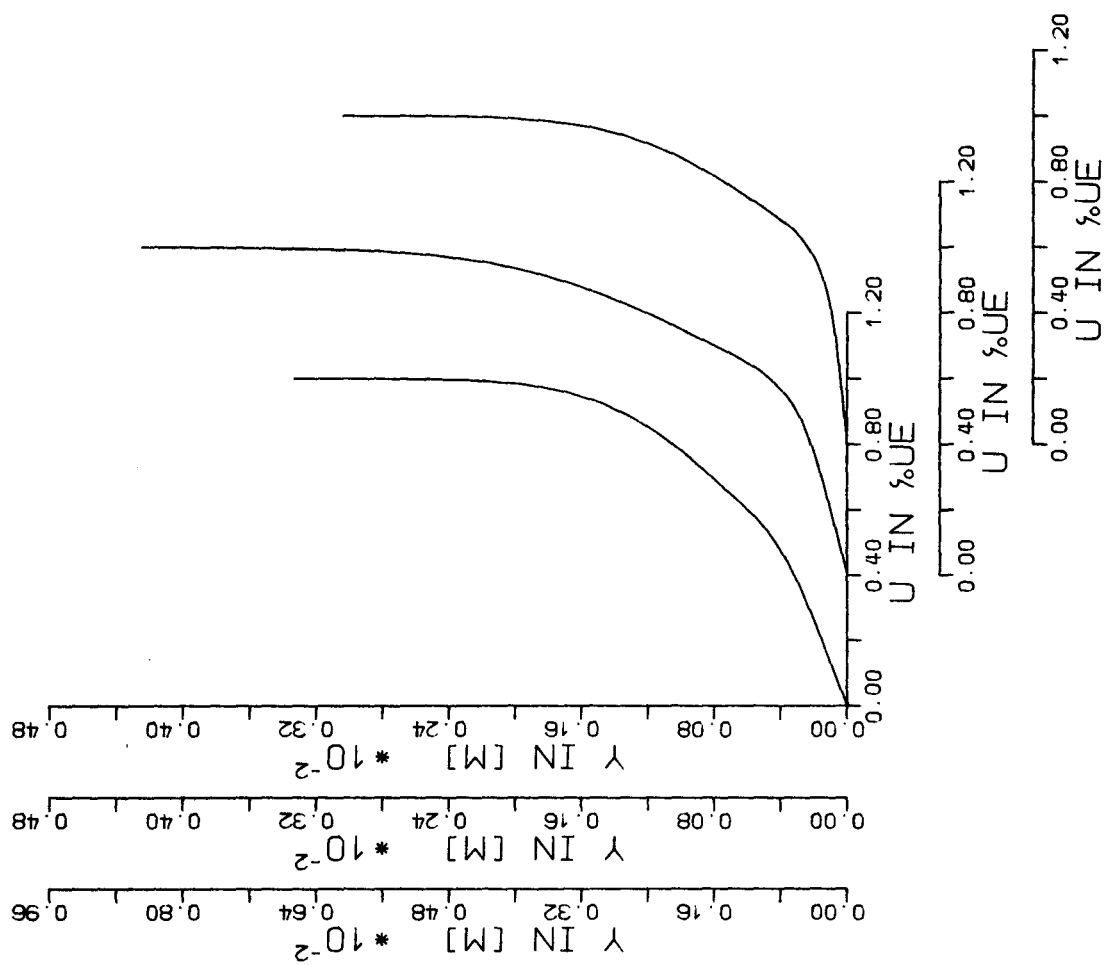
CEBECI FLOW 1 (NACA 0012)

U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

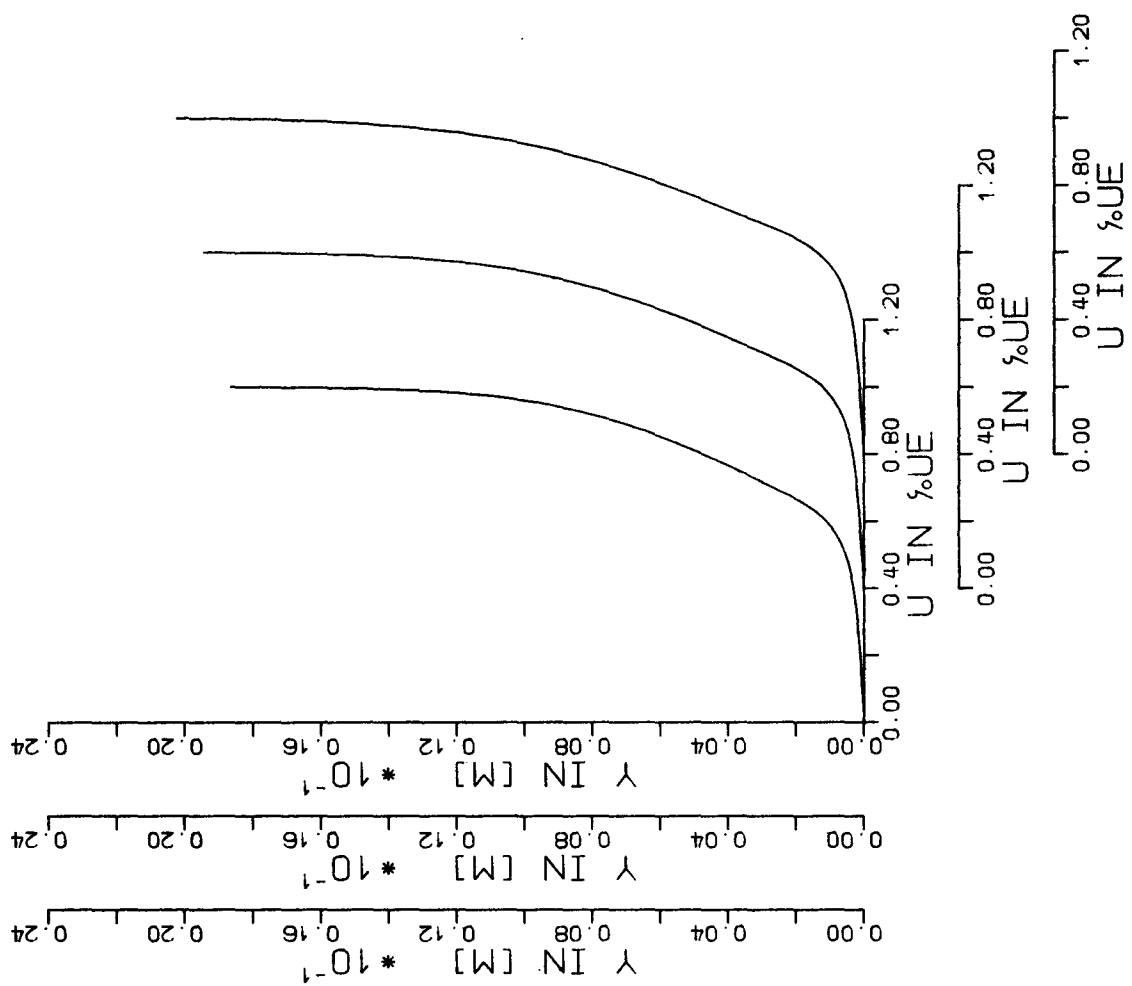


CEBECI FLOW 1 (NACA 0012)



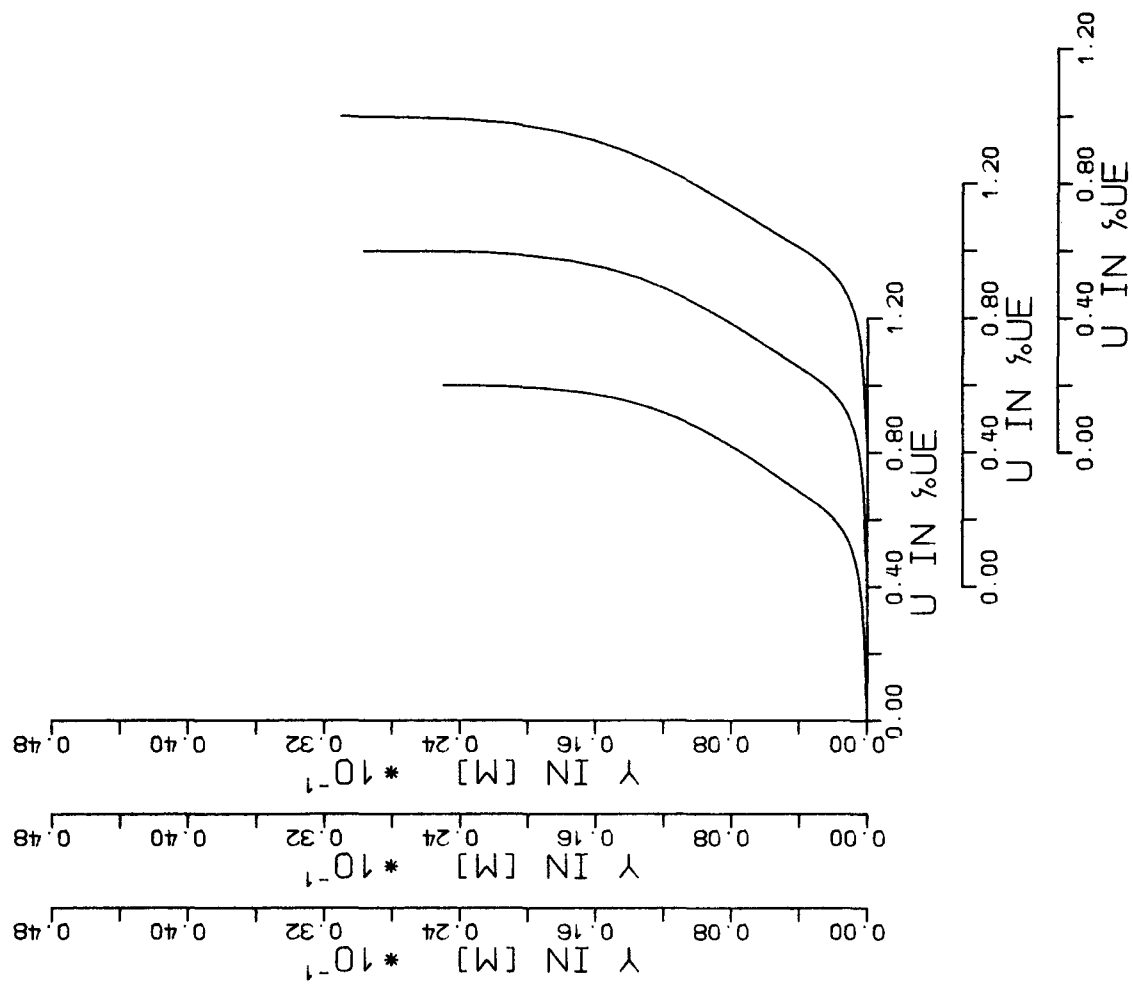
DIE X-STATIONEN SIND: 9. 10. 11.

CEBECI FLOW 1 (NACA 0012)

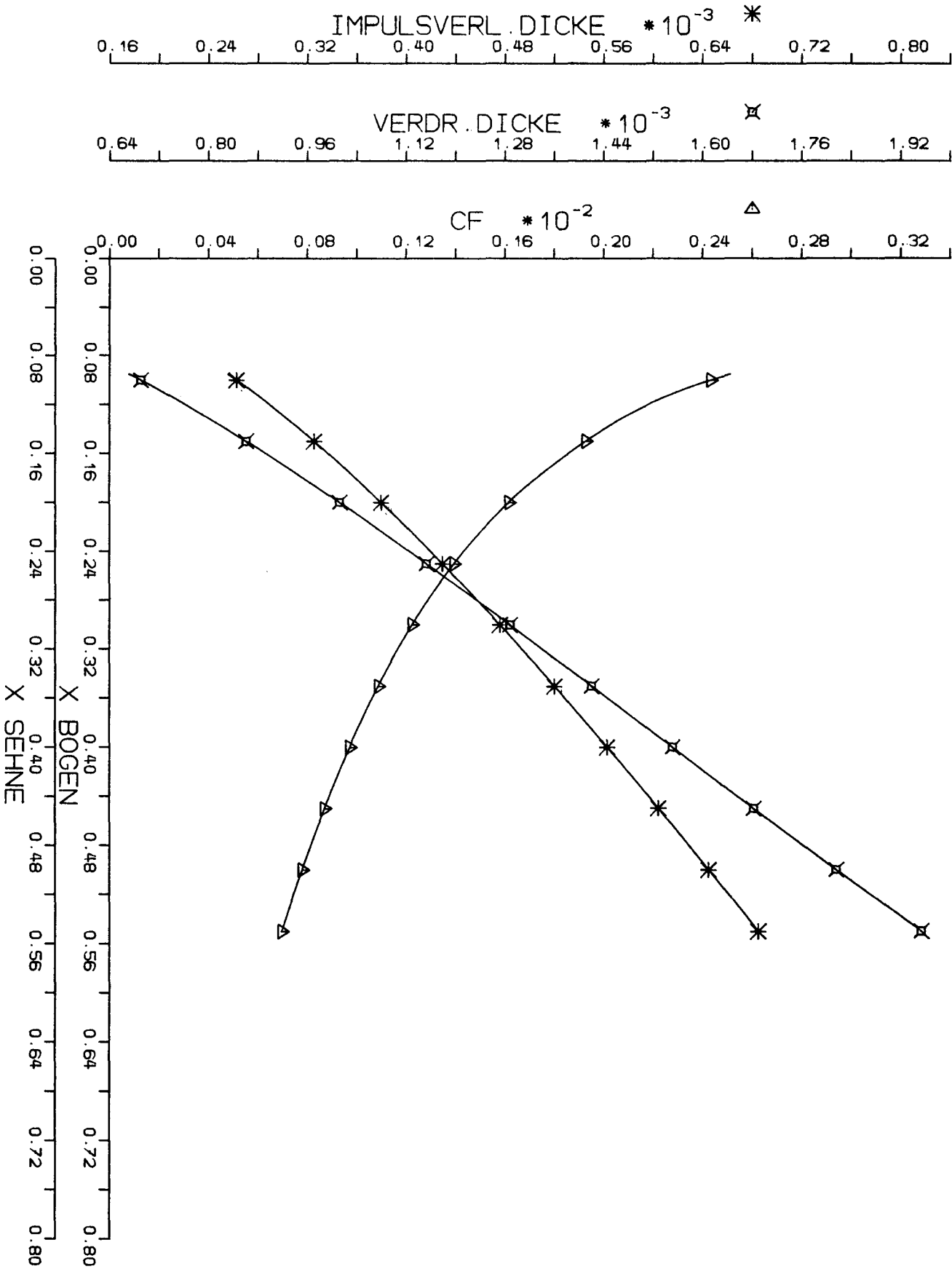


DIE X-STATIONEN SIND: 19.20.21.

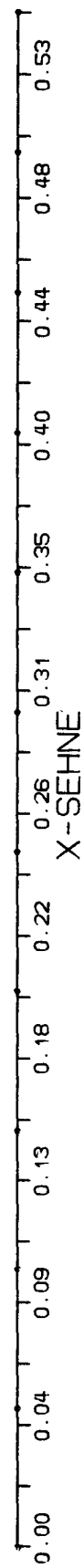
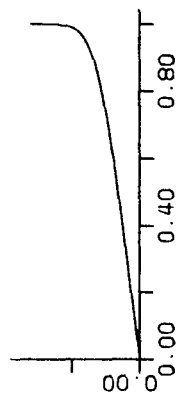
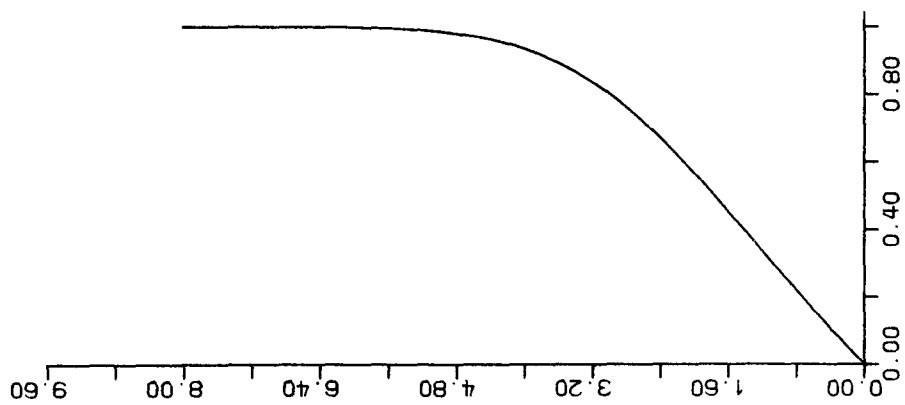
CEBECI FLOW 1 (NACA 0012)



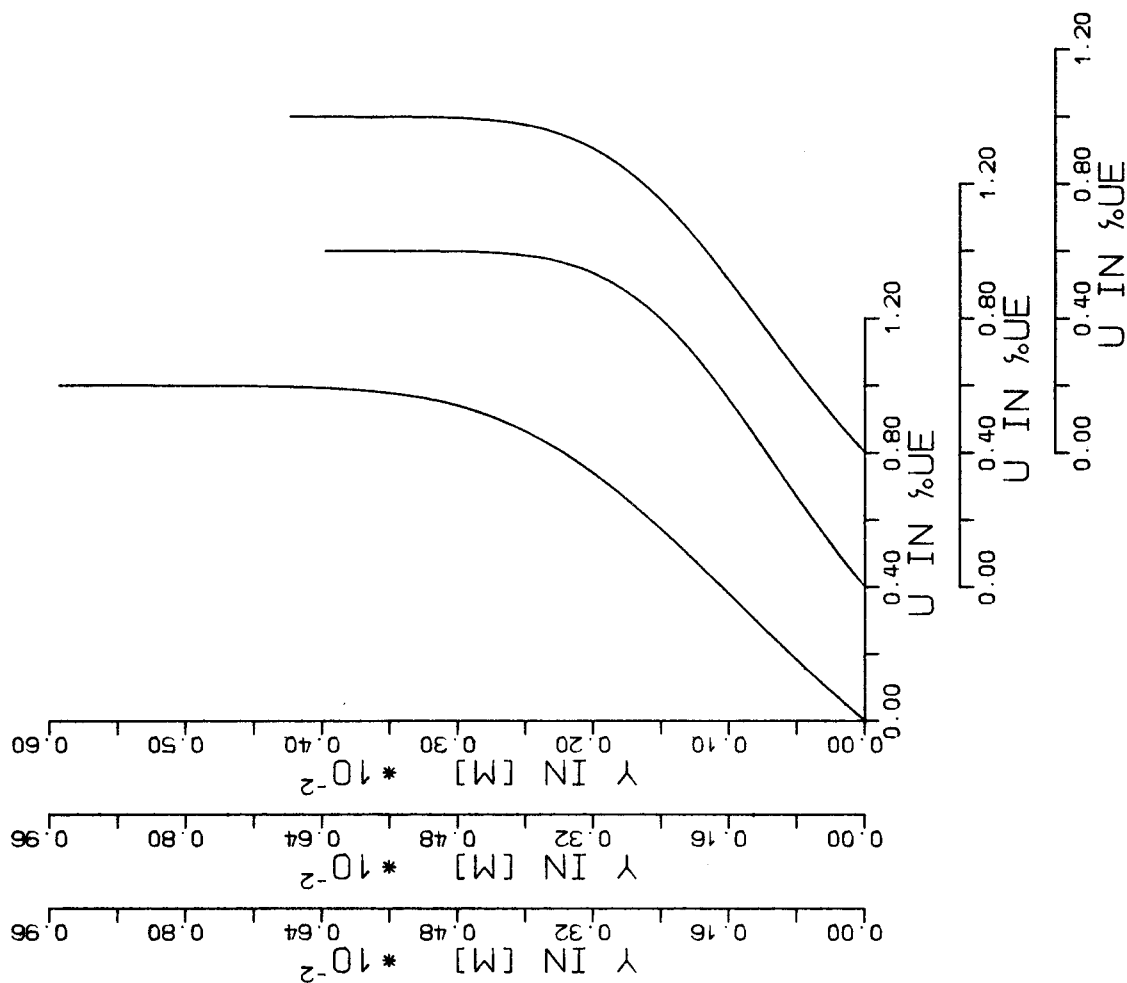
DIE X-STATIONEN SIND: 23. 24. 25.



CEBECI FLOW 2
 U IN %UE
 ETA-SQRT(UE/CNU X)

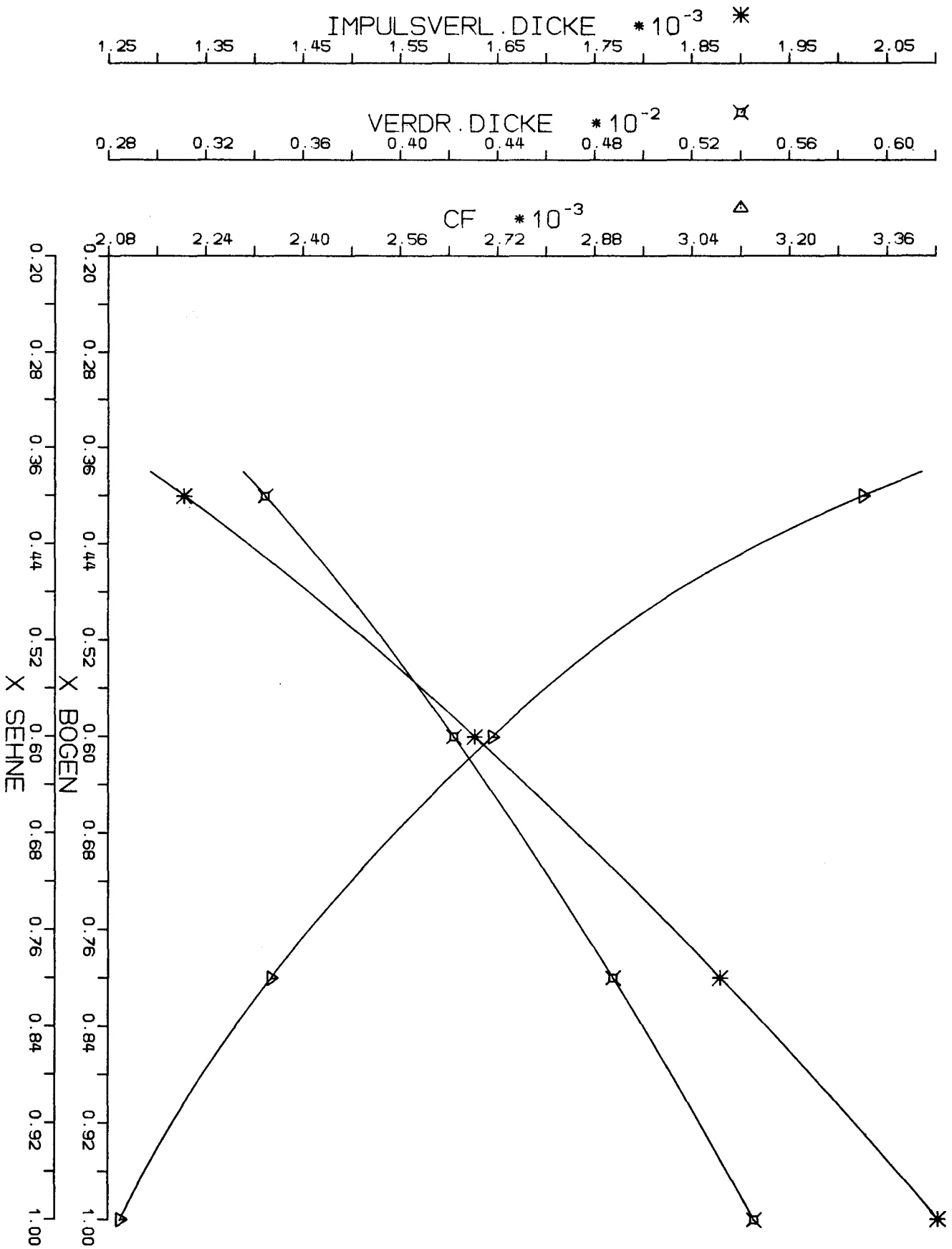


CEBECI FLOW 2



DIE X-STATIONEN SIND: 8.9.10.

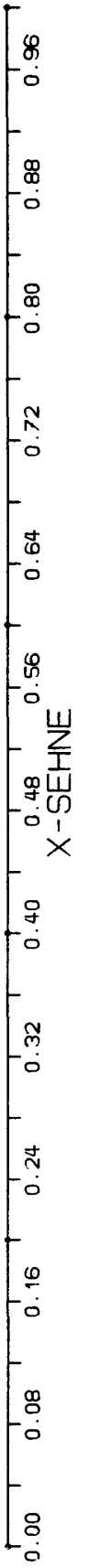
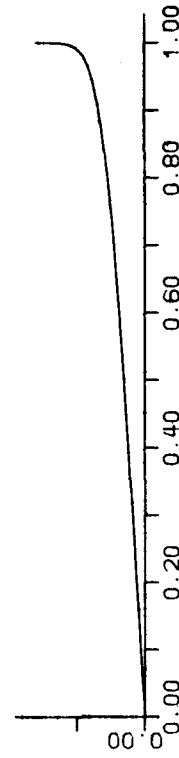
PLATTE LAMINAR



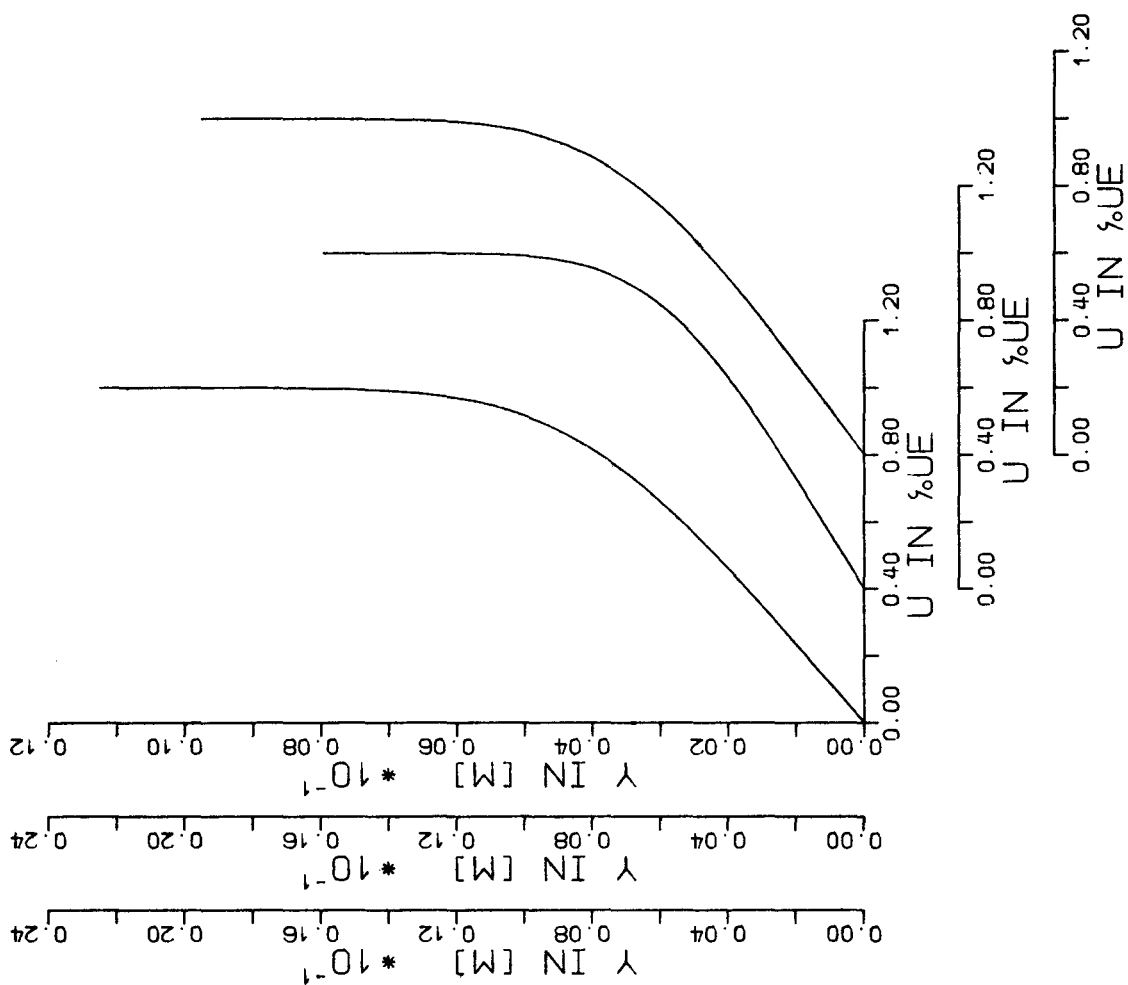
PLATTE LAMINAR

U IN %UE

ETA-SORT(UE/CNU X)

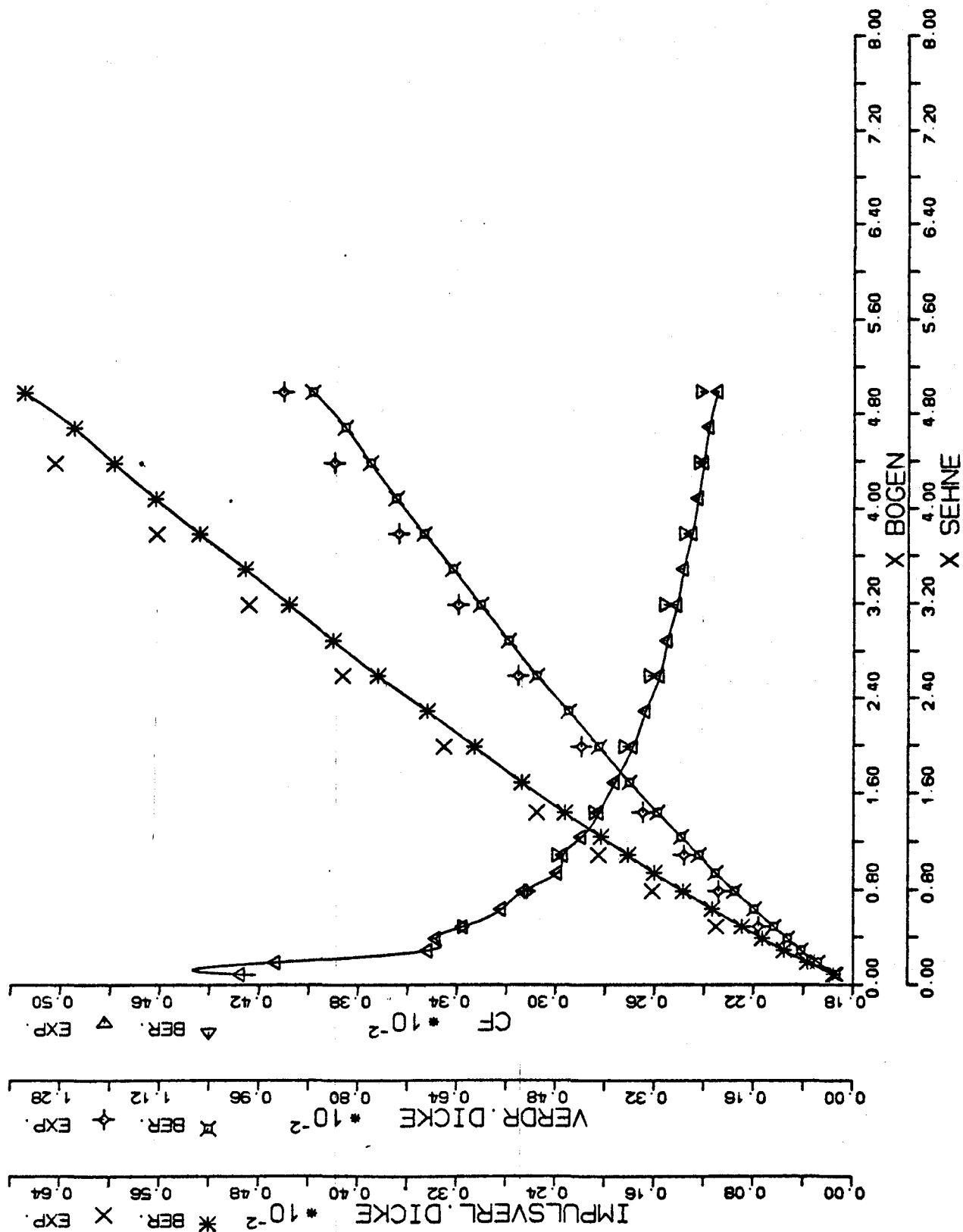


PLATTE LAMINAR



DIE X-STATIONEN SIND: 2.3.4.

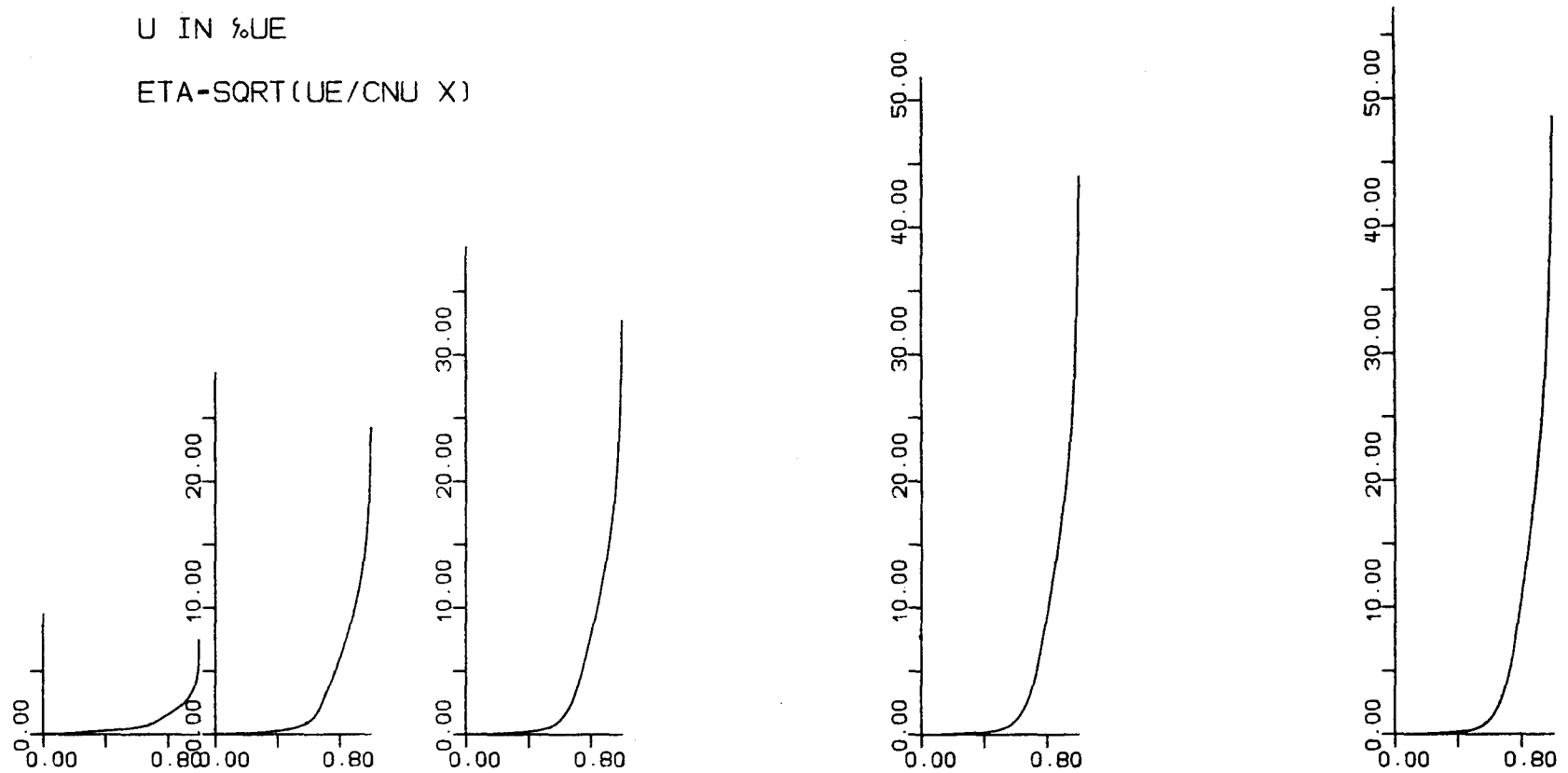
PLATTE VIEGHARDT TURBULENT



PLATTE WIEGHARDT TURBULENT

U IN %UE

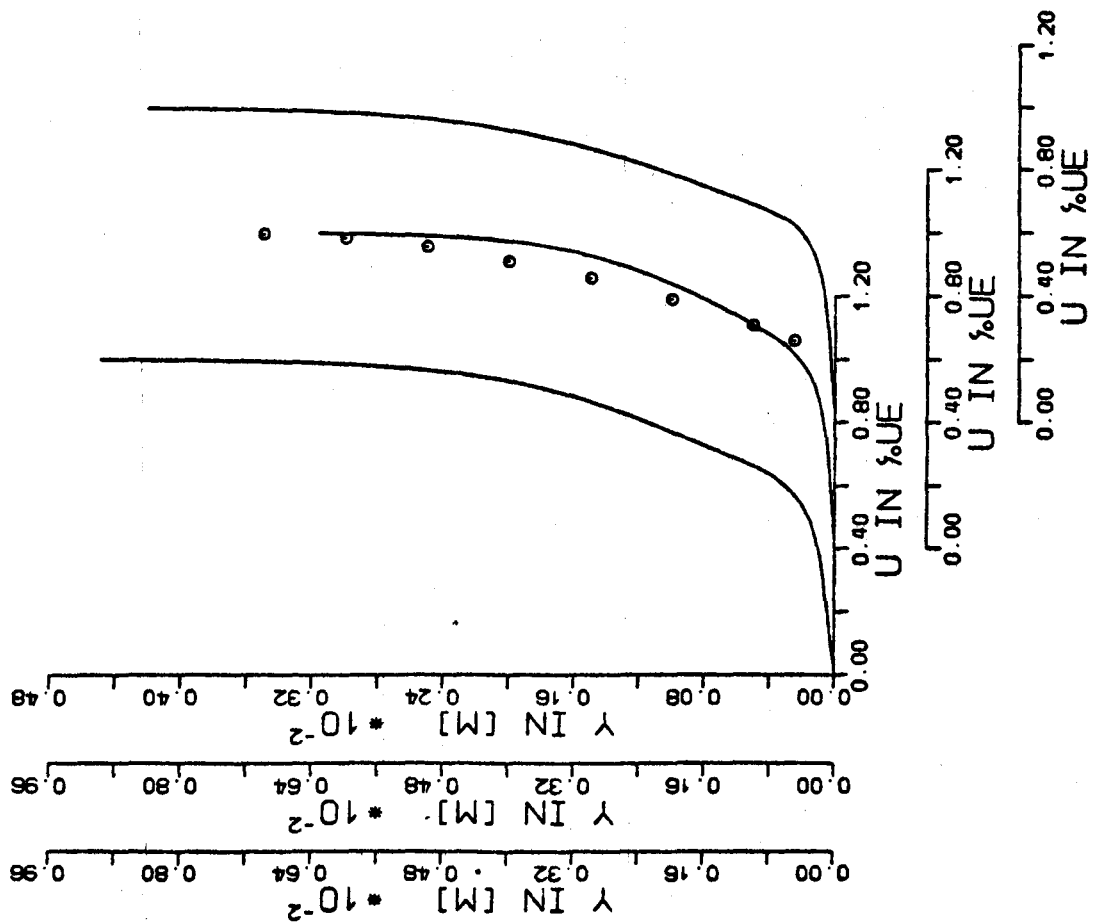
ETA-SQRT(UE/CNU X)



0.00 0.40 0.80 1.20 1.60 1.99 2.39 2.79 3.19 3.59 3.99 4.39 4.79

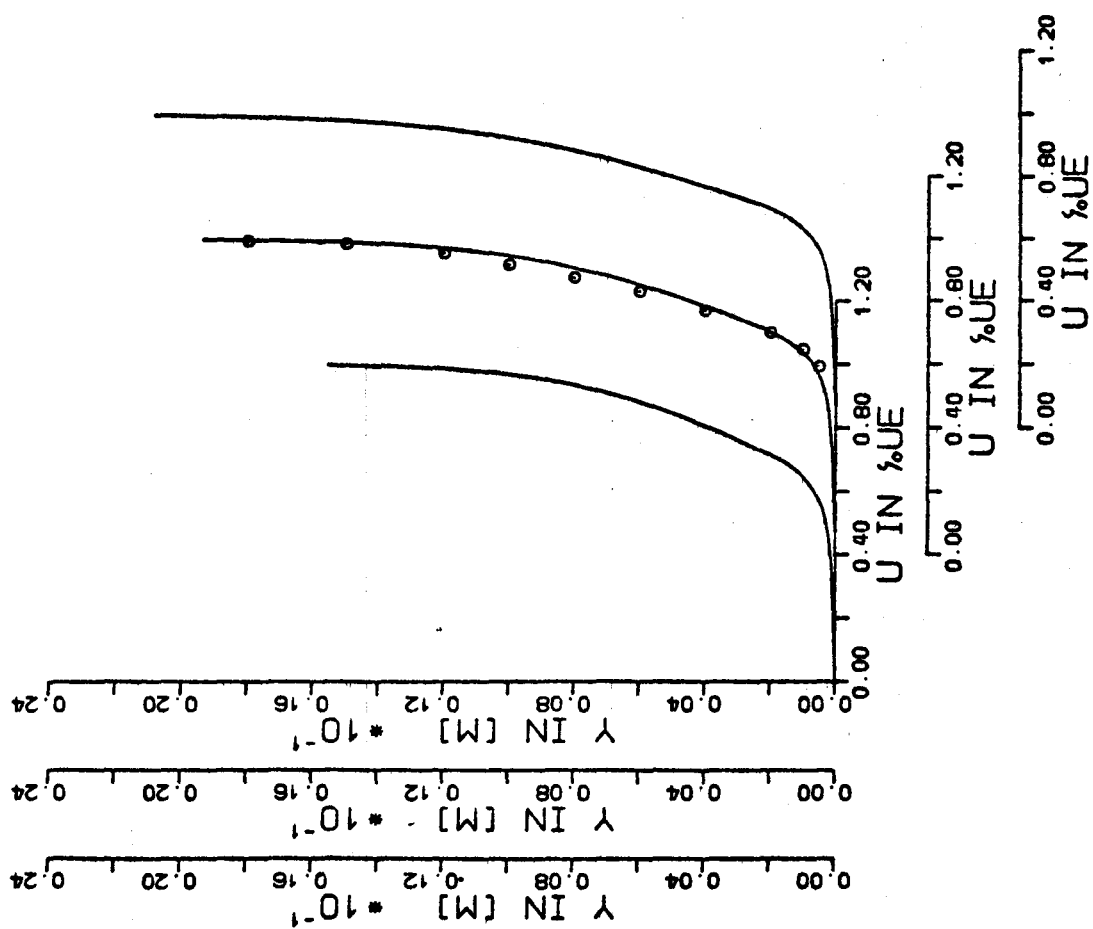
X-SEHNE

PLATTE WIEGHARDT TURBULENT



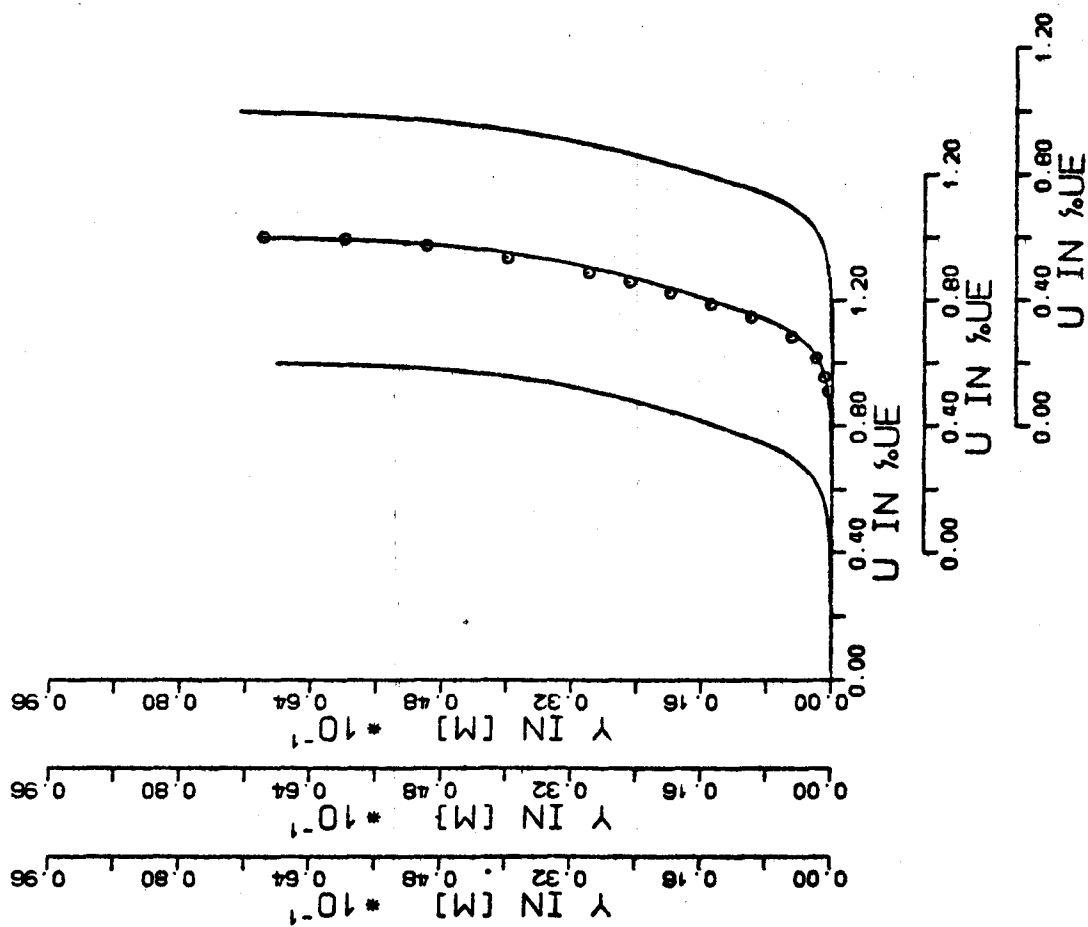
DIE X-STATIONEN SIND: 4.5.6.

PLATTE VIEGHARDT TURBULENT



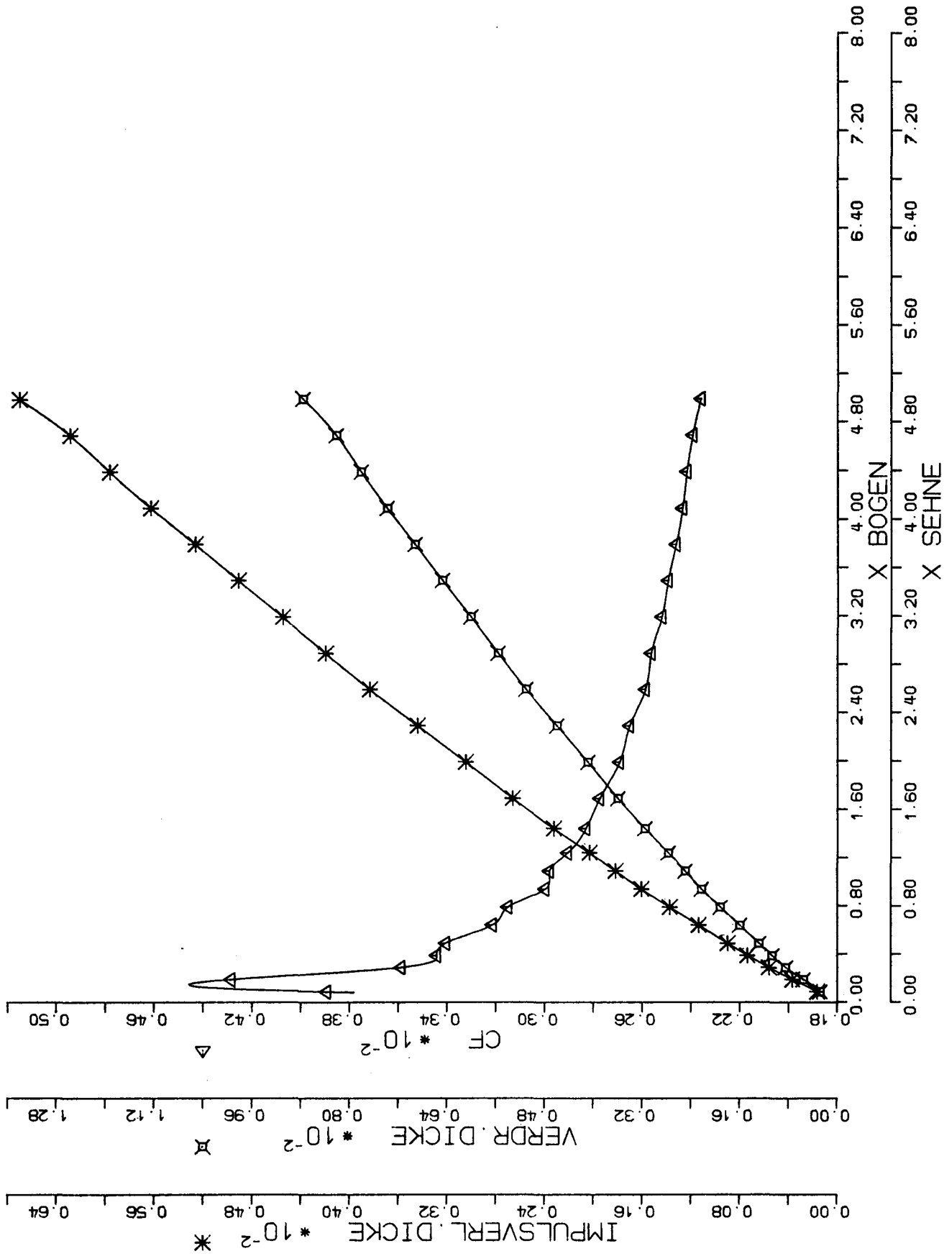
DIE X-STATIONEN SIND: 9.10.11.

PLATTE WIEGHARDT TURBULENT



DIE X-STATIONEN SIND: 22.23.24.

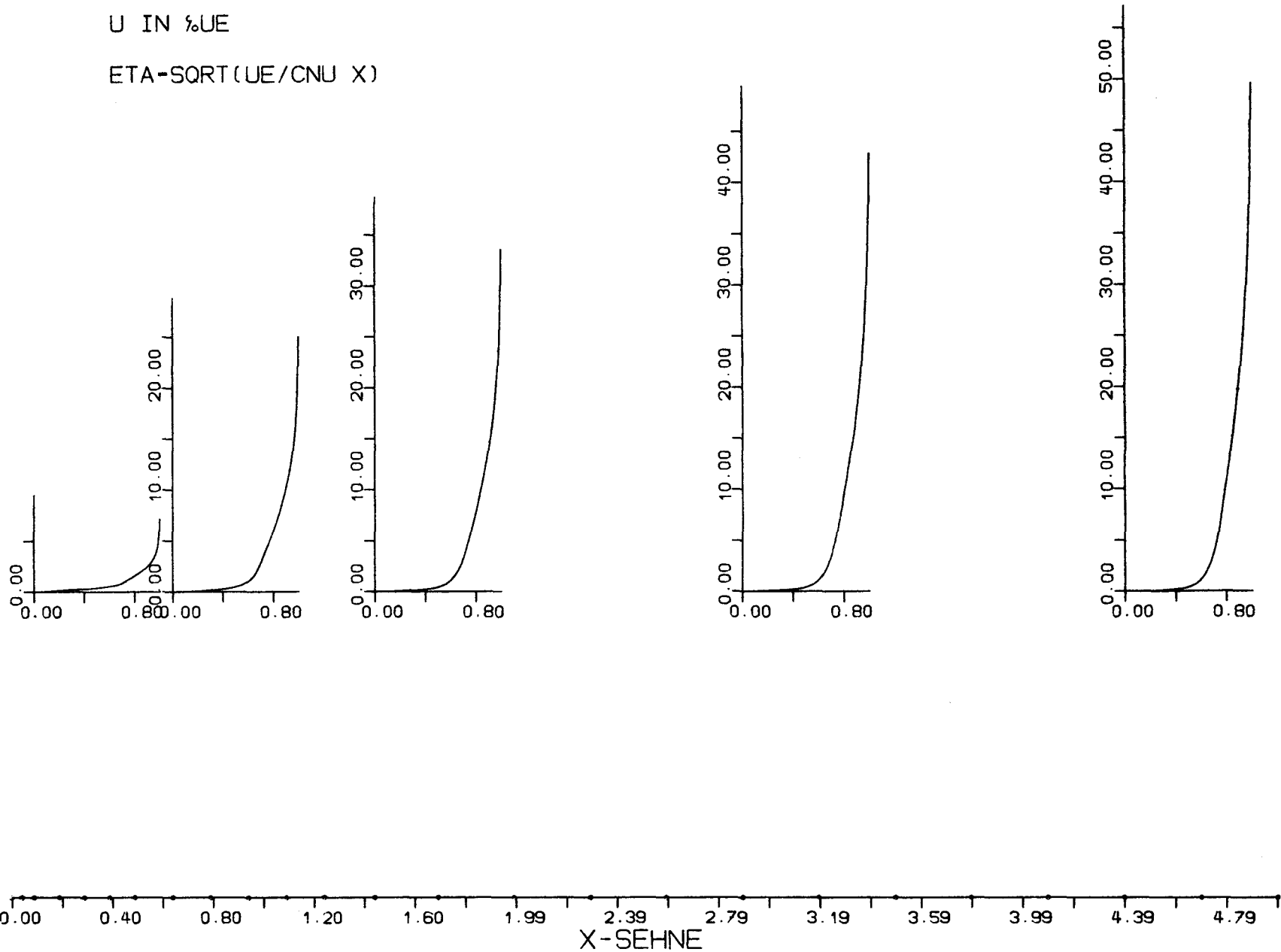
PLATTE TURB. ANDERE ETA-EINTEILUNG



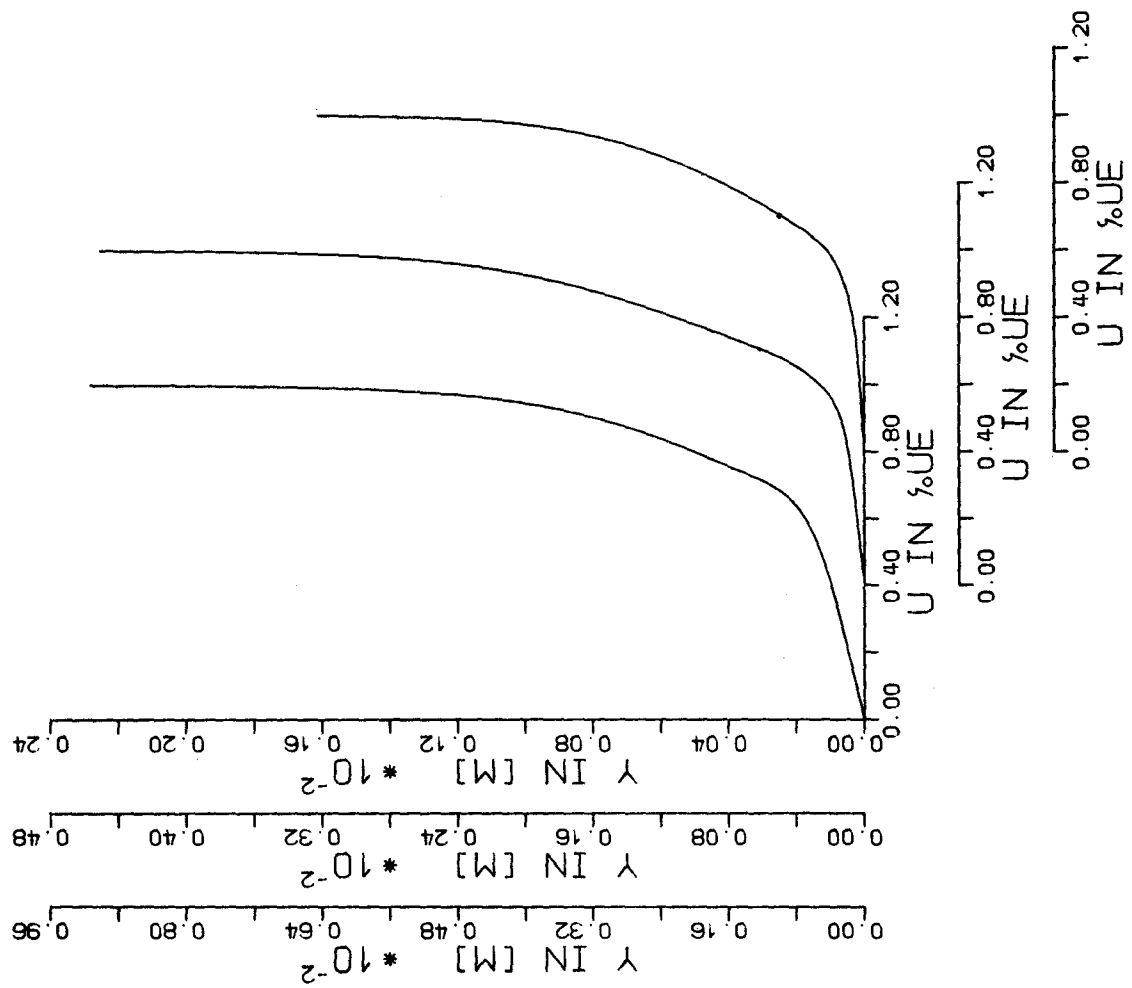
PLATTE TURB. ANDERE ETA-EINTEILUNG

U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

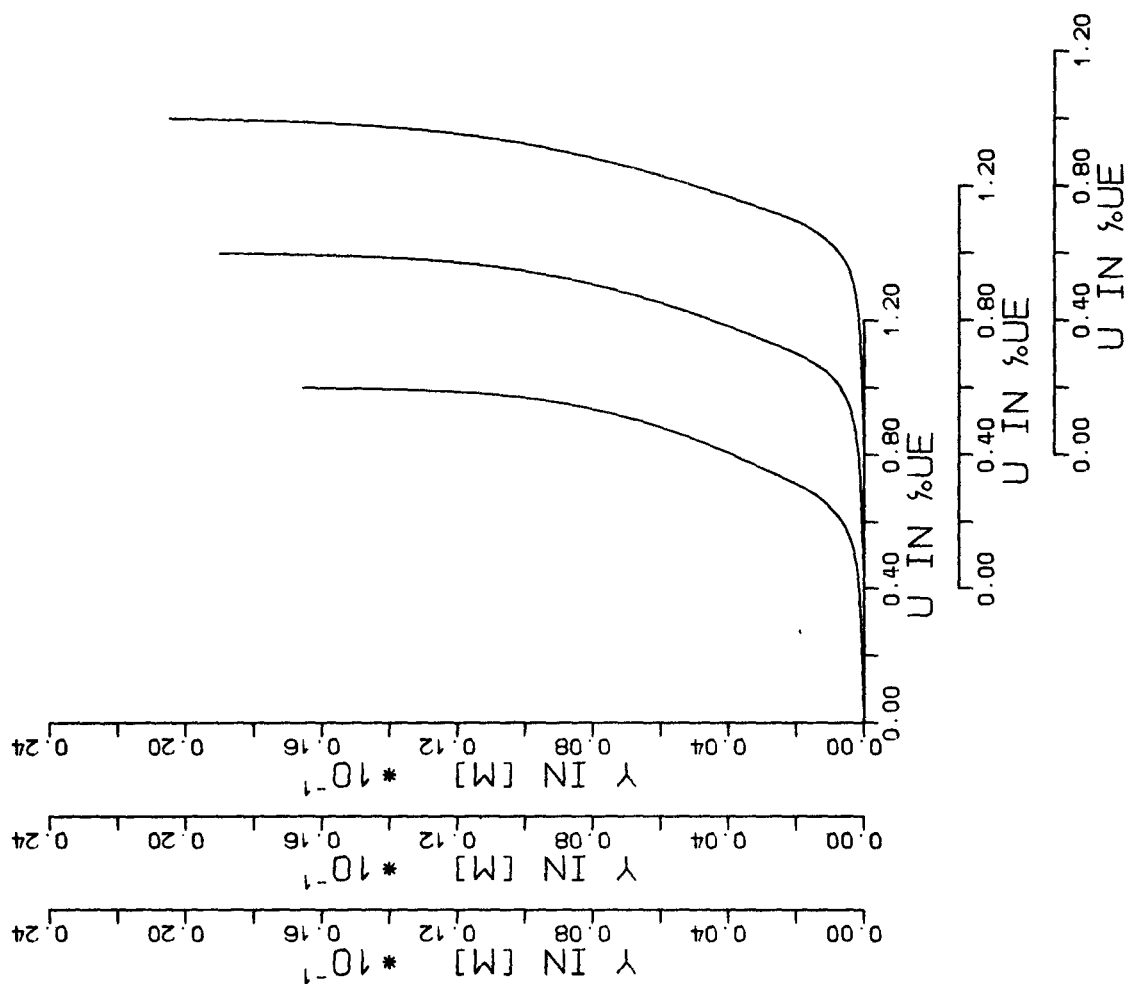


PLATTE TURB. ANDERE ETA-EINTEILUNG



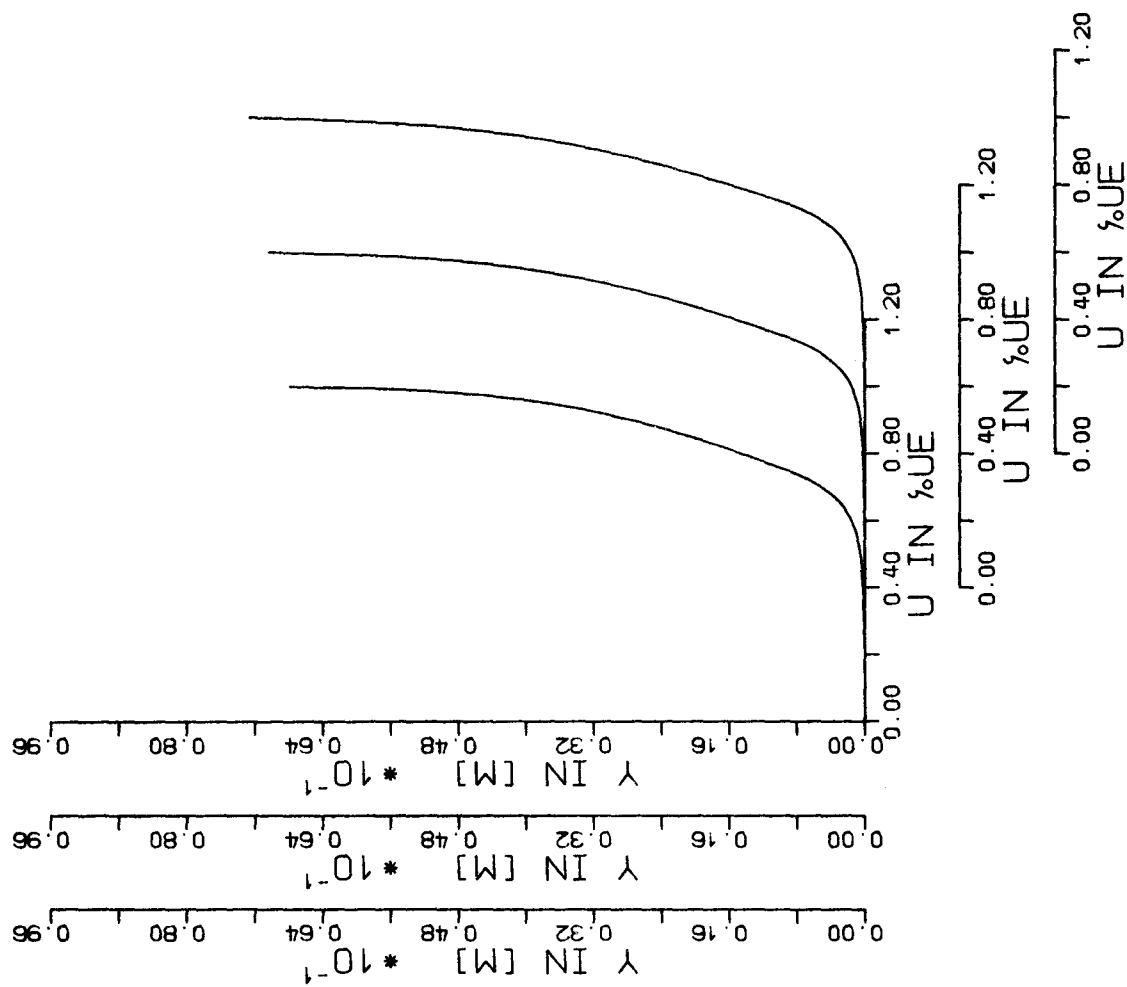
DIE X-STATIONEN SIND: 3.4.5.

PLATTE TURB. ANDERE ETA-EINTEILUNG

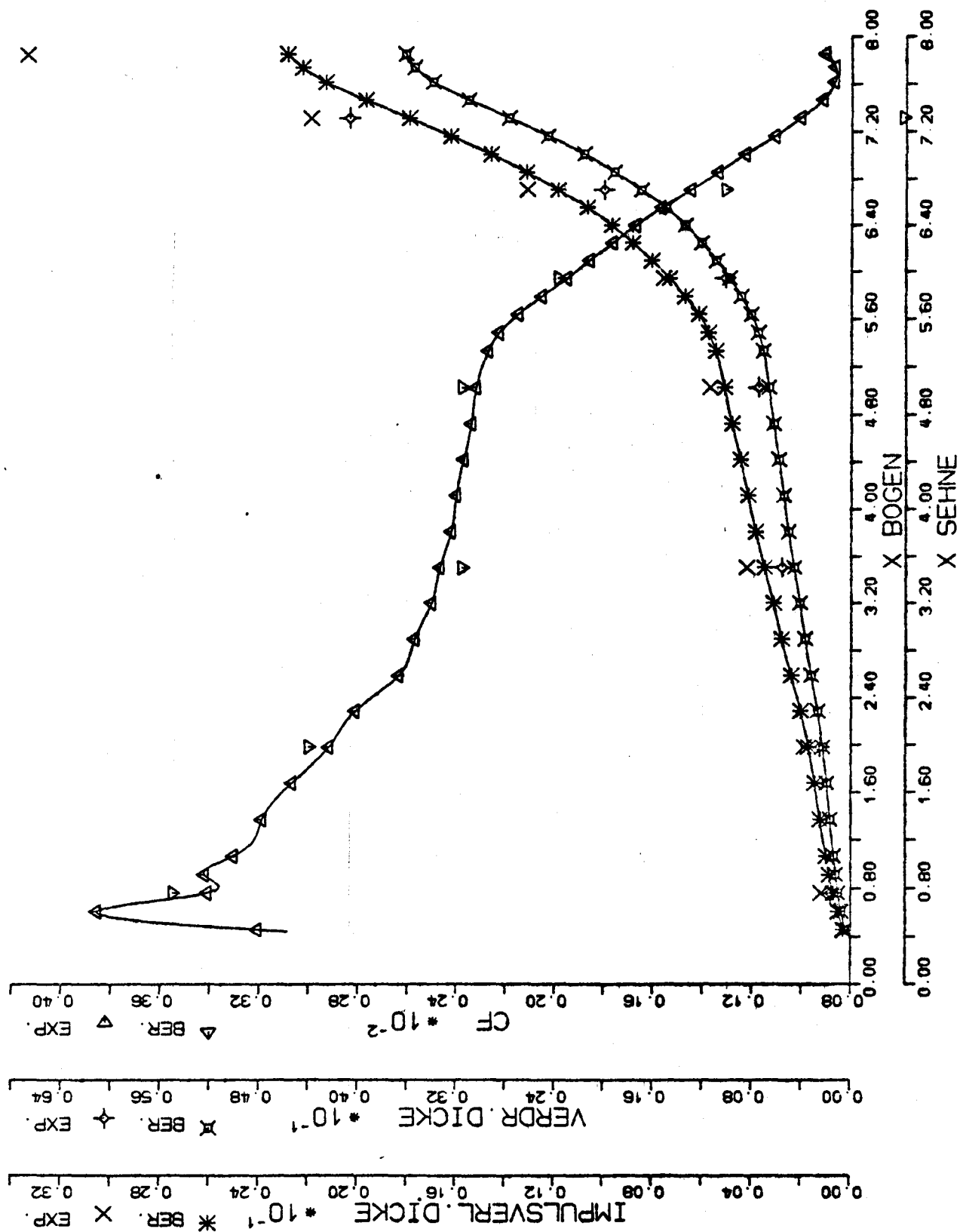


DIE X-STATIONEN SIND: 9.10.11.

PLATTE TURB. ANDERE ETA-EINTEILUNG



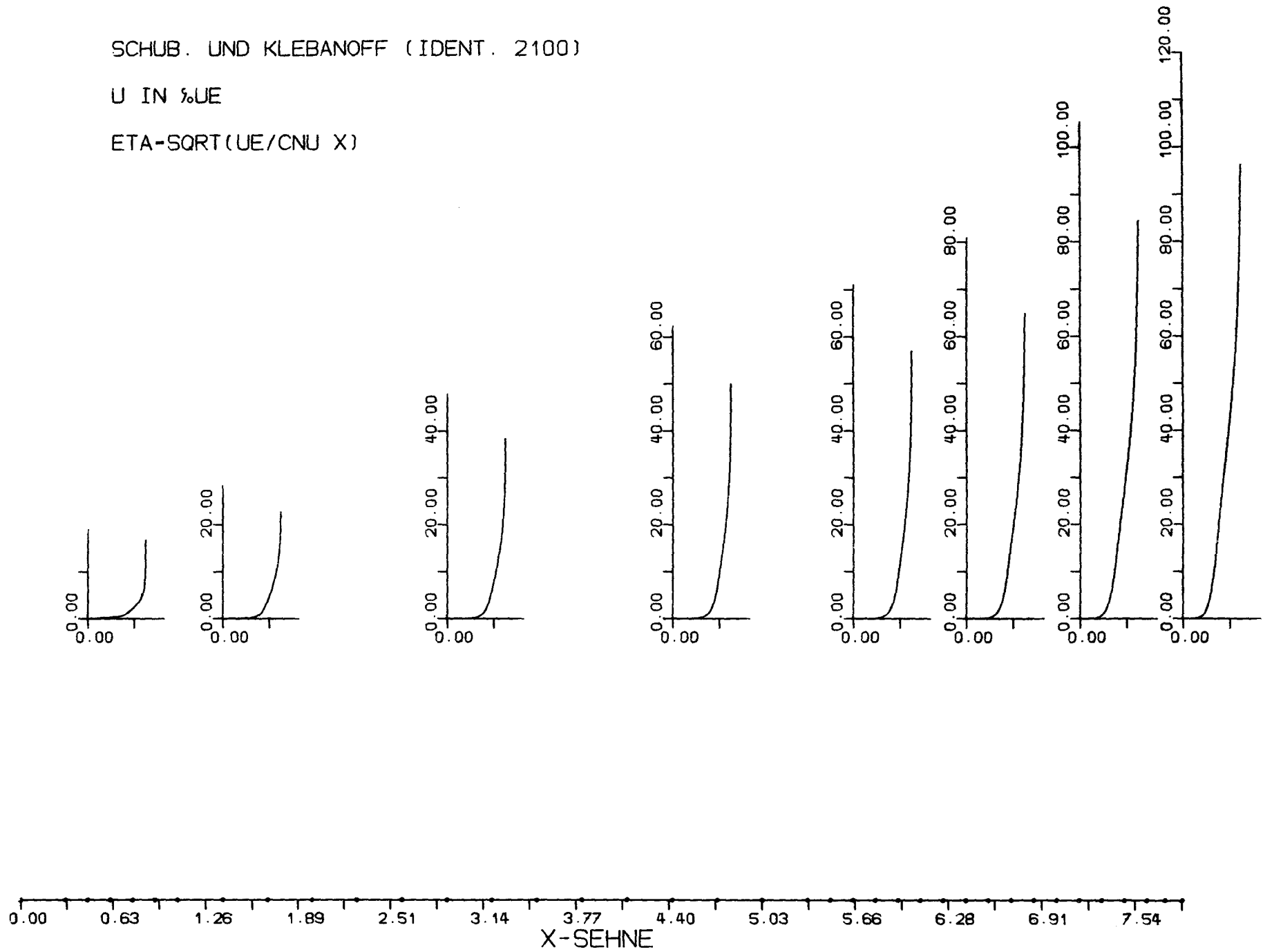
DIE X-STATIONEN SIND: 22. 23. 24.



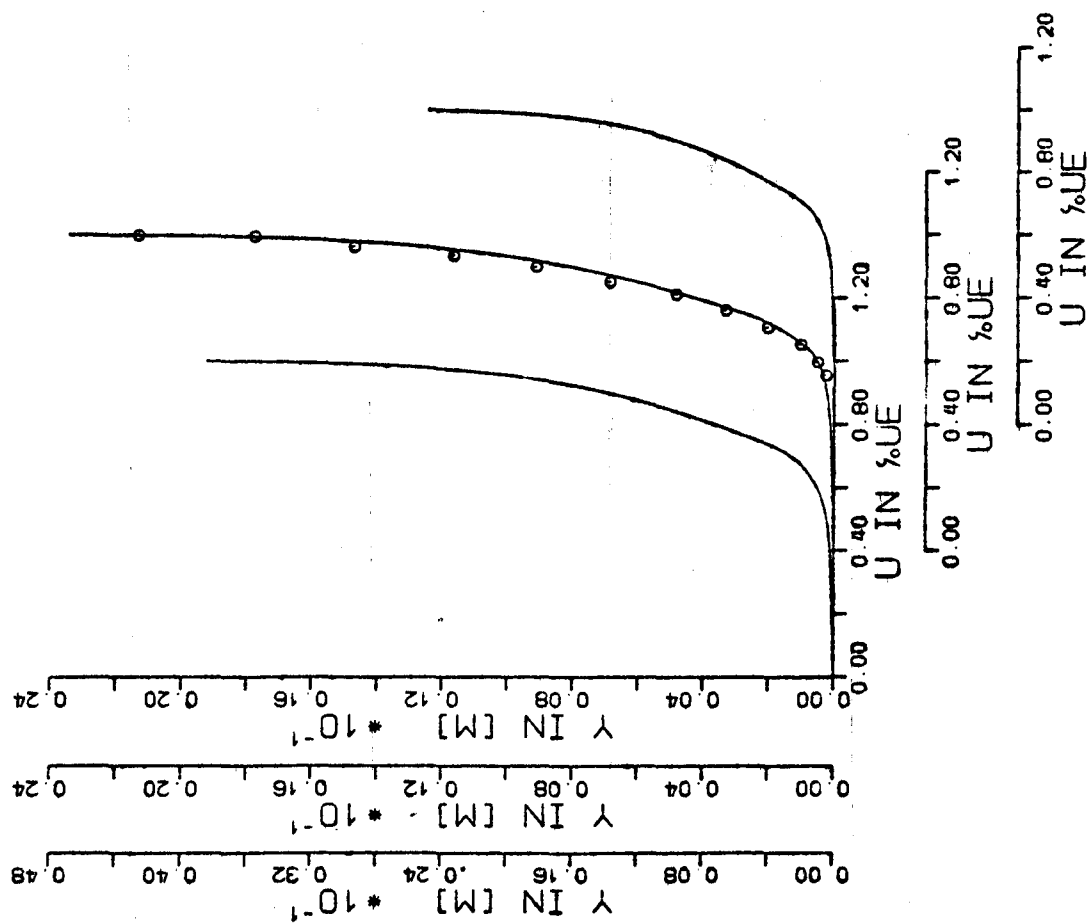
SCHUB. UND KLEBANOFF (IDENT. 2100)

U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

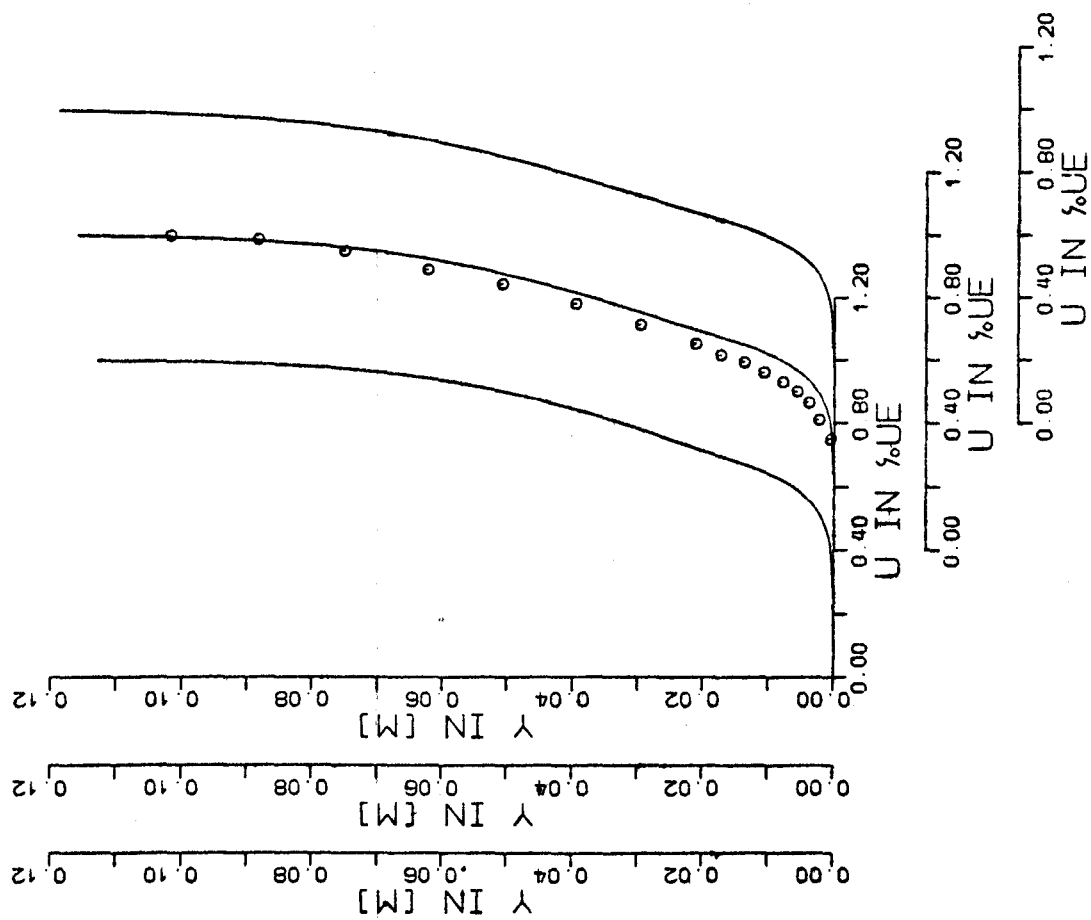


SCHUB. UND KLEBANOFF (IDENT. 2100)



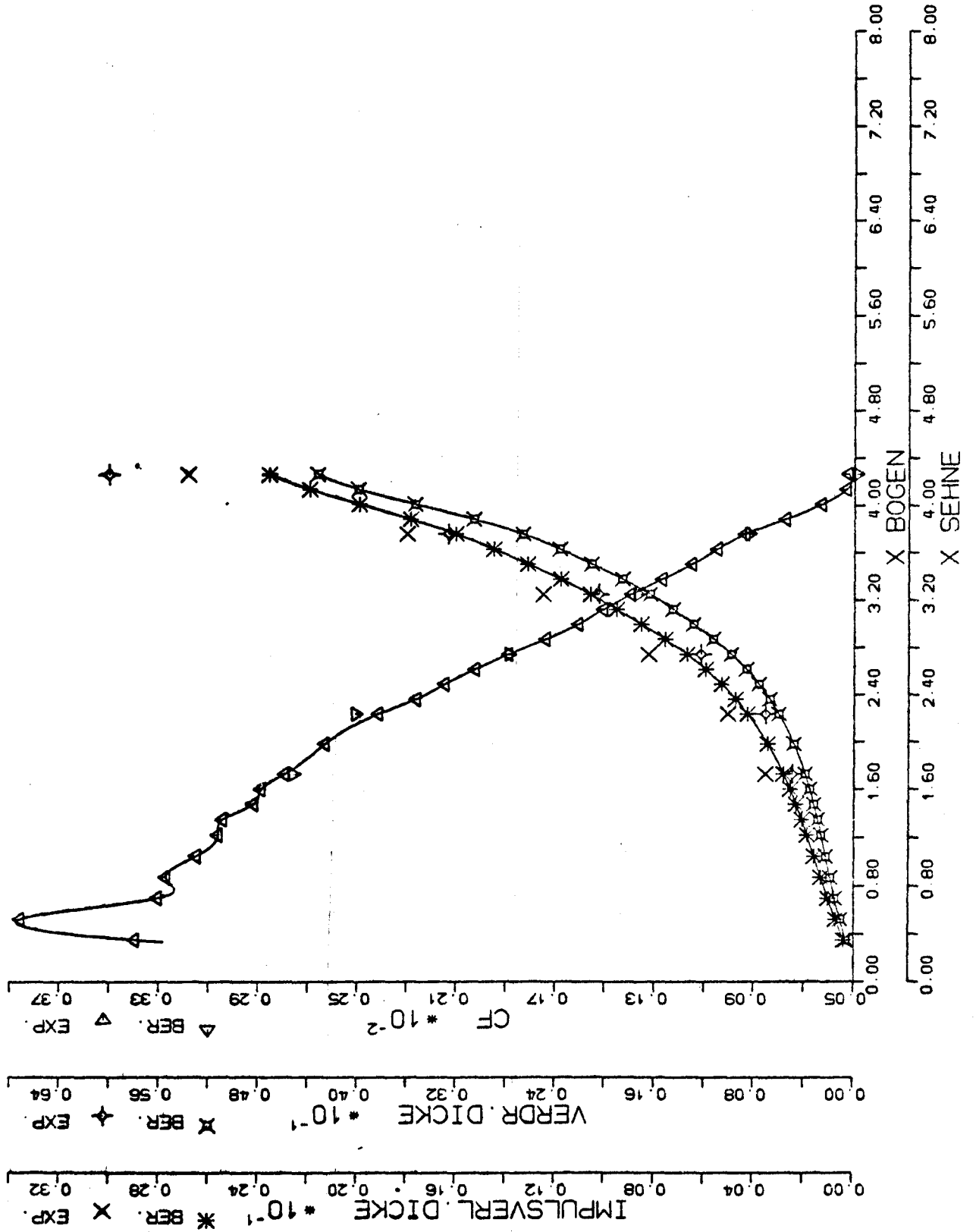
DIE X-STATIONEN SIND 9.10.11.

SCHUB. UND KLEBANOFF (IDENT.2100)



DIE X-STATIONEN SIND: 29.30.31.

SCHUB. UND SPANGENBERG FLOW B

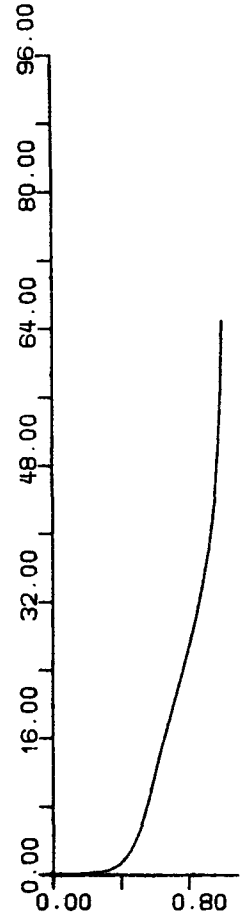
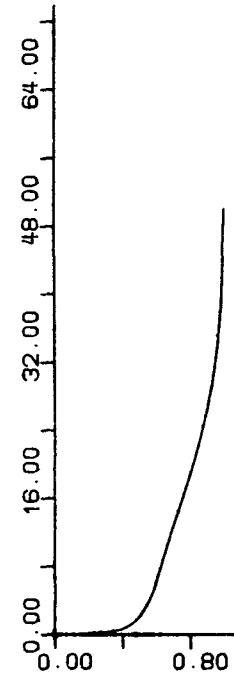
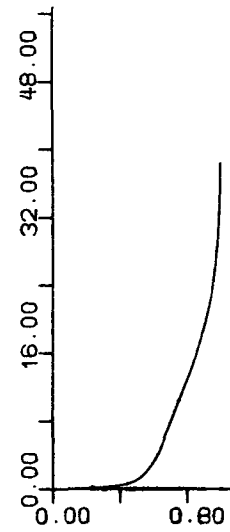
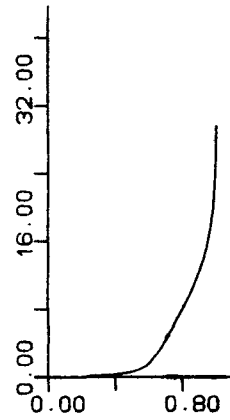
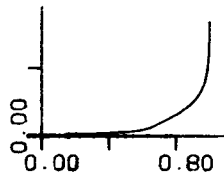


SCHUB. UND SPANGENBERG FLOW B

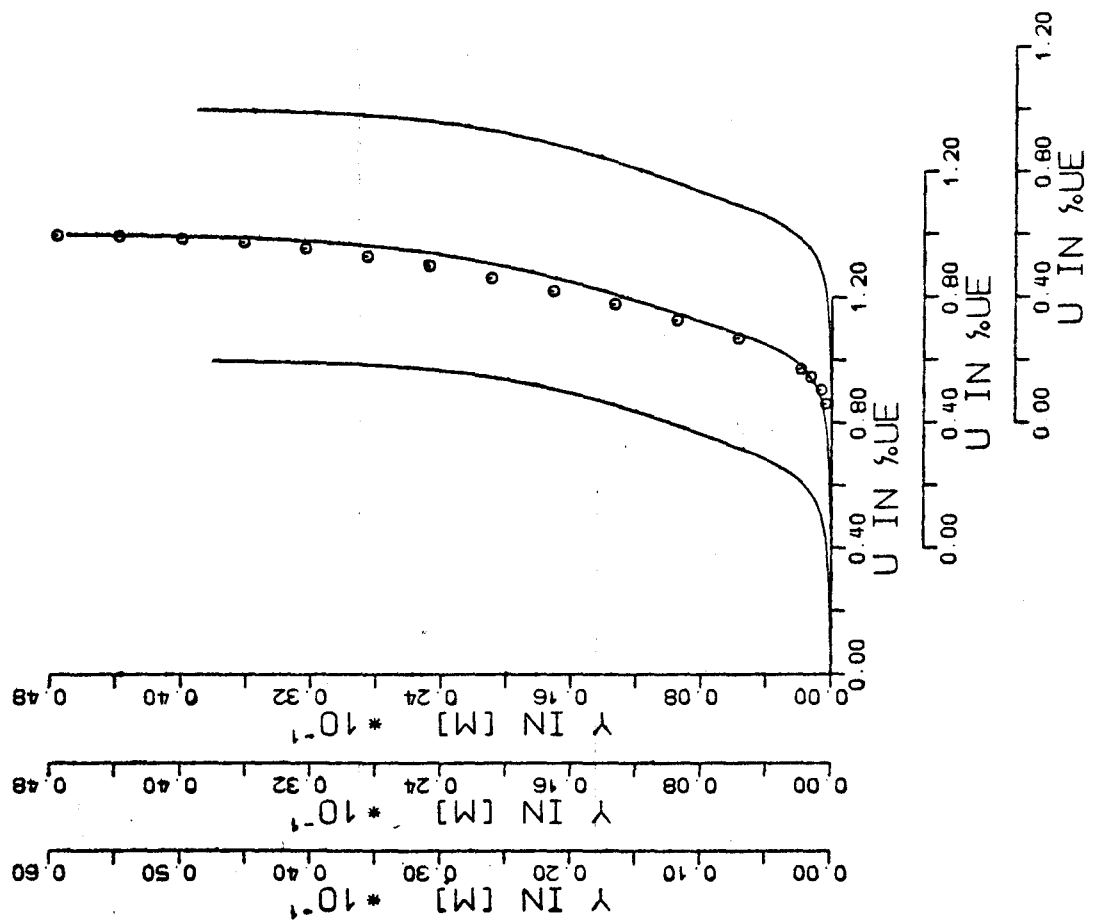
U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

0.00 0.24 0.49 0.73 0.98 1.22 1.46 1.71 1.95 2.19 2.44 2.68 2.93
X-SEHNE

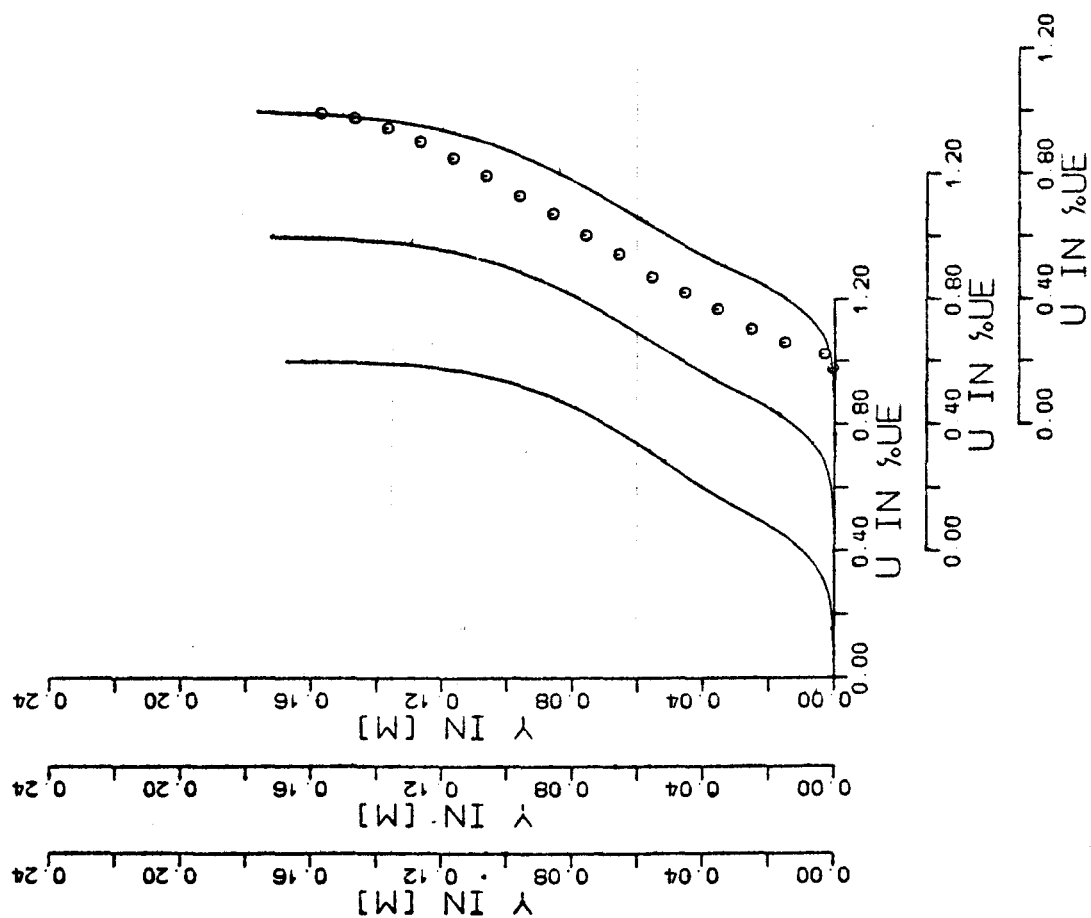


SCHUB- UND SPANGENBERG FLOW B

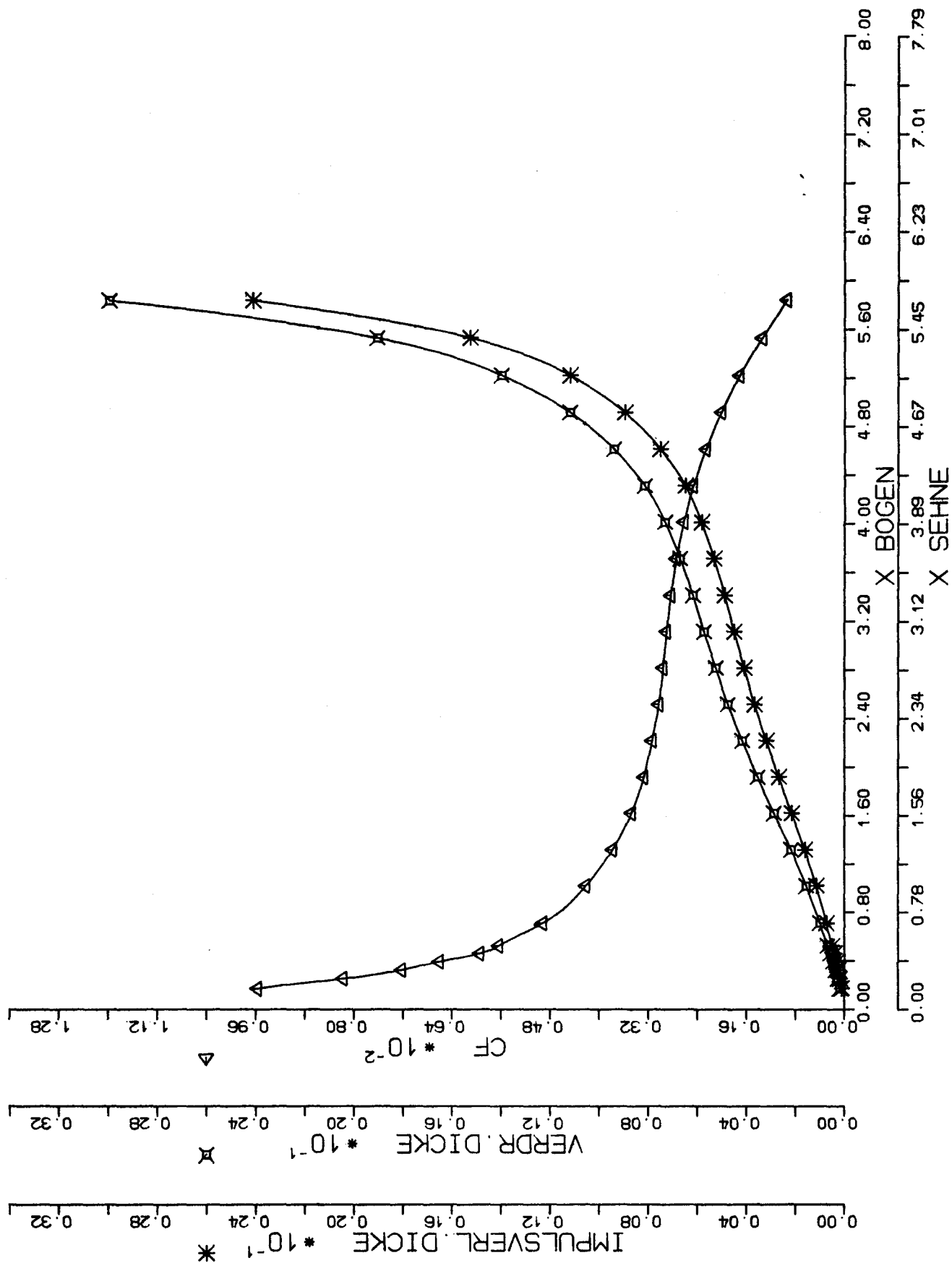


DIE X-STATIONEN SIND: 13. 14. 15.

SCHUB. UND SPANGENBERG FLOW B



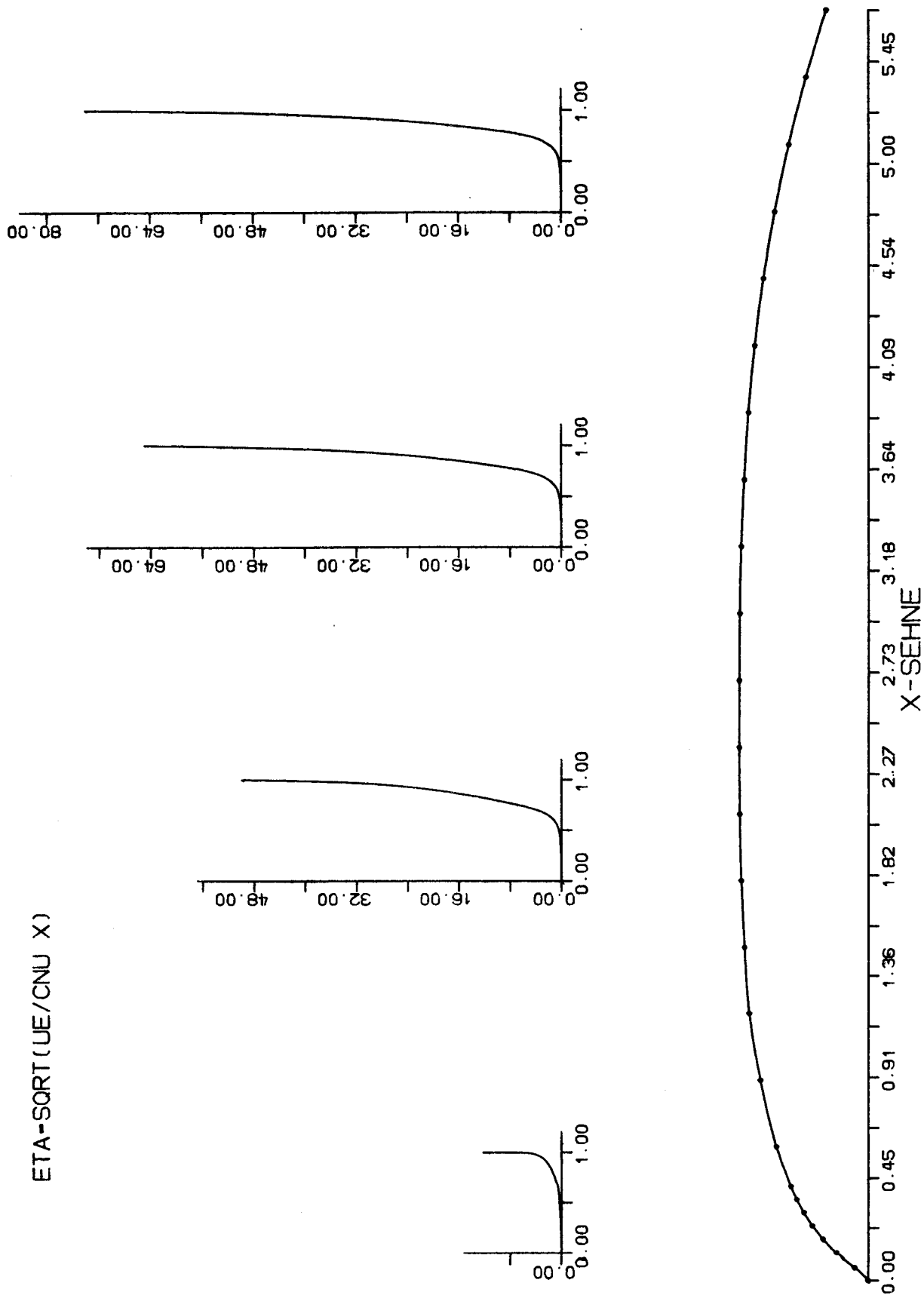
DIE X-STATIONEN SIND: 28. 29. 30.



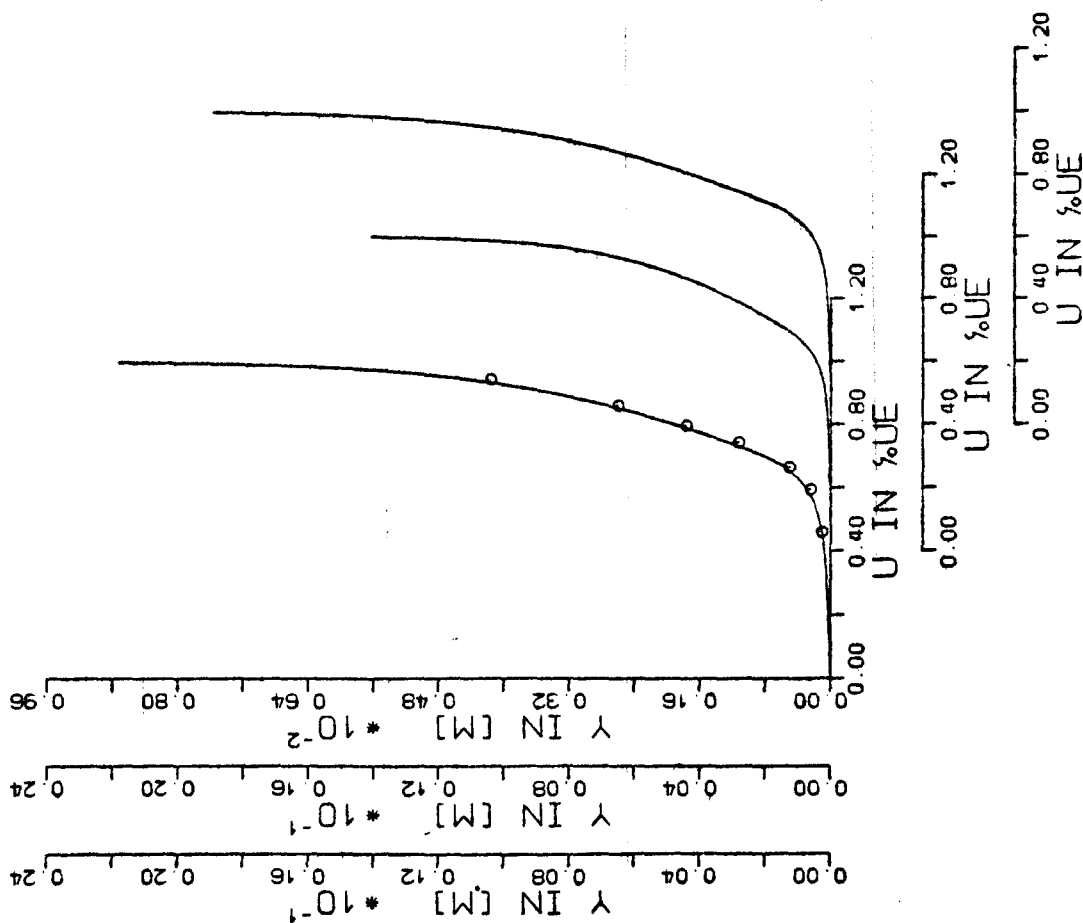
AKRON MOD. (NACA REP. 430)

U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

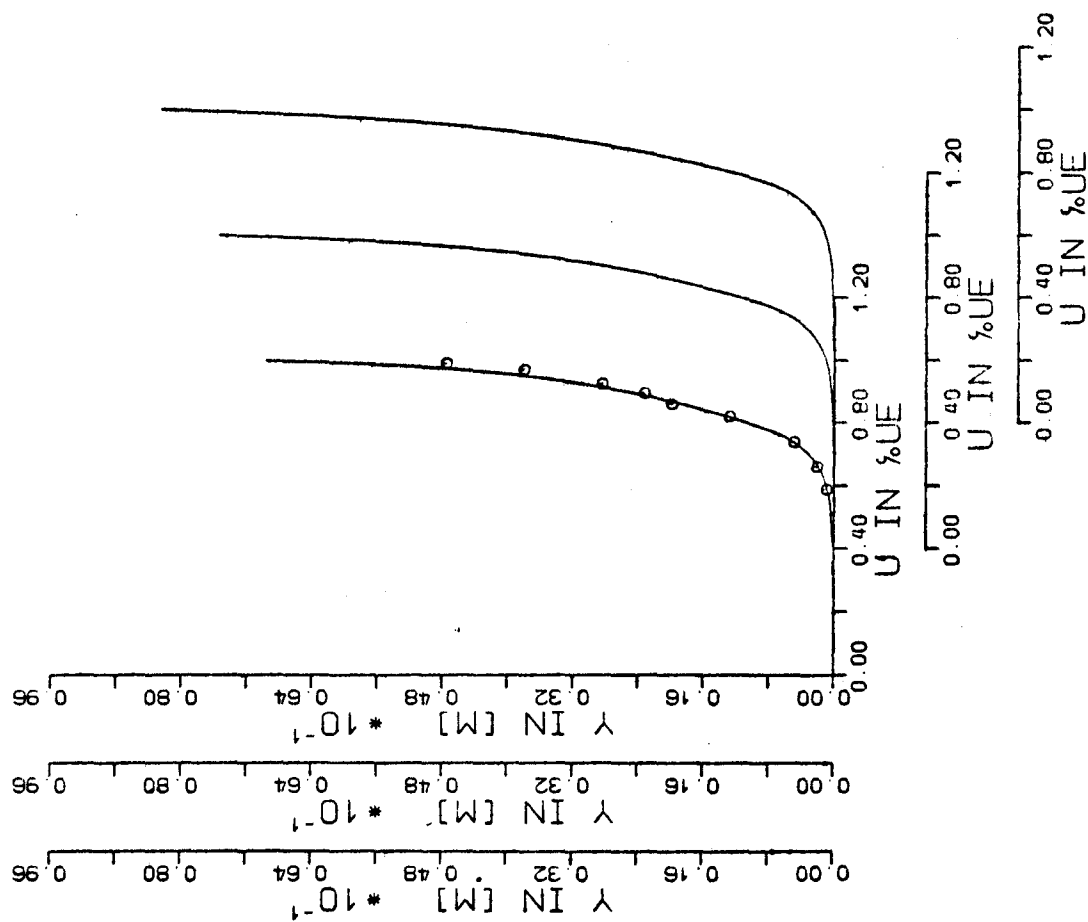


AKRON MOD. (NACA REP. 430)

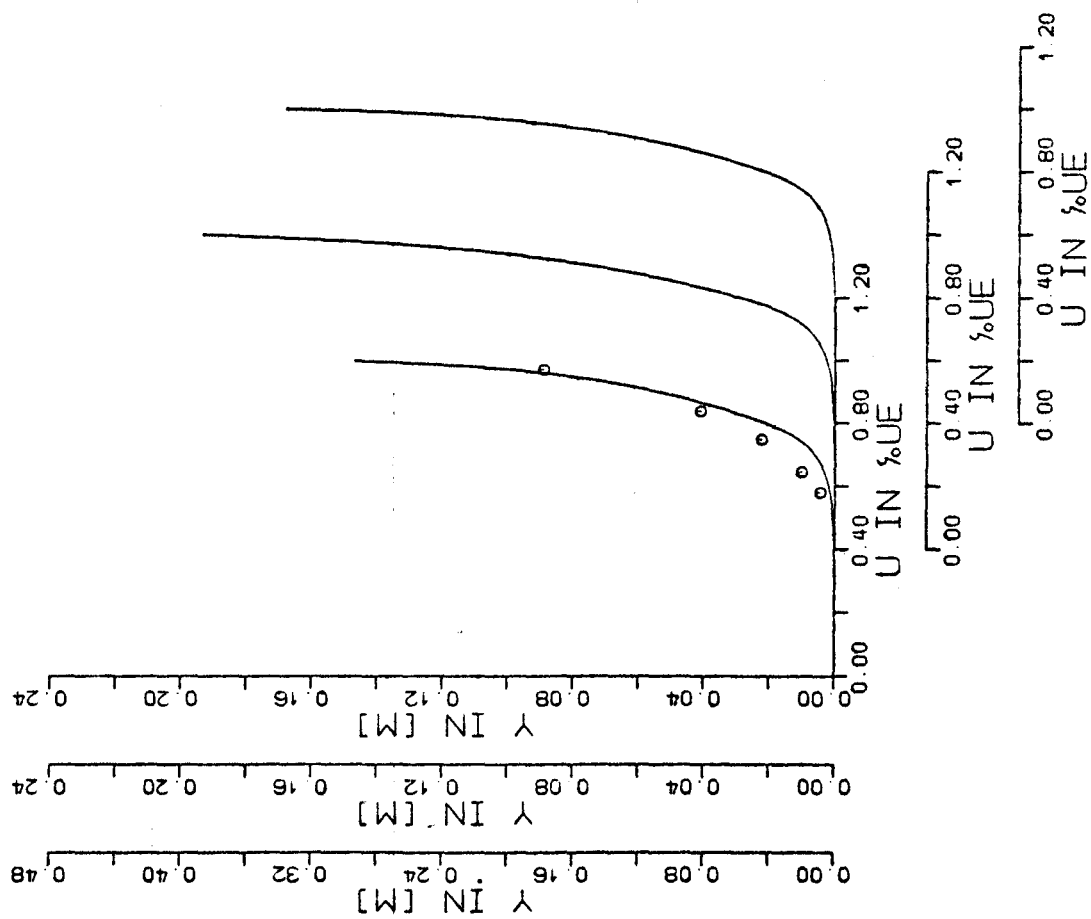


DIE X-STATIONEN SIND: 9. 10. 11.

AKRON MOD. (NACA REP. 430)



DIE X-STATIONEN SIND: 19. 20. 21.



DIE X-STATIONEN SIND: 24 25 26.

IMPULSVERL. DICKE $\cdot 10^{-2}$ * BER. X EXP.

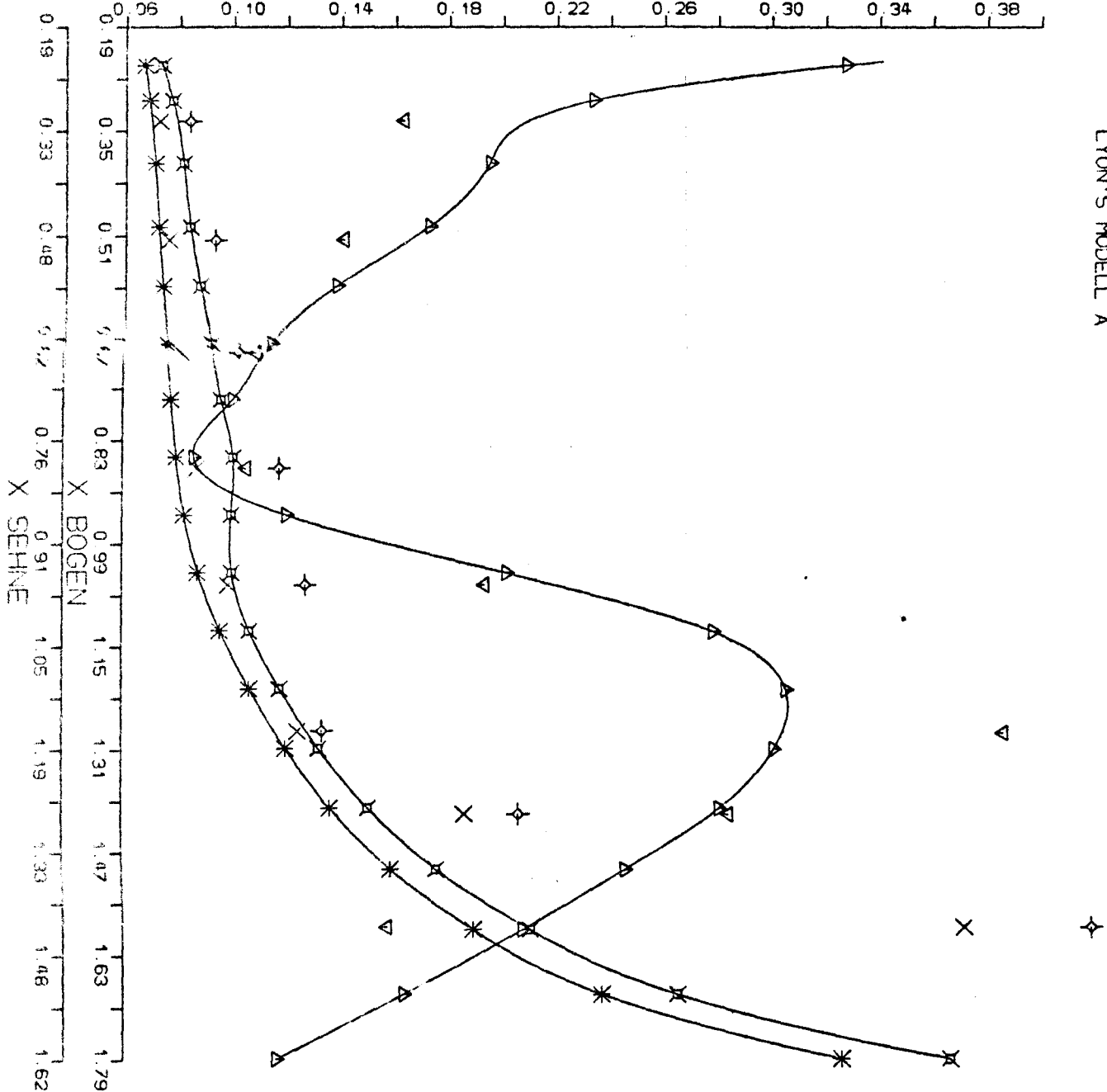
0.00 0.08 0.16 0.24 0.32 0.40 0.48 0.56 0.64

VERDR. DICKE $\cdot 10^{-2}$ X BER. + EXP.

0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80

CF $\cdot 10^{-2}$ Δ BER. ▽ EXP.

0.06 0.10 0.14 0.18 0.22 0.26 0.30 0.34 0.38

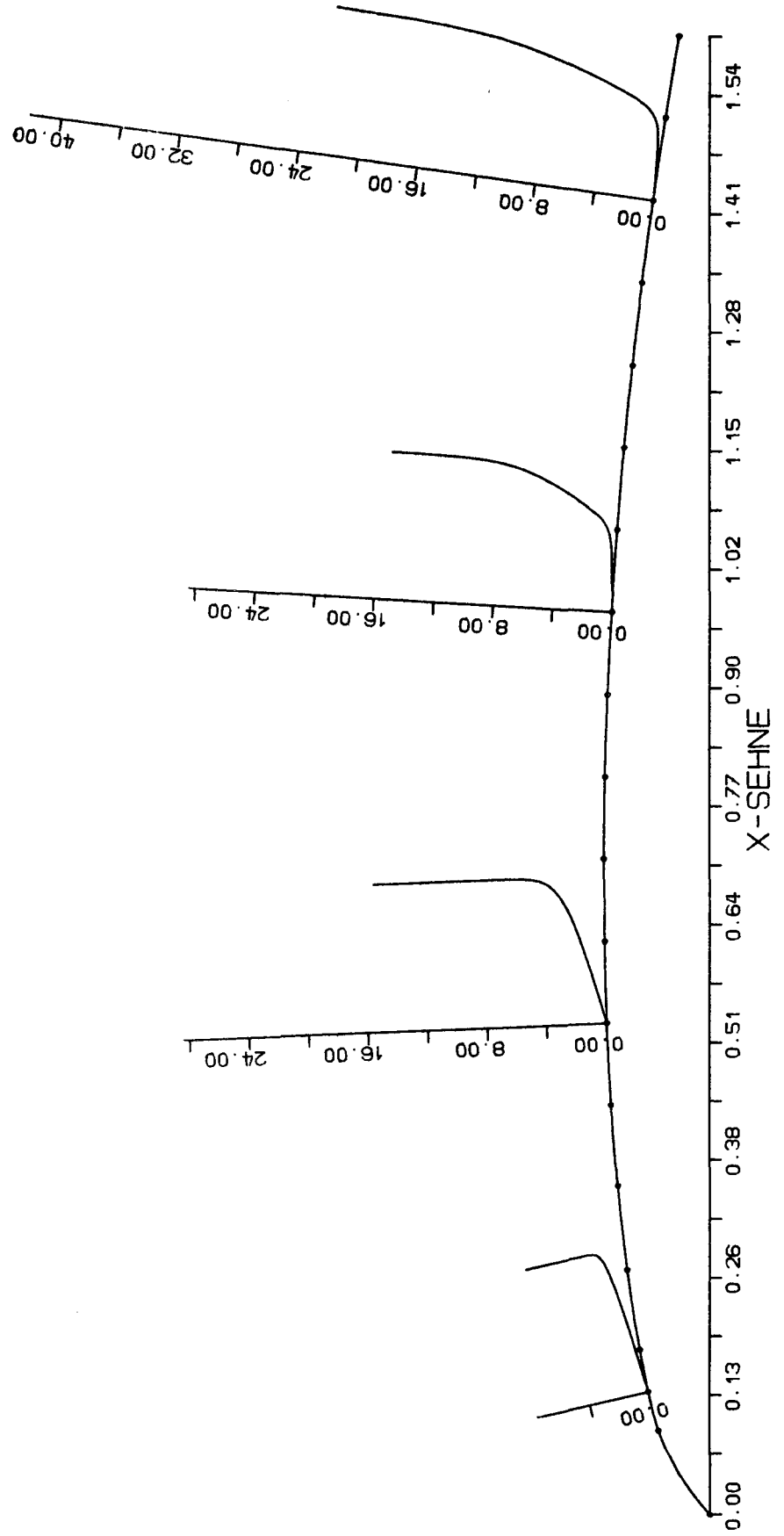


LYON'S MODEL A

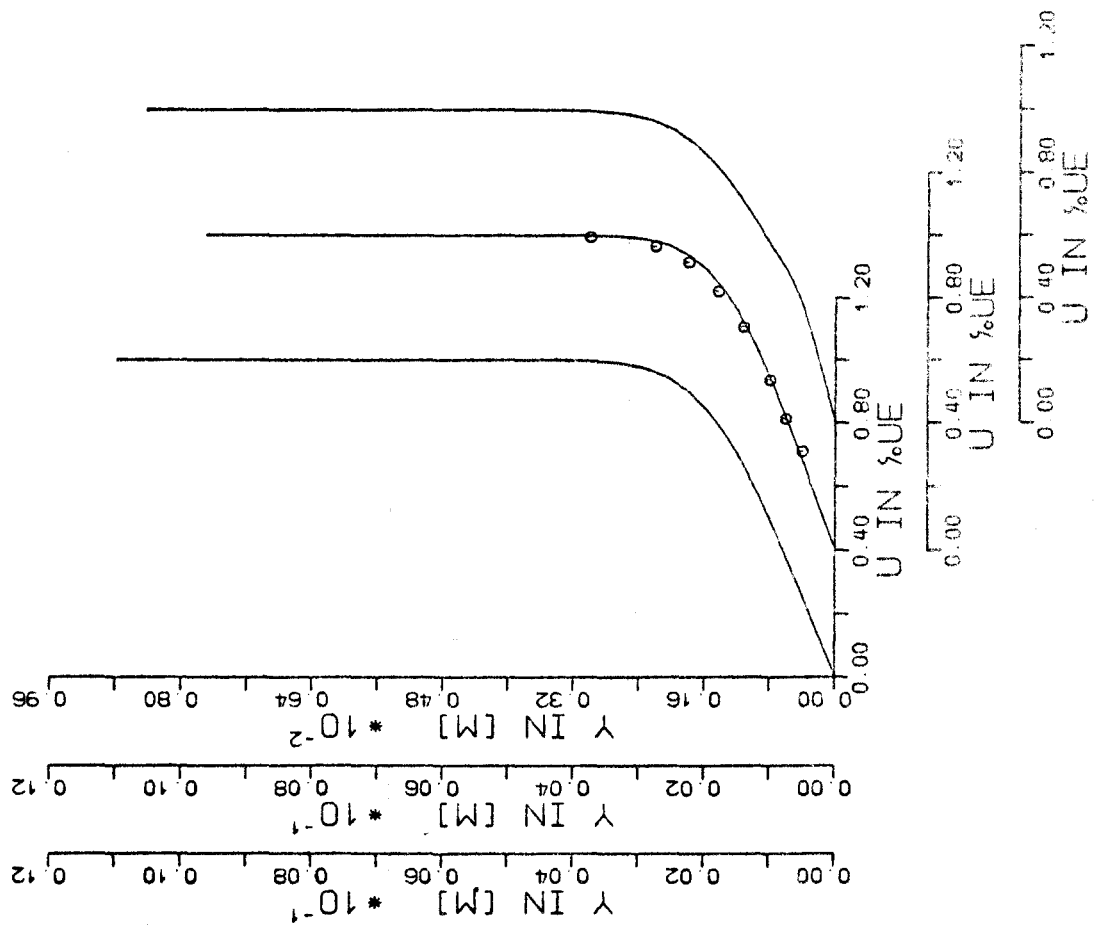
LYON'S MOD. A

U IN %UE

ETA-SQRT(UE/CNU X)

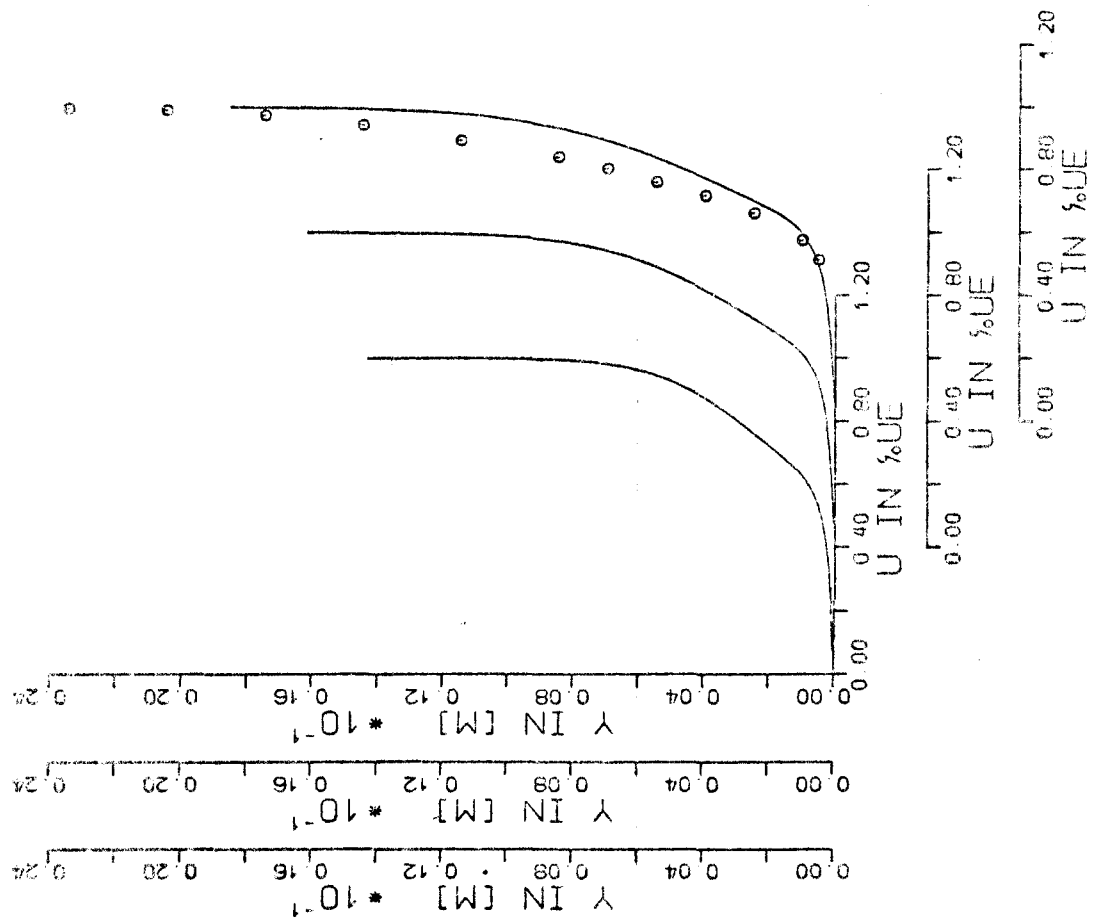


LYON'S MODELL A



DIE X-STATIONEN SIND: 9.10.11.

LYCH'S MODELL A



DIE X-STATIONEN SIND: 14 15 16.

Zusammenfassung

Es wird ein differentielles Verfahren zur Berechnung der zweidimensionalen Grenzschichtgleichungen fuer den ebenen und den rotationssymmetrischen Fall vorgestellt. Verfahren und Programm werden von T. Cebeci angegeben und von den Autoren geringfuegig ueberarbeitet und erweitert. Es wird ein kurzer Ueberblick ueber die verwandte Theorie und ein FORTRAN 77 Programm zur Loesung der Grenzschichtgleichungen und graphischen Darstellung der Ergebnisse angegeben. Im Anhang finden sich einige Beispiele fuer mit dem Programm nachgerechnete Grenzschichtmessungen aus der angegebenen Literatur, aus denen die Qualitaet des Verfahrens im Einzelfall ersichtlich ist.