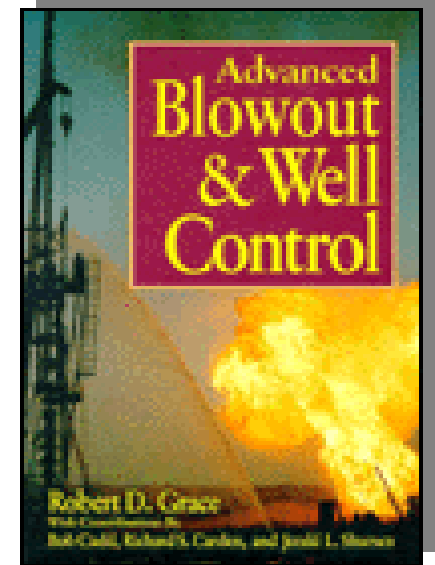
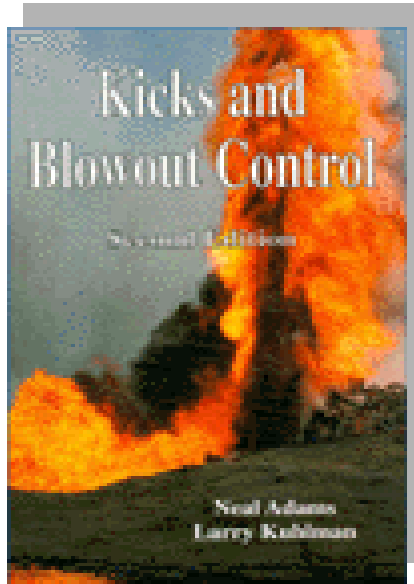


## Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

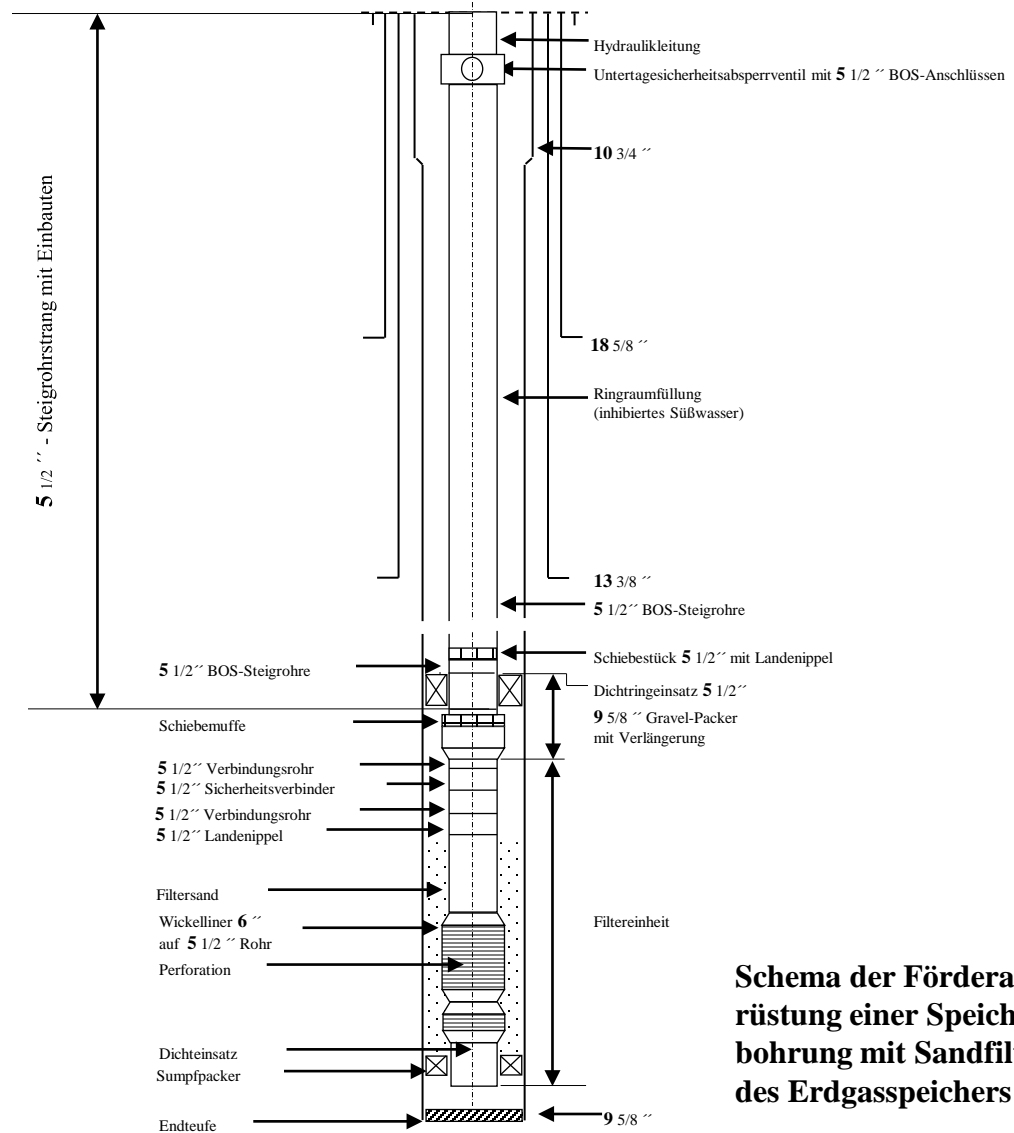
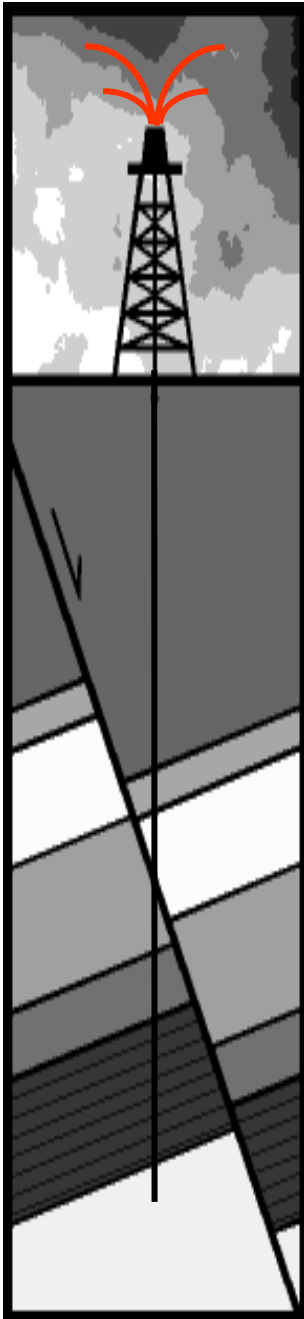


Blowouts sind beeindruckende und furchterregende Ausbrüche von Gas oder Öl aus Förder-sonden, die oft von einem gewaltigen Flammenmeer begleitet sind. Sie müssen möglichst schnell unter Kontrolle gebracht werden, denn sie bilden eine ernste Gefahr für Leben und Gesundheit des Personals und können auf Grund der damit verbundenen Förderverluste, des Verlustes der Ausrüstung und der Umweltverschmutzung zu riesigen finanziellen Schäden führen. Neben dem großen Prestigeverlust für die Erdöl- und Erdgasindustrie kann dies bis zum völligen Ruin des davon betroffenen Unternehmens führen.

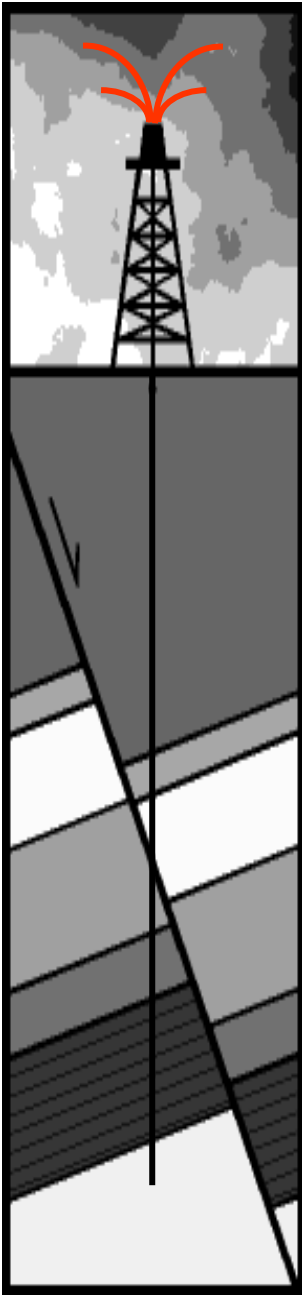
Im Zeitraum von 1975 bis 1990 wurden 32 große Blowouts (ohne Kuwait) weltweit statis-tisch erfaßt. Der Gesamtschaden dieser Blowouts betrug mehr als 4 Milliarden Dollar.

# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)



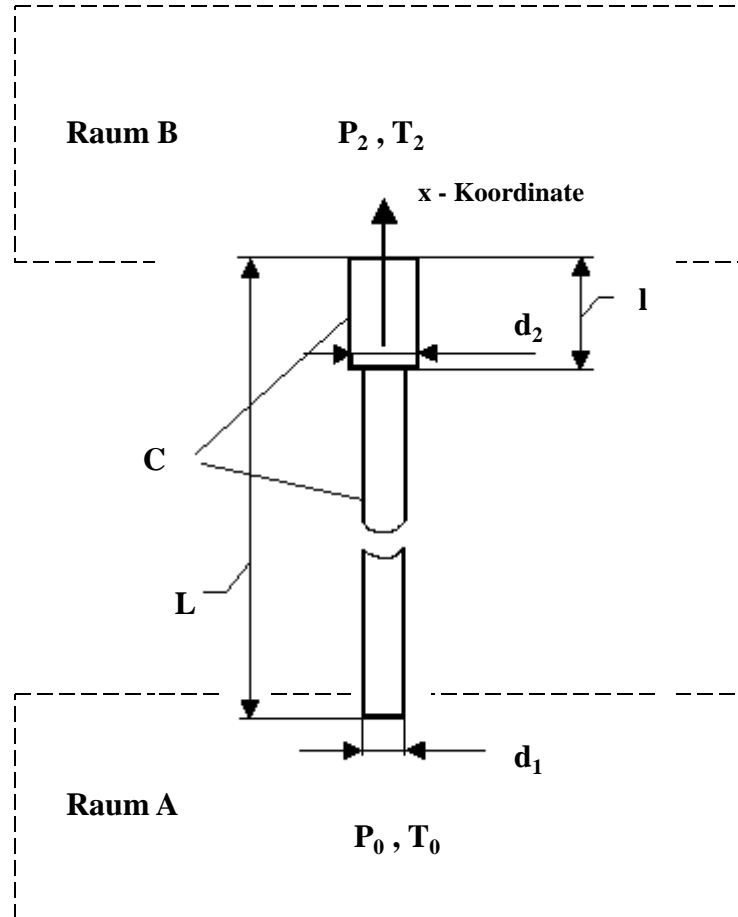
**Schema der Förderaus-rüstung einer Speicher-bohrung mit Sandfilter des Erdgasspeichers Berlin**

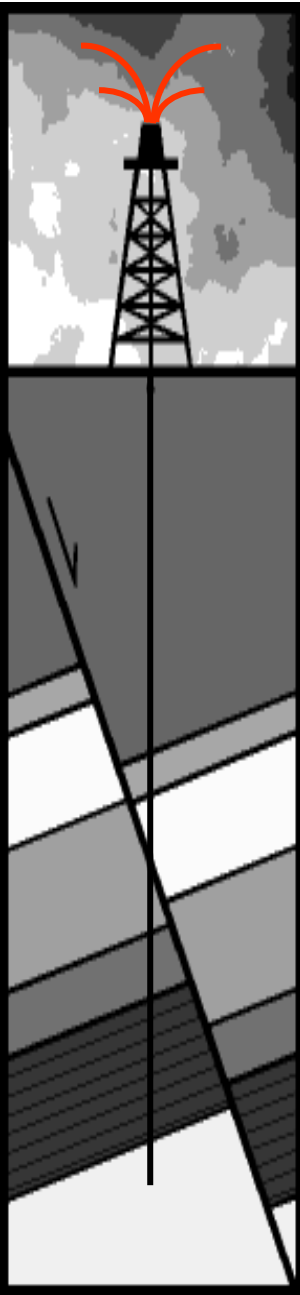


# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## *Mathematisches Modell:*





# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## Ausgangsgleichungen:

$$\rho U F = G \quad P = z \rho R T$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_F (P + \rho U^2) dF = -\tau_w \pi d - \int_F g \rho dF$$

$$\tau_w = \frac{G}{F} U_v \frac{1}{8} \xi$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_F \rho U (H + g x) dF = 0$$

$$H = h + \frac{U^2}{2}$$

- Ergebnisse der Untersuchung von Strömungen kompressibler Medien in glatten, geraden Röhren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit von W. Frössel;
- Berechnung mittlerer Strömungsparameter;

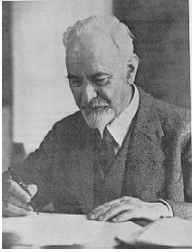
## Gleichungssystem für die Berechnung der Gasströmung bei einem Blowout:

$$\rho U F = G \quad P = z \rho R T$$

$$\frac{dH}{dx} + g = 0$$

$$H = h(P, T) + \frac{U^2}{2} (1 + 3 \xi)$$

$$\frac{d}{dx} [P F + U (1 + \xi) G] = -\frac{\xi}{2} \frac{G}{d} U - \frac{g}{U} G$$

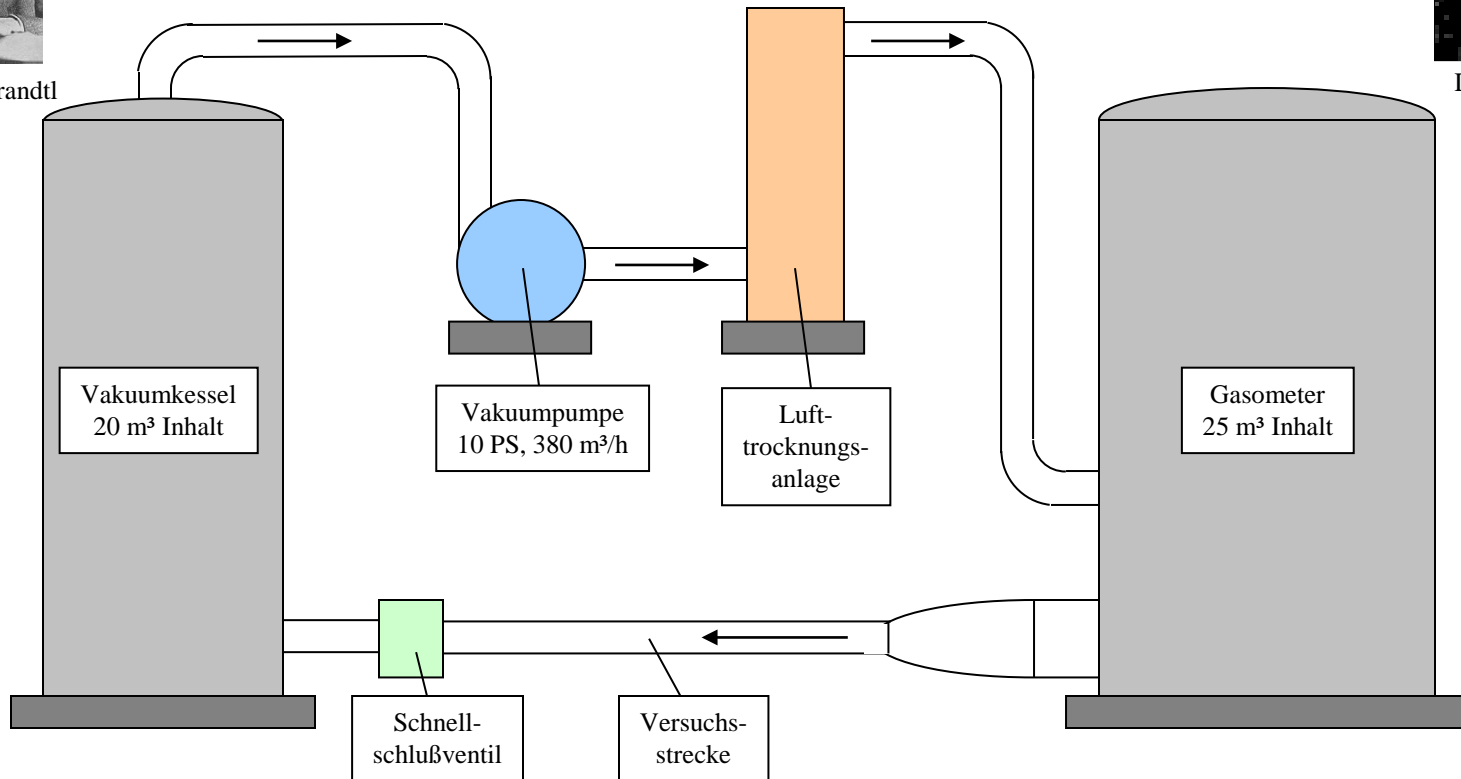


Prof. Dr. L. Prandtl

## Versuchsanlage zur Untersuchung von Strömungen kompressibler Medien in glatten, geraden Rohren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit Kaiser - Wilhelm - Institut für Strömungsforschung, Göttingen, 1936

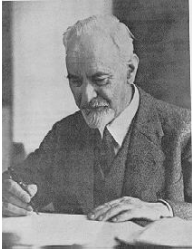


Dr. W. Frössel



**Vorbereitung:** Die Vakuumpumpe saugt die Luft aus dem Vakuumkessel und fördert sie durch die Trocknungsanlage in den Gasometer. Dabei ist das Schnellschlußventil zwischen der Versuchsstrecke und dem Vakuumkessel geschlossen.

**Messung:** Die Luft strömt infolge des atmosphärischen Überdruckes durch die Versuchsstrecke in den Vakuumkessel. Der Strömungszustand bleibt in der Versuchsstrecke wegen des Vorhandenseins der Schallgeschwindigkeit in einem Teil der Strecke streng konstant, solange im Vakuumkessel ein bestimmter Druck noch nicht erreicht ist.



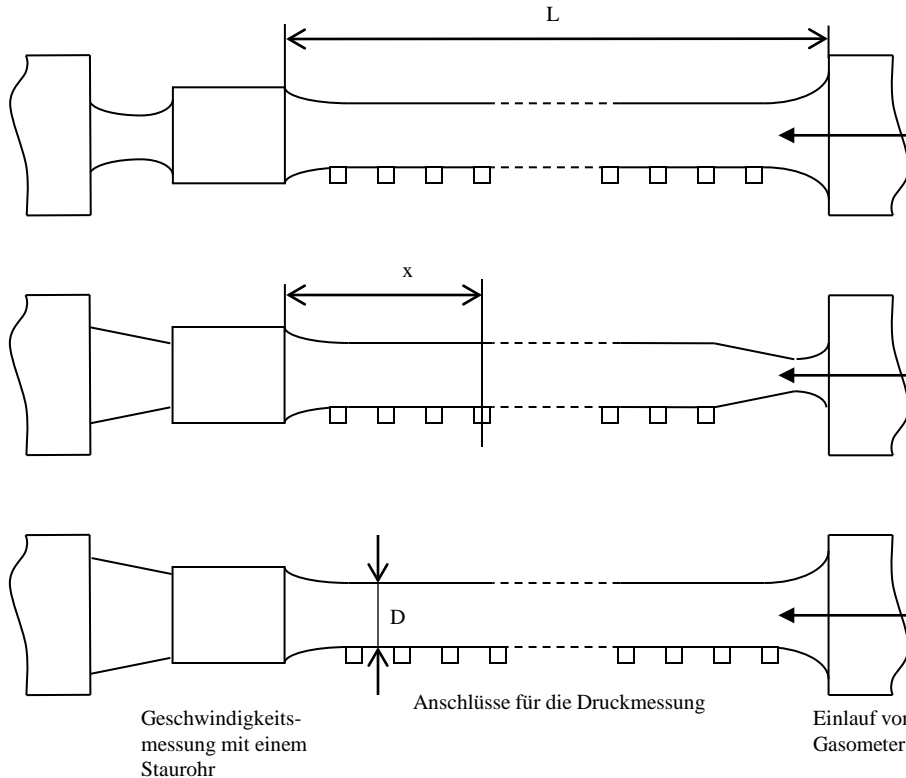
Prof. Dr. L. Prandtl

## Versuchsanlage zur Untersuchung von Strömungen kompressibler Medien in glatten, geraden Rohren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit Kaiser - Wilhelm - Institut für Strömungsforschung, Göttingen, 1936



Dr. W. Frössel

Die Versuchsstrecke, bestehend aus einem glatten zylindrischen Rohr mit davor oder dahinter gesetzten Düsen. Längs des Rohres befinden sich in gewissen Abständen Anbohrungen für die Druckmessung. Am Ende des Rohres ist ein Staurohr für die Geschwindigkeitsmessung vorhanden.



**für die Unterschallgeschwindigkeit:**

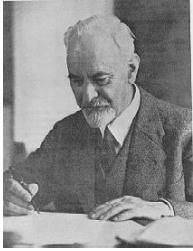
Das Rohr hat einen gut abgerundeten Einlauf. Am Ende des Rohres befindet sich eine Düse, deren engster Querschnitt kleiner als der Rohrdurchmesser ist. Die Abmessungen der Düse bestimmen die Strömungsgeschwindigkeit in der Versuchsstrecke.

**für die Überschallgeschwindigkeit:**

Die Düse ist vor den Einlauf des Rohres gesetzt. Der engste Querschnitt ist kleiner als der Rohrdurchmesser regelt auch hier die Strömungsgeschwindigkeit in der Versuchsstrecke.

**für die Schallgeschwindigkeit:**

Das Rohr hat einen gut abgerundeten Einlauf. Am Ende des Rohres befindet sich eine Düse, deren engster Querschnitt größer als der Rohrdurchmesser ist. Das Rohr stellt damit den einzigen merklichen Widerstand dar.



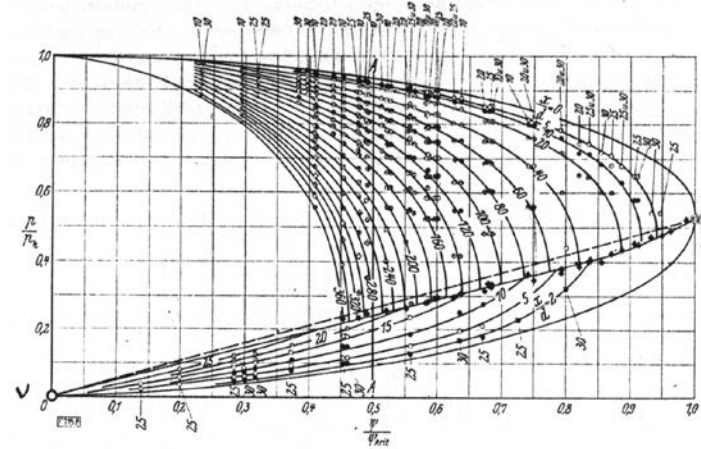
Prof. Dr. L. Prandtl

## Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung von Strömungen kompressibler Medien in glatten, geraden Rohren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit Kaiser - Wilhelm - Institut für Strömungsforschung, Göttingen, 1936

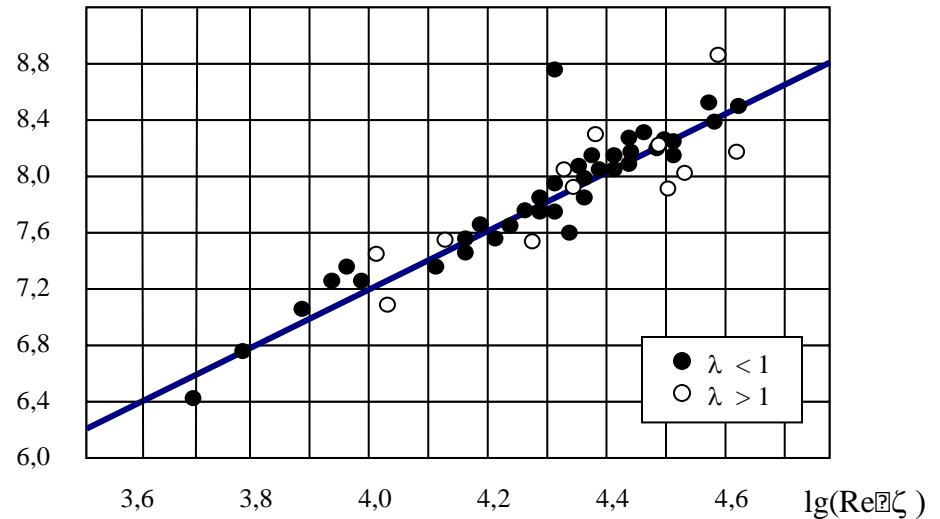


Dr. W. Frössel

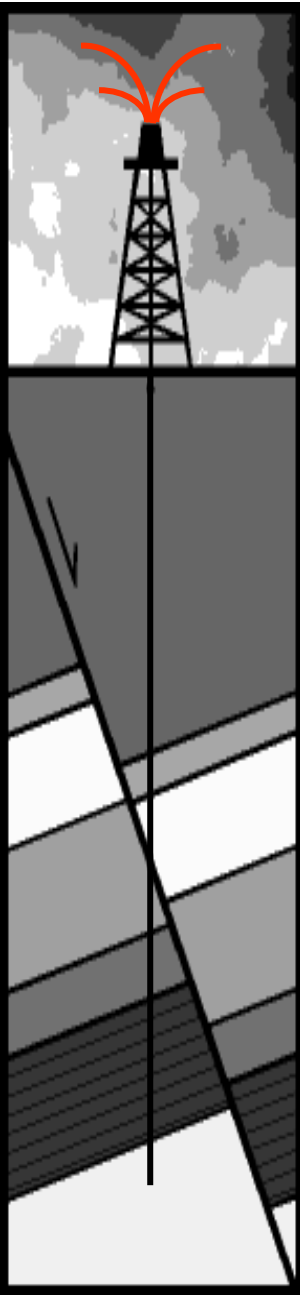
1. Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Durchflußmenge/Flächeneinheit, des Druckverlaufes längs des Rohres und der Rohrlänge wurde nachgewiesen.
2. Bei großen Strömungsgeschwindigkeiten in langen Rohren ( $L \geq 40 \cdot D$ ) erfährt die turbulente Grenzschicht den gesamten Rohrquerschnitt. Die Folge ist eine ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung über den Rohrquerschnitt.
3. Das von Nikuradse entdeckte Widerstandsgesetz für Flüssigkeiten gilt auch für Gase bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Für hydraulisch glatte Rohre gilt das Widerstandsgesetz von Nikuradse
 
$$\frac{1}{\sqrt{\zeta}} := 2 \log \left( \text{Re} \cdot \sqrt{\zeta} \right) - 0.8$$
 für hydraulisch raue Rohre das Gesetz von Kármán
 
$$\zeta := \left( 2 \cdot \log \left( \frac{d}{2 \cdot \Delta} \right) + 1.74 \right)^{-2}$$
4. Die Lage des Verdichtungsstoßes hängt vom Widerstand des Rohres ab und wandert mit wachsenden Widerstand bis zu seinem Anfang, so daß dann im Rohr nur noch Unterschallgeschwindigkeit besteht.



$1/\sqrt{\zeta}$



4. Die Lage des Verdichtungsstoßes hängt vom Widerstand des Rohres ab und wandert mit wachsenden Widerstand bis zu seinem Anfang, so daß dann im Rohr nur noch Unterschallgeschwindigkeit besteht.



# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## Ausgangsgleichungen:

$$\rho U F = G \quad P = z \rho R T$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_F (P + \rho U^2) dF = -\tau_w \pi d - \int_F g \rho dF$$

$$\tau_w = \frac{G}{F} U_v \frac{1}{8} \xi$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_F \rho U (H + g x) dF = 0$$

$$H = h + \frac{U^2}{2}$$

Die Abweichungen der thermodynamischen Funktionen von den Werten, die einem idealen Zustand des Gases entsprechen, werden mit Hilfe der **virialen Zustandsgleichungen** bestimmt.

- Ergebnisse der Untersuchung von Strömungen kompressibler Medien in glatten, geraden Röhren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit von W. Frössel;
- Berechnung mittlerer Strömungsparameter;

## Gleichungssystem für die Berechnung der Gasströmung bei einem Blowout:

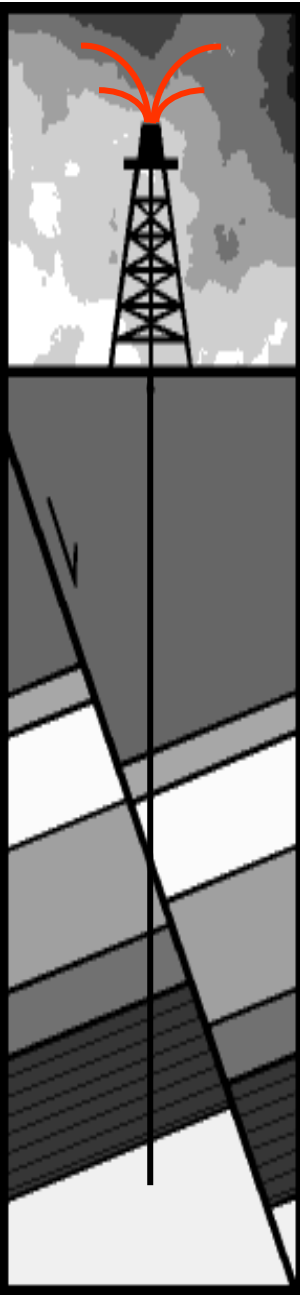
$$\rho U F = G \quad P = z \rho R T$$

$$\frac{dH}{dx} + g = 0$$

$$H = h(P, T) + \frac{U^2}{2} (1 + 3\xi)$$

$$\frac{d}{dx} [P F + U (1 + \xi) G] = -\frac{\xi}{2} \frac{G}{d} U - \frac{g}{U} G$$



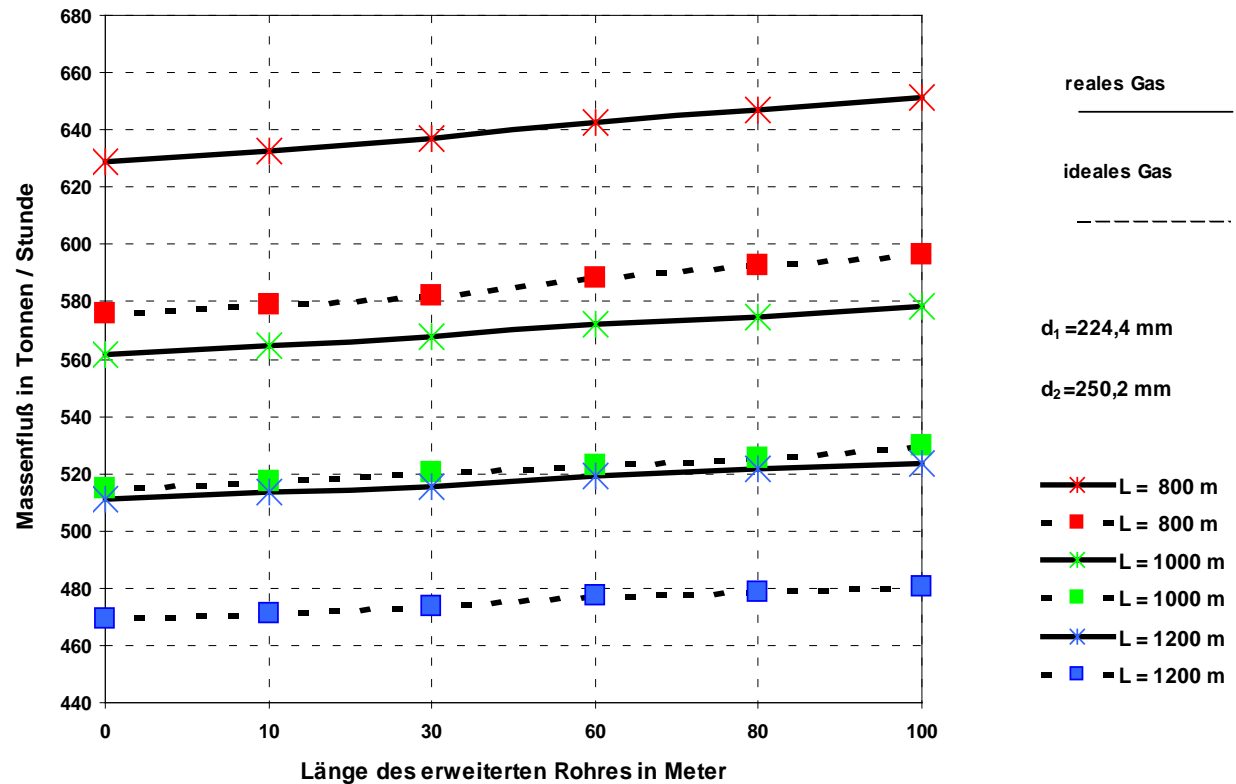


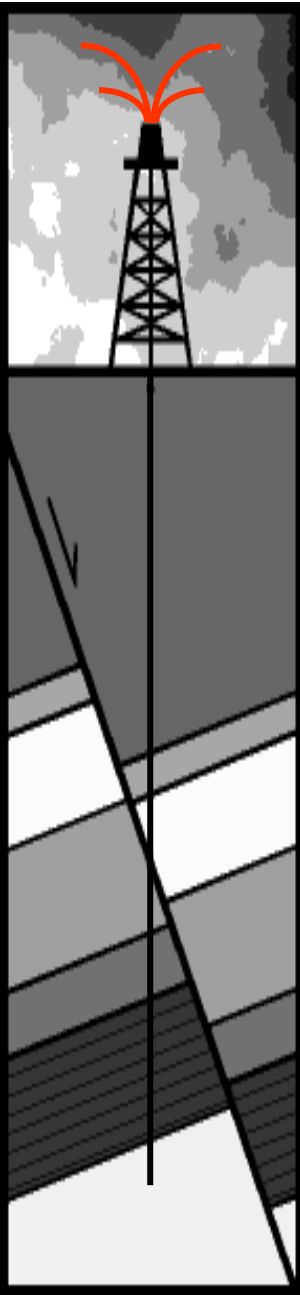
# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## Ergebnisse der Berechnungen:

Bild 3: Massenfluß des Gases bei einem "Blowout" in Abhängigkeit von der Länge und vom Durchmesser des erweiterten Rohres



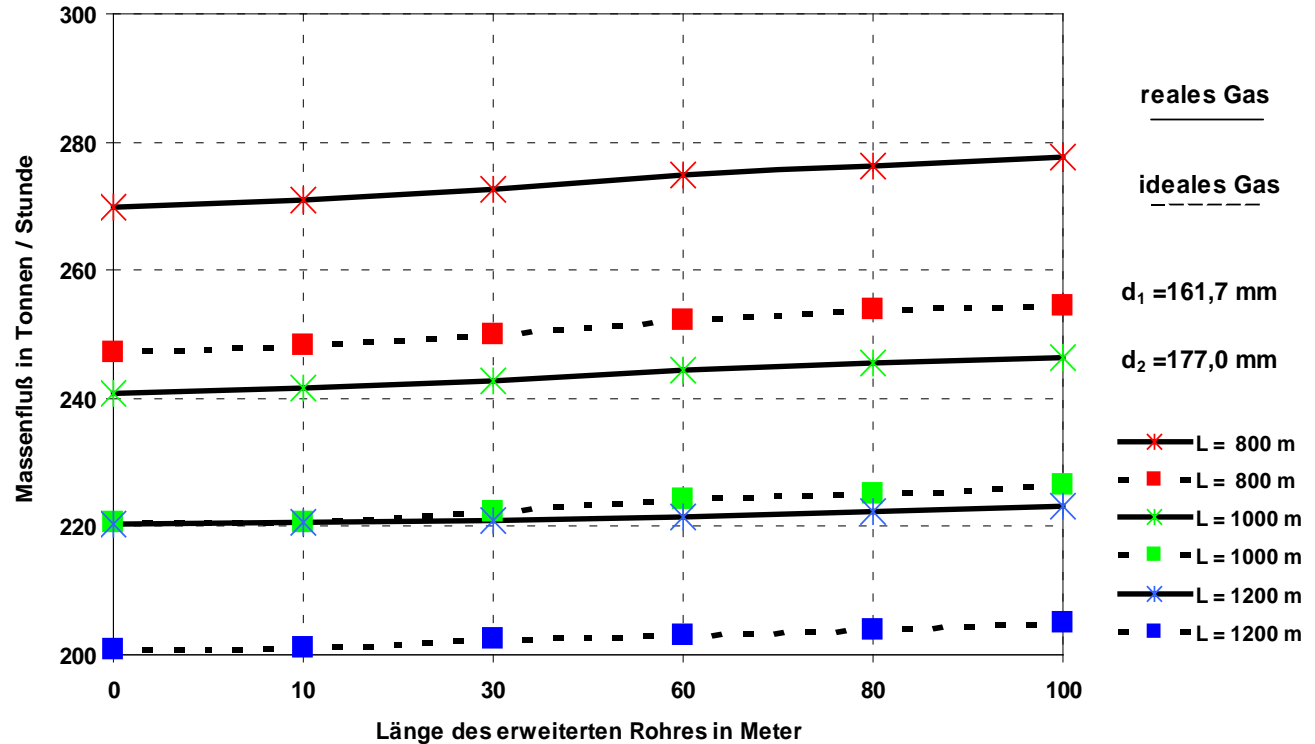


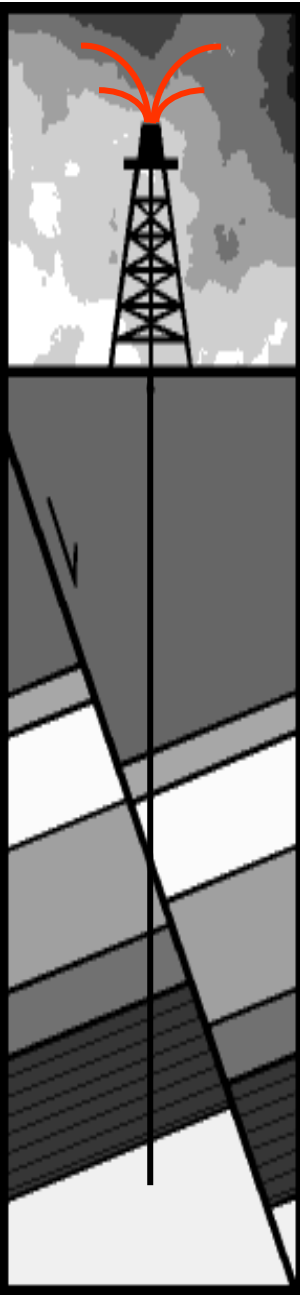
# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## Ergebnisse der Berechnungen:

**Bild 4: Massenfluß des Gases bei einem "Blowout" in Abhängigkeit von der Länge und vom Durchmesser des erweiterten Rohres**



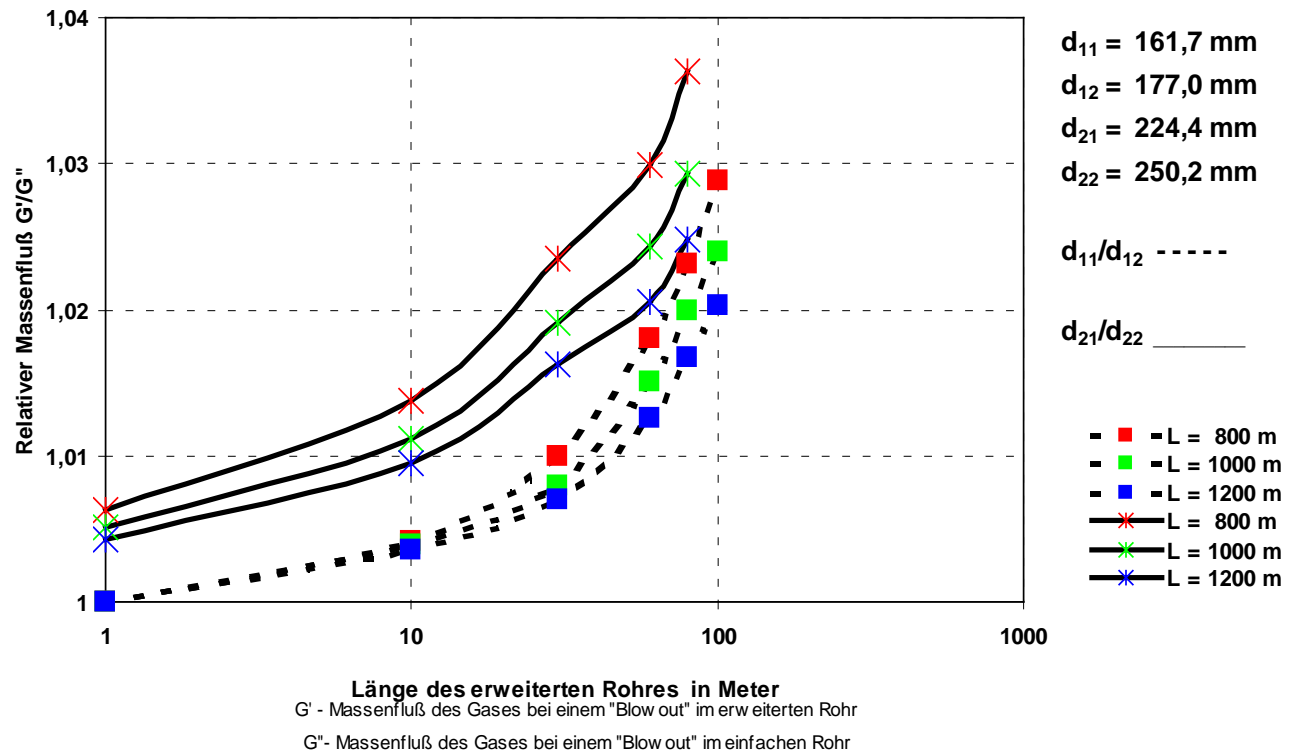


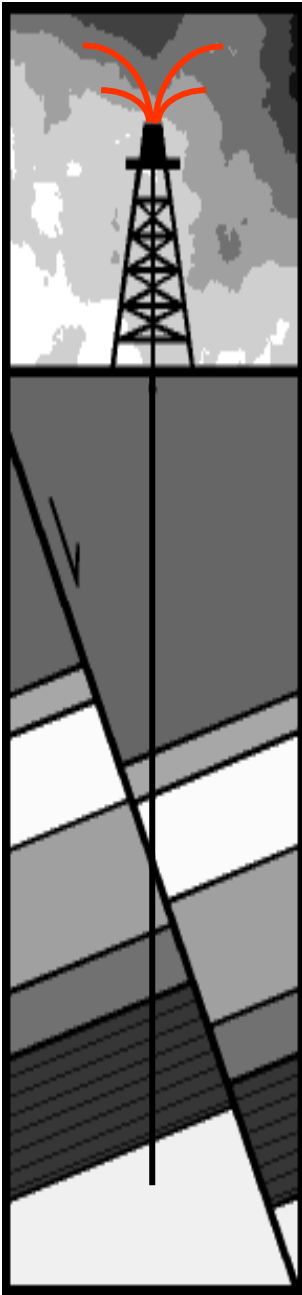
# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## Ergebnisse der Berechnungen:

**Bild 5: Relativer Massenfluß des Gases bei einem "Blowout" in Abhängigkeit von der Länge und vom Durchmesser des erweiterten Rohres**





# Ein erweitertes Modell für die Blowout-Berechnung realer Gase

Schacht, W. (Erfurt), Marx, C. (Clausthal)

## *Ergebnisse der Berechnungen:*

**Bild 6: Massenfluß des Gases bei einem "Blowout" in Abhängigkeit von der Rohrrauigkeit**

