

## STRÖMUNGSBILDER VON DER WINDFÜHRUNG IN LANDMASCHINEN

Von Hanns Trienes

Luftströmungen spielen in der Landtechnik eine bedeutende Rolle; sei es in Dreschmaschinen, wo mit Hilfe des Windes das Dreschgut gereinigt wird, sei es in Saatgutsichtern, wo mittels Wind sortiert wird, oder sei es in pneumatischen Förderanlagen für Halm- und Körnerfrüchte: überall hat sich der Konstrukteur mit den Gesetzen der Strömung auseinanderzusetzen.

Luftströmungen sind im allgemeinen nicht sichtbar, und daher ist es kein Wunder, dass fehlerhafte Ausführungen von Luftleitungen nicht oder erst spät erkannt werden. Es ist deshalb eine dankbare Aufgabe, Strömungen irgendwie sichtbar zu machen, um dem Konstrukteur an praktischen Beispielen die Bewegung eines strömenden Mediums vor Augen zu führen. Da man weiss, in welcher Weise die Strömungsgesetze von den physikalischen Eigenschaften (Dichte, Zähigkeit, Kompressibilität) des strömenden Mediums abhängen, kann man Strömungen statt in Luft auch in Wasser oder in einer anderen Flüssigkeit, z.B. Öl, untersuchen und sichtbar machen und die Ergebnisse nach gewissen Regeln auf den zu untersuchenden Fall übertragen [1]. Man bevorzugt die Sichtbarmachung einer Strömung in Wasser, da dieses Verfahren einfach ist.

Für die in der Landtechnik auftretenden Verhältnisse kann man Strömungen in Luft und Wasser dann als gleich ansehen, wenn ausser der geometrischen Ähnlichkeit des umströmten oder durchströmten Körpers für beide Vorgänge die gleiche Reynoldssche Zahl gilt. Diese Zahl ist definiert mit:

$$R_e = \frac{v \cdot l}{\nu} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu},$$

wobei  $v$  die Geschwindigkeit des strömenden Mediums,  $\rho$  seine Dichte,  $\mu$  seine dynamische Zähigkeit und  $l$  eine charakteristische Länge des untersuchten Körpers bedeuten [2]. Aus diesen Überlegungen heraus wurde ein Wasserkanal gebaut\*), ähnlich wie schon früher in anderen Instituten der Strömungsforschung. Auf die Wasseroberfläche wird Aluminiumpulver (handelsübliches Alu-Bronze-Pulver) gestreut, um die Wasserbewegung sichtbar zu machen. Allerdings können in einem solchen Kanal nur ebene Strömungen nachgebildet werden, d.h. Strömungsvorgänge, die in allen Schnittebenen parallel zur Anblasung gleich sind. Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch die etwa 15 cm breiten Modelle strömt, ist rund 15 cm/s.

Für die in der Landtechnik üblichen Abmessungen und Geschwindigkeiten ergeben sich als Beispiel beim Steigsichter etwa folgende Reynoldssche Zahlen:

Steigsichter:

Rohrweite	$l = 15 \text{ cm}$
Strömungsgeschwindigkeit	$v = 1000 \text{ cm/s}$
kinematische Zähigkeit von Luft bei 760 mm Hg und 20°C	$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0,16 \text{ cm}^2/\text{s}$
$R_e = \frac{1000 \cdot 15}{0,16} \approx 10^5$	

Modell:

Rohrweite	$l = 15 \text{ cm}$
Strömungsgeschwindigkeit	$v = 15 \text{ cm/s}$
kinematische Zähigkeit von Wasser bei 20°C	$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0,01 \text{ cm}^2/\text{s}$
$R_e = \frac{15 \cdot 15}{0,01} \approx 2 \cdot 10^4$	

Wie durch zahlreiche Messungen bewiesen ist [1; 3; 4], ändern sich bei diesen  $R_e$ -Zahlen zwischen  $10^4$  und  $10^5$  die Widerstandsbeizahlen und damit die Strömungsverhältnisse kaum. Die Übertragung der im Wasserkanal gewonnenen Strömungsbilder auf die Luftströmungen in der Maschine ist also zulässig, zumal es sich hier nur um die qualitative Übertragung von Strömungserscheinungen handelt. Bei den Versuchen muss dafür gesorgt werden (durch Herabsetzung der Geschwindigkeit), dass an den umströmten Körpern keine Oberflächenwellen entstehen, da sonst eine weitere strömungstechnische Kennzahl nämlich die Froudesche Zahl, zu beachten wäre.

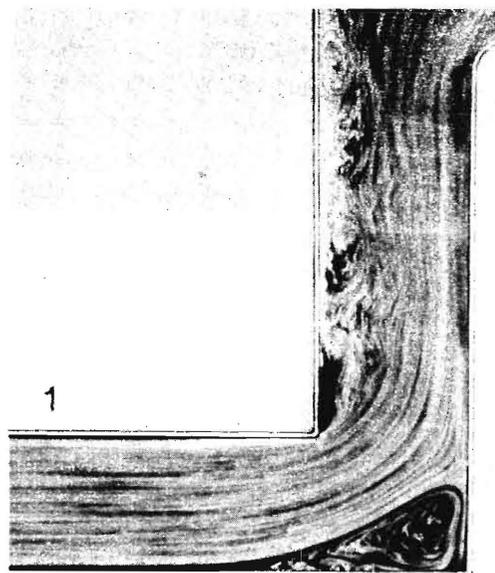
Geringfügige Verfälschungen der Strömungsbilder auf der Oberfläche treten dadurch ein, dass die Strömung im Wasserkanal von endlicher Tiefe ist. Es stellt sich eine Strömung ein, wie sie als Strömung in offenen Rinnen bekannt ist [3; 4].

Auf der Konstrukteurtagung wurden einige Strömungen vorgeführt, von denen die folgenden fotografischen Aufnahmen einen Eindruck geben sollen (Bild 1 bis 20). Die Modelle werden auf allen Aufnahmen von links angeströmt.

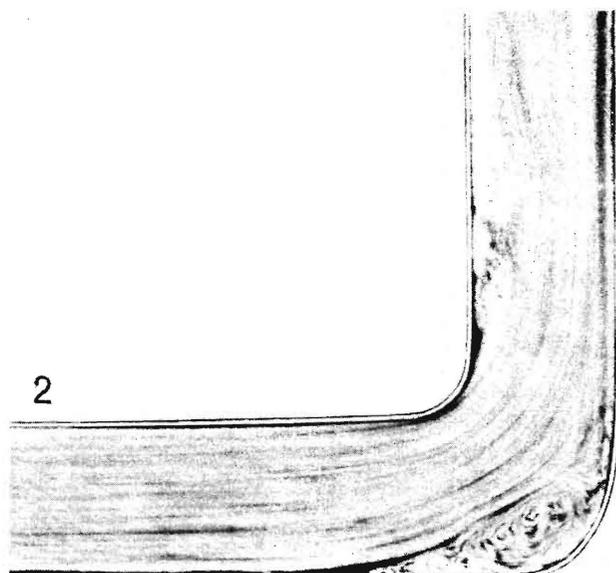
\*) Die Durchführung der Versuche wurde durch einen Forschungsauftrag des Herrn Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen in dankenswerter Weise ermöglicht.

### Schrifttum

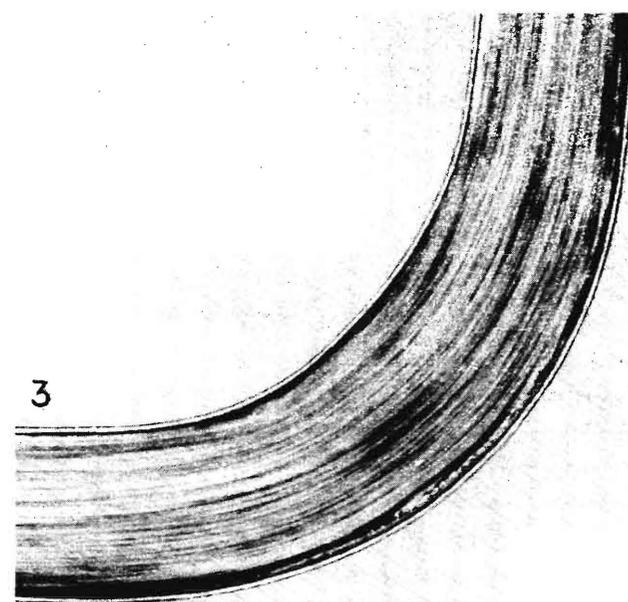
- [1] Prandtl-Tietjens: Hydro- und Aeromechanik. 2 Bde. Berlin 1929 und 1930.
- [2] Blenk, H.: Luftströmungen in der Landtechnik. Grndl. d. Landtechn. Heft 1, S.95/96 (9. Konstrukteurtagung). Düsseldorf 1951.
- [3] Prandtl, L.: Führer durch die Strömungslehre. 3. Auflage, Braunschweig 1949.
- [4] Schlichting, H.: Grenzschichttheorie. Karlsruhe 1951.



1



2



3

Bild 1: Strömung durch einen eckigen 90°-Krümmer. Es bilden sich starke Ablösungen (Wirbelbildung) an der inneren Wand und in der Ecke.

Bild 2: Strömung durch einen schwach abgerundeten 90°-Krümmer. An der inneren Wand und in der Ecke ist noch immer eine Ablösung zu sehen.

Bild 3: Strömung durch einen gut abgerundeten Krümmer, in dem praktisch keine Ablösung mehr auftritt. Äusserer Krümmungsradius mind. 2-2,5 fache Rohrweite, innerer " " 1,5-2 " " " "

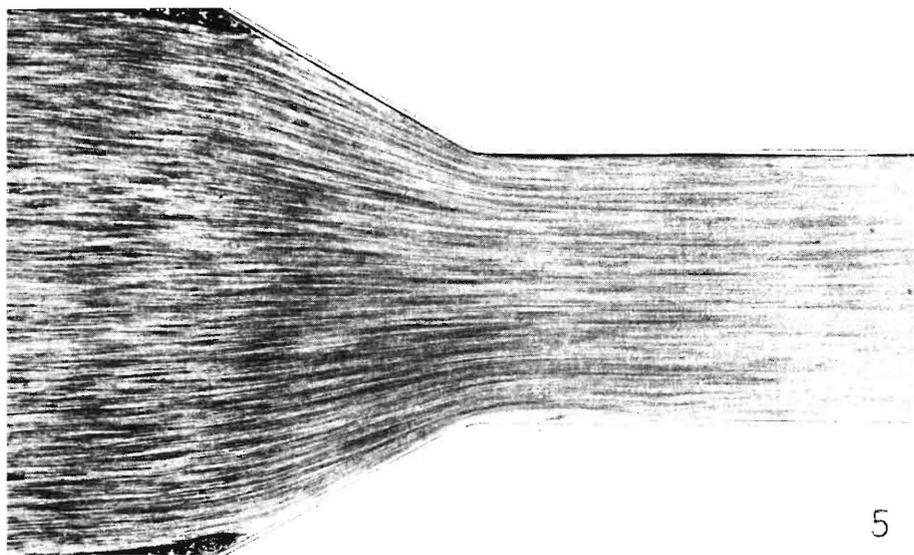
Bild 4: Umströmung einer um 30° angestellten Drosselklappe, hinter der sich ein starkes, verwirbeltes Strömungsgebiet zeigt.



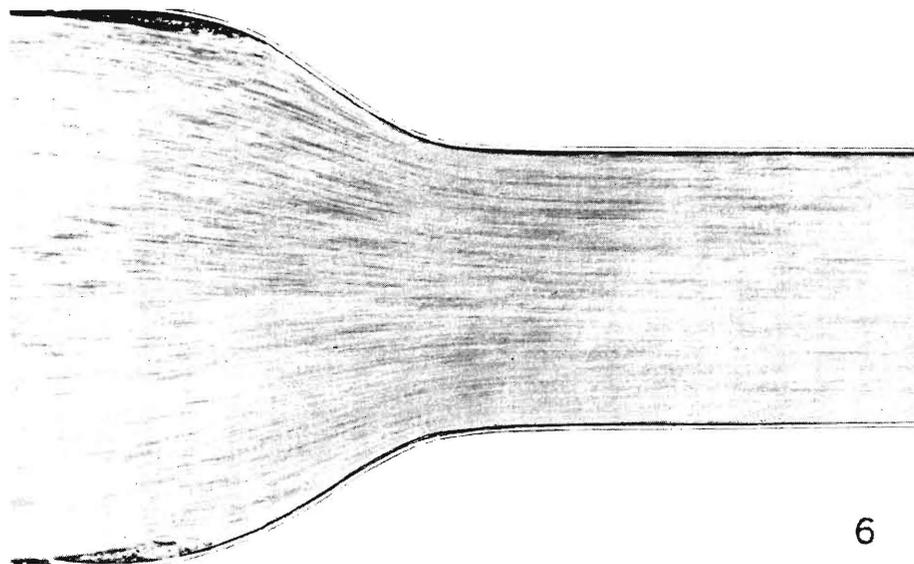
4

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung

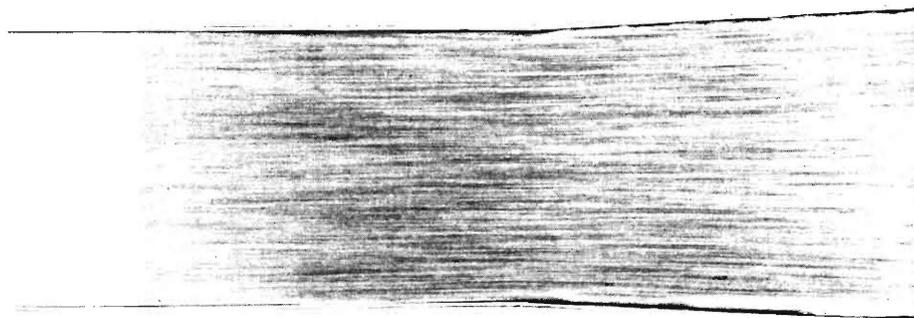
Dr.-Ing. Hanns Trienes, (20b) Braunschweig,  
Forschungsanstalt für Landwirtschaft



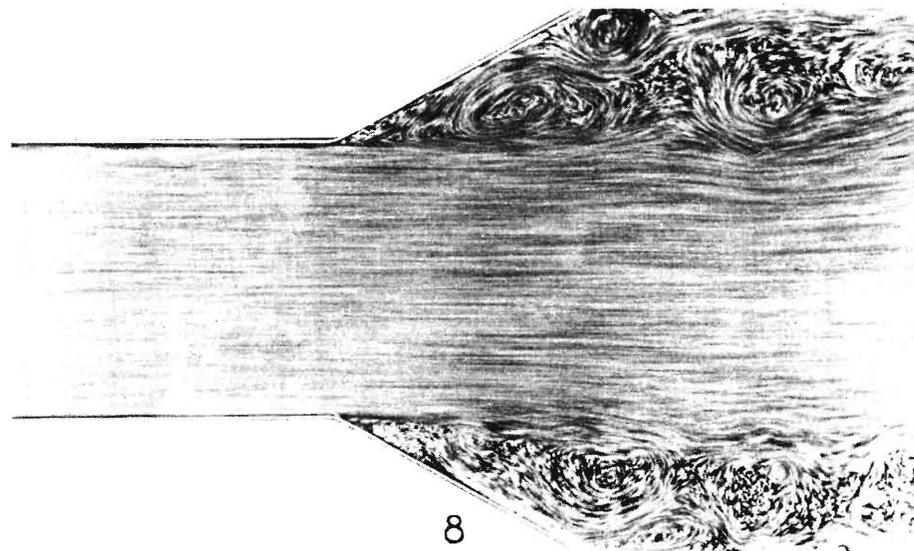
5



6



7



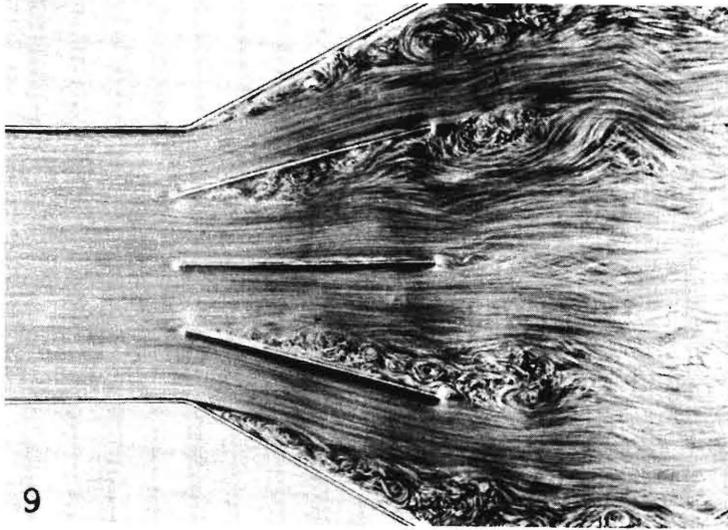
8

Bild 5: Strömung durch einen eckigen Einlauf (Düse). Es zeigen sich nur geringe Wirbel an der scharfen Übergangskante vom Einlauf in den "Kanal". Ein Beispiel dafür, dass die Strömung bei Querschnittsverengung meist gut anliegt (s.a. das Gegenbeispiel in Bild 13).

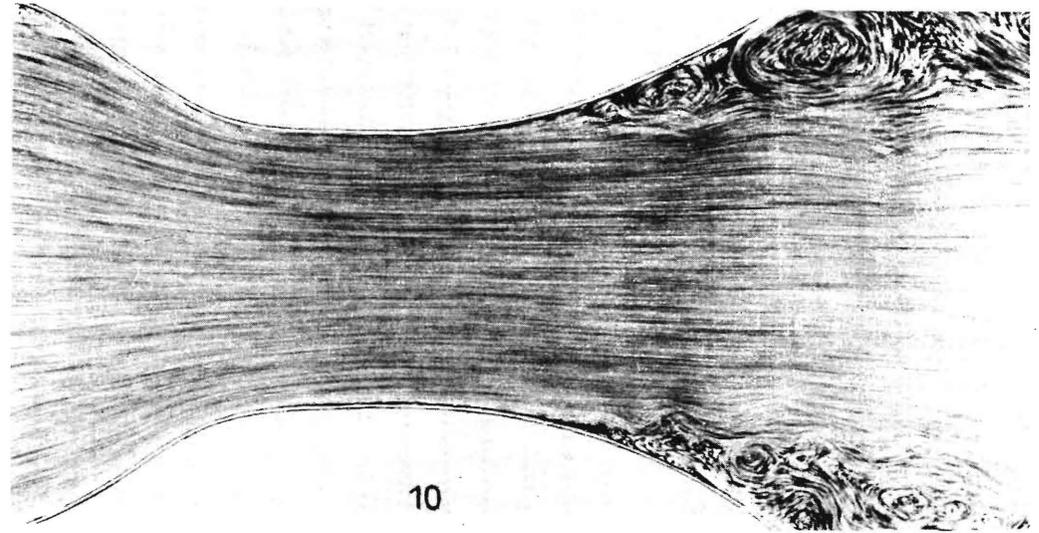
Bild 6: Strömung durch eine abgerundete Düse, bei der sich praktisch keinerlei Ablösungen einstellen.

Bild 7: Strömung durch einen sich schwach erweiternden Auslauf (Diffusor). Die Strömung liegt an. Erst bei Überschreitung eines Winkels von etwa  $6^\circ$  (im Bild etwa  $4-5^\circ$ ) beginnt die Strömung sich von der Wand abzulösen.

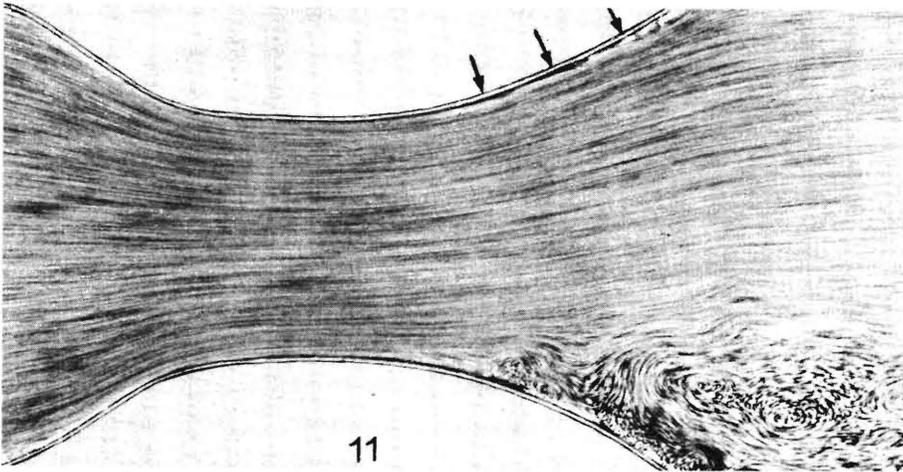
Bild 8: Strömung durch einen sich stark erweiternden (etwa  $30^\circ$ ) Diffusor, in dem die Strömung völlig abgerissen ist.



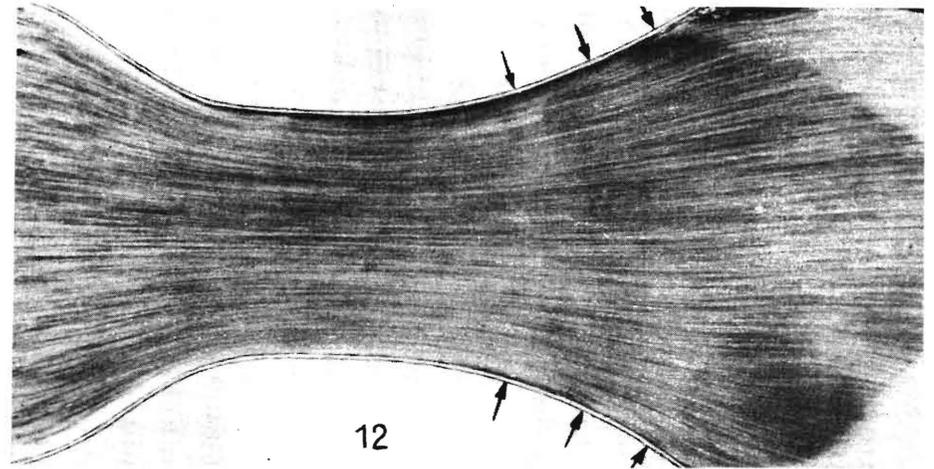
9



10



11



12

Bild 9: Strömung durch einen 30°-Diffusor, in dem Leitbleche eingebaut sind. Der Winkel zwischen zwei Leitblechen beträgt etwa 15°. Die Strömung erfüllt zwar (im Gegensatz zu Bild 8) den ganzen Querschnitt hinter dem Diffusor, ist jedoch abgerissen. Ein Beispiel dafür, dass man mit Leitblechen eine plötzliche Erweiterung erzwingen kann.

Bild 10: Strömung durch einen sich stark erweiternden, abgerundeten Diffusor. Die Strömung reißt ab.

Bild 11: Strömung durch einen sich stark erweiternden, abgerundeten Diffusor, bei dem auf der einen Seite die Grenzschicht abgesaugt wird. Die Pfeile bezeichnen die Stelle, an denen abgesaugt wird.

Bild 12: Strömung durch einen sich stark erweiternden, abgerundeten Diffusor, bei dem auf beiden Seiten die Grenzschicht abgesaugt wird. Ein Beispiel dafür, dass man mit Hilfe der Grenzschichtabsaugung eine Strömung durch einen derartigen Diffusor zum Anliegen zwingen kann.

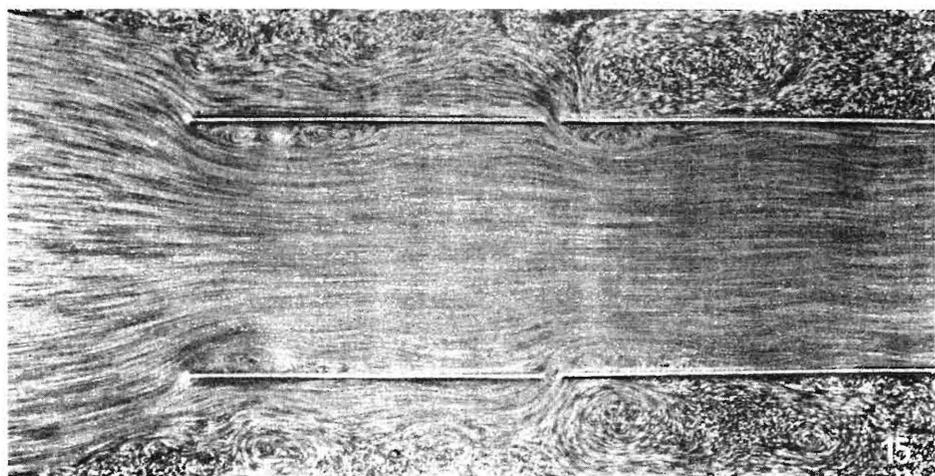
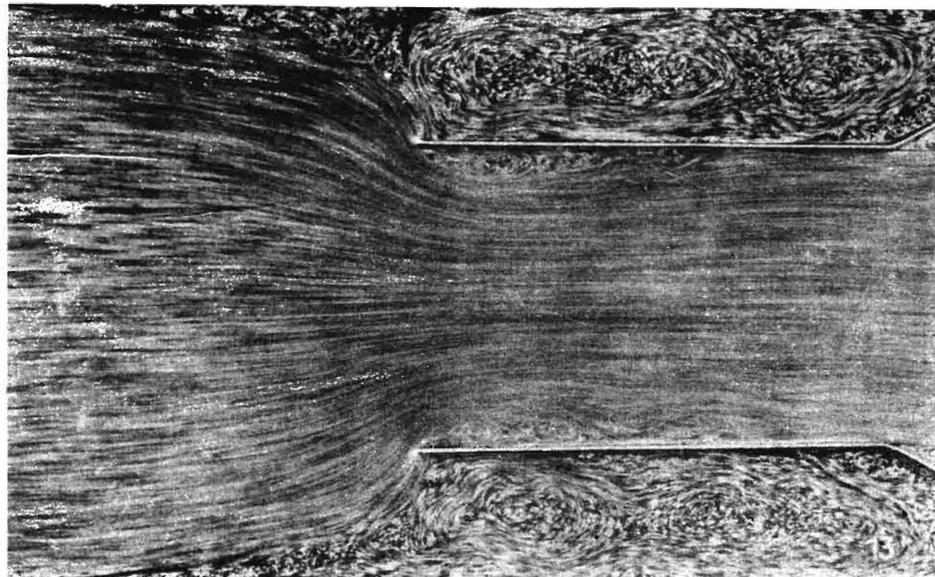


Bild 13: Strömung durch geraden Einlauf in einen Kanal. Die Strömung reisst durch das seitliche Zuströmen an der scharfen Vorderkante des Einlaufes ab und bildet Wirbel. Diese Strömung liegt häufig beim Einströmen in einen Steigsichterschacht vor.

Bild 14: Strömung durch einen abgerundeten Einlauf in einen Kanal. Ein Beispiel dafür, dass Abrundung des Einlaufes die Ablösung verhindert.

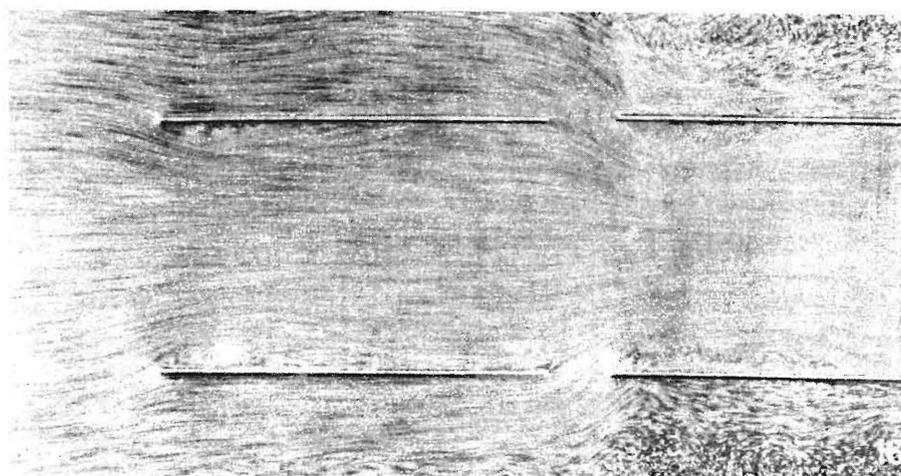
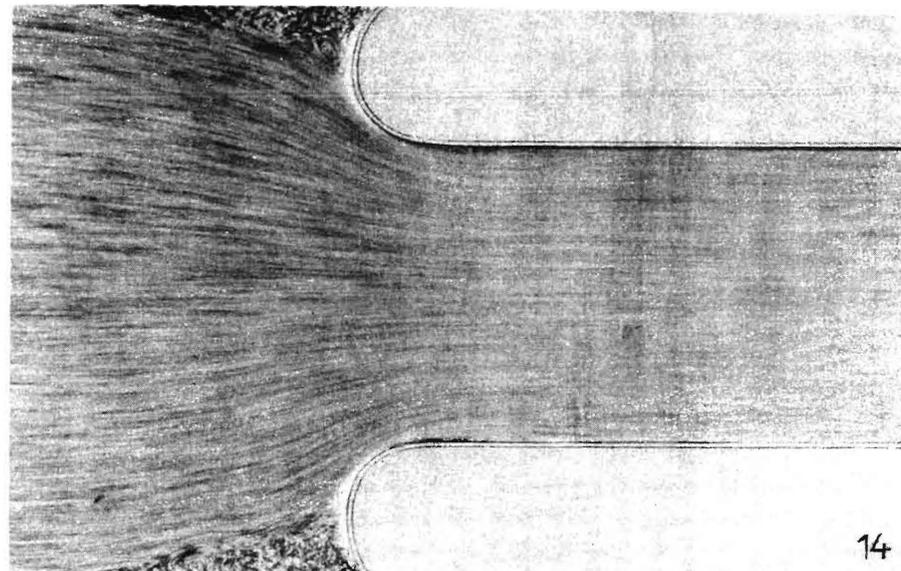
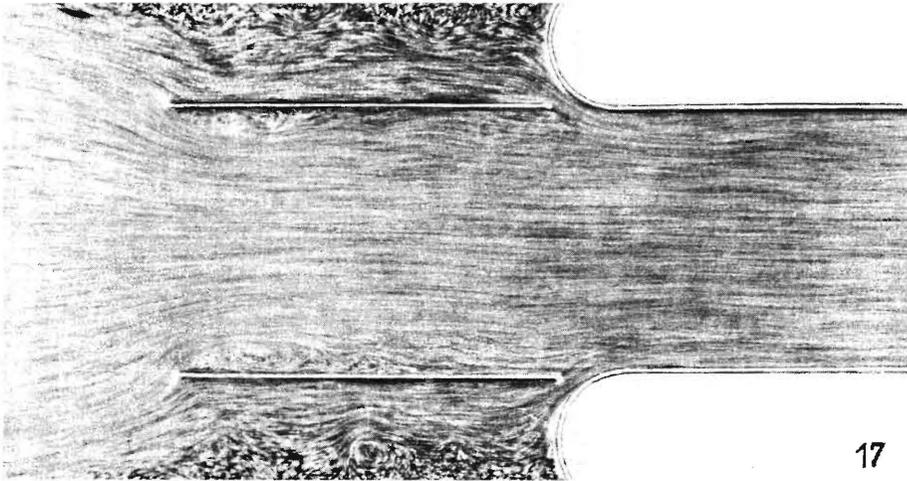


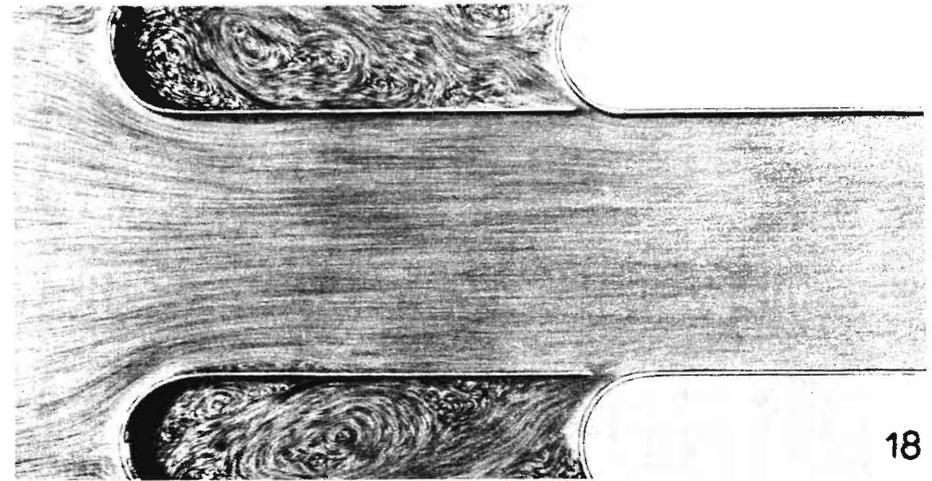
Bild 15: Strömung durch einen geraden Kanal, der mit dem Aussenraum durch einen schmalen Schlitz in Verbindung steht. Die durch diesen Schlitz in den Kanal einströmende Luft (bzw. Wasser) führt wieder zur Ablösung an der scharfen Schlitzkante. Dieser Vorgang liegt häufig bei einem Steigsichterschacht vor.

Bild 16: Strömung durch einen geraden Kanal, der mit dem Aussenraum durch einen breiten Schlitz in Verbindung steht. Auch in diesem Falle ist eine Ablösung an der Schlitzkante zu beobachten.

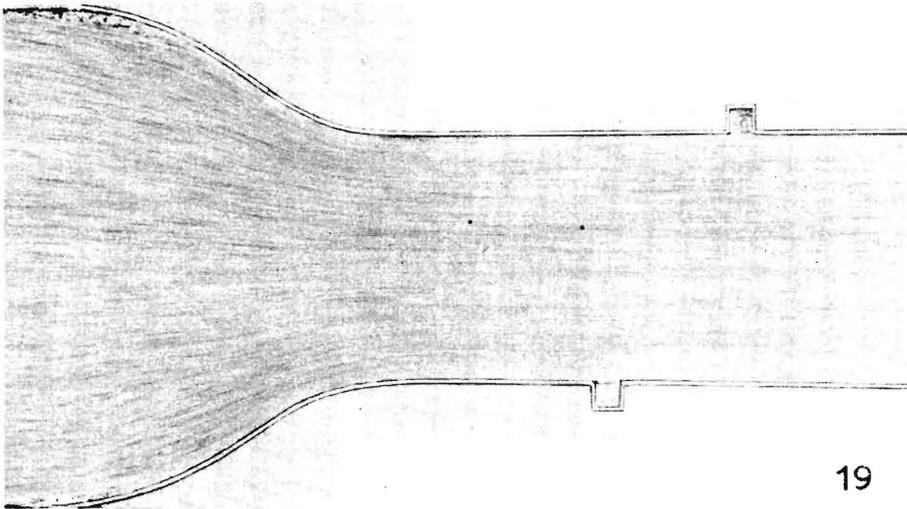
14



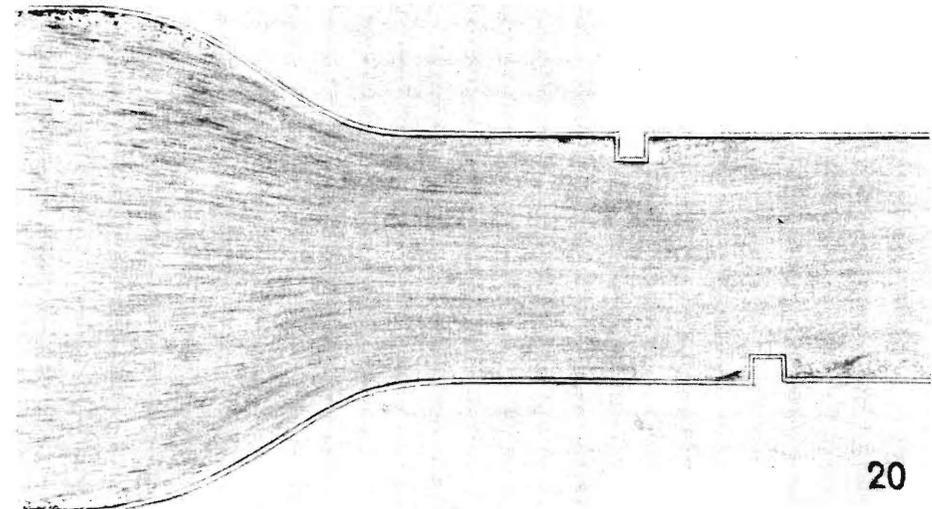
17



18



19



20

Bild 17: Strömung durch einen geraden Kanal, der mit der Aussenluft zwar in Verbindung steht, wobei jedoch die Schlitzvorderkante abgerundet ist. Die Abrundung verhindert das Abreißen der Strömung.

Bild 18: Strömung durch einen geraden Kanal, der durch einen abgerundeten Schlitz mit der Aussenluft in Verbindung steht und dessen Einlaufkante ebenfalls abgerundet ist. Durch die Abrundungen wird ein Abreißen der Strömung verhindert. Dieses Bild zeigt eine Möglichkeit, wie man die Strömung durch einen Steigsichterschacht verbessern kann.

Bild 19: Strömung durch einen Kanal, in dem sich Vertiefungen befinden, die mit der Aussenluft nicht in Verbindung stehen. Es bilden sich in den Vertiefungen stehende Wirbel, die auf die Strömung praktisch keinen Einfluss haben.

Bild 20: Strömung durch einen Kanal, in dem sich Vorsprünge befinden. Ein Beispiel dafür, dass Vorsprünge zu starken Verwirbelungen führen.