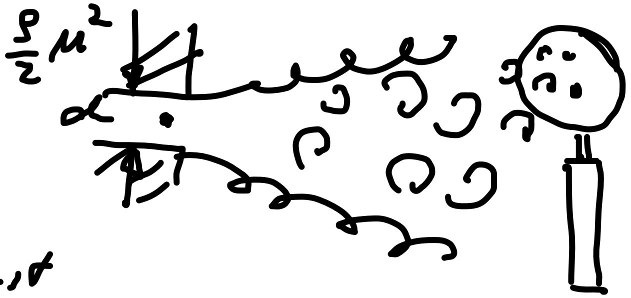
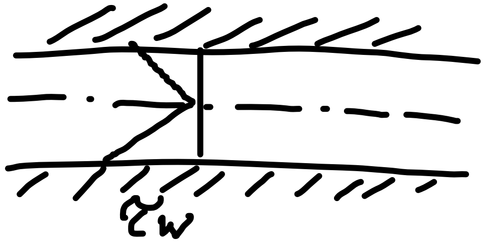
Druckverluste

Δp_v { Trägheitsverlust ; Viskoser Druckverlust





$\ell = fn(\nu, \phi)$, $\phi = \varepsilon$

Kleinste Wirbelstrukturen in einer turbulenten Strömung sind durch die Viskosität $[\nu] = L^2/T$ und die Dissipationsrate $[\varepsilon] = \frac{L^2}{T^2}\frac{1}{T}$ festgelegt

	ℓ	ν	ε
L	1	2	2
T	0	-1	-3

	ℓ	$\left(\frac{\nu}{\varepsilon^{1/3}}\right)^{3/4}$	ε
L	1	$\cancel{4/3}$ 1	2
T	0	0	-3

$\ell \sim \frac{\nu^{3/4}}{\varepsilon^{1/4}}$ Kolmogorovsche Länge.

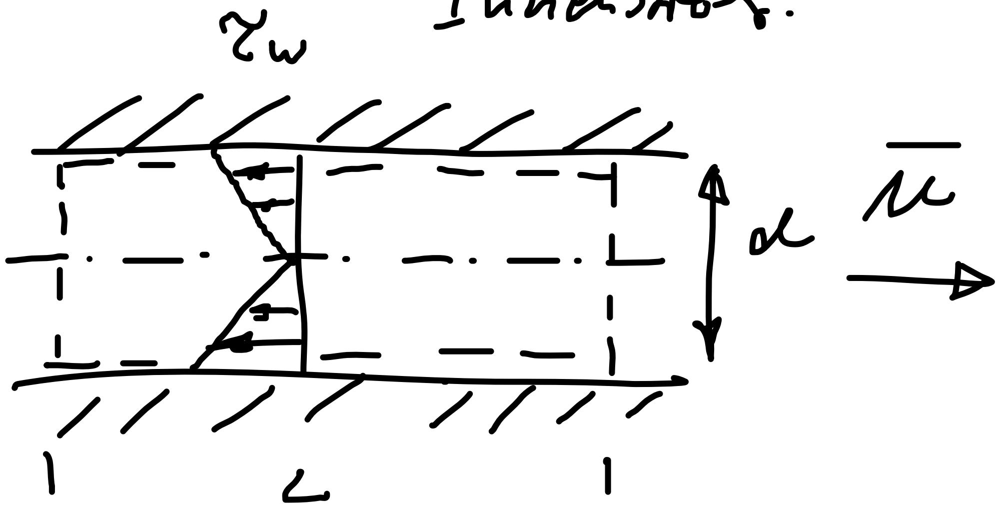
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

Zum viskosen Druckverlust.

Innenström.



$$\Delta p_v \frac{\pi}{4} d^2 = \tau_w \, l \, \pi d$$

$$\rightsquigarrow \Delta p_v = \tau_w \, 4 \, \frac{l}{d} \qquad \Big| \left(\frac{\rho}{2}\bar{u}^2\right)^{-1}$$

$$\zeta := \frac{\Delta p_v}{\frac{\rho}{2}\bar{u}^2} = \underbrace{\frac{\tau_w \, 4}{\frac{\rho}{2}\bar{u}^2}}_{=:\ \lambda} \frac{l}{d}$$

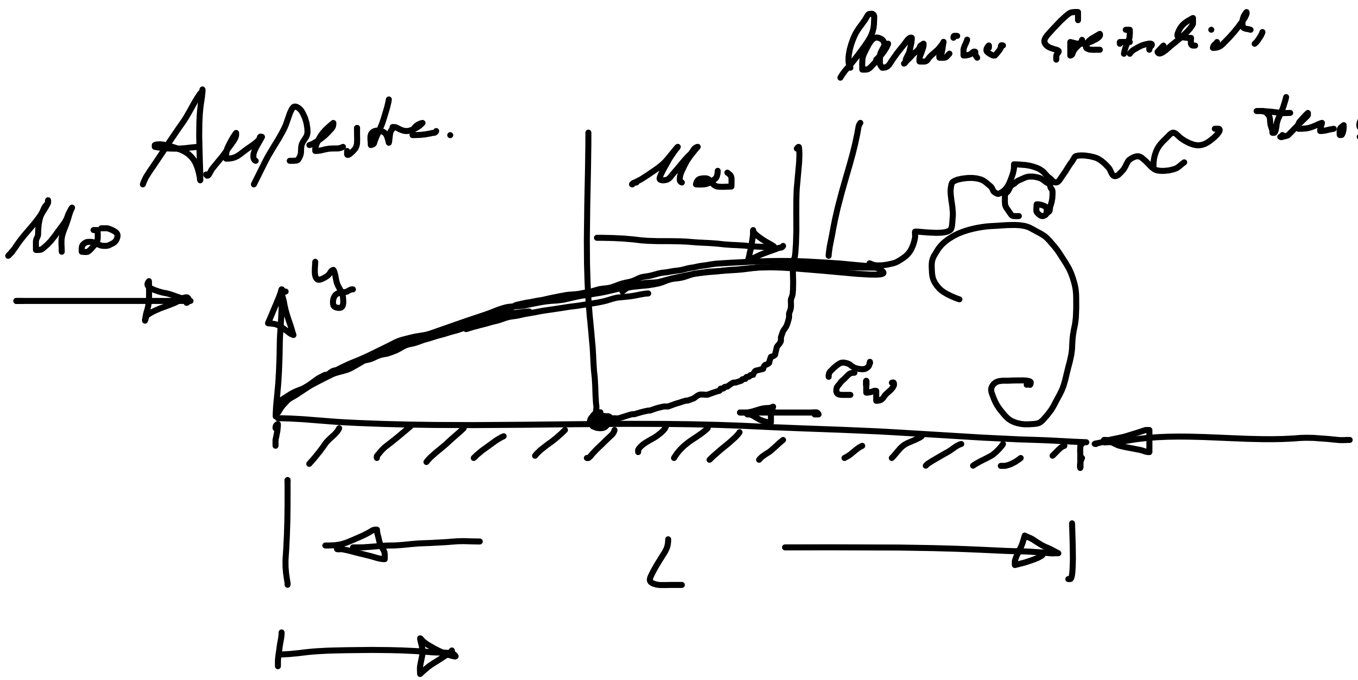
Verlustziffer.

$=: \lambda$ Widerstandszahl $\left(\begin{matrix}\text{friction factor} \\ c_f,\ f\end{matrix}\right)$.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18



$$F = \int \tau_w \, dx$$

Innenströmung	Außenströmung
Δp_v	F
$\bar{u}$	u_∞
$\zeta := \dfrac{\Delta p_v}{\frac{\rho}{2}\bar{u}^2}$	$c_W := \dfrac{F}{\frac{\rho}{2}u_\infty^2 L}$
$\lambda := \dfrac{\tau_w}{\frac{\rho}{2}\bar{u}^2}$	$c_f := \dfrac{\tau_w}{\frac{\rho}{2}u_\infty^2}$.

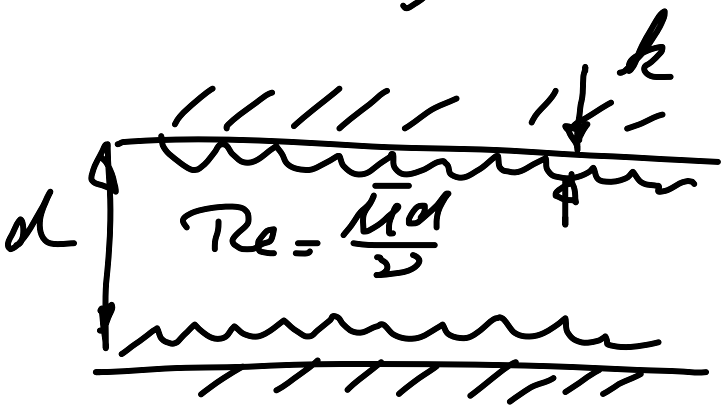
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

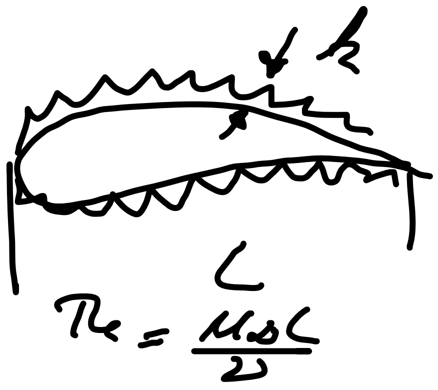
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

$\zeta, \lambda, c_w, c_f = c$

$$c = c(Re, k/d)$$





TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

Grenzbetrachtung

$$Re = \frac{u L \rho}{\eta}$$

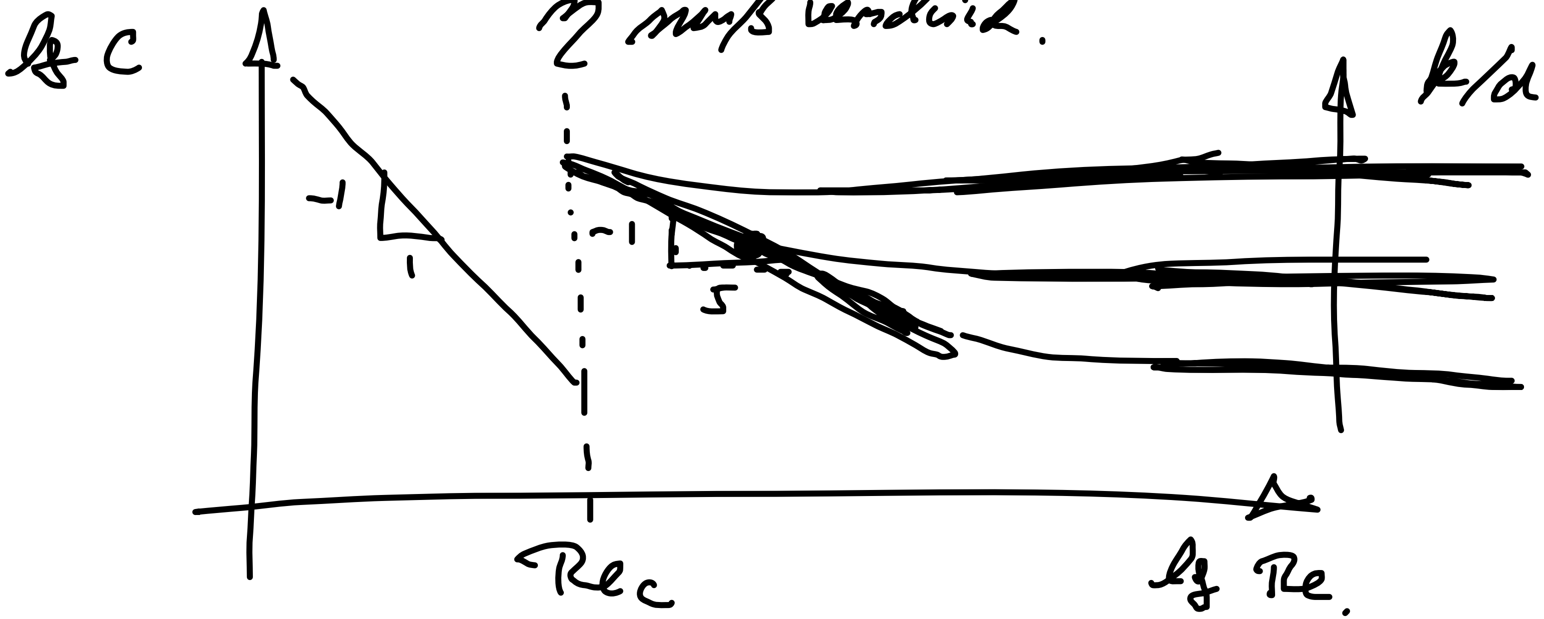
$$\lim_{Re \to 0} c\left(Re, \frac{k}{d}\right) = \frac{const}{Re}.$$

ρ muß verschwinden.

$$\frac{\dots}{\cancel{\rho}} = \frac{\dots}{\cancel{\rho}}$$

$$\lim_{Re \to \infty} c\left(Re, \frac{k}{d}\right) = c\left(\frac{k}{d}\right)$$

η muß verschwinden.

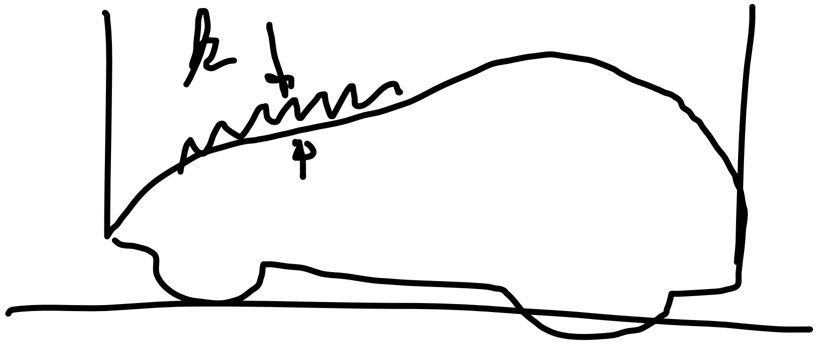


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

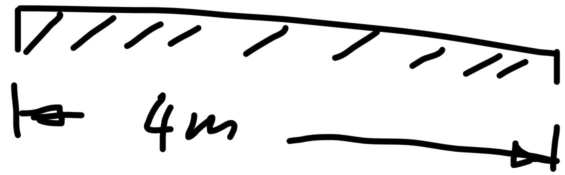
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

$$U_\infty = 360 \frac{10^3}{3600} \frac{m}{sec} = 100 \frac{m}{sec}$$

$L \sim 4m$



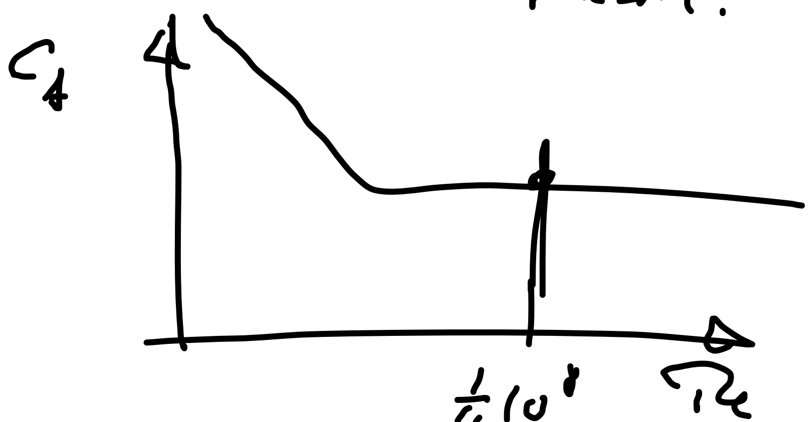
$\widehat{=}$



$$Re = \frac{100 \cdot 4}{16 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{4} 10^8.$$

Schlichting: Grenzschicht-theorie.

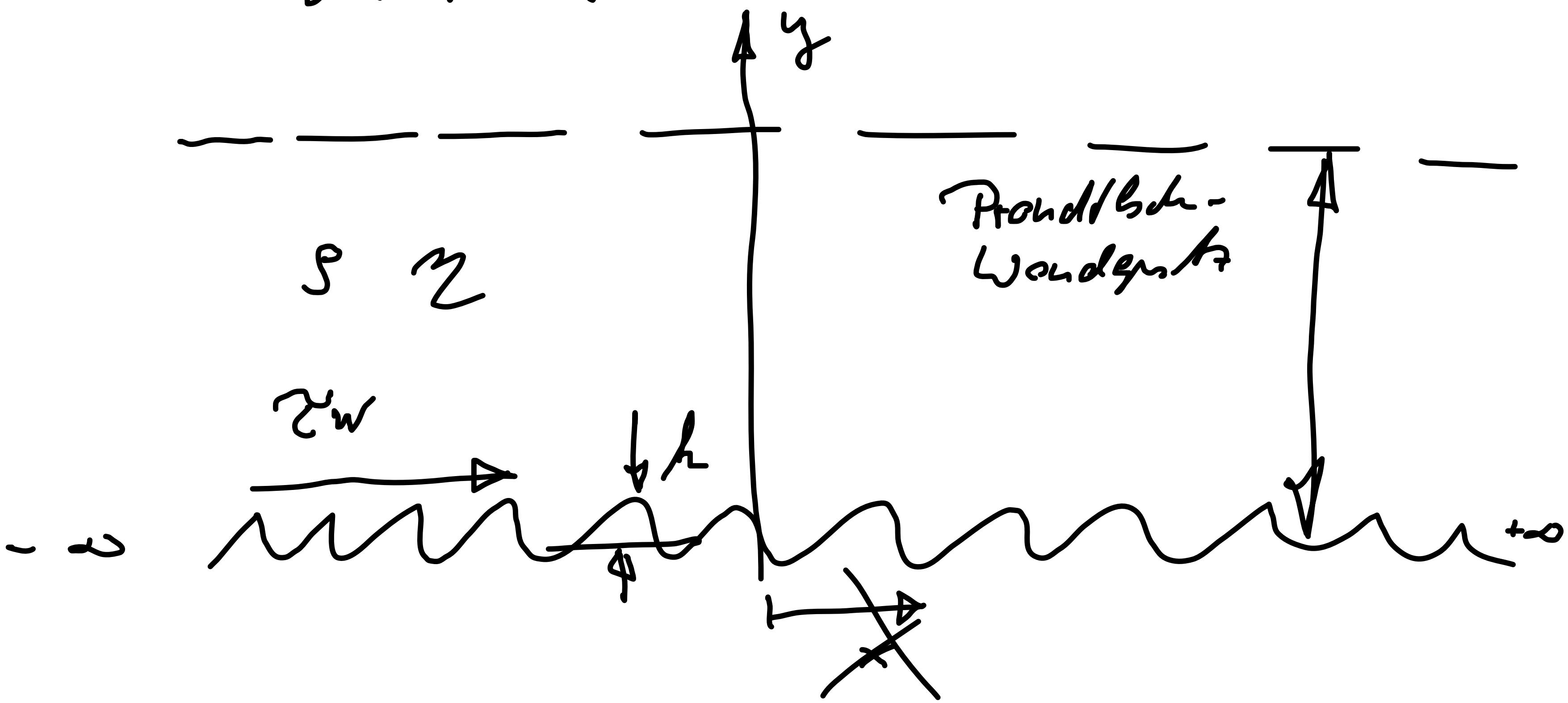
$\frac{k}{L}$

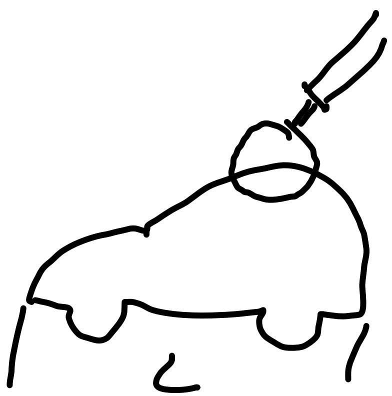


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK

~~Warum~~ Ab welcher Reynoldszahl wird die Rauhigkeit wichtig?





Frage: Mit welcher Größe wird y dimensionslos gemacht?

$$k \; ; \; \delta_\nu = fn(\tau_w, \rho, \eta)$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

~~Durch~~ In Wandnähe verschwindet also das Problem.

Im Problem verbleibt die Rauhigkeit k und die viskose Länge

$$\delta_\nu = fn(\tau_w, \rho, \nu)$$

$$\delta_\nu \sim \nu/\sqrt{\tau_w/\rho} = \frac{\nu}{\sqrt{\tau_w/\rho}} = \frac{\nu}{u_*}$$

$$u_* := \sqrt{\tau_w/\rho}$$ Schubspannungsgeschw.

u_* ist von der Größenordnung der Fluktuationsgeschwindigkeit von Turbulenzballen.

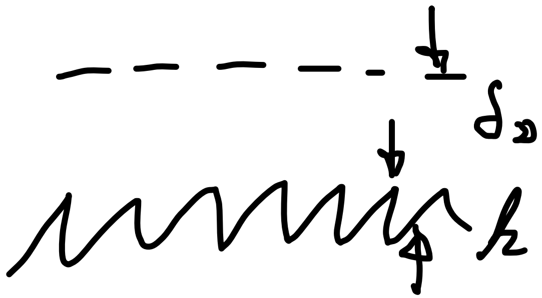
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

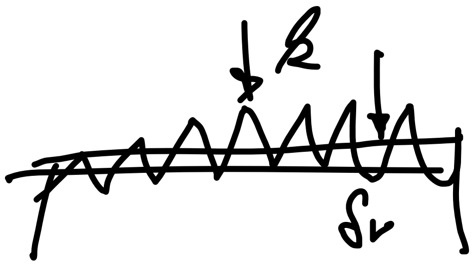
$k \ll \delta_\nu$, dann ist die Wandschubspannung durch die Viskosität bestimmt.

$$\tau_w = \eta \frac{d\bar{u}}{dy}.$$



$k \gg \delta_\nu$, dann ist die Wandschubspannung durch die Trägheit bestimmt.

$$\tau_w = \rho \overline{u'v'}$$



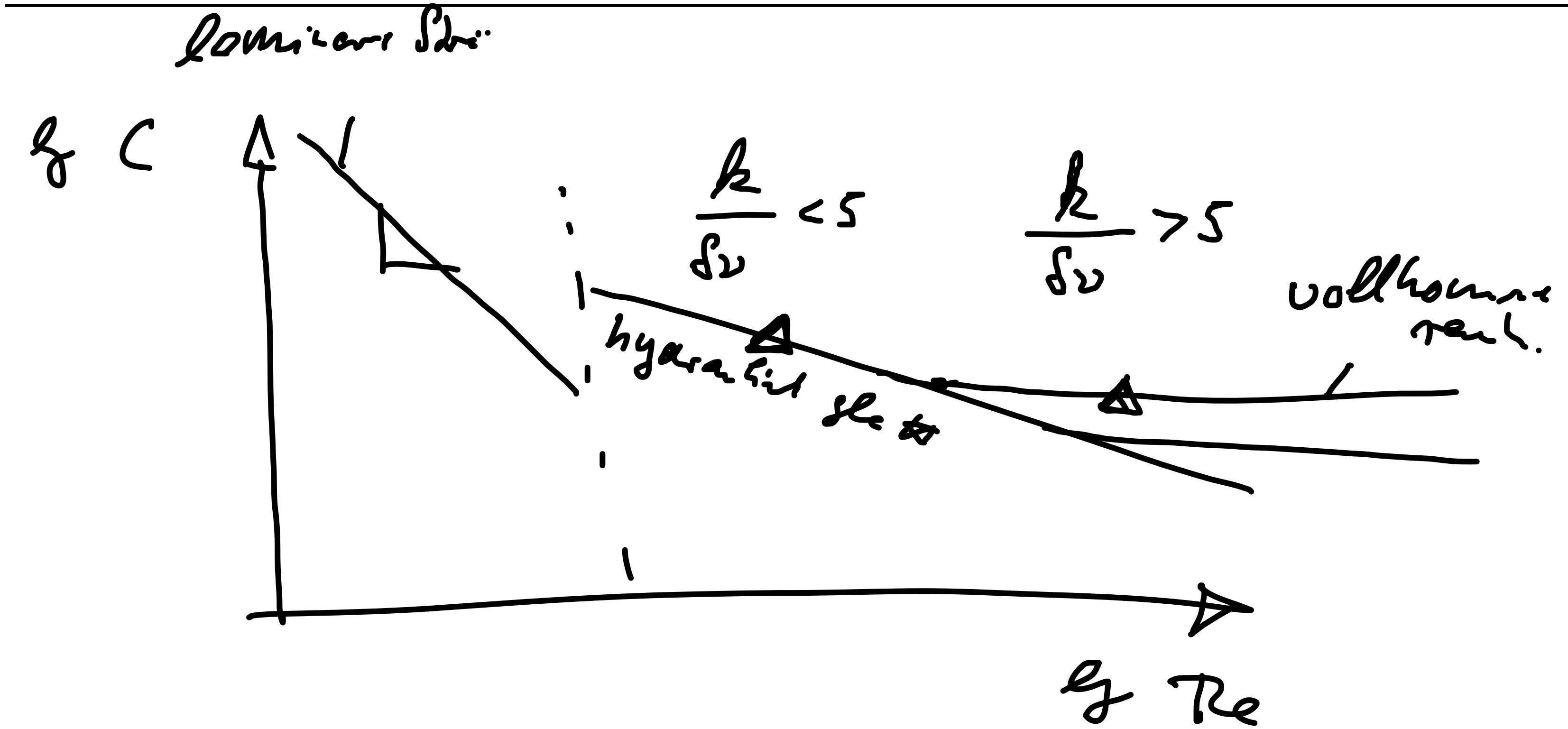
u' ist die Fluktuationsgeschwindigkeit in x-Richt.
v' ist " " in y-Richt.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18



$$\frac{k}{\delta_\nu} = \frac{k}{\nu}\left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{k\,u}{\nu}\sqrt{\frac{c_f}{2}} = Re_k\sqrt{\frac{c_f}{2}}$$

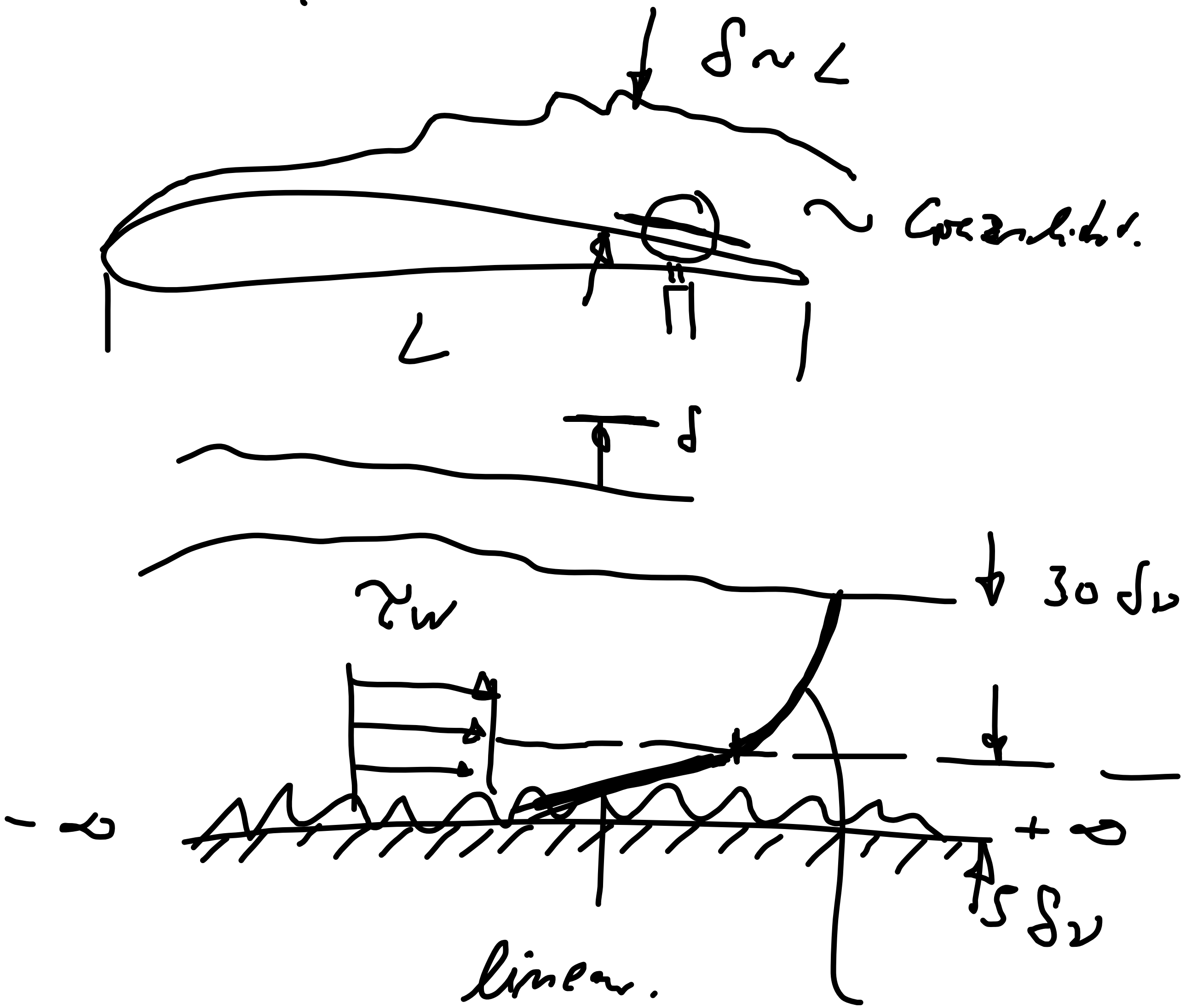
$$c_f := \frac{\tau_w}{\frac{\rho}{2}u^2} \rightsquigarrow \frac{\tau_w}{\rho} = c_f\,u^2\,\frac{1}{2}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

Außenstr.:



$$\bar{u} = u_* y$$

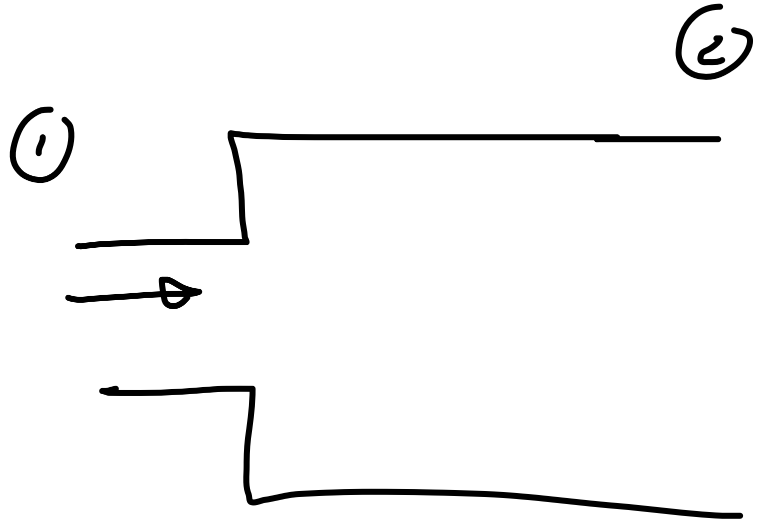
viskose Sch.

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \ln\left(\frac{y}{\delta_\nu}\right)\frac{1}{\kappa} + B$$

logarithmische Ue.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK



$$\Delta p_V = \frac{\varrho}{2}\left(u_1 - u_2\right)^2$$

Carnot'scher Stoßverlust.

Zusammenhang Bernoulli / Energiegleichung

$$\Delta p_V = \varrho \, \Delta e$$

$$\Delta p_V = \varrho \, c \, \Delta T$$

$$\underbrace{\Delta p_V \left(\bar{u}, u, \nu, \varrho, k\right)}_{\text{Widerstandsges.}} = \varrho \, c \, \Delta T$$

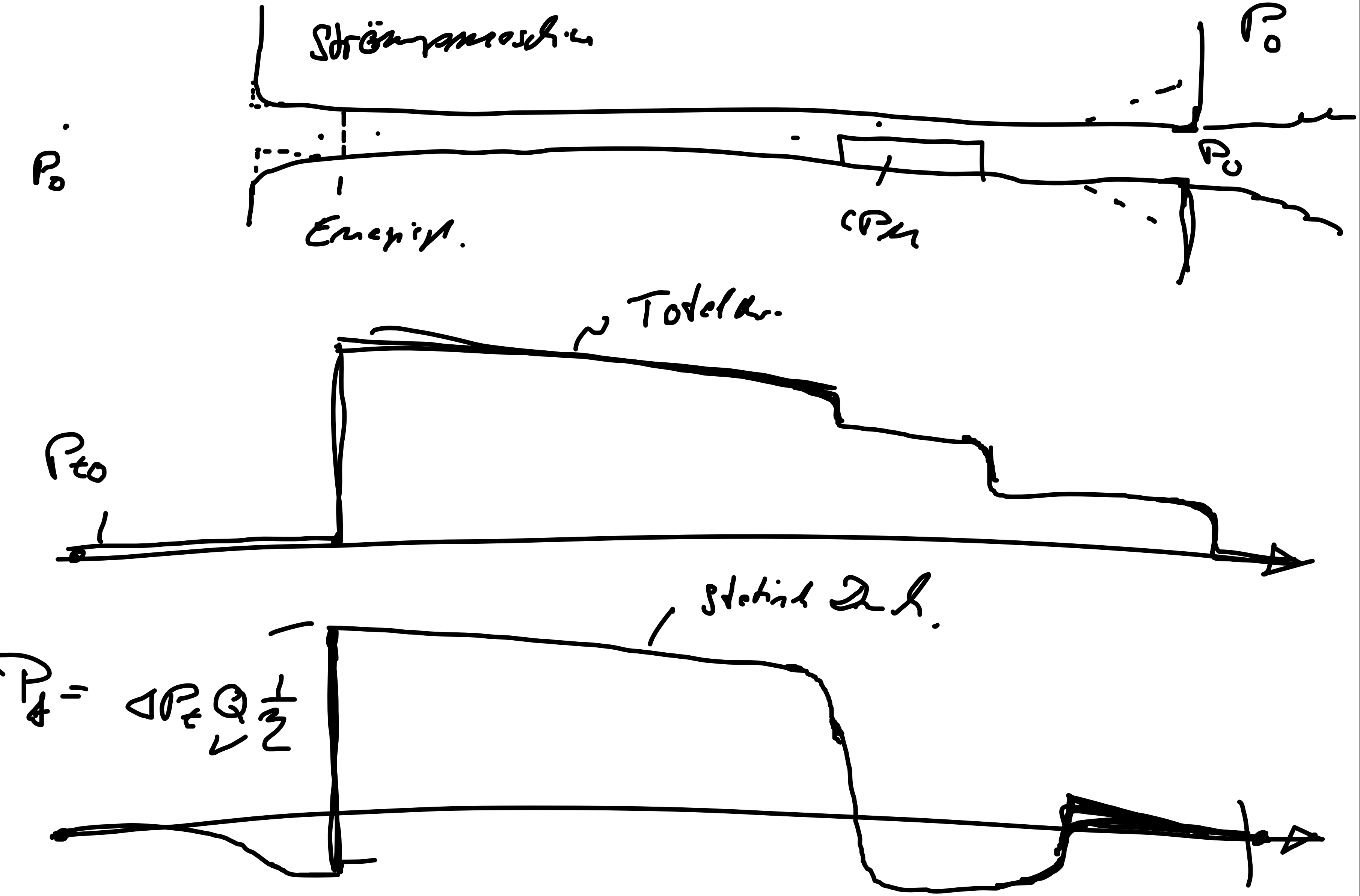
~~Messg~~ Messung der Volumenstromes über Temperaturen.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18



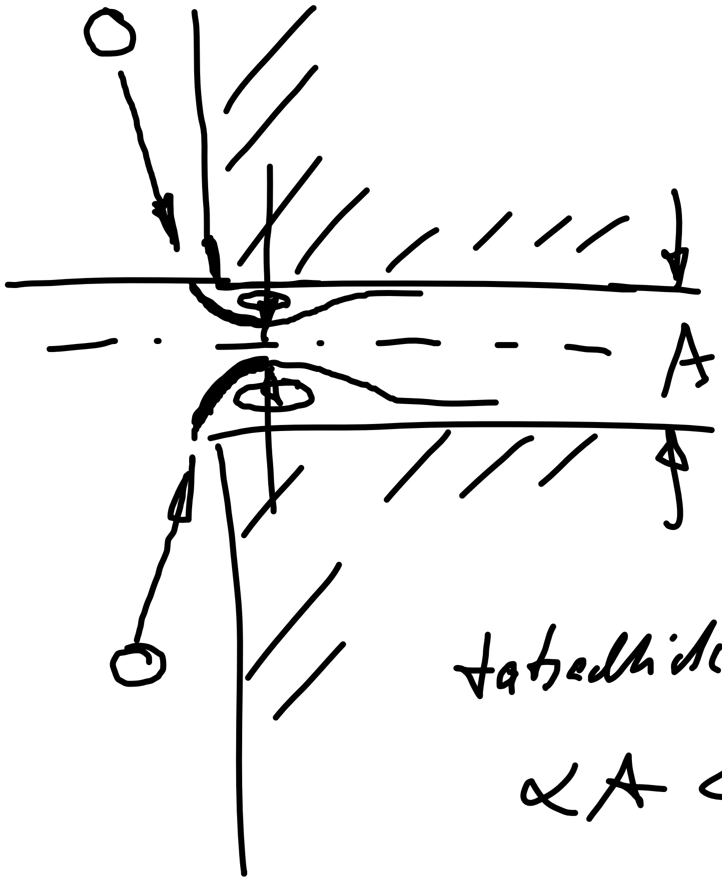
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18

Ideale schlechte Düse



$$\Delta p_v = \frac{\rho}{2}\left(u_{max} - u\right)^2$$

$$= \frac{\rho}{2}\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)^2 u^2$$

$$= \frac{\rho}{2} u^2 \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^2.$$

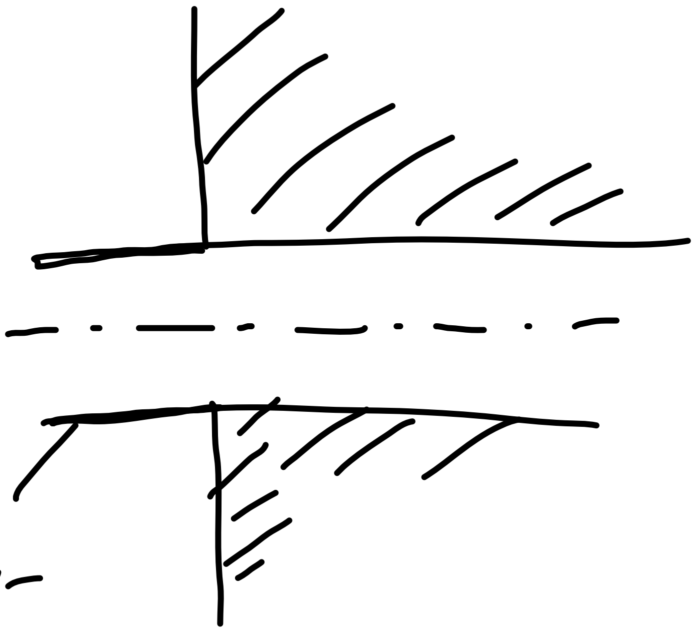
tatsächliche Strömungsquerschnitt ist

$\alpha A < A$

$\alpha \leq 1$

α Kontraktionsziffer.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 18



Borda-Mündung

ebener Spalt.

$$\alpha \overset{?}{=} \frac{\pi}{\pi+2} = 0.59$$

Spurk Kap 10.

Hodographenmethode.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 18